

# 我们如何走到今天

## ——改变世界的 7 种元素

7种元素，7段历史

它们可以推进技术革新，也能引发最黑暗的人性

[英] 约翰·布朗 著

John Browne

薛露然 译

# SEVEN ELEMENTS THAT HAVE CHANGED THE WORLD

我们如何走到今天  
改变世界的7种元素



书 名：我们如何走到今天

副标题：改变世界的 7 种元素

作 者：[英]约翰·布朗

出版社：中信出版社

译 者：薛露然

出版年：2016-9-20

页 数：240

定 价：CNY 58.00

装 帧：平装

ISBN：9787508661735

# 目录

序言 为什么是七种元素? .....	8
前言 一切事物的本质 .....	11
进步.....	16
破坏.....	19
人类的选择 .....	21
01 铁 .....	23
装甲战争.....	23
和平的元素 .....	27
6000 吨钢 .....	33
钢铁工业之父.....	37
安德鲁·卡内基的钢铁王国 .....	43
财富的福音 .....	48
摩天大楼.....	52
沧州的铁狮子.....	60
塔塔家族.....	63
02 碳 .....	70
煤.....	77
跳出“马尔萨斯陷阱” .....	79

中国的困境.....	83
改变中的中国.....	87
<b>石油.....</b>	<b>88</b>
岩石油.....	92
石油开发.....	97
让石油流淌.....	100
“石油峰值论”的终结.....	102
事故不断.....	104
石油就是实力.....	109
俄罗斯石油的风险与回报.....	113
从标准石油公司到石油七姐妹.....	116
石油供应焦虑.....	119
里卡多租金问题.....	125
是福还是祸?.....	129
未来石油.....	133
<b>天然气.....</b>	<b>134</b>
冷冻天然气.....	138
管道问题.....	141
管道政治.....	143
水力压裂法的革命.....	145
<b>全球大变化.....</b>	<b>148</b>
碳恐慌和气候变化.....	150

科学与气候变化的风险.....	152
国际行动失败.....	157
碳科技.....	160
自下而上的政治 .....	166
<b>03 金 .....</b>	<b>169</b>
黄金国 .....	169
淘金热 .....	180
金币.....	185
文明的象征 .....	188
价值标准.....	193
永恒的诱惑 .....	198
<b>04 银 .....</b>	<b>203</b>
白银之山.....	205
波西米亚的银矿 .....	210
雅典猫头鹰 .....	213
感光银盐.....	216
相片时代.....	221
关键时刻.....	223
白银的最后一搏 .....	230
白银的出路在哪? .....	237
<b>05 铀 .....</b>	<b>239</b>
炸弹.....	239

原子的裂变 .....	244
城市的建造 .....	248
冲啊，原子！ .....	254
矛盾的机构 .....	259
核恐惧 .....	264
昨天的元素 .....	269
人性不是一纸条约 .....	271
<b>06 钛 .....</b>	<b>281</b>
超音速黑鸟 .....	283
苏联潜水艇 .....	289
过渡金属钛 .....	292
亮白的钛 .....	295
为什么是白色？ .....	297
白色之外 .....	300
<b>07 硅 .....</b>	<b>304</b>
玻璃 .....	306
玻璃战争 .....	310
水晶宫 .....	315
闪光的镜子 .....	320
“如果他们也曾看到这一幕” .....	322
太阳能 .....	326
太阳能光电池 .....	330

<b>计算机 .....</b>	<b>334</b>
硅晶体管 .....	337
硅芯片 .....	342
摩尔定律 .....	345
<b>硅与通信 .....</b>	<b>348</b>
形式与功能 .....	350
社交媒体革命 .....	352
<b>硅的社会 .....</b>	<b>353</b>
<b>硅光子 .....</b>	<b>356</b>
<b>碳的回归：石墨烯 .....</b>	<b>359</b>
<b>后记 能量、进步和毁灭 .....</b>	<b>364</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>375</b>
<b>参考书目 .....</b>	<b>379</b>

## 序言 为什么是七种元素？

“七”这个数字一直在神话、音乐和文学中占据着重要位置。世界在七天内被创造出来；一个全音节包含七个音符；根据莎士比亚的说法，人生有七种阶段。在构思这本书的时候，我也被这个数字吸引，因此我问自己：有哪七种元素最能帮助我们理解这个世界以及它的形成？哪些元素对我的生活影响最大？我又直接经历过哪些元素？

组成石油的主要元素是氢元素和碳元素。同样的还有 18 世纪工业革命以来所有产业的支柱——铁（没有铁，石油将无法提炼出来）。下一个映入我脑海的是银，它使得摄影成为可能，这也是我毕生的爱好之一。继续寻找灵感，我找到了学生时代的元素周期表，它根据化学性质将元素排列起来。我从左至右浏览这棋盘格，发现每一行的这些元素的原子核

的质子数是依次递增的。

第一个是氢，它在与其他许多元素的结合中发挥了极其重要的作用，它们一起组成了生命的结构及因此产生的矿物燃料。

但就其本身而言，氢元素好像并没有改变世界。再向后浏览，在碳的下方我看到了硅，两者的原子最外层都含有四个电子。由此我想到我在硅谷微芯片先驱——英特尔公司董事会任职的日子。它们在我们的日常生活中无处不在，使我们的数码生活成为可能，因此，硅元素显然要被考虑在内。

我在钛元素这里停下了，20 世纪 40 年代，钛和硅一起以改变世界的形式出现在人们面前。它曾有机会成为创造奇迹的元素，但那个梦想并没有实现。但引起我兴趣的却是钛一个不太为人所知的作用：增白剂，几乎所有白色的东西里都要用到它。我是在和加拿大魁北克铁钛公司（Quebec Iron and Titanium）打交道的时候知道这一点的。无论在那时还是现在，钛一直让我感到惊奇。

浏览周期表的剩余部分，我看到几个熟悉的金属元素：铁、钴、镍、铜和锌。所有这些元素都很重要，但我想，哪一个真正起到了改变世界的作用呢？我停在了铁元素上面，而放弃了铜，因为电子工程领域我已经选择了硅元素。

我经过对摄影至关重要的银元素，到了下一行的金元素。金的万有吸引力使得它被制成钱币，成为货币以及国际贸易的基础。金是全球扩张和帝国雄心的推动力。但同样的吸引力也导致了許多暴行的发生。时至今日，人们仍在为它着迷。

最后，我来到元素周期表的最下面一行，这里有六个元素，其中之一是铀。由于处在周期表最底层，铀的原子核内含有许多质子和中子，它非常不稳定。在 1945 年的某一天，铀的这一特性改变了日本一个城市的命运，也由此定义了战后时代。因此，铀是我选择的第七种元素。

在撰写本书的过程中，我一次又一次地回顾元素周期表，质疑自己选择的这七种元素，甚至质疑“七”这个数字。铁、碳、金、银、铀、钛、硅；每一次，这七种元素都会以引人注目的姿态出现，因为它们曾强有力地改变了人类历史的进程。这七种元素塑造了我们社会、经济和文化存在的种种。不仅如此，这些元素和我们的情感及历史也息息相关，这是其他元素不能比拟的。

我想不出第八种。

## 前言 一切事物的本质

元素是人类繁荣的起源，也是人类苦难的根源。我曾在不同场合多次见证元素的这两种角色。在我 45 年的从商生涯里，包括作为英国石油公司（BP）的领导者，我见证过元素这把双刃剑对人类的影响。

小时候，当我要求爸爸给我讲故事时，他经常使用“从前有一天”这样的开场白。元素的故事就是这样开始的。如果用高倍望远镜望向天空，你可以观察到从各个方向传来的低能辐射。140 亿年以前，当元素最初形成的时候，这股辐射就已经畅通无阻地在太空里畅游了。它就是宇宙诞生那场大爆炸的残余或者回响。

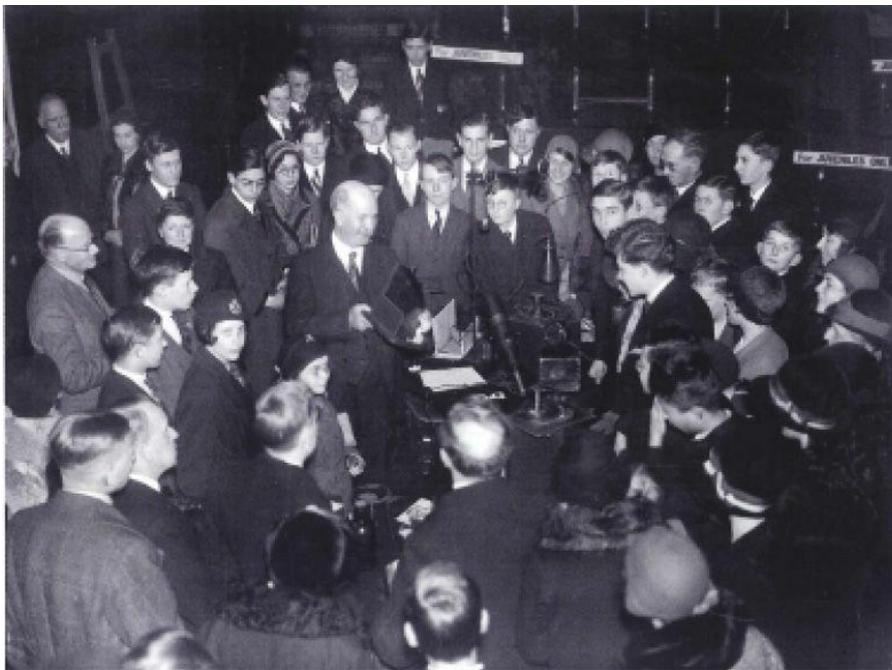
最初，宇宙只是一股流动的纯粹能量。随着这股能量的

膨胀和冷却，粒子——包括质子、中子和电子出现于其中，它们是物质的基本构成要素。宇宙持续冷却，于是粒子融合，形成氦原子和氘原子（也叫重氢）。后来，在这种原子核的聚变过程中诞生了恒星内部的其他元素。

那时候我要爸爸给我讲一些科学故事，但他不会讲，因为他不喜欢科学这个话题。为了让我安静下来，他给了我一本圣诞讲座集，里面收集了物理学家威廉·布拉格爵士（William Bragg）于 1923 年在英国皇家学会（Royal Institution）做的讲座。在《关于事物的本质》这篇中，布拉格描绘了不同元素的原子是如何一同构成了这复杂的大千世界。在某个时期，它们互相结合，创造了生命本身，而生命惊人的能力塑造了我们这个杂乱无章的世界。我们的生活，甚至我们的思想，仅仅是这些原子相互作用的结果，我对此感到赞叹不已。20 世纪初期，布拉格和他的儿子劳伦斯是射线晶体学领域的先驱人物。他们使用 X 射线观察物质的细致程度是前所未有的。用这些新的“眼睛”，布拉格父子改变了人们对元素的认识，其影响可以和 19 世纪约翰·道尔顿提出的原子理论和门捷列夫编制的元素周期表相媲美。

我的父亲奉命驻扎在伊朗南部，我的青少年时期就在那里度过，我的身边随处可见石油和那些令人敬畏的相关产业。每当看见那些巨大的油井钻探机器，我就会感觉既兴奋又紧

张。正如我从布拉格的讲座中学到的，石油主要是由氢和碳构成。“有合适的刺激物和氧气，”布拉格写道，“原子会快速形成新组合，并在此过程中产生大量的热。”我对这一转变过程大感惊奇，因为正是这个过程提供的热量改变了人类社会。碳，以碳氢化合物的形式，带给人们热、光和流动性，创造了自由和新的生活方式。



1931年12月29日，威廉·布拉格爵士正在对儿童和成年人解释自然，所有的目光都集中在他身上。

这一现象在中国最为明显。1979年我第一次来到中国，当时毛泽东刚刚去世三年，整个国家贫困缠身、前景黯淡。

街上几乎看不到任何机动车，人们统一穿着灰绿色的衣服，或步行，或骑自行车。如今，中国几乎已经成为世界的中心，到处是高楼、汽车和忙碌的人群。数百万人在这种转变中过上了美好生活，这一转变最需要的是以碳为基础的能量，而中国现在正是世界上最大的碳消耗国。

在亚洲另一端的阿塞拜疆，我同样看到碳氢化合物是如何造福了这个国家。貌似最明显的受益者是被指控腐败和滥用权力的精英统治者们，但公民也获得了实实在在的收益。从里海岸边的阿塞拜疆首都巴库（Baku）到地中海沿岸土耳其城市杰伊汉（Ceyhan）的石油管道于 2005 年建设完成，总长度 1000 英里，贯穿三个国家，途径一百多个不同民族的领地。共签订了 3 万多份合同，用以确保当地人的利益。因此，管道和流淌其中的石油给阿塞拜疆人带来了许多收益，在过去的十年里，当地人的收入比原来增长了三倍。

碳氢化合物是工业革命以来人类最主要的燃料，中国和阿塞拜疆仅是两个碳氢化合物改善我们生活方式的例子。但在繁荣的背后，碳也处处给我们留下了污染和伤痛。

1989 年，我乘坐飞机去阿拉斯加州的安克雷奇（Anchorage），途中我透过机窗看到下方先前搁浅的埃克森·瓦尔迪兹号（Exxon Valdez）。石油从船的一侧不断淌出，

像是在水面和白色的冰面上铺了一层黑缎子。这一景象极富冲击力，时至今日我仍久久不能忘怀，原来碳氢化合物对自然界能造成如此巨大的破坏。

在其他地方，碳元素引发的贪婪不仅仅导致对环境的破坏和对人类的肉体伤害；它改变了人类的本性，引发了人性中最黑暗的一面。20 世纪 90 年代，我在哥伦比亚负责管理一个大油田，该油田位于南美拉诺斯山区边缘的丘陵地带，受到石油的吸引，此处充斥着毒梟、非法武装和土匪，这些人对石油的觊觎就像是见了血的苍蝇一样。为了自保，我们在四周搭起高高的铁丝网，并安排了武装警卫。不久，铁丝网外的人们便对我们变得非常不友好，绑架和袭击事件十分寻常，让人时刻提心吊胆。他们觉得我们从中获利的自然资源实际上是属于他们的，因此也希望能从中分一杯羹，以便能留在当地。对此，我们只能建起更高的围墙，乘坐直升机出入，甚至还请来了政府军队。不管哪一方，心中都充满了恐惧、愤怒和贪婪，而在这些情绪的背后，潜伏的便是人类的分裂、仇恨，甚至战争。

但我的重点不仅仅是碳元素。在周期表上自然出现的 98 种元素中，还有 6 种也加入了改变人类历史的行列：铁、金、银、铀、钛和硅。本书沿着它们的轨迹，记述了这七种元素是如何带来进步，造成破坏，记述了它们如何帮助人类行善

作恶，也记述了他们将以何种能力塑造我们的未来。

## 进步

在人类历史的大部分时间里，我们生活得更像一群低等动物，每天只做一些最基本的活动，比如寻找食物、水和住所。在这种生存状态下，人类别无选择，只能为了生存而努力。在大约 5 万年以前，人类实现“大跨越”，出现了一股创新的潮流，包括复杂语言的使用，最早洞穴岩画的出现，宗教仪式的萌芽以及易货交易的开始。这些变化的时间和起源都具有争议性，但它们的出现无疑与人类对元素的应用密不可分，比如使用新方法雕刻石灰岩，利用铁元素制造颜料和学会控制木材取火。对元素的创造性应用减轻了生存负担，帮助人们制造出工具，为人类文明奠定了基础。在这之后，元素仍继续帮助我们完成伟业，给我们更多自由，也使我们的日常生活有丰富的选择。

人类进步可以用我们驾驭能量的能力来衡量，这些能量比我们自身拥有的大得多，改变世界的程度自然远远超过人类本身所能做到的。在不同的能量来源中，没有哪一种能和碳相比，因为碳以各种形式存在，包括木材、煤炭、石油和天然气。煤可以大大提高生产力，因而直接催生了欧洲和美国的工业革命；相当于一个普通人重量的煤，可以完成的工作等同于这个人 100 天的工作量。在旅行、贸易、艺术、工程、通信各个领域，人们在碳元素的帮助下完成了许多壮举。

碳还激发了许多其他元素的潜能，有了碳的能量，人们可以炼铁、采金、浓缩铀。碳的创造性力量帮助其他元素发挥作用，其中铁元素是碳最坚实的盟友。我们只要看看这些铁路、工厂、摩天大楼，就会发现铁是如何缔造了工业财富和社会结构的。

但是在最尖端的专业应用领域，铁就显得或脆弱，或沉重，而新金属钛却在航天航海领域大受欢迎。除了被应用于制造超音速飞机和深潜潜水艇之外，钛更广泛地被用来生产二氧化钛。钛以这种形式在我们的生活中无处不在，满足我们对纯白、洁净和外观的需求。有了二氧化钛，牛奶变得洁白，衬衫变得干净。它们的白净满足了我们内心的某种欲望。

尽管如此普遍，我们一般不会在日常生活中注意到钛元

素的存在。摄影中用到的银元素也是如此。摄影给我们带来的影响是巨大的，它让我们用一种本不可能的方式看到这个世界。它将二战、越战和卢旺达种族屠杀鲜活地呈现在我们眼前。通过为我们的领导、邻居和敌人拍照，它还影响着我們看待彼此的方式。它记录我们的回忆、历史和人际关系，同文字和思想不同，摄影给我们带来的是永恒的图像。

和金一起，银更广为人知的一面，是作为储存价值的钱币和贸易的媒介。早在两千年前，地点或许是古萨迪斯城（city of Sardis），当第一批钱币出厂时，商人们就以这些稀有珍贵的金属为标准完成国际贸易。金和银促进了人口和物资的流动，也促进了跨行业的思想交流。它们不仅在世界范围内传播元素带来的经济利益，还刺激了人类的进步。

最后一个或许也是最具革新性的元素是硅。最初，硅被用在装饰上，比如制作玻璃珠子、花瓶和镜子。后来，它逐渐成为常见的实用建筑材料，比如被用在高楼大厦表面，以满足人们对光的渴望。不过硅对我们最巨大的影响发生在近半个世纪，因为在此期间，硅被广泛用于计算机内部。在这个“硅时代”，我们能够毫不费力地计算和交流，可以随时获得人类知识的总和。硅对整个社会的影响或许在普通公民身上体现得最为明显。作为现代交流的中心，硅为阿拉伯春天的政治变革提供了有力后盾，也革除了阻挡社会互动几千年的

的地理障碍。

## 破坏

元素创造了进步、革新和繁荣，但是它们也给人类和自然带来了巨大的破坏。碳的破坏力体现在它在提取和消耗过程中产生的间接后果里。在英国工业革命期间，那里的空气由于产生的烟雾变得浑浊不堪，成千上万的人葬身于矿井坍塌和爆炸这样的矿难中。随着工业革命的脚步遍布全球，这样的后果也随处可见。直到最近二十年，我们才逐渐意识到碳元素有着不易察觉的危害。燃烧碳氢化合物产生了几十亿吨的二氧化碳，这些二氧化碳被排放到大气层，阻隔了太阳能，也在悄悄地改变着全球气候。

元素的破坏力通常由于人类的故意行为释放出来。铁的特性只是决定了它可以被用于和平的工业生产，人们却用铁制造剑、枪、船只和坦克，将铁变成了高效却残酷血腥的战

争工具。铁是战争冲突的主角：在将近一个世纪的时间里，欧洲列强发动战争，只为控制鲁尔和阿尔萨斯 - 洛林地区大量的铁矿石和焦炭储备。

在我的职业生涯中，我见证了被人们称为“黑色黄金”的石油是如何激发人们的热情、欲望和贪婪的。如今的世界十分依赖石油，因此，各国都迫切想要获得可靠的石油供应保障。掌控石油的领导人们可以获得巨大的权力，但有时，对于生产石油的国家来说，这种储藏不是福利，而是灾难。

但是在元素的历史上，惹得人类犯下最大暴行的还是对金子的追寻。五百多年里，这种贵重金属在人类中激起了巨大的贪婪、疯狂和暴力，引起无休止的掠夺、残杀和奴役。

就破坏力而言，有一种元素独居榜首。铀元素定义了我们的战后时代，它同人类历史上最黑暗的时刻紧紧联系在一起：广岛上空原子弹的爆炸。从这一黑暗时刻衍生出的是希望，我们能够应用铀元素的超级能量去创造，而不是破坏。核电的优势在于成本低廉、数量丰富，这给我们带来巨大的希望，但人们对核能一直怀有恐惧心理。在我们试图控制核武器扩散的同时，铀也继续在全球舞台上扮演着重要角色。而我们在利用铀元素能量的时候，其实也为我们人类埋下了隐患。

## 人类的选择

这些元素的影响力如此之大，以至于它们都有了自己的个性：铀，强大却又畏畏缩缩；金，有着催眠的诱惑力；铁，有力而可靠；然而，在某种意义上，它们的区别又如此微妙，仅仅是质子、中子和电子的七种不同组合，就是这七种组合赋予了元素不同的特性。所以我们不禁想到，这些性质是不可避免的，或者不可控制的。我们掌控着自己的命运，而这些元素仅仅是帮助我们发展或毁灭的工具。我们不是元素的奴隶，我们是它们的主人。

所以，从根本上来讲，这本书并不是关于元素的，而是关于人类怎样成功通过驾驭元素的固有力量，塑造了我们的文化、经济和社会，并在这一过程中改变了世界。我曾亲眼看见过这种改变，因此我在这本关于七种元素的书里也加入了我的个人元素。在书中，读者会与各种人物相遇，从俄国

贵族到威尼斯商人，从哥伦比亚部落成员到硅谷电脑奇才，还会读到关于伟大时代和伟大个人的各种故事——皮萨罗、洛克菲勒、卡内基、居里——以及他们同元素之间的深层联系。他们改变了历史的进程。他们帮助元素发挥它们的潜能，激发人们行善，也帮助人们作恶。今后，这些元素是会促进人类的进步和繁荣，还是会催生个人的贪婪与不义，全取决于我们自己。

美国物理学家理查德·范曼（Richard Feynman）用一句佛教谚语总结道：“天堂和地狱，只在一念之间。”

# 01 铁

铁的含义里包含着阳刚的意味，钢铁筑成了现代社会的基本建筑架构，缔造了无数的工业财富，却也代表着进攻，是战争冲突的主角。人们用铁制造剑、枪、船只和坦克，将铁变成了高效而血腥的战争工具。

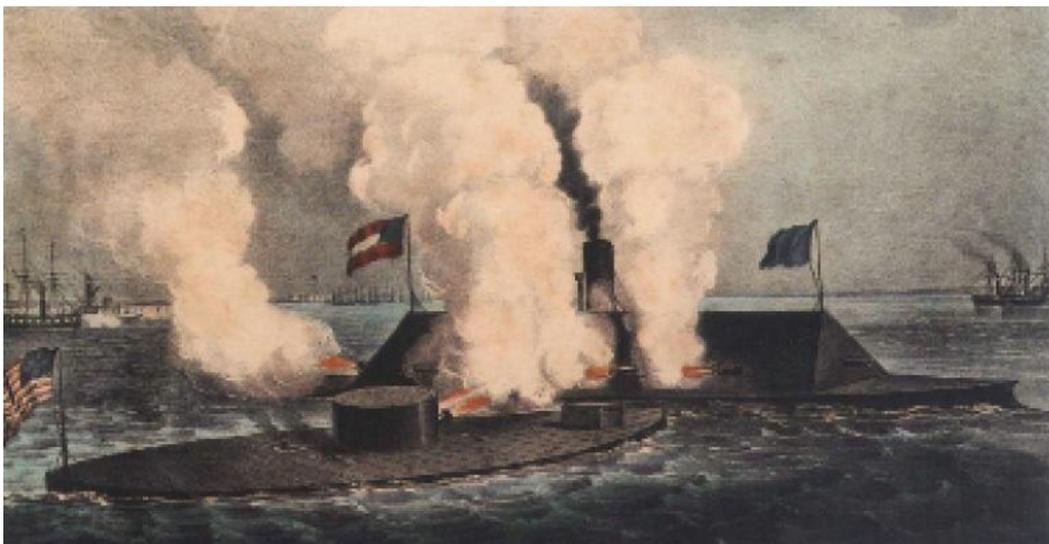
## 装甲战争

美国南北战争中，南方海军铁甲舰弗吉尼亚号的出现标志着海军史的一个转折点。它轻松地撕裂敌舰的木质船身，“可以清晰地听到水面下船体破裂的声音，”北方海军坎伯兰号的海军将领回忆道，“船开始下沉，而露出水面的部分还在射出子弹、英勇还击。”但是这些子弹被弗吉尼亚号坚固无比的铁甲一一弹开。

1862年3月，美国南北战争的双方交战正酣，南方海军弗吉尼亚号在弗吉尼亚的汉普顿水道袭击了联邦军的战舰。北军战舰坎伯兰号被击沉，船上大约三分之一的船员阵亡，一位当时在船上的军官描述道：“场面空前惨烈，就像一场海上大屠杀。”弗吉尼亚号由一艘被击沉的海军木质战舰梅里麦克号（the USS Merrimack）改造而成，装备和引擎都差强人意。但它有一个巨大的优势：它的船体覆盖着两英寸厚的铁甲，敌人的木质战舰根本无法将其击穿。北方联邦军开始恐慌：如果弗吉尼亚号能够成功突破北军在汉普顿水道的封锁，它就能沿波托马克河而上，一举攻下华盛顿。那天夜里，林肯总统“不止一次走到窗边，眺望40英里长的畅通无阻的波托马克河，担心着梅里麦克号会不会来到华盛顿”。

巧合的是，联邦军也在一直研究建造自己的铁甲舰，莫尼特号（the Monitor），它的铁甲更厚，足有十一英寸。听说弗吉尼亚号的行动后，莫尼特号立即向汉普顿水道驶来，

就在第二天，这里发生了有史以来第一次铁甲舰之间的交锋。著名的版画制作公司柯里尔和艾维公司（Currier&Ives）制作了一副有关此次战斗场景的石版画。很久之前我买下这幅画，挂在了办公室里，因为我喜欢战争场面，但那时我并没有注意到其中的含义。在版画的前景里，小而轻巧的莫尼特号冲向弗吉尼亚号，顿时两艘战舰陷入了激烈的交战，枪炮声此起彼伏，甲板上浓烟滚滚。“文明世界里，没有哪场战役比它更轰动一时。”目击者海军军官威廉·哈沃·帕克（William Harwar Parker）写道。



1862 年美国内战，两艘铁甲舰在激烈交战。

那是一场艰苦的战斗：两艘战舰近距离交火长达四个小时之久。最初，弗吉尼亚号用爆破榴弹对莫尼特号实施攻击，

而莫尼特号则用实心弹对其还以颜色。然而，两种炮弹均被船身所包的铁甲弹开，“显然，它们的效果还不如一个孩子扔的鹅卵石”。很快，他们开始使用撞击战术，但大半天过去，双方均无法对对方战舰造成致命撞击，只好停止交火。撞击只给两艘战舰留下了一些凹痕，由于躲在厚厚的钢铁铸成的掩体里，船员们几乎没有受伤。战斗结束后坐下来吃饭时，美国海军莫尼特号的船员们仍情绪高涨。“先生们，”之后来到舰上对船员进行表彰的副部长古斯塔夫·福克斯（Gustavus Fox）说道，“你们看上去一点儿也不像刚刚经历了一次足以载入史册的激烈海战。”

早在汉普顿水道战役之前，铁的含义里就包含了阳刚的意味，代表着进攻。铁的力量是使生命得以在这个星球上存在的原因之一。地核的大部分是由铁元素组成。随着实心内地核的转动，以及转换电流在液态外地核的涌动，一个磁场围绕着地球表面形成，这个磁场可以阻挡对生命有害的太阳风<sup>[1]</sup>的电离辐射。由于铁容易腐蚀，现在已经很难追溯人类具体从何时开始使用铁器，与比较耐久的金银器皿相比，古代流传下来的铁器少之又少。不过可以肯定的是，大约公元前 3500 年，铁制品开始以首饰、家用物品和武器的形式出现，其中后者尤为突出，从那以后，铁一直被用于武器制造，如铁剑、盾牌和长矛，出现在血腥的古代战争中。

但几千年以来，战舰一直都由脆弱易燃的木材制成。在柯里尔和艾维石版画的背景里，木质战舰作为落伍且马上要被淘汰的战争工具，只能在远处观战。在汉普顿水道战役中，成千上万的士兵站在河口岸边，看着两艘军舰进行角逐，亲眼看见了铁甲船的巨大威力。在美国工业革命时代初期，弗吉尼亚号和莫尼特号体现了工业钢铁武器的力量，正是这种力量，塑造了现代政治，改变了现代战争。

## 和平的元素

19 世纪 60 年代，大西洋对面的德国正处于一个伟大时代——工业发展及繁荣的初始阶段。始于英国的工业革命，影响已经遍及整个欧洲。坐落在鲁尔河畔的埃森是德国当时的工业中心，山坡上的小型鼓风炉已被庞大的工业厂房所代替，曾经的中世纪市集小镇正在迅速扩张。整个 60 年代，埃森的人口增长了 150%。在所有促进增长的因素当中，有一个

家族的作用最不容忽视。

1587年，安德特·克虏伯（Arndt Krupp）加入了埃森的商业协会。他就是克虏伯王朝的创始人，这个王朝延续了近四百年，不但是德国工业的中坚力量，也成了德国战争机器的领导者。

在兵工厂里，克虏伯家族的继承人阿尔弗雷德·克虏伯（Alfred Krupp）为首相奥托·冯·俾斯麦制造大炮，这些大炮在1866年对奥地利和1870年对法国的战争中均起到决定性作用。这些铸铁制成的普鲁士炮弹射程是法国铜炮弹的两倍，在精确性和数量上也远优于敌方。1862年，俾斯麦发表了著名的演说，称德意志帝国不应建立在“演说和多数派决议”的基础上，而应建立在“铁和血”的基础上。他坚信，谁掌握了铁，谁就能雄霸欧洲。

在两次世界大战中，克虏伯武器再次展示出其重要性。庞大的武器库为德国在对敌的战略性战役中提供了强大后盾。在“一战”之初，远射程的克虏伯大炮粉碎了比利时要塞，为德军在进军巴黎的路上扫清了障碍。“二战”中，克虏伯攻城炮共射出重达7吨、总射程达40公里的炮弹。克虏伯炼铁厂提供了德国发动战争所必需的军火。但战争需要的不仅仅是铁，还需要大量的铁矿石和焦炭储备。用焦炭冶炼

铁矿石，才能生产出铁，并排放出二氧化碳。在工业革命期间，掌握这些矿藏成为欧洲各国的重中之重，因为谁都不想在这速度空前的经济增长中落后于他人。

克虏伯王朝的大本营鲁尔区拥有大量的煤矿和一定量的铁矿石储藏。19 世纪末到 20 世纪初这段时间，这些矿藏成为冲突的根源，在此期间，德法两国曾先后三次开战。

1870 年 7 月，法国向邻国普鲁士宣战。普鲁士与德意志联邦相邻，并常对其享有统治权，在过去的十年中，普鲁士已经发展成为一个对法国具有威胁性的国家。仅在四年以前，普鲁士入侵奥地利，建立了强大的北德意志联邦。曾经弱小的邻国如今拥有了一支强大的军队，时刻在法国北部边界虎视眈眈。普鲁士的人口也在迅速增长，重工业已经成为国内产业的主导。到 1867 年，普鲁士和萨克森（Saxony，也是北德意志联邦的一员）地区煤矿的产煤量是法国煤矿的三倍。法国受到挤压，因此决定发动战争。

但是法国低估了普鲁士当时的实力。仅仅在几周之内，普鲁士军队就开到了巴黎附近。在包围巴黎几个月之后，这座城市终于在 1871 年 1 月 28 日陷落，战争也随之结束，普鲁士粉碎了法国的军事力量。根据《法兰克福条约》，法国要割让拥有丰富铁矿的阿尔萨斯 - 洛林地区。仅仅 40 年之后，

法国与如今团结一致的德意志帝国在“一战”中再次相遇，夺回阿尔萨斯 - 洛林，并重新掌控了该地的铁矿。法国的钢铁产量得以迅速增长，但法国也因此越来越依赖炼铁所需要的焦炭和煤。当德国拖欠战争赔款时，法国入侵鲁尔对其进行报复。这一行动不仅使法国在煤炭供应上得到保障，同时还重创了德国工业。作为回应，希特勒开始重新武装鲁尔区所在的莱茵兰地区（the Rhineland）。为了避免战争再次发生，法国几乎没有发动抵抗，这让希特勒对接下来的一系列侵略行动更加充满信心，直至引发第二次世界大战。



没有战争是不靠钢铁的。1937 年埃森市的克虏伯工厂，克虏伯接待希特勒和墨索里尼。

欧洲钢铁工业的发展和鲁尔的焦炭储备是分不开的，但  
这些焦炭也使欧洲陷入长达 80 年之久的战争。在此期间，鲁  
尔一跃成为欧洲的工业中心，但成功之后往往跟随着衰败。  
1943 年 3 月，同盟国军队第一次对德国埃森发动了空袭。  
36000 多吨的燃烧弹和爆炸弹从天而降，其中大多数落在了  
占地 8 平方公里的克虏伯工厂里。这样的空袭一共有 200 次。  
战后，埃森成为一片废墟。不过，仅在五年后，鲁尔便得到  
重新建设和整治，出台了一套新的政治体系，使铁成为和平  
建设的工具。

1950 年 5 月 9 日，法国外交部部长罗伯特·舒曼 (Robert  
Schuman) 通过广播电台发表了具有历史意义的宣告：法国已  
准备好与德国及其他国家合作，建立新的重工业共同体。于  
是，欧洲煤钢共同体 (The European Coal and Steel  
Community, 简称 ECSC) 在“二战”的余波中成立，寄托了人  
们结束几十年来经济和军事竞争的希望。通过集合欧洲的煤  
炭和钢铁资源，舒曼希望为各国的经济发展奠定共同的基础，  
他相信，这一举措会让战争“不仅不可想象，而且无法实现”。  
“长期以来致力于军火生产的地区，长期以来一直饱受战争  
荼毒的地区”，如今可以利用铁来促进工业发展、提高居民生  
活水平。舒曼相信这一简单而大胆的计划能够开启一个新的  
成长与繁荣的时代。

欧洲煤钢共同体是欧盟形成的第一步，如今，拥有 27 个成员国的欧盟是世界上最大的经济体。这是欧洲对于超国家主义的首次大规模实验，通过这次实验，欧洲成立了一个更加稳定、更加统一的新型共同体。虽然各国均牺牲了一定程度的主权，但是这不能与成员国获得的经济和政治利益相提并论，更何况和平也得到了保障。

这一影响在如今的埃森周边地区尤为明显，该地区已经从鲁尔的“炼铁厂”变成了鲁尔的“写字台”。如今的埃森是一座舒适的现代化的城市，许多德国大公司都坐落在这里，最著名的如英国石油公司旗下的德国加油站连锁亚拉（Aral）资产。克虏伯家族已然销声匿迹，但克虏伯这个名字保留在了跨国企业蒂森克虏伯集团（ThyssenKrupp）的名称里。克虏伯工厂的原址，现如今是该公司现代化总部的所在地，这个地区曾经的工业辉煌已经成为过去。

欧盟及其前身使欧洲步入了前所未有的和平时期。各国间的紧密合作不仅通过贸易商相互依存的关系实现，共同的法律也起到很大作用。而所有的故事起源于煤中的碳和由铁炼成的钢。元素对现代社会的影响巨大，是维持和平和促进繁荣的有力工具。铁无处不在，它被用于摩天大楼的建设，以及飞机与风力涡轮机的制造。对我来说，有一个巨人的例子集中体现了钢铁的力量，说明了人类利用铁可以成就何等

的伟业。

## 6000 吨钢

2005 年 7 月 11 日，正值英国石油航运公司成立 90 周年之际，我们在位于伦敦东南格林尼治的国家海事博物馆举行派对庆祝。博物馆内拱门下摆放着各色鸡尾酒，宾客们漫步于为纪念特拉法尔加战役 200 周年举行的“纳尔逊与拿破仑”展览中。我们在海王星馆的玻璃穹顶下享用晚餐，这时，英国石油航运的领导人鲍勃·马隆（Bob Malone）站起来开始讲话。在这 90 年里发生了许多事情：例如英国石油公司曾拥有和经营世界上最大的商船队，“二战”期间，这只船队承担了同盟国很多燃料运输的任务。

鲍勃结束了他的讲话，大家都举杯祝愿公司经营得更好，但我的思绪却飘到了别的地方。就在乘车来赴宴的途中，我接到了当时负责英国石油公司勘探与生产工作的托尼·海沃

德（Tony Hayward）忧心忡忡的电话。“是雷马（Thunder Horse），”他指的是我们在墨西哥湾开创性的海上石油平台。“它好像在下沉。”

雷马生产、钻探和生活平台（Thunder Horse PDQ）是世界上最大的半潜式海上石油平台，是之前最大的挪威海上石油平台的 1.5 倍。平台本身是一块重达 6000 吨的厚钢板，内部交错分布着 50 公里长的管道和 250 公里长的缆线。这一前无古人的工程是为了开发利用雷马油田而建造的，雷马油田是墨西哥湾最大的油田，预计每年能产出石油 25 万桶，天然气 560 万立方米。如此大的规模、如此恶劣的海上条件，只有结实、大量又廉价的钢材才能担此重任。

雷马平台在韩国玉浦（Okpo）制造，要被运送到墨西哥湾，可是当时的船只都不够大，不能完成运送任务。当时世界上最大的两艘载重船之一蓝马林鱼号（The MV Blue Marlin）不得不将船体加宽，又加装了一个动力装置。但即使改装之后，雷马还是两边各超出船体 20 米。受宽度限制，船只无法通过巴拿马运河，而由于平台高度过高，也要受到苏伊士运河大桥的阻挡，因此载有雷马平台的蓝马林鱼号只能绕道好望角，经过 30000 公里的路程，于两个月后到达墨西哥湾。



壮观的雷马平台横跨在船上。

2005年7月，在英国石油公司发现雷马油田六年后，生产工作终于准备就绪。但墨西哥湾有名的不仅仅是世界上储量最丰富的油田，还有每年一次的飓风季。台风丹尼斯（Dennis）是2005年大西洋飓风季的第一场飓风，也是风力最强的一次。听说飓风将路过雷马，英国石油公司疏散了平台上的工作人员。随着飓风越来越接近美国海岸线，风力逐渐加强，丹尼斯飓风在距雷马平台仅230公里的地方经过，当时风速达每小时220公里。风暴退去后，人们看到这座伫立在海上的钢铁铸成的庞然大物已经向海里倾斜。

这边的国家海事博物馆里，鲍勃结束了讲话，坐了下来。

他的手机不断震动，但是他找不到机会接听，也不知道发生了什么，我决定等到晚餐结束后再告诉他。在海面平静之前，我们不可能靠近平台、实施营救；再等两三个小时也是一样的。直到我们一起向外走时，我才告诉他我和托尼·海沃德之间的对话：“500 万美元的投资很有可能会全部沉入海底。”

“我猜到有事故发生，”他说，“我最好去打个电话。”



雷马平台

一开始我们并没搞清楚发生了什么：雷马的设计决定了它可以抵御“百年一遇”的风暴。如今 6000 吨钢材铸成的平台倾斜了，但我们却不能怪天气。因为飓风到来前，雷马平台已经倾斜了 16 度，飓风只是加剧了倾斜度。机械故障和人

为错误导致了液压控制系统的失灵，而该系统的作用正是通过使水在压载水舱之间流动来保持平台重量的平衡。在经过几天的紧张调查和行动后，雷马重新恢复使用，并且在那之后，一直在每年飓风季的肆虐中屹立不动。雷马海上石油平台展示了钢的巨大力量，也是人类利用和信赖钢的生动实例。

## 钢铁工业之父

当人们在加油站给汽车加油时，当他们打开墙壁插座的开关时，他们很少意识到我们的能源基础设施是多么依赖于钢材。能源链中的所有环节，从开发到生产，再到提炼，直至电力的产出，全部依靠铁制造出来的科技产品。但结构和管道的力量不仅仅依靠铁。如果单纯由铁制造而成，原子之间的结构不够稳定；雷马平台如果由铁制成，它本身的重量就会把它压塌。钢的优势在于铁和碳含量的均衡。纯铁是软的，但碳元素的加入改变了铁的原子结构，因此原子之间的

关系更加稳定，可以生产出很坚硬的钢。但如果加入过多碳元素，形成了铸铁，这时候的铁就会变得很脆，遭到撞击时会碎裂。

在长达几个世纪的时间里，钢只能进行小规模生产，且成本很高。但是在 1856 年，英国发明家亨利·贝西默（Henry Bessemer）偶然发现了一个方法，可以严格控制碳和铁的平衡并进行工业规模的生产。这个发明一直到今天还在应用，它对现代炼钢业的发展至关重要。在钢铁业发展的过程中，贝西默炼钢法的出现迎合了人们对更坚固武器的需求。1854 年，贝西默会见拿破仑三世，后者想要一种质量超群的金属来改进他的大炮。对于贝西默来说，正是这个需求“引发了一场伟大的革命……我决心设法在枪炮制造中改进铁的质量”。

1856 年夏天，贝西默迎来了突破。一天他打开实验高炉的门，注意到几片含碳量很高的生铁在高炉里没有熔化成铁水。他以为一定是高炉的温度不够高，所以他开始向高炉内鼓入更多空气。令他惊奇的是，半小时以后，这些铁片毫无变化。他抓起一根铁棒将铁片推到金属熔液里，却发现它们其实不是生铁，而是纯铁的薄壳，其中的碳已经所剩无几。偶然的一次，空气吹过熔融的生铁，提高了它的温度并除掉了杂质。一直以来人们认为，为了保持高炉温度、不让铁水

凝固，还需要一个外部的热源。贝西默想，能否简单地让冷空气通过熔融金属，就将整炉的生铁变成纯铁呢？

因此，他又建造了一个炉身底部有六根空气管道的实验转炉。他打开管道阀门，让空气进入炉身与熔融的生铁接触。贝西默这样描述接下来的情景：“先是安静了十分钟……但是快速的变化出现了；事实上，硅已经被悄悄耗光，氧气与碳结合，产生一簇越来越高的火花……之后是一系列小爆炸，炉渣和金属飞溅物飞到空中，整个仪器变成了一座不折不扣的喷发中的火山。没人敢靠近并关闭爆炸中的转炉……”

火山喷发结束后，贝西默将熔化的金属倒入模具，冷却的金属形成一根铁条。他拿起一把木匠用的斧子，狠狠砸了铁条三次，每一次，斧子都深深陷进柔软的金属里，留下了凹痕，但铁条并没有像脆性的铸铁那样被砸碎。剧烈的反应使得炉内一直保持高温，因此不再需要外部的热能供应。这样炼出来的便是含碳量低的纯铁：酸性转炉钢（Bessemer Steel）。贝西默具有开创性的炼钢过程是所有炼钢方法的基础。这一过程的产物比熟铁更坚固、更有韧性，可锻造性也更高，炼制过程时间短，更重要的是，成本也要低得多。传统的炼钢过程包括将铁和炭放在一起缓慢加热，前后需要 10 天，炼 1 吨钢需要花费 50 英镑（相当于现在的 6000 美元）。在酸性炼钢法发明之前，钢是很昂贵的材料，只能用于小件

贵重物品的制作，如剑、餐具以及贵重工具。如今，大量物美价廉的钢材被用于船只、桥梁、铁路、蒸汽锅炉以及各种大型机器的制造。就连小小的钉子也可以用快速低价的钢制成，再也用不着漫长艰苦的锻造了。

贝西默炼钢法迅速传遍世界各地。阿尔弗雷德·克虏伯率先购买了许可证，到 1867 年，他经营的钢厂拥有 18 个转炉，成为欧洲大陆上最大的酸性转炉炼钢厂。酸性炼钢法流传到美国后，钢产量直线上升。1892 年，美国的钢产量达到每年 400 万吨。根据 1893 年《时代周刊》的一篇文章报道，当时一年产出的酸性钢价值比世界上所有金矿三年的产值还要多。



贝塞麦今天依然存在：2012 年蒂森克虏伯公司，将生铁倒入一个酸性转炉。

贝西默不是钢铁大亨，广义上来说，他是一个发明家、工程师和生意人。他相信他的发现是由于他没有过于依赖传统的炼铁方法。一股冷空气能够精炼凝固前的铁水，许多人最初听说这一说法时都嗤之以鼻。他最早也是最赚钱的发明并不是关于铁的，而是由于他姐姐的一个请求。他的姐姐要他帮忙装饰一本花卉画册，里面画的是他们的父亲栽种的郁金香和菊花。贝西默因此到伦敦克拉肯威尔的一家商店购买由铜制成的“金粉”。第二天来取货的时候，他吃惊地发现金粉的价格非常高，一盎司要 7 个先令（大约相当于今天的 40 美元）。贝西默确定，他一定能够发明一种成本更加低的制作方法。此前在这个领域他没有任何经验，然而他做到了。金粉的发明和收益给了他自信，也为他的发明家和工程师生涯提供了经济后盾。正如贝西默后来描述的那样，姐姐的请求“对我来说影响深远；事实上，这一请求改变了我的人生方向，也让后来世界钢铁工业经历的重大变革成为可能”。

甘蔗榨汁机、太阳炉、钻石抛光机，这些都是贝西默的发明。天赋加上敏锐的商业头脑，贝西默将他的发明建立在一个简单原则的基础上：以最低的价格和最好的质量制造消费者想要的产品。

贝西默在钢铁领域的成功使他成为钢铁学会（Iron and Steel Institute）的创始会员和第一任会长，钢铁学会即后

来伦敦的英国材料矿物和采矿学会（Institute of Materials, Minerals and Mining）的前身。维多利亚时代，英国的钢铁大亨们忌惮来自欧洲大陆的竞争，因此，在1869年他们成立了钢铁学会作为他们的“内部工会”。学会里贝西默室的墙上陈列着许多他获得的发明奖励。贝西默是皇家学会的一员，曾被封为爵士。在他任学会会长期间创立的贝西默金质奖章，现在仍被授予那些对钢铁工业有杰出贡献的人。但贝西默本人的名字也只是在颁发奖章时才会被人提起。

尽管贝西默在那个年代备受尊崇，但今天大多数人已经把他忘记了。他与妻子一同被葬在西诺伍德公墓的一角，距离他们位于伦敦南区的住所不远，前来拜谒的人寥寥无几。尽管贝西默是世界上最伟大的发明家与工程师之一，他却没能与托马斯·爱迪生、詹姆斯·瓦特和怀特兄弟齐名。究其原因，大概贝西默是一种方法的发明者，而非发明了某个物品。我们会记住改变世界的一些东西，比如灯泡、蒸汽机和飞机，所以我们也记住了它们的发明者。类似地，我们记住了使用贝西默炼钢法改变了世界的人，比如武器制造商阿尔弗雷德·克虏伯。我们还记得一个在钢铁领域成就突出的人。安德鲁·卡内基（Andrew Carnegie）也曾经当过钢铁学会的会长，他是美国最出名的实业家之一。在钢铁学会的贝西默室，他的肖像就挂在亨利·贝西默的对面。在这古老的学会

屋檐下，发明者和制造者平起平坐，但在外面，我们只记住了卡内基，他使用贝西默炼钢法，成了世界上最富有的人。

## 安德鲁·卡内基的钢铁王国

卡内基的第一桶金并不是靠铁，而是靠石油获得的。1859年，埃德温·L·德拉克（Edwin L. Drake）在距离卡内基工作地点不远的泰特斯维尔（Titusville）发现了石油，当时卡内基是匹兹堡铁路线上的电报员兼任主管托马斯·A·斯科特的副手。此地石油的发现引得一大群勘探者蜂拥而至。在第一批勘探者中，有一位已经在炼铁业和煤矿业小有成就的商人，名叫威廉·科莱曼（William Coleman）。1861年，卡内基已经成为匹兹堡铁路的一名主管，科莱曼邀请他在自己的石油公司投资。卡内基收获了数倍于最初投资的利润，极富创业精神的他投资了自己的公司。

卡内基决定好好利用自己与斯科特以及宾夕法尼亚铁

路新董事长埃德加·汤姆森（Edgar Thomson）的关系。南北战争中，许多木质铁路桥梁年久失修，如今正在腐烂，需要用钢铁桥梁代替。卡内基正适合承担这项工程。于是，卡内基与仍在铁路供职的汤姆森和斯科特一起创建了建造钢铁桥梁的新公司。当时的美国腐败泛滥，商界也流行着任人唯亲的风气。在这样的大环境下，卡内基发达了；通过朋友和商业伙伴，例如汤姆森和斯科特，为公司签订了许多利润丰厚的合同。

亨利·贝西默同安德鲁·卡内基于 1872 年第一次会面。当时正在欧洲度假的卡内基拜访了贝西默位于设菲尔德的新钢厂。与贝西默不同的是，卡内基不是工程师；他的才能体现在最大限度地利用已有的发明。于是贝西默成了卡内基的科技智囊，而卡内基变成了贝西默的经销商。炼钢厂的成功以及产出的高质钢材都向卡内基证明了贝西默炼钢法的潜力。他决定将最近的一笔债券收益投进这里。

宾夕法尼亚对钢材有着巨大的需求。南北战争期间，北方军的运输主要依靠铁路，汤姆森已经对这些铁路的质量大为失望，由于它们都由生铁制造，脆弱的铁轨经常会断裂。钢材是更为适合的材料，只是当时价格太贵了。

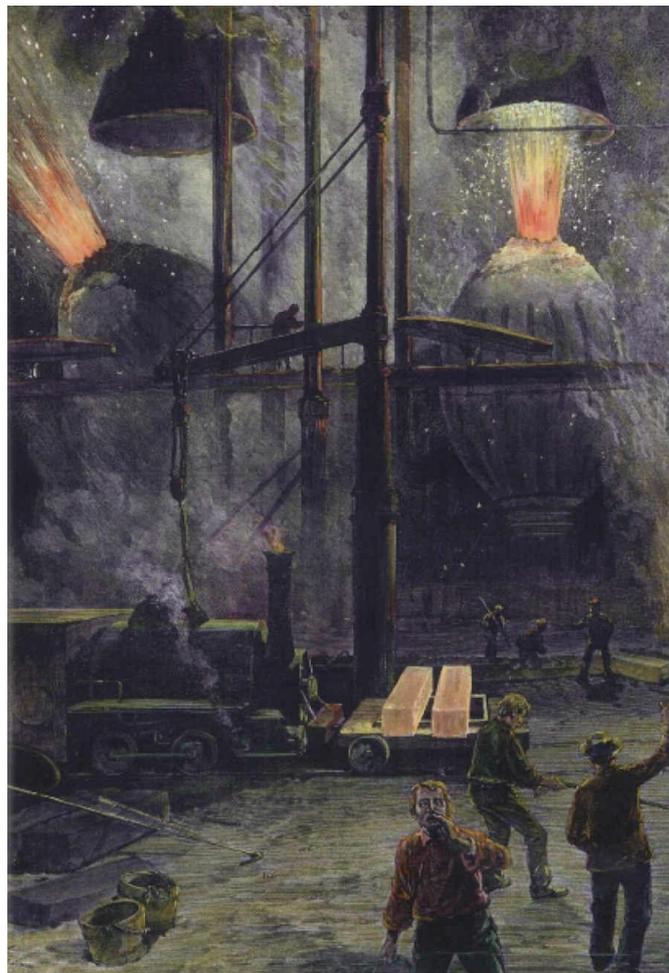
卡内基回到了匹兹堡，与他的老朋友威廉·科莱曼一起

着手建设了一座最先进的炼钢厂，为铁路建设提供钢材。尽管在 1872 年的时候美国已经有八个酸性钢制造厂，匹兹堡却一个都没有。汤姆森炼钢厂成立了；从此以后，卡内基钢铁王国的发展一发不可收拾。

当对钢材的需求减少时，卡内基没有减少产出，相反，他提高了炼钢厂的产出量。不管利润是多少，卡内基都会签订合同，他是在用规模经济压制竞争。他的钢厂一直是规模最大、自动化程度最高而且成本最低的。一旦获得利润，他会马上再投资扩大规模、更新设备。他通过购进竞争对手的工厂来扩大规模，还购买焦炭、铁矿石工厂来使自己的钢铁王国实现一体化。卡内基的成功源于我们今天已经熟知的经营技巧，但成功是以损害工人的利益为代价的。为了追求利润，卡内基采取降低工资、延长工时的手段。这些行为最终导致了霍姆斯泰德钢铁厂（Homestead Steel Works）的工人罢工。

1882 年 7 月，卡内基和霍姆斯泰德钢铁厂工人的劳动合同到期。当时，霍姆斯泰德技术工人的工资要高于平均水平，卡内基看到了缩减人工成本的机会。同时，他也想减小厂内工人联合协会的影响力。此时的工会由熟练的金属工人组成，他们讨价还价的能力十分强大。卡内基觉得工会限制了工厂的发展和利润，因此，被卡内基指定负责管理霍姆斯泰德厂

的亨利·克莱·弗里克（Henry Clay Frick）削减了工人的工资。工会不同意；钢铁业发展势头正旺，他们也想分一杯羹。当现存合同过期，新合同还未签订时，弗里克把工人锁在了外面，竖起铁丝网，建起狙击塔，以防止工人暴动。他还招募了一支保安部队，但部队向工厂开进的道路上遇到了工人的罢工队伍。气氛紧张起来，很快，有人开枪了。许多工会成员被打死。最终，在秩序恢复以后，卡内基成功削减了工人工资，并解散了工会。但他的名誉也受到了影响。



1886年，卡内基钢铁厂的炼钢场景，采用了贝西默发明的炼钢法。

卡内基的生意越做越大，源源不断地生产出铁路建设所需要的铁轨。因为越来越多的美国人要从东部到西部去，所以铁路是当时钢铁业的最大消费者。落后于欧洲多年的美国钢铁业迅速开始蓬勃发展。1890 年美国的钢产量比十年前多了三倍。到 1900 年时，产量又翻了近三倍，达到 1100 万吨。而仅卡内基名下的工厂钢产量就比整个大不列颠还多。在卡内基的领导下，钢时代取代了铁时代。

铁不仅给国家带来了财富和权力，也成就了这一领域的先驱者们。卡内基出身于苏格兰邓弗姆林（Dunfermline）一个贫苦的织工家庭，1848 年他身无分文地来到美国，到 1863 年他的创业生涯之初，他的收入已经达到大约 50000 美元（相当于今天的 100 万美元）。1901 年，卡内基以 4.8 亿美元（约合今天 130 亿美元）的价格将他的钢铁王国卖给了 J. P. 摩根（J. P. Morgan），这一数字在当时创下了交易额之最，之后公司被并入美国钢铁公司。卡内基成了世界上最富有的人。

## 财富的福音

1986 年，我应卡内基梅隆大学（Carnegie Mellon University）商学院院长伊丽莎白·贝利（Elizabeth Bailey）的邀请加入该院董事会。伊丽莎白是一位经济学家，也是我就任财务总监的俄亥俄标准石油公司（Standard Oil Company of Ohio）董事会的一名重要成员。

我记得我在看信的时候停下来想了一下。卡内基梅隆大学。我对安德鲁·梅隆有些印象：19 世纪的一个银行家，后来就任过美国财政部长一职。我对安德鲁·卡内基却了解甚多；他的名字随处可见：纽约的卡内基音乐厅，遍布美国和英国的卡内基图书馆，还有卡内基国际和平基金会。卡内基通过慈善事业，将自己的名字加入到许多知名院校的名称里，卡内基梅隆商学院是其中一所。

我们可能已经忘记了亨利·贝西默，虽然他的发明为卡内基的成功奠定了基础。但是卡内基通过捐献财产的方式让人们记住了他。这是他的远见卓识。1889 年他在文章中将这样的行为称为“财富的福音”。这立即在富有的资本家中间掀起了轩然大波。卡内基计划将所有财产赠送出去，他的同时

代的商业大亨们，如 J·D·洛克菲勒、杰伊·库尔德（Jay Gould）和 J·P·摩根，不得不纷纷效仿他的行为。

当时，美国的工业革命产生的巨大财富加剧了贫富分化现象。1916 年洛克菲勒成为世界上第一个亿万富翁，而同时，许多美国人还住在没有通电和没有自来水的贫民窟。卡内基相信，财富的悬殊差距需要立即得到改变，这样，穷人和富人才能和谐、团结，如兄弟般地相处。卡内基对于财富重新分配的号召在最近几年又成为热议话题。当今美国收入排在前千分之一的人掌握着全美国总收入的 8%。当代的亿万富翁，包括沃伦·巴菲特和比尔·盖茨，问为什么不向有钱人多收税，而卡内基则通过定向慈善的方式回馈社会。就像当年霍姆斯泰德钢厂的罢工一样，大众对商界和政界的富人充满了愤怒。

卡内基声称，有钱人的职责是用朴素低调的生活为他人树立榜样。他写道，所有多余的收入应该被看作是“他受托管理的信托基金……是为了给大众创造更多的福利”。个人的财富是由集体创造的，因此应该回归社会。这就是卡内基的矛盾所在。他渴望将所得的财富归还给社会，这种渴望“使他成为一个更无情的商人和资本家……他赚得越多，他能捐献的就越多”。削减工资和延长工时都是他的经营理念；他觉得自己肩负着的道德责任是提高利润，而非提高工人的福利。

他相信，他的“智慧和经验”优于别人，能够使他更好地（与工人相比）管理这笔财富”，但同时他也相信，他应该做的只是帮助他们自救。通过这种方式，他引导了留存至今的一股潮流；他做慈善是为了帮助人们实现自我提高，而不是每天发补贴。因此，他将大量资金投入教育领域，建立图书馆，为大学里的苏格兰学生免去学费等等。他还设立了一些科学研究机构、音乐厅、美术馆，甚至还在匹兹堡建立了一个自然历史博物馆。1900年，他成立了卡内基技术学校，后来这所学校和梅隆工业研究所合并，成为卡内基梅隆大学。

他的行动深深地影响了洛克菲勒。匹兹堡的卡内基图书馆成立时，洛克菲勒给卡内基写信说：“我希望有更多的富人能像你一样利用他们的财富；我确信，你的努力终将收获回报，总有一天富人们会乐意用自己的财富慷慨行善。”但是私底下，他说过卡内基慈善捐赠明显是虚伪的。洛克菲勒一个公益信托的经理曾给他写信说卡内基捐钱“是为了让他的名字刻遍全美国的石头”。相比之下，洛克菲勒的捐赠就谨慎得多，或许他这样做是为了在与标准石油公司对簿公堂的时候，免于被指责有刻意讨好的嫌疑。

1910年卡内基成立了卡内基国际和平基金会，如今这个组织仍然活跃在国际舞台上。在很长一段时间里，卡内基都以世界和平的倡导者形象出现，直言不讳地反对美国和英国

干涉别国内政。“一战”爆发前夕，他建立了教会和平联盟。通过宣传道德统一和领导，他希望联盟能够永远消除战争。铁，或者更确切地说是铁带来的利润，再一次被用在和平的倡导上。到 1919 年卡内基去世时，他已经将自己所拥有的 90% 的财富都捐赠出去。他安排纽约卡内基公司来分配剩余的部分。



1891 年，由钢铁公司提供资金建造的卡内基音乐厅，但建造过程中并没有使用钢铁。

除了霍姆斯泰德钢厂的罢工事件外，人们记忆中的卡内基是个慷慨的慈善家。即使是那场悲剧的制造者亨利·克莱·弗里克，后来也成了纽约第五大道一家收藏丰富的画廊的创始人。人们记住的是他们最后的成功，他们的慷慨解囊，

而不会记得他们是如何获得这一切的。当我们漫步在弗里克画廊里，欣赏着维梅尔、霍尔班和伦勃朗的大作时，我们想到的是美好和善意，而不是霍姆斯泰德那些牺牲了的无辜生命。

## 摩天大楼

20 世纪 70 年代中期我曾在纽约住过半年，当时我的一个朋友，也是一位专业大提琴家，邀请我到卡内基音乐厅听一场音乐会。卡内基音乐厅与弗里克画廊都坐落在曼哈顿，中间隔着中央公园。当晚，法国大提琴家保罗·托尔特立耶（Paul Tortelier）在温暖又色彩缤纷的音乐大厅里演奏了柴可夫斯基的《洛可可变奏曲》。1891 年音乐厅刚开放时，这里曾举行过一场由柴可夫斯基指挥的音乐会。杰出的音乐家们在音乐厅内演出，这里迅速成为纽约市的一个标志性建筑。音乐厅外部建筑同样精彩，它被设计成风格鲜明的意大

利文艺复兴式样，由陶土和点缀着铁屑的砖石建成。卡内基音乐厅的设计者威廉·伯内特·塔特希尔（William Burnett Tuthill）也是一位业余大提琴手。他决定摒弃钢支撑梁，采用几英尺厚的混凝土墙和砌筑墙。石头的承重显然不如钢材。正是墙的厚度加上椭圆形的内部结构赋予它美妙的声响特性（并且将 57 街和第七大道的隆隆车声隔绝在厅外）。1891 年，卡内基四周已经遍布更高的建筑：摩天大楼。只有六层楼高的卡内基音乐厅和周围的《纽约时报》、《纽约论坛报》总部大楼比起来显得矮小了许多。具有讽刺意味的是，这些总部大楼正是用卡内基生产的大量低价的钢材建造的。

早在古希腊时期，为了提高稳固性，人们就将铁用在了建筑上，但从来没有哪个承重结构是完全由铁制成的。19 世纪 20 年代，铸铁制成的柱和梁被用在芝加哥和纽约的建筑物中。建筑师和工程师惊叹于它的抗压强度和耐久度，很快，所有的建筑物外面都选择由铸铁制成。铁另一个优于木材的特点是它不会燃烧，不过它会熔化。1871 年，在芝加哥大火的极度烘烤下，建筑物外面变软、坍塌，铁纷纷脱落。不久，卡内基的钢厂出产的更结实、更安全的钢代替了铁，于是钢建摩天大楼拔地而起。

虽然城市越来越拥挤，越来越需要开拓新空间，建筑师和公众仍很担心钢架能否支撑起这些庞然大物。纽约正经历

着社会和经济的巨变。每天都有从欧洲来的移民，他们坐着船漂洋过海，经过钢架结构的自由女神像脚下。信托公司和企业的迅速发展需要人们在美国的金融和商业中心开发新的办公场所。地价上涨的速度很快，唯一的发展方向就是向上。传统的石材此时已经不合适了。建筑物越高，自身的重量就越大，因此地基也就必须越厚。如今《纽约论坛报》的九层总部大楼已经被拆毁，从当初的平面图上可以看出，这座砖石建筑的基础墙有两米厚，极大地浪费了宝贵的楼面面积。修建六层以上的建筑时，建筑师们就不得不依靠钢材了。从1870年到1913年，纽约从一个只有六层建筑的城市成为一个拥有50层摩天大楼的大都会。

1971年3月17日，我在圣帕特里克节这天到达纽约。一开始我很讨厌它。陌生的城市，简陋的旅馆，粗鲁的人们。但等我在格林尼治村安顿下来以后，我开始喜欢上这座城市。纽约生活节奏很快，到处是有意思的人，不管是过去还是现在，它都是世界上最令人兴奋的城市之一。像世界上其他大都会如威尼斯、东京和伦敦一样，纽约有着独特而典型的都市环境。我还清晰地记得那些精彩的建筑给我留下的深刻印象。优雅的褐沙石住宅与富丽堂皇的哥特式和装饰派风格的摩天大楼林立交错。走在大街上，仿佛整个城市围绕在你的四周，那种高度简直让人头晕目眩。这与我在欧洲见过的景

观截然不同。

在纽约的那些周末，我会骑着车在城市中游荡。离开位于华盛顿广场的公寓，我一路向南，穿过苏豪区，当时那里还是一片荒地，如今已经成为最大也是最重要的 19 世纪铸铁建筑聚集区。然后我调转方向，向北到达休斯敦大街，在一片肮脏破败的办公楼里耸立着一幢大厦。这就是熨斗大厦，对我来说，它象征着纽约市的发展，经过了过去的 100 年，到 20 世纪 70 年代中期，纽约已经发展成了一个繁荣的大都市。熨斗大厦楼如其名，它高达 87 米，横剖面呈一个三角形，所以整个大楼的外形像一个电熨斗。这座 22 层高的大楼在现代纽约的钢筋水泥森林中显得十分矮小，但 1902 年刚完工时，熨斗大厦可是一项了不起的工程。

大厦由乔治·A·富勒公司（George A. Fuller Company）建造。乔治·富勒是一名建筑师，也是美国摩天大楼建造领域的先驱人物。1900 年，那时离熨斗大厦的建造还有很长一段时间，富勒就去世了，公司由他的女婿哈里·布莱克（Harry Black）接管。那时布莱克看中这块位于百老汇与第五大道交叉路口的三角形地段已经有些时候了。在这里修建公司的新总部非常合适，正好可以为迅速发展中的公司打个广告。富勒去世之后 6 个月，布莱克全面接管公司，买下了这块地。向空中发展的最主要动力是利润。1971 年 7 月《生活》杂志

的一篇评论文章指出：“在这里，纽约的地价决定了大楼的高度。”地价非常高。只有十层以上的高楼带来的利润才能与投资者的购地投入持平。这一小块仅有 9000 平方英尺的三角形土地花掉了哈里·布莱克 200 万美元（约合今天 5500 万美元）。

因此，就在摩天大楼开始占领城市的空中轮廓线时，美学和经济学一直处于对立的位置。许多人担心这些毫无想象力却又高高耸立的庞然大物会让城市景观黯然失色。熨斗大厦的设计初衷是要尽量利用这块形状奇怪的三角形土地，但哈里·布莱克还是经常与建筑师丹尼尔·伯纳姆（Daniel Burnham）就线条柔和、带有曲线的大楼边沿争论不休。布莱克问，为什么要浪费宝贵的 93 平方英尺的楼面面积呢？很快熨斗大厦就在这块楔形地段上建成了。数千吨的钢柱、托梁、支杆和铆钉用卡车运送过来，再像小孩子的盖楼游戏一样被一一组装。最终，建筑工人站在脚手架上，一层层地为大楼外表贴上陶瓷砖。1902 年 6 月，大楼完工了。

熨斗大厦与纽约其他摩天大楼都不一样。许多建筑评论家认为它是工程上的壮举，也是艺术上的败笔。但这座建筑物却被公众和艺术家们欣然接受。1902 年《纽约论坛报》报道称熨斗大厦吸引“有时多达每次 100 多人的游客群体”，作为绘画和摄影对象的次数比城里任何其他建筑物都要多。它

具有象征主义的现代特征，它的形状好像随着你的位置变化而变化。在 1902 年冬天的一个早晨，摄影师阿尔弗雷德·施蒂格利茨（Alfred Stiglitz）抬头仰望熨斗大厦，并按下了快门，留下了一张脍炙人口的作品。“麦迪逊广场的树上覆盖着白雪，熨斗大厦从没像今天这样触动我。”他写道：“它就像一艘庞大的远洋轮船向我驶来，仿佛是酝酿中的新美国……熨斗大厦就是美国的帕特农神庙。”



当代杰出的工程建筑：熨斗大厦。摄影师施蒂格利茨代表性的照片。拍摄于 1902 年 3 月。

独特的外形和特殊的位置很快使熨斗大厦成为纽约市的新地标，但它远不是纽约最高的建筑。一方面，它的高度受到其南面 23 街的强风的限制。建筑师们担心，如果建得过高，建筑物可能会被风吹倒。当地人还打赌，如果它真的倒了，碎片能飞多远。其实这是不太可能发生的，因为熨斗大楼的设计保证了它可以抵御高于可能遭遇的最大风力四倍的强风。在某种程度上，这还得归功于大楼的奇特形状。三角形是最坚固的几何结构，因为它的结构稳定——当任意一个点受到压力时，另外两点会产生更大的阻力。在第一个租客搬进去后不久，一场风速达每小时 100 公里的风暴横扫了这座城市，但熨斗大厦里却风平浪静。一个租客说，连台灯里的灯丝都一动不动。事实上，是熨斗大厦掌控了风向。大楼的形状将狂风变成了逆风，这股逆风会不时掀起路过这里的女性的短裙。一些男人在附近游荡，期望能瞥一眼她们的脚踝。因为熨斗大厦在 23 街，所以警察们时常喊着“离开 23 街”的口号驱赶这些钻空子的人。一个本地的裁缝甚至发明了一种“防风裙”。除了帽子被吹飞、雨伞被掀翻这样的小麻烦，逆风还制造了一些严重的祸患。在周围的街道上，商店门被吹开，门上的大块玻璃被风吹掉摔得粉碎。1903 年 2 月的一个下午，一个 14 岁的送信男孩儿从这里经过，正想绕过

熨斗大厦去百老汇，突然一阵风将他吹到第五大道正中间，一辆摩托车疾驰而过，将他轧死。

随着熨斗大厦周围建起越来越多的摩天大楼，这座三角形的建筑逐渐失去了控制风向的作用，阵阵的强风也从此销声匿迹。20 世纪 70 年代，沿着百老汇骑车游览，熨斗大厦看上去已经不如附近的大都会人寿保险大楼那么显眼。但仍有人慕名而来参观这座大楼，因为它是这座城市飞速发展时期的一个见证。

摩天大厦的建造是为了让城市中心能容纳更多的人；向空中发展也只是对土地更有效的利用。铁的坚固和丰富为人类提供了后盾，使我们可以聚集在遍布世界的一些小小据点里。这些“蜂房”孕育了革新，促进了人类的进步，也带领人类从简单的农村社区走入繁荣的都市社会。

摩天大厦更是经济和政治权力的象征。纽约先锋建筑的部分首批住户便是一些信托公司的总裁，如标准石油公司和美国钢铁公司（由卡内基钢铁公司和其他一些大生产商合并而成）。这些公司是工业革命的成果，名声对于洛克菲勒、卡内基和其他大亨来说至关重要，因此这些建筑无一例外地既高大又漂亮。

世界贸易中心的双子塔建成于 1971 年，曾是世界上最

高的建筑。在之后的 30 年里，它们一直代表着美国显赫的经济地位，而这也是为什么它们被选作 2001 年“9·11 事件”恐怖主义分子袭击的目标建筑。双子塔倒塌的同时，20 万吨钢材也随之报废。袭击发生当天，纽约市市长鲁迪·朱利亚尼（Rudy Giuliani）宣称：“我们将会重建。我们将在劫难后变得更强大，不管是政治上，还是经济上。我们会把纽约的空中轮廓线补充完整。”世贸遗址“零地带”正在经历重建，未来它将成为全球经济活动的中心；完工后的世界贸易中心将是美国最高的摩天大楼。

## 沧州的铁狮子

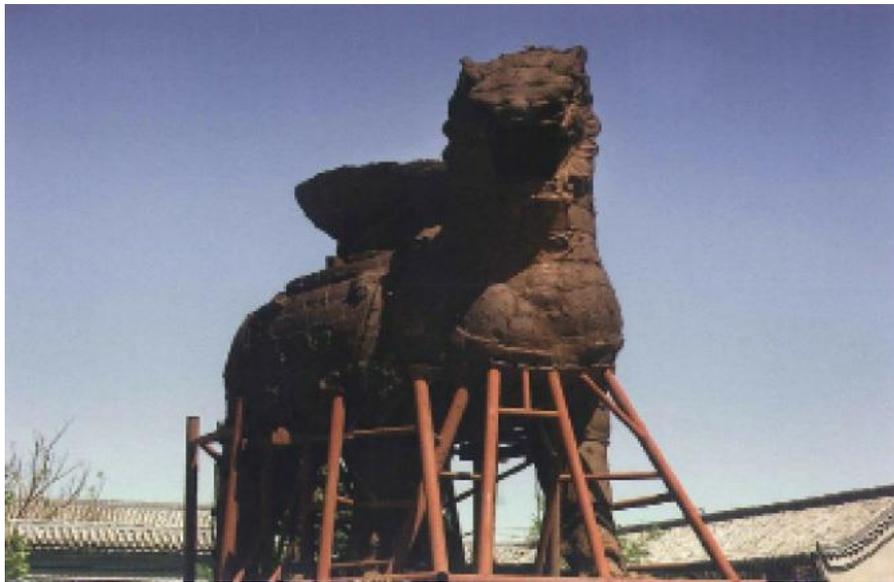
2012 年年初，地球上的城市人口数量有史以来第一次超过农村人口数量。这一重大转变体现最明显的地区莫过于亚洲。位于马来西亚首都吉隆坡的石油双塔是人类有史以来最高的双塔，而迪拜的哈里发塔高达 830 米，是世界上最高的

摩天大楼。铁和钢铸造了这些建筑；而如今世界上最大的铁矿石消费国是中国。

20 世纪 80 年代和 90 年代，我每一次到中国就会发现新大楼的数量正以惊人的速度增加，这些大楼往往是完全以实用为目的的住宅和办公大楼。在飞速的经济发展中，实用性战胜了美感；人们没有时间考虑如何以可持续的方式建设优美的城市环境。如今，很多这种早期建筑都被拆掉了，换成了高耸入云的摩天大楼。中国的城市正以前所未有的速度向空中和四周扩张。外形简洁、线条优雅和上海世界金融中心和外形奇特、被人们戏称为“大裤衩儿”的北京央视总部，就是 21 世纪的熨斗大厦。

它们并不是中国建造的第一批钢铁巨人。在北京往南 240 公里一个叫沧州的小城里，矗立着一个铁狮子。它有 5 米高，重大约 50 吨。铁狮子来自一座寺庙，背上原来还有一座端坐在莲花宝座上的文殊菩萨铜像。如今，它已经破旧不堪，并遭到了一定损毁。狮子的尾巴在 17 世纪左右的时候丢失，1803 年，一场大风吹翻了塑像，打坏了狮子的尾部。铁狮子或许曾经辉煌过，如今这座铸铁制成的巨大塑像留存世间，只为见证有千余年历史的中国古代冶铁业的辉煌成就。公元 953 年铁狮子铸成时，中国的冶铁业水平远远超过世界其他地区。在公元 800 年到 1078 年之间，中国的铁产量增

长了 6 倍，总量达 115000 吨，几乎与 1700 年整个欧洲的铁产量相当。中国冶铁业的发展只是唐宋两个朝代、政治和经济大变革的一个方面而已。专攻中国科技史的历史学家李约瑟（Joseph Needham）这样写道：“公元 1000 年时的中国比公元 750 年时先进得多，但在之后 900 年里的变化反而比不上这 250 年。”



上千年的历史被杆支撑着：中国沧州 5.8 米高的铁狮子。

由于有着惊人的铁产量，中国得以铸造大量的工具和武器，更是在 2000 年伊始，成为世界上铁产量占主导地位的大国。直到 1700 年，中国的冶铁业规模和效率还在世界居首位，但是在 19 和 20 世纪的时候却一蹶不振。在此期间，诗人季瑞麒曾作诗哀叹这一变化：

忆昔繁华盛，嗟今万事更。

铁狮犹自立，宫殿化榛荆。

当时欧洲和美国正在经历工业革命，生产力大幅提高，经济增长迅速；在科学进步的引导下，一系列创新的低成本炼钢、炼铁技术相继诞生。中国已经失去了竞争力。20世纪50年代，毛泽东决心通过“大跃进”扭转中国钢铁业的落后局面。他希望中国的钢产量能够超过英国，但当人们把收集来的铁锅铁盆熔化后，生产出来的只是没用的生铁。

此时的英属印度经济也停滞不前。贾姆希德吉·塔塔（Jamsetji Tata）是一位成功的棉花和纺织行业的企业家，他想要扭转这样的局面。他决定用自己已经拥有的财富来实现他的追求：印度的发展。

## 塔塔家族

贾姆希德吉相信，印度的工业繁荣需要四个要素。第一，通过技术教育和研究，减轻印度对外国技术的依赖。第二，印度大量的水资源可以用水力来发电，降低发电成本。第三，他计划建造一座大酒店，吸引有钱的国际精英来印度。最后也是最重要的一点，贾姆希德吉想生产钢材，用“重工业之母”建设铁路和城市。

印度想要生产出英国标准的钢材，这一想法遭到了嘲笑。印度铁路局局长弗雷德里克·厄普科特爵士（Sir Frederick Upcott）提出要“吃下他们成功生产的每一磅铁轨”。然而，在这种自大的背后，隐藏的是对竞争的恐惧感，正是这种恐惧才令英国政府多年来限制印度的工业发展。直到 19 世纪 90 年代，英国发现自己的钢铁水平已经落后于德国和美国，这才开始支持印度冶铁业的发展。

1900 年，贾姆希德吉会见了印度国务卿汉密尔顿勋爵（Lord Hamilton），终于，他赢得了政府的支持。60 岁的贾姆希德吉手中握有大笔财富，他决定放弃个人利益，为祖国的发展大展拳脚。汉密尔顿向他保证政府会全力支持。贾姆希德吉立即启程前往美国，向美国一流的炼钢专家及卡内基集团内知名的埃德加·汤姆逊钢铁厂经理朱利安·肯尼迪

（Julian Kennedy）寻求建议。早在 20 年前，他就开始寻找合适的铁矿石，如今他又雇用了一位地质学家，继续完成这项任务。

1904 年，贾姆希德吉·塔塔去世。在他的关于印度的四项计划中，只有泰姬陵酒店完成了，如今，酒店的十根铁柱还支撑着舞厅的天花板。他的儿子道拉布吉（Sir Dorabji）和拉坦吉继承了他的遗志。三年后，道拉布吉为塔塔钢厂找到了完美的厂址，就在萨克奇小村附近，这里有着丰富的铁矿石，还有水和沙子。为了纪念贾姆希德吉，萨克奇后来被重新命名为贾姆谢普尔（Jamshedpur）。1912 年，塔塔钢厂生产出第一块钢，标志着印度新型钢铁业的诞生。“一战”期间，塔塔钢厂出口了长达 2500 千米的钢制铁轨，道拉布吉对此评论说，如果弗雷德里克·厄普科特爵士真要履行他的诺言“吃下他们成功生产的每一磅铁轨”，他一定会“轻微消化不良”的。

如果没有他们的民族主义眼光，塔塔家族的第一批钢厂就不会建立起来。为了给萨克奇的钢厂寻求资金，塔塔家族号召印度同胞为他们的项目投资，帮助促进印度的工业化进程。一位观察家回忆说：“从早到晚，孟买的塔塔办公室里挤满了当地热情的投资者。年轻人，老年人，富人，穷人，男人，女人，都想尽一份微薄之力；仅 3 个礼拜后，工程需要

的整笔资金就已经筹齐，所有的钱都来自这 8000 多个本土印度投资人。”

在所有塔塔家族的工业企业里，工人的福利是第一位的。贾姆希德吉在他早期的棉花和纺织工厂里引进了加湿器、喷洒灭火器、垃圾处理和水过滤系统。在养老基金、事故赔偿和平等权利方面，他也走在了时代的前列。与卡内基不同的是，塔塔家族没有不顾一切地追求利润；他们始终相信，一个支持国家发展的企业必须同时也关心国民的健康和福利。直到 100 年后，西方企业才定义了企业的社会责任、开明的自利和三重底线，而贾姆希德吉早已做到了。塔塔家族明白必须把对社会的关心融入企业经营的方方面面。塔塔家族的第一家钢厂为建造职工宿舍花费颇多，股东对此抱怨不断，但道拉布吉告诉他们说：“我们要在贾姆谢普尔建造的不是一排工人小屋，我们建造的是一座城市。” 1895 年，道拉布吉写道：“我们并不自诩比别人更无私、更大方或者更具慈善精神。但我们开创了一种合理、简单的经营原则，将股东的利益当成我们的利益，把雇员的健康和福利当成我们成功的基础。”

在关于企业和社会关系的言论中，没有比这更意味深长的了。即使在今天，许多企业的理念也不及塔塔。许多企业仍然将美国经济学家米尔顿·弗里德曼（Milton Friedman）

的说法奉为真言，即“企业唯一的任务就是做好生意”，他们相信他们可以忽略外面的世界。但其实他们是在拿自己的声誉、经营执照和顾客冒险。如今，企业面临的审查之严格是前所未有的，而政府也号召企业在经营活动以外承担更多的责任，我们正好可以借鉴塔塔的例子，观察它是如何取得成功的，因为它不仅是家族的成功，也是印度的成功。

在《惯于争鸣的印度人》(The Argumentative Indian )一书中，诺贝尔奖得主、经济学家阿马蒂亚·森(Amartya Sen)谈到了身份认同感和社会性动机在经济行为中起到的作用。

“我们有大量选择要做，在这些选择中，一个人的视野和身份起了很大作用。”塔塔家族从民族主义的角度看待印度的工业发展，这样的视野导致他们在经商方式上与美国强盗大亨们大不相同。

与卡内基类似的是，贾姆希德吉·塔塔也为祖国的需要献出了许多财富。拉坦吉和道拉布吉继承了父亲的大笔财产，他们建立慈善组织，着重于教育、健康和全国性的公益机构。今天他们仍然手持大笔塔塔股权。贾姆希德吉·塔塔被印度人铭记，就像美国人也记得卡内基。他们的区别在于获取财富的方式。卡内基不顾一切积累财富，对工人的境况毫不关心，这样他才能更多地回馈社会。而对塔塔家族而言，他们将个人财富和国家财富视为一体。卡内基和塔塔都利用钢铁

发展了本国的工业实力，为各自的企业奠定了长久的基础，并最终回馈社会。

他们的经营方法在当时当地确实取得了成功，但是拿到今天却未必奏效。在美国工业革命那段无法无天的日子里，关系和腐败是企业成功和发展的唯一方法。这样的行为在今天早就会在公众间引起轩然大波；这样的企业是没有立足之地的。即使塔塔家族的先进开明方式在如今的商业环境中也不完全适用。比如道拉布吉想要建造一座“城市”，而不是“一排工人小屋”，就与今天股东利益最大化的基本商业原则相悖。道拉布吉的股东是印度人民，而今天的股东大多是私人。在如今的商业环境中，社会投资是维持商业可持续性的关键环节，但这还不够。人们通过对元素的平等利用来积累财富，但面对越来越多的社会不平等，慈善仍是财富重新分配的重要机制。卡内基和塔塔就是我们今天应该学习的例子。

---

[1] 太阳风是指太阳表面放射的离子组成的离子流。——编者注



## 02 碳

碳是生命的元素，是 DNA 的骨干力量，使我们的身体得以构成、修改和补充，并与其他元素结合创造出复杂的世界。以矿物燃料形式存在的煤、石油和天然气，带领全球走上经济增长道路的同时，也引发了人类无尽的贪欲和对环境巨大的破坏。

每年 7 月的第三个星期六，我都会在威尼斯参加救世主节（Festa del Redentore），观看节日的焰火点亮救世主教堂的上空。我和朋友一起坐着贡多拉驶向圣马可盆地，徜徉在装饰一新的小船中间，这些小船把河道挤得满满登登，只留一条小道供贡多拉前进。直到今天，贡多拉在威尼斯城仍有着其他交通工具不可比拟的优越性和至高无上的地位。我们在靠近多伽纳（Dogana）海关大楼的地方靠岸，欣赏城市

灯火倒映在四周潟湖水面上的壮丽景色。



从刚朵拉上观看极为壮观的烟花（碳燃烧）。拍摄于威尼斯的救世主节。

1576 到 1577 年间，一场瘟疫横扫威尼斯，夺去了 51000 个威尼斯人的生命，其中包括文艺复兴时期的大画家提香，救世主节庆祝的正是这场瘟疫的结束。在瘟疫消退后，作为对耶稣基督的感谢，人们在朱代卡岛（Giudecca）修建了圣救世主教堂。在朱代卡岛与主岛之间有一条由平底船搭成的浮桥，庆祝开始时由威尼斯总督引领游行队伍经此浮桥走向教堂。这一传统一直保留至今，当然，队伍中已经没有总督了。

威尼斯本是一块不毛之地，沼泽遍地、疟疾丛生。而到了 13 世纪，这里已经成为繁华的城市，是西方世界最重要的商业中心。威尼斯在绘画、雕塑、建筑和音乐等方面的成就是其他城市望尘莫及的。救世主节庆祝的正是这座城市在逆境中坚韧不拔的精神。我们欣赏着焰火蹿到空中，绽放出各种欢快的颜色。各种元素的原子展现出它们各自的色彩：蓝色的铜，红色的锶，还有黄色的钠。但在这些光芒中，最重要的元素是碳。因为没有碳，焰火就无法到达半空。

碳元素为火药供应能量。在焰火的发源地古代中国，蜂蜜是碳的来源。蜂蜜越干燥，含碳量就越高。据记载，爆炸混合物曾烧伤人的手和脸，甚至炸毁房屋。后来，用碳化的木柴制成的木炭成了火药的传统原料成分。如今，和几百年前第一次救世主节上的焰火一样，碳仍是点燃一年一度节日焰火的原料成分。

威尼斯城大部分的建造都离不开碳元素。城里广泛应用的石头是石灰岩，其成分是碳酸钙，来自威尼斯共和国领土范围内的伊斯特拉半岛 (Istria)。威尼斯许多久负盛名的宫殿，它们的柱子、拱门和正面都是由这些里亚斯特岛石头建造的。由于它们易于雕刻且不易风化，这些含碳的矿物质几乎主宰了整个威尼斯城。碳元素还是纸和墨水的组成元素，威尼斯里程碑式的艺术和智力成果正是建立在它们的基础

上；不仅如此，碳元素还帮助威尼斯人建造木船、发动战争，使强大的威尼斯共和国能够扩张领土。

碳原子非同寻常的能力使它们结成长长的碳链和碳环，因此碳是最多才多艺的元素之一。碳元素构建出许多结构，之后其他元素在这些结构的基础上创造出复杂的世界。碳不仅是威尼斯共和国的基础，也是所有人类文明和人类本身的基础。碳是 DNA 的骨干力量，这些遗传密码使我们的身体得以构成、修改和补充。碳是生命的元素。

但孤立状态的碳元素几乎是无用的。如果燃料中只有碳，火药不会爆炸，因为碳只有在极高温下才会被点燃。因此为了能让焰火“砰”的一声飞到空中，我们需要使用氧化剂来加速碳的燃烧。是碳和氧的复杂结合在完成每年一度的救世主节焰火燃放任务。对于碳原子来说，环境至关重要。

纯碳的用处很少。纯碳出现在制作铅笔芯的石墨里，钻石中也有它的身影。纯碳还被用来制作珠宝和钻头。石墨烯是只有一个碳原子厚度的二维晶体，不久它就会使许多高科技领域发生彻底变革。但总体来看，碳元素改变世界，还需要其他元素的通力合作。

一场瘟疫的爆发敲响了 16 世纪威尼斯共和国衰败的丧钟。1797 年 5 月，随着拿破仑·波拿巴的军队包围了潟湖入

口，共和国结束了它的生涯。威尼斯大议会别无选择，只好投降。总督带着富有禅意的平静，摘下他的公爵冠冕，并将他的亚麻便帽交给他的随从，只简单地说了一句：“拿去吧，我不再需要它了。”

共和国陷落后，威尼斯城骤然转向，摇身一变成了旅游胜地，吸引着越来越多的旅游者。如今，整个夏天，城里有名的人行道和广场上遍布各国游客，他们对威尼斯的文化遗产大为惊叹。除了经济的现代化，威尼斯在其他方面与1797年陷落时并没有很大的不同。由于城里很少出现四个轮子的交通工具，让人觉得现代化的进程似乎单单遗漏了这座城市。不过，如果没有马可波罗机场频繁起降的飞机和穿梭于自由桥上的汽车和公交车，威尼斯经济会一蹶不振。正如圣救世主教堂上空的焰火一样，碳元素正在以碳氢化合物的形式支撑着威尼斯经济。

在碳的所有组合中，碳氢化合物改变世界的功能最为强大。碳氢化合物由含有氢元素和碳元素的分子构成。大体上来讲，当它们与空气中的氧气混合，再遇到火花，就会释放热量。如果有足够的氧气，这种放热反应还会释放出二氧化碳和水蒸气。碳以矿物燃料的形式——煤、石油和天然气——赋予我们简便而大量的改造世界的能量。没有这些燃料，就没有工业革命以来几百年内生活条件的迅速改善和世界

人口的大量增长。这些是碳元素故事的重点。

我想从煤谈起。煤在工业革命期间曾被大量使用，并带领全社会走上全球经济增长的道路。然后是石油，19 世纪末石油从油井中被泵出，作为干净又便宜的照明燃料，延长了人们工作和娱乐的时间。然而，石油是与汽车一起才真正改变了世界。汽车给了人们自由，让我们可以随时随地出发。不仅如此，石油驱动着全球的卡车、轮船和飞机网络，这些交通工具载着我们的货物和旅客，保证了现代社会的正常运行。最后一个是挥发性最强的化石燃料——天然气，由于天然气很难使用，几千年来人类都把它当成废气。现在，天然气是电力生产的重要一员，而天然气的运输也早已实现。在碳元素故事的结尾，我会谈到一个重要问题：尽管煤、石油和天然气给人类带来巨大的利益，但大量地消耗这些能源会不会产生灾难性的后果呢？

20 世纪 50 年代，当时还是孩子的我住在伊朗的马斯吉德苏莱曼油田附近，那时我开始懂得碳氢化合物塑造世界的巨大威力。我的父亲供职于英伊石油公司（后来的英国石油公司），他经常带我去看那些油田里燃烧的废弃天然气。巨大的热量、噪音和含硫的烟雾让人难以忍受。10 岁时，我记得有人带我去 20 号萨菲德石油钻台，多年前那里曾发生过一场大火，油井爆炸，石油喷涌出来，将几百米长的管道冲到

空中。管道掉下来落在油井口，便再也没被移动过。离我家 50 英里远的阿瓦士 6 号油井曾发生过井喷，我还清晰记得那橘黄色的火光。石油的巨大能量使我感到惊叹。



爆裂的位置：纳夫特萨斐德的钻井平台 20。1951 年拍摄于伊朗。

我对石油的兴趣终生不渝，它引领我在 1966 年加入了英国石油公司。在公司里我负责处理石油开采的技术和政治问题。我走遍政治局面不稳定的俄罗斯和哥伦比亚，遇见了形形色色的人，有政治寡头，有毒枭，还有游击队队员。人们为了获得和掌控这种珍贵资源而彼此争斗，在争斗中，我看到石油是如何使这些政治头目贪婪和阴暗的一面显现出来的。石油改变了石油所有国，也改变了世界。

但碳元素的故事始于几千年前，当时的人类还不能以工业规模利用石油。1969年，我在阿拉斯加工作，在那里我目睹了一个自然现象，这一自然现象使我想要记述人类对碳氢化合物最早的应用。当时我在一个实地考察组里，正在布鲁克斯山脉进行测量，阿拉斯加输油管道就贯穿在这条山脉中。一次暴风雨期间，我看到闪电击中了一块沥青岩层，裸露的矿脉很快燃起了火。也许，就在几千年前，古代的人们看到了同一现象，从而领会到了煤的易燃性质。

## 煤

到目前为止，世界上最大的煤消费国是中国。在中国，煤的使用有着显著的连续性，最早可以追溯到公元前4000年中国东北的沈阳地区。被称为煤精或褐煤的低硬度、黑色石块散落在地上，早期人类将这些石块收集并雕刻成一些装饰物，如珠子和耳挡。煤精很容易雕刻和抛光，因此十分适合

用来制作饰物。由于它的光洁度高，今天，煤精仍被用于首饰制作。“乌黑发亮”这个词就是从这种石块中得来的。

煤是最重的碳氢化合物。煤中的氢碳的比例比石油和天然气都要小，因此煤较难燃烧，而一旦燃烧，它产生的二氧化碳比例要大于这些碳氢化合物。煤有不同的形式；含氢量越高，就越容易被点燃。中国古人很可能看到煤被闪电或炉火的火星点燃，之后意识到他们可以将煤作为光和热的来源。

到公元前 200 年左右的汉朝时，煤已经被大量应用于生产和生活。人类对煤的最初使用发生在中国，这一点儿都不稀奇。中国的每个省份都有煤矿床，而世界上最大的煤矿床就在中国北部，主要以山西为中心。

到了 11 世纪，当传统且最易获取的燃料木材被消耗殆尽时，煤的使用范围急剧扩大，大部分被用在中国的冶铁业。在这一历史时期，中国成了世界的发明中心，最显著的成果有火药、指南针、造纸术和印刷术，即四大发明。直到几百年后这些发明才传到西方。

中国人利用碳氢化合物的能量，将自己打造成了领先世界的强国。当时，中国似乎即将进入一次工业革命，但在发明热潮过后不久，煤的消耗量便下降了，中国的发展也随之落后于西方。这一变化导致了“大分流”，即指在过去的几百

年中，东西方权力和财富差距的逐渐增大。

造成这一切的原因是什么？仅仅是因为地理和地质的不同？还是文化上的差异，即中国人强调集体而忽略个人意志？就这一问题，李约瑟（Joseph Needham）在他的大作《中国科学技术史》（Science and Civilisation in China）一书中做了探讨。我认为这一问题至少和能源获得有关，并且在今天我们仍应引为前车之鉴。不管答案如何，李约瑟这样写道：“到1900年时，中国已成为旁观者，西方工业主宰了世界。”

同时，中国的主要对手之一，英国，正在大量的煤炭资源推动下进行世界上首次工业革命。

## 跳出“马尔萨斯陷阱”

1798年，托马斯·马尔萨斯（Thomas Malthus）观察并提出了这样一个理论，纵观人类历史和不同文化，人们的生活水平并未获得提高。人类一直挣扎在温饱线上。农业社会

确实曾发明出一些提高粮食产量的新科技，但只导致了人口的增长，之后人们又开始为基本的生计犯愁。经济资源的增长永远赶不上人口增长；人类被困在了“马尔萨斯”陷阱中。然后就在马尔萨斯写作之时，他身边的大不列颠已经发生了巨变。这些变化很快推翻了他的理论。

在 1750 年到 1850 年的 100 年里，英国的工业输出增长了 7 倍，人口增长还不到 3 倍。生活水平一升再升。为什么这一现象首先在英国出现，答案一言难尽。但正如中国相对于西方的落后是与停滞不前的煤炭工业有关，英国的工业崛起在实质上也依赖对大量煤炭资源的使用。1700 年到 1830 年间，英国煤炭产量增长了 10 倍多。蒸汽机代替了手工作业，因为相当于一个人重量的煤炭燃烧所产生的能量，需要一个人工作 100 天。

除了产生蒸汽外，煤还在钢铁的生产中大显身手。煤用来冶炼高炉中的铁矿石，并以焦炭的形式被用来熔化铁水，以去除铁中的杂质。以钢铁为材料、煤炭为燃料，工厂以惊人的速度遍布全国。英格兰北部小城曼彻斯特迅速成为英国工业革命的标志，城区范围延伸到乡村地区数英里远。浓烟从城市纱厂高耸的烟囱中滚滚而出，远远就能闻到。1835 年，法国历史学家及政治思想家阿历克西·德·托克维尔 (Alexis de Tocqueville) 拜访此地，这样总结这一情形的矛盾之处：

“这条脏水沟是人类工业最伟大的溪流，它浇灌了整个世界。这肮脏的下水道里流出的是金子。”在英格兰南部，经济正以前所未有的速度增长，伦敦一跃成为“世界商业和政治中心”。

英国成功转型，从一个举国务农的国家，变成一个全民手工业者和工厂工人的国家。人们纷纷从乡村涌进城市，到工厂做工。城市在快速发展，而对那些初来乍到的人们来说，生活条件非常艰苦。通常一大家子人挤在一个寒酸的小房间里，死亡率和疾病发病率都比乡村地区还要高。工人的处境深深触动了德国哲学家、社会科学家及企业家弗里德里希·恩格斯，他觉得，工人在工业革命中得到的少、失去的多。城市还在扩张，到 1851 年，城市地区人口超过了其他地区，而中国直到 2012 年才达到这一临界点。

英国的煤产出量比世界其他国家高出几倍，但高速发展的制造业和高速增长的人口仍为采矿业增添了巨大压力。到 18 世纪末，大多数位于浅层的煤层已经被开采完毕。为了提高产量，矿工们不得不向更深处挖掘。

由于急于满足需求并从中获利，成百上千人在煤矿开采中丧命。煤层中隐藏的有毒气体经常使矿工窒息而死，或在矿井中引发爆炸。有些童工还不过 8 岁，就坐在矿坑通风口值班，在寒冷、黑暗、潮湿的巷道中一坐就是几个小时，负

责定期打开风门让空气流入矿井。在一些特别低矮、成年人不能通过的矿井中，还要使用这些童工将煤拖出矿井。工作条件极为恶劣。

随着时间的推移，改善恶劣工作条件的法规开始出现。1842 年，政府出台法律，禁止妇女及 10 岁以下儿童下井作业，同时还有更多提高采煤安全性的法律法规也一并出台。科技的发展同样得到了重视：以燃煤为动力的蒸汽机可以将水从被淹的煤矿中抽走，并用机械手段将煤运送至地面，而 1815 年戴维发明的煤矿安全灯可以防止点燃矿井中的爆炸性气体。



烟雾缭绕——伦敦的标志。拍摄于 1958 年。

那些烧煤工厂的烟囱排放出的浓密黑烟很久以后才得

到完全的治理。煤是污染最严重的化石燃料，燃烧不充分，并且产生大量的油烟和有害污染物，二氧化碳不过是其中一种。20 世纪 50 年代我在剑桥居住时，童年的我对煤感触颇深。开窗的时候，风把恶臭的二氧化硫和氨水的气味从附近的城镇煤气厂吹进我们位于切斯特顿路的房子。50 年代，北海地区还没有发现大量的洁净天然气储备，家家户户仍要依靠用煤生产出的城市煤气来做饭和取暖。

在如今的工业国家，空气污染仍然是一个重要的环境和健康问题。这一点在中国更显而易见，因为中国是世界上最大的煤消费国。过去的 30 年里，为了应付经济的迅猛发展，一度停滞的煤炭业今天又在以前所未有的速度增长。大分流迅速接近尾声，但中国在追赶西方国家的道路上发现，历史正在重演。

## 中国的困境

1979 年邓小平为中国打开了国际贸易的大门，此后不久，我代表英国石油公司第一次拜访北京。1976 年秋天，毛泽东

逝世，臭名昭著的“四人帮”被打倒，邓小平上台并开启了一系列重要的经济体制改革，引领中国步入市场经济。在改革后的7年里，贫困人口数量减半，从2.5亿降到了1.25亿。从那以后，每次我到中国，都发现城市的生活水平似乎在提高。食品丰富，人民富足。北京的空中轮廓线更是一日三变，相同设计的摩天大楼接二连三地拔地而起；城市的发展节奏很快，向着实用甚至冷酷的方向迈进。利用碳氢化合物作为燃料，中国经济正在蓬勃发展，这个一度贫穷的国家开始逐步走向近几十年里炙手可热的世界经济强国位置。在这一转变中，煤扮演了主导角色：它负责生产中国80%的电力，并提供中国能源总需求量的70%。2010年，中国的耗煤量几乎等于其他所有国家的总和。然而，和英国的工业革命一样，大量煤的使用给健康和环境都带来了严重的后果。

2003年我在北京游览颐和园，我发现空气是黄色的，还散发出刺鼻的气味。当时我来北京会见英国石油公司的总裁加里·迪克斯（Gary Dirks）。北京有许多美丽的皇家园林，为了避开中央商务区的忙乱，我们来到颐和园，继续我们的讨论。我们一边从连接昆明湖与一座小岛的十七孔桥上走过，一边争论是否应该卖掉中国石油的股份（最终确实卖掉了）。走到一半时，湖岸两侧都已经隐没在烟雾里，厚厚的烟雾使能见度降低到只有几米的距离，这正好为我们的会谈创造了

隐私感。许多游客都戴着口罩，他们不时地突然出现在视野里，而后再很快消失。



人类造成的污染威胁着一个人工湖。2008 年拍摄于北京昆明湖。

冬春两季，特定的大气状况使城市污染更加严重，几乎令人无法忍受。城市排放的有毒气体实际是一种令人窒息的混合物，含有硫磺和氮的氧化物、油烟以及其他颗粒物。与其他物质相比，煤要为这种污染负更大责任。

走在昆明湖边，我的喉咙由于污染的空气而变得红肿疼痛。吸入这种污染的空气对健康有着严重危害：微小的油烟颗粒会在呼吸系统沉积，增加患肺病的危险。据估计，中国每年有超过 35 万人由于这一原因死去。

对于煤矿工人来说，健康风险比这还要高得多。黑肺病困扰着无数中国矿工。煤矿坍塌和爆炸事件司空见惯：2005年辽宁孙家湾煤矿的一次瓦斯爆炸中，死亡人数超过200人。据报道，2009年中国矿难死亡人数超过2500人。在过去的十年里，中国每挖出一吨煤的死亡人数平均比美国高出88倍。

煤矿开采对环境的破坏也十分严重。开采中释放的有毒物质如砷和水银会留到附近的河流中。由于硫氧化物排放产生的酸雨如今已经影响三分之一的土地，对庄稼和自然生态系统都造成了破坏。

或许最致命的污染物还要数无色无味的二氧化碳，因为它是人为气候改变的罪魁祸首。与其他化石燃料相比，要生产同样多的能量，煤产生的二氧化碳最多。中国的人均二氧化碳排放量不足美国的三分之一，但中国庞大又迅速增长的人口使它成为世界上二氧化碳排放总量最大的国家。

在过去30年里，煤推动中国以空前的速度发展经济、消除贫困。中国的持续发展将需要更多能源。按照规划，到2035年，中国能源消耗量将达到欧洲和美国的总和。为了迎合发展的需求，大量而又廉价的煤显然是首选。以目前的消耗速度计算，中国已发现的煤矿至少还可以开采70年。

这就是中国的困境：如何以可持续的方式保证经济的高

速发展和贫困的消除？这一问题的难度是空前的：中国人口占世界人口的五分之一，2010年，它的能源消耗量超过了美国。中国原环境保护部部长周生贤在2011年发出警告说：“在中国几千年的文明史中，人与自然的矛盾从未像今天这样严重。”

## 改变中的中国

近年来，污染在中国成了一个政治话题。国内频频发生对污染工业的抗议，中国也面临着来自国际环境法规的压力。2008年作为奥运会承办国的中国让世界看到，中国希望成为一个负责任的国际社会责任人。奥运会举行数月前，北京周边的许多工厂都被关闭，以改善北京的空气质量。

不过，中国这样做并不是为形势所迫，它知道，要实现社会和经济发展的可持续性，洁净的能源生产是不可或缺的。空气污染会影响食品生产和洁净水的供应。资源和自然环境的恶化已经成为发展的瓶颈，而气候变化带来的恶果只会更加严重。中国已经意识到采取行动治理污染是为自己的利益

而战。

行动正在进行中。采矿作业的条件正在得到改善，尽管危险仍然存在。工业烟囱正在逐步被清理。1995 年到 2004 年期间，以 GDP 为单位计算，空气污染物排放下降了大约 40%。在北京和上海，烧煤取暖做饭已经被禁止，全国范围内空气中颗粒物质的平均值正在下降。

在 2011 年公布的五年规划中，中国的目标由增长最大化变成了寻求经济发展与社会和谐及环境可持续性之间的平衡。时任国家总理的温家宝谈到经济转型的问题，表示要“实现绿色、低碳的可持续发展”。这是第一次，地方官员的表现不仅要看经济产值，还要看环境和社会效益。

同 300 年前的英国一样，煤为中国带来了巨变。在经历了 30 多年的不可持续的重污染发展之后，今天的中国终于能够驾驭碳元素使用带来的利与弊。

## 石油

亨利·福特很小就懂得碳燃料的力量。孩童时，他在学校的篱笆旁边建造了一架蒸汽涡轮机。爆炸的涡轮机点着了篱笆，炸裂了他的嘴唇。他在日记本里写道：“还有一片碎片击中了罗伯特·布莱克的肚子，他气坏了。”

儿时的福特是个拥有机械天赋的多面手，蒸汽涡轮机只是他众多童年发明中的一个。在他长大的农场里，他总能找到新点子，让单调的乡村生活不那么乏味。“要干的活儿太多了，”他后来回忆说，“虽然那时我还小，我已经觉得许多干活的方法需要改进。”

在他 12 岁那年，他发现了实现改进的方法。当时他和父亲正坐着马车在底特律旅行。福特看到前方有一辆燃煤的蒸汽引擎驱动的小车。这一情景让他印象深刻；47 年后他回忆起那台引擎，还“记忆犹新”。这辆车让福特看到煤是如何辅助人力、增强机动性的。直到 20 年后，福特才用石油作为引擎燃料，实现了它的潜力。

1893 年的圣诞前夜，他的妻子克拉拉正在准备第二天的晚餐，他把他的实验引擎搬到了厨房。因为他的发明只是个雏形，还没有点火系统，因此他想借用厨房的电源产生的电火花。他一边让克拉拉将石油缓慢地倒入引擎，一边转动飞

轮，使碳氢化合物和空气的混合物被吸入引擎气缸中。他擦着火花，火焰出现了，接着连杆摇动，引擎开始转动。这一实验的成功让他终生对汽油机及其在汽车中的应用有着浓厚的兴趣。

今天，我们对汽车赋予我们的自由习以为常；我们忘了，在以前走几英里的路要花费多少体力。19 世纪常见的画面是驮马艰难地行走在崎岖小路和临时道路上，“人们长年累月只能待在农场里，孤独得好像被困在蛛网里的昆虫”。19 世纪末汽车发明之际，铁路已经大大加强了美国各大城镇的联系。货物运输和旅客运送的速度比以往快了许多。然而人口占大多数的广大乡村地区，仍与美国工业巨变的中心处于隔绝状态。

汽车成了“征服距离”的新工具。比煤含有更多碳氢键的石油有着更高的能量密度，因此能产生驱动汽车所需的能量。最初的汽车是手工定制的，价格高得只能作为有钱人的玩具，但福特希望所有人，包括农民和技工都能开上车。因此，他开创了汽车的大规模生产，规模经济使得汽车享有更广阔的市场。1908 年出厂的 T 型轿车就是这一计划的杰作：这是一辆轻载重量、安全可靠的汽车，同时，它价格低廉，能够满足美国大众对汽车越来越高的消费期望。1920 年有 1500 万辆 T 型车出厂，几乎占到当时美国汽车总量的一半。

拥有了汽车，就拥有了新的就业机会、更好的教育和医疗条件。汽车塑造着城市的发展，高速公路和城市郊区随之出现。除了实用性以外，在新兴的消费社会里，汽车也很快成了社会地位的象征。作为自由和财富的符号，汽车成为美国梦不可或缺的一部分。



碳连接。墙上的画像是亨利·福特，他那一代人中的发明家，站在两侧的是我和他的曾孙比尔。

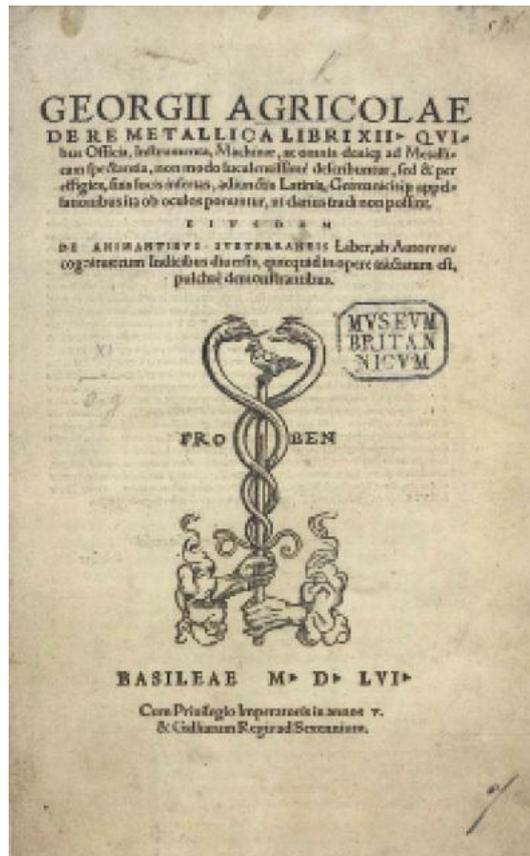
如今，美国梦已经走向全球。在中国的城市中，一度盛行的自行车大军已经被汽车代替，越来越多的车辆给交通造成了巨大压力。仅在北京，2011年实施交通管制前，每天新增加的轿车和卡车就有1000辆之多。

20世纪，全球车辆数量的增加造成了石油需求量的猛增。

然而，在汽车发明以前，石油有着两个非常简单的作用：照明和润滑。

## 岩石油

16 世纪，格奥尔格乌斯·阿格里科拉（Georgius Agricola）第一次在书中记载了石油，称它为“石头里流出的黑色汁液”。在关于采矿和冶金开创性著作《论矿冶》（*De re Metallica*）中，阿格里科拉描述了怎样将泉水、小溪和河流中流淌的液态沥青收集到桶里，如果规模较小，还可以用鹅毛、亚麻布条和芦苇叶收集。书中的一幅木刻画描绘了一个人耐心地将沥青收集到桶里。在阿格里科拉的时代，石油的价值不如矿石，因为矿石可以提炼出铁、金和银，石油的需求量很小。



哈里王子的批注本——大师与他的杰作：阿格里科拉的《论矿冶》  
(De Remetallica ) (1556 年)。

到 19 世纪中叶，情况发生了变化。工业革命增加了人口数量，并使人们更加富有，他们想要一种明亮洁净的人造光源。被称为“岩石油”的原油正是他们所需要的，但当时的原油由于供应不足，价格普遍很高。冒险家们看到了石油潜在的利润，开始四处寻找更大的新的石油资源。



十六世纪时收集油：阿格里科拉的沥青最初被发现。摘自哈里王子收藏的《矿冶全书》。

1859 年秋天，绰号“上校”的埃德温·L·德雷克（Edwin L. Drake）在宾夕法尼亚一个农场地下 20 米深的地方发现了石油。他将一个简易的手动泵接到油井里，围观者们惊讶地看着他轻松地把油抽上地面。他的发现引发人们争相来到油河地区（Oil Creek），三年后，石油的产量从几乎为零飙升到一年 300 万桶。今天，全球石油产量为每年 300 亿桶，比 150 年前增长了 10000 倍。

不论在过去还是将来，寻找如此大量的石油都是一项巨大的挑战。勘探者们需要确定钻井的地点，找到石油后，还

要决定如何开发。同时，他们要获取投资的利润、满足地方政府的愿望并满足当地受影响居民的需要。所有这些必须以安全为前提，利用高科技手段以保证不对自然环境造成破坏。



从空中看石油之岩，一幅真正的海景图被一个不真实的小镇隔开。

随意选址钻井是找不到石油的，那会像大海捞针一样徒劳无功。总会有些迹象引导勘探者们找到蕴含石油丰富的区域。一块油田总会有一些重要特点。首先，油田要有形成石油的来源，即数百万年前埋在地下的植物和动物的残骸，在适当的压力和温度下，这些残骸会变成石油。乘飞机经过特立尼达岛（Trinidad）中央的森林上空时，我看到漆黑的原油汨汨地冒出地面，行成一个个小湖，这就是上面提到的石

油的来源。位于加利福尼亚的拉布雷亚焦油坑也是这样发现的。两者都指示了其他油田的存在。其次，石油要从来源地流入一个有覆盖功能的结构中去，这样才能储存下来。这个结构通常是穹顶形的（即“背斜构造”），有时它会出现在地面之上。在我童年的家乡以来的扎格罗斯山脚下就能见到这样的背斜构造地形。世界上最大的油田都形成于这样的地理位置。第三，储存石油的位置需要由一块不透水的岩石封住。如果岩石被冲破，石油就会流走。阿拉斯加的玛克拉克（Mukluk）油井是世界上最著名也是最贵的油井之一，最后被证实勘探失败（是口“干井”）。多年来，英国石油公司的勘探者们都坚信它必定会成功。由于封石被冲破，石油渗透，油井开发最终失败了。最后，整个结构需要一块沉积岩来填充，沉积岩的孔隙中可以容纳石油（即所谓的“孔隙度”）并让它流淌。岩石允许石油通过的顺畅程度被称为渗透性。如果这些条件具备，就可以形成一个储油层。

其中一些特点可以通过分析一个地区的地质形成情况来判定。例如，古代的河流三角洲地带通常有着良好透气性、透水性的沙子。在现代，遥感技术被应用于勘测几千米岩石层以下的油层。最重要的技术要数震波勘测，即利用压力波的反弹观察岩层情况。这些震波传输和接受的方式需要精心的设计，并需要复杂算法和大型计算机来完成对收集数据的

分析工作。因为获取的信号并不多，且杂音很大，因此计算机分析工作至关重要。理想情况下，通过这些方法可以判定整个油层结构，看到封石，还能描绘出油层岩石的特征，甚至可以看到岩石中的石油。但在一般情况下，并不能辨认出油层所有特征。如果油层被一个厚厚的盐膏层覆盖的话，勘测就更加困难了，巴西、安哥拉和美国墨西哥湾的近海油田都属于这种情况。由于振动波在盐膏层的传递速度过快，其下的地质结构都将遭到覆盖。震波从沉积层到盐膏层会经历突然的速度变化，这一变化使振动波发生折射和反射，因此盐膏层的作用就像一面镜子。近几年，人们改进了计算方法，逐渐能够解开这些信号，才提高了次盐层油矿勘探的准确率。

## 石油开发

上述工作完成以后，就该钻井了，这样才能确定这里是否有石油。有时候确实有石油，但结果也经常让人失望。近几年使用的遥感技术降低了失败的概率，但是结果还是很难讲；马克拉克就是不断提醒我们的一个有力证据。

石油一旦被找到，油田开发需要考虑的问题也接踵而至，要给投资者提供回报，还要付给地下权益拥有者租金，通常是付给政府。不过，现在易开发的油田已经都处于生产状态，能够继续开发的油田也一直在变化。在 20 世纪的最初几十年里，公司开始从陆地油田开发转向水中油田开发，如在委内瑞拉、得克萨斯和路易斯安那等地的湖中钻了很多油井。海里的开发更加困难重重，因为海水更深，海风更强，海浪也更大。

我见过最值得一提的近海油田开发要数里海沿岸的阿塞拜疆巴库油田。当地船长曾报告发现海上的浮油，还有，凸起的岩石被黑色的油膜覆盖。1947 年，在油光锃亮的里海岩石上，第一个摇摇欲坠的钻井平台竖立起来了。紧接着，大批平台也搭建而成，平台之间由临时木桥连接。人们用船把巨石运到海里，用来修建人造岛屿。后来人们给这个新生的城镇起名为奥利拉克斯（Oily Rocks）。到 1955 年时，奥利拉克斯已经成为阿塞拜疆最大的石油生产地，每年出口超过 1400 万桶石油。越来越多的人来到这里工作，为了满足他们的住房和其他生活需求，水中建起了许多五层高的公寓大楼、商店和酒店。但里海中其他的石油储藏在奥利拉克斯的东面，在水面以下更深的地方，有些地方深达 6000 米。开发这些油田，仅依靠从海边延伸出去的平台是远远不够的。

1990 年，苏联解体后，我第一次拜访巴库和奥利拉克斯。当时英国石油公司计划通过谈判，得到里海更深处油田的开发权。小城的情况十分糟糕：油田开发漏洞百出，所有的设备好像都在泄漏，眼前看到的场景仿佛是星球大战中的一幕。铁幕之后的奥利拉克斯，科技已经倒退，开发里海深处油田的希望也渐行渐远。不过，希望并没有完全破灭。新千年的最初几年里，超巨型的齐拉格 - 阿塞拜疆 - 久涅什里油田项目便已经开始应用所引进的西方技术。



在支架上搜索石油：石油之岩（阿塞拜疆）苏联 1971 年的邮票。

深海油田开发需要巨大的科技投资。我们在第一章《铁》中提到的建在巨大浮式结构之上的雷马油田就是一个例子。与里海的 200 米或奥利拉克斯的 20 米不同，雷马油田处于水下 2000 米的地方，基础建设费用非常之高昂，但是，技术每年都在进步，生产一桶石油的成本也在不断下降。除了在深海开发油田，我们还有更远大的目标：更大程度地获取油

层中的油。今天，在已经停止生产的油田中，一般会残留 60% 以上的石油。这主要是由于经济方面的原因；当开采进行到一定程度时，开采成本会越来越高，利润也就越来越少。现在，这一成本正在受到科技的挑战。

## 让石油流淌

亨利·达西（Henry Darcy）是 19 世纪法国第戎的一位工程师，他非常善于观察。一天他站在喷泉边，看着水从池底不同的石头中流过，他想，是什么在控制水流的速度。不久，他研究出一个计算透水岩石中液体流速的方程式。这个方程式就是“达西定律”，为了纪念他，渗透率的单位被定为“达西”。达西定律能够帮助我们理解强化采油（EOR）的概念，包括四种提高采收率的方法。第一，如果油层的自然压力过小，不足以使石油上升到地面，我们可以采用注入其他液体的方式增压，比如注入水、天然气、氮气或者二氧化碳。这是提高采收率的首选方法，也是最简单的。第二，我们可以通过在岩层中水平钻孔等方式，使油层更多地在井孔中暴

露。第三，我们还可以设法降低石油的黏稠度，或让石油不那么容易留在岩石中的缝隙里（由于表面张力作用，石油经常留在岩石之间）。有一条途径就是向里面注入液体使之与石油相混合，特别是液化二氧化碳。另一条途径是给石油加热。加拿大和委内瑞拉的沥青砂里发现的所谓重油就需要这样的处理。

第四，我们可以通过提高含油岩石渗透性的方式提高石油采收率。这是最古老的强化采油方法，从工业的最早期就开始应用。

1865年，爱德华·罗伯茨上校(Colonel Edward Roberts)创立了罗伯茨石油公司(Roberts Petroleum Torpedo Company)。三年前，他曾参加美国南北战争，观察过南方军射出的炮弹在地下掩体中爆炸的情形。他觉得可以使用类似的爆炸炸开含油岩石，从而提高油井的产量。于是罗伯茨将装满火药的细金属管放入油井并点燃，虽然不是次次成功，但爆炸确实使部分油井产量激增。后来，硝化甘油作为爆炸介质受到了人们的青睐。不幸的是，硝化甘油常常发生意外爆炸，使周围的人非死即伤。

20世纪中叶，随着水力压裂法的应用，这些老方法退出了历史舞台。通过向含油或含气体的岩石层注入液体（通常

是水、化学品和沙子的混合物)，水力压裂法大大提高了岩石的有效渗透性，可以使更多的石油和天然气浮到表层。

今天，强化采油仍有着巨大的潜力。在有些停产油田，剩余的石油多达 80%。还有些油田必须使用水力压裂法才能产出石油；这就是美国所谓的“页岩气和致密油”的发展。

在一段时间里，寻找和开采新油田的成本还会比继续开采老油田低。但是近些年，随着石油价格的上涨，强化采油的潜力在迅速增长：据估计，从 2005 年到 2009 年的五年里，强化采油的市场扩大了 20 倍。

## **“石油峰值论”的终结**

石油开采的总量不仅仅由技术决定，未来的石油价格也是决定因素之一。当然，石油价格是受供求关系控制的。不过，在供求关系之外，还受到企业联盟的制约。石油输出国组织（Organization of Petroleum Exporting Countries，简称为 OPEC）就是一个企业联盟，它控制着全球 40% 的石油

生产，也就是说，它经常通过调控石油供应来达到控制价格的目的。简单地说，根据 OPEC 的规定，石油价格不应过低，因为过低的价格会对他们的经济造成破坏，引起国内的不满甚至引发革命；但油价也不应过高，以致削弱需求或促进其他国家的石油输出。多年来，石油价格一直徘徊在这两个界限之间。

当然，所有的矿产资源都是有限的，因此，人们一直关心世界上的石油储备何时用完。1956 年，美国地质学家马里昂·金·哈伯特（Marion King Hubbert）得出结论说，石油产量会达到一个最高峰，即“石油峰值”。他通过估算未来的石油消耗量和储藏量，预测石油峰值会在 2000 年左右到来。但 2000 年过去了，这一时刻并未到来，我们甚至还没看见它的影子。这是因为我们增加石油储量的速度要比消耗的速度快。这完全取决于科技；我们不断发现新的油田，并发明在旧油田采油的新方法。只要将已有油田采油率提高 1%，每年就能多生产 900 亿桶石油，足够全世界用整整三年。随着技术的进步，可开采石油的百分比一直在上升，因此石油产量也在上涨。我认为这种情况会一直持续下去，从实际角度出发，我们的石油是用不完的。更有可能的情况是，远在石油耗尽以前，我们就停止使用石油了。就像沙特前石油部长亚玛尼亲王（Sheikh Yamani）在 20 世纪 70 年代时说的：“石

器时代的结束并不是因为我们用光了所有的石头。”

要生产一桶石油，需要大量的财政和科技支出。要把石油加工成汽油，花费的力气就更大。我们需要将石油提纯，保证其中的碳氢化合物类型正好适用于引擎。经过这些步骤以后，即使汽油卖到 4 美元一加仑，也是很便宜的。毕竟，它比纽约、伦敦或者佛罗伦萨高档餐厅里的瓶装矿泉水还要便宜。几年前，我在佛罗伦萨一家餐厅里惊讶地发现，一小瓶田纳西矿泉水居然比一加仑石油还贵。况且，生产矿泉水可比生产石油的风险小多了。

## 事故不断

1989 年 3 月 24 日，我离开阿拉斯加北坡的英国石油公司团队，这时一个消息传来，埃克森·瓦尔迪兹号（Exxon Valdez）油轮在威廉王子湾撞上了布莱暗礁。当时这艘油轮为了躲避冰山，正在正常航道以外的海域行驶，但正因为这样，才撞上了布满礁石的海床。当时我们正飞往安克雷奇，听到消息后，立刻调头飞向油轮所在的位置。当瓦尔迪兹号

出现在视野里时，我们看到油轮的一侧已经裂开，石油正在渗出，在船身周围形成一圈黑色的污迹。很快，这些污迹就会扩张，覆盖 30000 平方公里的海面。

这不是第一起油轮泄漏事故，也绝不是最大的一起。我看着窗外海面上的瓦尔迪兹号油轮，想起了 1978 年在法国海岸附近触礁的阿摩柯·卡迪兹号（Amoco Cadiz）和 1979 年在特立尼达和多巴哥共和国附近与别的船相撞的大西洋皇后号（Atlantic Empress）。在这些事故中，共有 500000 吨石油泄漏，相比之下，埃克森·瓦尔迪兹号事故中泄漏的石油仅有 390000 吨。然而，在阿拉斯加事故中，第一次有大量石油泄漏到一个环境意义重大的生态系统中。暴风雨将厚厚的黑色石油吹向岩石岸边，覆盖了长达 2000 公里的原生态海岸线，造成 250000 只海鸟死亡。大量水獭和海豹被杀死，许多当地人赖以生存的鲑鱼群也几乎消失了。在阿拉斯加山脉白色的背景下，黑色的油膜显得更加刺眼，这一景象频频出现在世界各地的报纸上。摄影师们用镜头捕捉翅膀乌黑、羽毛缠结的海鸟，生动地提醒着人们石油开采的危险。



埃克森·瓦尔迪兹阿拉斯加港湾漏油事件。船在 2012 年被分解，已不复存在。

石油是液态的，因此难免会泄漏，此外，石油还有易燃性，如果与某些气体共存，开采时就会发生危险，威胁到人类和动物的生命安全。1988 年 7 月 6 日，我正在俄亥俄州，忽然听说位于北海油田的西方石油公司（Occidental Petroleum）的阿尔法平台（Piper Alpha）发生了一起严重事故。大量气体发生爆炸，平台被包围在了大火中。爆炸中幸存的工人躲在浓烟滚滚的宿舍大楼里，情况越来越危急。还有一些人冒险跳下了 60 米高的平台。事故发生时，平台上共有 226 人，有 165 人在事故中丧生。这次事故使石油界大为震惊：每个人都意识到，这样的事故随时可能发生。阿尔

法平台事故为人们敲响了警钟，为改善安全环境，他们做出了一些改进，然而，这些改进没能阻止 2005 年 3 月英国石油公司得克萨斯城炼油厂事故的发生，那是我职业生涯中最悲伤、最黑暗的一天，15 人在事故中丧生，超过 170 人受伤。



钻采平台因天然气爆炸形成火灾：西方石油公司在北海的派珀阿尔法灾难。拍摄于 1988 年。

最近一次的重大事故发生于 2010 年 4 月，位于美国墨西哥湾深海的马康多（Macondo）油井发生了甲烷气体泄漏事件。防喷器失效，导致气体上升至钻杆上端，并到达英国石油公司的深水地平线钻机。气体被点燃，引起大火，造成 11

人丧生。马康多油井开始发生泄漏。在长达三个月的时间内，石油不断流向海里。水下 1500 多米的摄像机记录着石油流入海中的景象，我只能绝望地看着灾难升级。马康多油井爆炸是第一次被实时报道的工业灾难；每时每刻，人们都可以在电视上看到石油泄漏的景象。

我们的石油开采有着巨大的风险。即使我们从过去的经验和事故中吸取教训，灾难仍难免会发生。比如，从 2000 到 2010 的十年时间里，平均每年发生三次大的石油泄漏事件，超过 700 吨石油被泄漏。马康多油井爆炸的规模是前所未有的，虽然我们一直在试图超越科技极限，石油泄漏问题一直在尖锐地提醒我们，在接触新事物时，错误是不可避免的。事后看来，一场爆炸或泄漏的原因是显而易见的，都是机械故障放大了人为失误。但不论是设备程序还是人工操作都不可能保证毫无风险或万无一失。在石油到处可见的今天，我们应该牢记这一点。

科技主宰了石油的发展，但这只是事情的一面。石油业是世界上最无情、最残酷的行业。围绕石油的斗争一直在进行，不管是个人、公司还是国家，都各显神通，想要掌控更多的石油资源。碳以石油的形式影响着我们的生活。在这场混战中，有一个人脱颖而出，对石油业的发展有着异常深远的影响。

## 石油就是实力

约翰·D·洛克菲勒（John D. Rockefeller）对早期的石油勘探者始终不屑一顾。有一次他去宾夕法尼亚的油河参观，此处距离德雷克上校最早发现石油的泰特斯维尔不远。这里的道德水准之低下让他震惊。无数带着发财梦的人蜂拥来到这里，这些人混乱无序，随便买下一块土地便开始打井。石油开采的时间、地点和途径完全只凭猜测，石油价格经常大幅波动。不久，生产石油的人越来越多，由于石油生产过剩，价格开始大幅下跌。作为克利夫兰一家炼油厂的厂主，洛克菲勒决定采取行动。1870年1月，由洛克菲勒和他的合伙人亨利·弗拉格勒（Henry Flagler）领导的五个人成立了标准石油公司（Standard Oil Company）。他的目标很简单：兼并俄亥俄州主要的石油公司，降低过剩的产能，并控制对他的公司造成威胁的石油价格浮动。



J.D.洛克菲勒注视着会议室墙壁上的东西。

洛克菲勒的大胆丝毫不逊于早期的石油勘探者，但他是一个很理性的人，既精明又谨慎。从小他就懂得规模经济的好处，他把整磅的糖果买回家，再分成小份加价卖给他的兄弟姐妹。收益率并不是他唯一的考量，洛克菲勒看中的还有规模经济的稳定性。他将自己的供应商和分销商整合在一起，创立自己的基础架构，在此基础上，他先是生产自己的石油，接着开始购买石油管道、油轮和火车。洛克菲勒增强了标准石油公司的竞争地位，并使它的整体运作与市场上其他石油公司的运作隔绝开来。洛克菲勒巨大的经营规模迫使铁路和航运公司都不得不给他折扣，这样，他进一步增强了自己的竞争力。

洛克菲勒以残酷无情的经营手段和略带阴险的商业策

略著称。如果一个竞争对手拒绝被收购，洛克菲勒就会“给他们上一课”，他会降低该市场的石油产品价格，迫使他们亏本经营，对手别无选择，只能以低价将公司卖给洛克菲勒。他扳倒了一个又一个的对手。在不到两个月的时间里，标准石油公司就设法收购和关闭了克利夫兰 26 家竞争对手中的 22 家。到 1879 年，标准石油公司已经掌控了美国炼油产能的 90%以及美国大部分石油管道和运输网。

在大众眼里，标准石油公司过于强大、诡计多端且十分无情。公司的运作完全不透明，因此没人知道内幕。标准石油公司没有意识到公众反对的规模之大。1888 年，一位高级主管写信给洛克菲勒，直到今天，企业里还有人模仿这样的写信方式。他写道：“我相信这种反垄断热潮很快就会过去，因此我们要保持镇定，在回答每个问题时，要避实就虚地尽量说真话。”1911 年，为了恢复竞争并削减标准石油公司的实力，根据《谢尔曼反托拉斯法案》的规定，标准石油公司被拆分。

洛克菲勒有着“强盗大亨”的名声，他只追求个人利益，从不理会他的行为对工人和他们的家庭以及业内其他人造成的伤害。美国记者艾达·塔贝尔曾写道：“1872 以来，洛克菲勒都没有和对手公平竞争过。”塔贝尔觉得洛克菲勒“被金钱蒙蔽了双眼，看不到生活的其他方面”。在金钱方面，洛

克菲勒确实是成功的：1916年，他成为世界上第一个名义上的亿万富翁。

不过，洛克菲勒强烈的宗教信仰让他的行为有些矛盾：他决定将大部分钱捐赠出去。他在慈善方面非常高瞻远瞩。1882年，洛克菲勒捐钱给一所黑人女子学校，当时大多数人都对妇女和黑人接受高等教育还不太赞同。他觉得当时的慈善捐赠随意性太强，他需要更有效的途径。他用经营企业的方式对待每个可能的受益人，以确保他们不会因为接受了太多馈赠而产生依赖感。他希望人们能够自救，因此他曾这样写道：“施舍不是最好的手段，我们最好能够做一些更深、更广、更有意义的事情，来消除乞丐存在的原因。”就“自我完善”的态度而言，洛克菲勒是个先驱者。

从某些方面来讲，洛克菲勒的行为更接近今天俄罗斯那些寡头政治家。和洛克菲勒一样，他们许多人也是白手起家，用类似的方式积累财富。他们也曾使用不正当、不公平的手段赚钱。和洛克菲勒一样，一些寡头政治家也逐渐成熟，开始将赚到的钱部分或全部回馈社会。但我在20世纪90年代“野蛮东方”资本主义时期的俄罗斯与他们初遇时，可是另一番完全不同的情形。

## 俄罗斯石油的风险与回报

1997年11月18日，在英国首相托尼·布莱尔和俄罗斯能源部第一副部长维克多·欧特的注视下，我与俄罗斯实力最强的商人弗拉德米尔·波塔宁（Vladimir Potanin）签署了一份价值6亿美元的合同。英国石油公司收购了石油和天然气公司西丹克（Sidanco）10%的股份，这是英国石油公司在俄罗斯迈出的第一步。1990年我第一次到访俄罗斯，自那以后，尽管俄罗斯在不断发展，但仍然不够开化，而且缺乏有效的法律约束，所以没人能够预测它的发展方向。我们在伦敦的唐宁街10号签订合同，布莱尔和欧特作为我们的“监护人”出席了合同签字仪式，英国石油公司希望通过这一切保护自己在交易中不受欺诈。

走到这一步并不容易。在苏联解体的混乱局势中，俄罗斯的石油和金属输出量大幅度下降。政府资金短缺，只好将石油和金属卖给企业或个人以换取借款。因此，通过臭名昭著的“债转股”方式，国家的大部分资产以相当便宜的价格落到了7个人手里，这一交易后来被人们称为“世纪大甩卖”。这7个人成为寡头政治家；由于手段强硬，再加上运气的成

分，他们从中大赚一笔。波塔宁就是其中一个，他的王国一度控制着俄罗斯 10% 的 GDP。

1998 年夏天，英国石油公司发现，掌握在许多小型子公司手中的西丹克油田一个接一个地消失了。同年早些时候，俄罗斯通过了一项破产法，允许人们以相当优惠的价格收购资产。密谋由此诞生。先是由西丹克一个子公司的总经理发行短期债务，这笔债务会被第三方买下。到期时，第三方要求还款，但总经理会拒绝还款。于是第三方将子公司告上破产法庭。他们选择的法院离莫斯科很远，当然也不会告诉英国石油公司。第三方总是会获胜，再以最低价格买下子公司；最后总经理也会在这场阴谋中得到回报。

1999 年 11 月，英国石油公司得知他们丢掉了最大的资产切尔诺戈尔石油公司 (Chernogorneft)，该子公司负责西丹克 75% 的石油生产。同样，油田通过荒谬的破产程序被拍卖给了秋明石油公司 (Tyumen Oil Company，简写为 TNK)。到那时为止，英国石油公司已经赔掉了所有的初期投资，但如果它真的退出俄罗斯，就再也没有可能回来了。对于英国石油公司来说，俄罗斯的石油太重要了，所以它决定和秋明石油公司周旋。为了购买西丹克公司的债权，秋明石油公司借了不少钱，英国石油公司找到了借给它钱的一些欧洲银行。英国石油公司告诉这些银行，秋明石油将贷款主要用于贿赂。

渐渐地，贷款枯竭了。这时，秋明石油公司的一个大股东米哈伊尔·弗里德曼（Mikhail Friedman）与英国石油公司取得了联系。

结果，和一般的争端一样，西丹克的资产“盗窃”也有诸多内幕。弗里德曼是公司的早期股东，作为资产价值的一部分，他的股权被波塔宁以不合理的方式收购，他认为自己应该享有一些合法权利，并且一直在努力争取。1998年金融危机中，波塔宁实力大减，因此弗里德曼决定乘虚而入。最终，英国石油公司与弗里德曼达成了一致：公司拿回自己的资产，并以80亿美元的投资收购了秋明石油公司一半的股份。这样，英国石油公司似乎在俄罗斯站稳了脚跟。随着2012年接近尾声，英国石油公司和合伙人准备以相当优厚的价格将TNK-BP卖给一家国有的俄罗斯石油公司（Rosneft）。还不到二十年，“世纪大甩卖”的局面就被扭转了。

寡头政治家们变得更加成功，实力也更强。随着时间的推移，他们要保护自己的财富不受侵犯，因为一方面，政府可能实施对自己有利的法律，另一方面，他们还受到资产盗窃的威胁。在这一点上他们与19世纪美国的强盗大亨们有相同之处。他们利用自己的政治影响力，尽可能长久地握紧手中的权力。历史上，石油的发展使权力和财富集中在了少数人手里。即使在1911年标准石油公司解体之后，石油的权

力还是留在了一小部分人手中。



带着来自俄罗斯的记忆：别了，弗拉基米尔·普京。2007 年。

## 从标准石油公司到石油七姐妹

整个 20 世纪上半叶，全球大部分的石油生产都由所谓的七姐妹控制，包括标准石油公司解体后形成的较大的几个公司，以及它们的美国对手德士古石油公司 (Texaco)、海湾石油公司 (Gulf)、欧洲的英国石油公司和荷兰皇家壳牌石油

公司（Royal Dutch Shell）。这些公司联合起来组成了企业联合，它们尊重彼此的市场，合力除去竞争对手，经营之道与洛克菲勒如出一辙。

七姐妹也得到了来自本国政府的支持。1914年，当时的英国海军大臣温斯顿·丘吉尔为英国政府在英伊石油公司购买了控股权，以确保英国海军的石油供应。类似的，美国政府邀请美国石油公司参与中东的石油活动，而这一举动正与当初用来解散标准石油公司的法律相悖。

英国石油公司和荷兰皇家壳牌公司的早期成功依靠的是大英帝国和荷兰帝国境内的石油。尽管“二战”以后这些帝国逐渐解体，但当地还保留着殖民化的态度，20世纪40年代以前，七姐妹仍对石油出口国有着相当大的影响力。

1943年，这种平衡在委内瑞拉提出“五五分成”交易模式的时候被打破了，权力从石油消费国转移到了石油生产国。按照新的石油法规定，任何一个在此经营的石油公司，上交给委内瑞拉政府的石油收入必须与扣掉委内瑞拉税金和开采费用之后的利润相等。五五分成的原则很快传到了中东，并成为全球石油行业的标准惯例。许多石油出口国希望能多分一些：石油是他们的，因此他们觉得自己应该分到较大份额。

1957年，“五五分成”原则被打破。在与伊朗方面谈判过程中，意大利跨国石油与天然气公司埃尼集团（ENI）总裁恩里科·马太（Enrico Mattei）不断让步，最后达成前所未有的25比75的分成比例。中东油田发现于20世纪50年代，是一个巨大的石油新世界，意大利想在这个被称为“大象”的中东油田里分一杯羹。马太对这些大型国际石油公司之间的紧密联系嗤之以鼻，他想削弱它们对世界石油供应的垄断。他大胆追求石油，最后签订了一个让其他石油公司大跌眼镜的协议。

七姐妹实力的减弱以及其他石油储藏的突然发现为新石油公司的加入提供了机会。新的发现也导致石油的生产过剩。由于竞争不过廉价的苏联石油，许多石油公司开始压低买进石油的价格（即“牌价”），但是这也削减了石油出口国的收入。

1960年9月，作为回应，五个主要的石油生产国组成了OPEC。它们希望掌控国际石油的定价。然而，由于石油产量过剩，而且市场销路掌握在石油公司手中，因此这一行动对石油公司影响很小。OPEC内部的竞争使得定价更为困难，因此整个十年内，石油价格一再跌价。OPEC不仅没有成功使石油抬价，甚至都没能保住原来的价格。

20 世纪 70 年代，石油终于供大于求。掌握了石油权力的 OPEC 在 1973 年亮出了它们的“石油武器”。

## 石油供应焦虑

1973 年 10 月 6 日，由埃及和叙利亚领导的阿拉伯多国联军对以色列发动了突袭，由于当天是以色列的赎罪日，所以这场战争被称为“赎罪日战争”。阿拉伯军队之所以选择在以色列的宗教斋戒和休息日发动突袭，是希望打他们一个措手不及。尽管以色列军队战斗力很强，但他们错误地估计了物资可以维持的时间。在与取得苏联支持的阿拉伯军队抗衡时，以色列用光了储备的物资，只好向美国求救。随后美国向以色列提供了支援。

为了报复美国对以色列的支持，OPEC 的阿拉伯成员国降低了石油产量，比 9 月份降低 5%，并宣布为向美国施加压力，此后会每个月降低 5%。随着石油供应的逐渐缩减，美国经济开始窒息。

战争持续，10月，尼克松总统宣布向以色列提供价值22亿美元的军事援助。沙特阿拉伯作为当时世界上最大的石油出口国，立即宣布全面禁止向美国的石油装运。不久，其他阿拉伯国家也纷纷效仿。

以今天的货币计算，当时石油已经涨到了50美元一桶，这是从19世纪末石油勘探者时代以来最贵的价格。在此前一周，OPEC宣布全权接管国际石油牌价的定价，将石油价格提高了70%，这对石油价格更是雪上加霜。这些事件标志着现代石油供应焦虑的开始。

当时我正在纽约，致力于阿拉斯加的石油开发事业。OPEC一宣布这个决定，整个城市马上一片混乱，街上到处都是等待加油的车队。人们从一个加油站开到另一个加油站，只为寻找燃料。有些车的油箱几乎是满的，但人们还是等待数小时要把它加得更满；谁知道明天还有没有汽油？禁运令促使美国采取了行动：1974年1月，我们收到了等待已久的授权，准备修建连接阿拉斯加北部普拉德霍湾(Prudhoe Bay)的超大油田和南部瓦尔迪兹终端的阿拉斯加输油管道。输油管道将于1976年开始生产，到1988年顶峰期每天能生产200万桶石油，几乎等于美国原油需求量的12%。

1973年石油危机标志着石油生产国和石油消费国之间

形成了一种新型关系。石油不再是充足的资源，其供应也不能时时得到保证。如今石油变成了政治武器，在全球经济中有着至关重要的战略意义，并不时引起危机。下一场危机出现在1978年的伊朗革命时期。伊朗的石油供应占全球的20%，因此当它的石油供应中断时，油价又上涨了。



汽车电影院？并没有那么好玩，这是1973年的伦敦恐慌。

伊朗丰富的石油储藏是20世纪80年代两伊战争的起因，也是1990年伊拉克入侵科威特的原因。萨达姆·侯赛因一直觊觎邻国的石油财富，他希望增强伊拉克国力，而增强国力的途径之一就是增加石油储备。1990年8月，伊拉克入侵科威特，大批油井被荒废，全球石油供应再次中断。几个月以后，在伊拉克还没来得及恢复科威特油田生产时，美国对伊拉克发动了一次军事打击，伊拉克军队撤出科威特，油田的

生产又耽搁了几个月。我们都清晰记得黑色浓烟从燃烧的科威特油井中冒出的画面。英国石油公司曾负责开发科威特油田，作为当时唯一掌握油田信息的公司，它参与了油田的清理工作。1990年下半年我到达科威特时，有人领我四处参观了油田。大火刚刚被扑灭，剩下的是一大堆扭曲、熔化的设备。整个沙漠一片乌黑，好像被铺上了一层沥青。



1991年的科威特，一场被火焰吞没的战争：沙漠风暴行动中燃烧的油井。

动荡的政治局面、不断攀升的需求量和 OPEC 对石油供应的严格控制导致了 20 世纪 70 年代油价的居高不下。不过，高价也刺激了人们在开发和生产上更大的投资规模。到 80 年

代中期，新的石油供应加上经济的滑坡导致石油价格跌到了谷底，这种情况一直持续了整个 90 年代。这给所有石油公司出了一个新难题。

为了在 90 年代的低油价中得以生存，整个行业需要合并起来，以规模经济取胜。如果英国石油公司没有收购其他公司，它肯定会被另外的公司收购。我与阿摩柯的主席和首席执行官开始了商谈，1998 年 8 月，我宣布英国石油公司与阿摩柯公司合并，这引发了业内的合并热潮：埃克森与美孚石油，雪佛龙和德士古，大陆石油与菲利普斯，道达尔与菲纳和奥尔夫。从 1998 年到 2002 年，石油业经历了 1911 年标准石油信托公司解体以来最重大的重组过程。其中最大的一项埃克森和美孚的合并让 1911 年解体以来最大的两家公司合为一家。规模带来了效益、安全和影响力，使这些新生的超级石油巨头能够与国家和政府对抗，并接受技术复杂性更大的挑战。每开采一桶石油的风险也降低了。



英国石油公司+美国石油公司=大玩家。在史上最大的产业并购后，一个石油巨头诞生了。拍摄于 1998 年。

90 年代，石油价格走低，国有石油公司（hocs）缺乏竞争的信心。超级巨头们的经营规模加上它们的专业技术使它们成为石油出口国十分看重的合作伙伴。但是现在国有石油公司不断扩大规模，加上油价上涨，权力的天平再度向石油生产国一端倾斜。在全球范围内，石油生产国降低了租给超级石油巨头们的份额。在玻利维亚，政府彻底掌控了油田；委内瑞拉政府重新起草了合同，将控制权交给了国有石油公司；最近，西班牙雷普索尔公司（repsol）在阿根廷一家原国有能源公司 YPE 的控股权也已经被夺走了。

超级石油巨头和石油生产国之间的关系通常很脆弱：前

者面对的是股东，后者要应对本国公民。双方都想尽可能地  
从自然资源中获取利益；至于谁能获得什么，这是一个关于  
权力的问题。

## 里卡多租金问题

1999 年，我来到伦敦克拉里奇酒店，准备会见乌戈·查  
韦斯 (Hugo Chavez)，这是自去年 12 月他当选委内瑞拉总统  
以来我们的第一次会面。我满怀希望。查韦斯没有谈到关于  
委内瑞拉石油业计划的细节，但他曾提到持续的外商投资对  
委内瑞拉十分重要。

1993 年以来，在总统卡洛斯·安德烈斯·佩雷斯 (Carlos  
Andres Perez) 和拉斐尔·卡尔德拉 (Rafael Caldera) 的  
先后领导下，作为经济开放 (la apertura) 的一部分，国际  
石油公司纷纷受邀回到委内瑞拉。委内瑞拉国家石油公司  
(PDVSA) 的新首脑路易斯·朱斯蒂 (Luis Giusti) 和英国  
石油公司总经理彼得·希尔 (Peter Hill) 在这一过程中起  
到了至关重要的作用。在经济开放的这些年里，国际人才和

资金源源不断地流入委内瑞拉。随着数十亿美元资金的投入，委内瑞拉下滑的石油产量又开始攀升。不管是委内瑞拉国家石油公司还是国际石油公司都满怀信心。

酒店房间里，坐在查韦斯对面，我明白这一切即将发生改变。交谈进行了几分钟以后，他开始发表关于“外国石油公司恶行”的演说。对于查韦斯来说，我们祖祖辈辈都在掠夺南美洲的自然资源；对于世界来讲，查韦斯是新一代的资源民族主义者。

私营石油公司和石油生产国之间的矛盾主要来自租金问题，戴维·里卡多（David Ricardo）在19世纪初率先制定了一套方案。根据里卡多租金定律，土地的价值完全取决于土地本身的“自然恩赐”。委内瑞拉是传统的农业国家，依靠生产可可、咖啡和糖。这些价格低廉的商品只能勉强养活一小部分人口；这里的土地几乎没有什么价值可言。20世纪初油田的发现使委内瑞拉的经济迅速转型。由于石油的高价，在扣除生产成本和合理的投资回报之后，还剩下一大笔盈余。这笔盈余被定义为“租金”，即土地的固有价值。



1980年，查韦斯总统在委内瑞拉面见英国石油公司和委内瑞拉石油公司：大谈判、大桌子、大蓬头（我在最右手边）。

这笔盈余归谁？应该怎样分？是开采石油的石油公司，还是拥有这片土地的国家？双方各执一词。石油公司在外国勘探和开发是冒着很大风险的——例如，英国石油公司在阿拉斯加投入大量资金，徒劳地寻找了十年，最后几乎放弃。另一方面，这片土地和它的“自然恩赐”是这个国家的财富。任何一个国家都会想尽可能从中获利。公司受邀前来勘测和开发，在理想状态下，它们希望政策一直不要变化。但经验表明，每当石油开始流淌，政府便开始施加压力。这时，资金已经投入，石油公司毫无办法。但国家用这些伎俩占到便

宜的时候并不多，因为不久之后资金就会被抽走。最终，公司、投资和那些训练有素的人员、专家也会一并撤走。

20 世纪 90 年代，由朱斯蒂和佩雷斯引导的石油业改革开始扭转 80 年代经济下滑的局面，但查韦斯的革命使这一切突然中止。1998 年查韦斯上台时，他马上谴责朱斯蒂是“将委内瑞拉的灵魂出卖给帝国主义的魔鬼”。现在国家要全盘接收租金。委内瑞拉国家石油公司迅速成为国家的“金库”。由于公司的财务被掌握在中央政府手中，如今，国家可以随心所欲了。2002 年，委内瑞拉爆发了一场针对查韦斯政权的罢工，随后，查韦斯开除了将近一半的劳动力。他将大量同盟安插进委内瑞拉国家石油公司，这些人大部分是军方人员。

查韦斯上台以来，委内瑞拉的石油产量下降了 20%，从每天 350 万桶降到了 270 万桶。上升的油价无意中帮了查韦斯的忙，遮掩了产量下降的事实。但珍贵的专业技术和投资都流失了，这大大损害了委内瑞拉资源的长期开发，也破坏了石油本可以为委内瑞拉国民和其他国家做出的贡献。

20 世纪 70 年代，卡扎菲上校（Colonel Qaddafi）征用土地以后，利比亚也经历了类似的情形。30 年后，我在他的帐篷里拜访了他，他非常天真地问我，为什么他需要的工业技术都流失了，为什么国家的石油产量在下降。他很钦佩其

他的非洲国家，他说想要和它们一样。他看到其他非洲国家在将外国公司的利益国有化之后，还能设法留住它们的技术，但是他没有认识到，技术人才的流失是因为他们这里已经无利可图。

想要保证石油开发的创新性和可持续性，私营公司和石油生产国需要建立长期合作的关系。全球化和民族化往往看起来水火不相容。但如果能够找到两者间的平衡点，双方都可以在资源开发中受益。如果处理得当，这种关系会具有相当的建设性张力，让石油生产能够满足世界的需求，也为石油生产国创造财富。我们要从这样的事例中不断吸取经验教训。对于非洲许多新兴的石油国家来说，昨天的委内瑞拉和利比亚都不是很好的例子。

## 是福还是祸？

“我把汽油看作是魔鬼的排泄物。它带来烦恼……看这个疯子——废料、腐败、消耗，我们的公共事业在土崩瓦解。还有债务，我们欠下了许多年的债务。”是什么让 OPEC 的创

建者巴勃罗·佩雷斯·阿方索（Pablo Perez Alfonso）对石油如此痛恨？1948年，阿方索通过谈判使国际石油公司与生产国之间首次达成50:50的租金分成，大大提高了生产国的石油收入。从那以后，他看到了石油财富对委内瑞拉经济和社会产生的负面影响。

约翰·D·洛克菲勒一直觉得“石油就是金钱”。这样唾手可得的财富会使人滋生自满情绪，而且由于无可奋斗，石油国的创新力和竞争力会大受影响。人们为了利益而争吵不休，将经济发展丢在一边。以石油为基础的经济是极不稳定的：油价上涨，经济就繁荣，油价下跌，经济也跟着垮掉。艾伦·格林斯潘（Alan Greenspan）是我们这个时代最杰出的中央银行家之一，他对石油的负面作用深有感触，他曾向发现石油的非洲国家首脑提出建议，让他们忘掉已经发现的石油，并隐藏发现石油的消息。石油的魔咒已经如此深入人心。

石油国的发展潜力很有可能被腐败扼杀，由于管理制度的腐败，石油收入根本到不了公民的手中。这样的情况通常发生在国内冲突期间或殖民统治者离开以后。腐败的领导人只要掌握了关键的基础设施，就能够握紧手中的财富和权力。他们无须关注国家的经济或国民的意见。这就是“石油魔咒”。

20 世纪 90 年代早期，我在安哥拉参与讨论英国石油公司在该国近海地区进行石油开发的可能性。驱车走在饱受战争蹂躏的首都卢旺达的街头，处处可见贫穷的印记，安哥拉已经陷入了石油魔咒。1483 年，葡萄牙人来到安哥拉，开始了他们的殖民统治。葡萄牙殖民者交回权力后，安哥拉立即爆发了内战。内战爆发于 1975 年，断断续续一直持续到了 2002 年。冲突双方源自两大对立的运动，一个是安哥拉人民解放运动（MPLA），另一个是反共的争取安哥拉彻底独立全国联盟（UNITA）。

安哥拉有着丰富的石油和钻石（一种纯的碳结晶体）资源。在冲突初期，UNITA 夺取了安哥拉最好的金刚石矿床，而 MPLA 则掌握了石油储藏。两种形式的碳元素都是财富的来源，它们是冲突双方的资金保障。最初，钻石和碳仅仅是战争的工具。然而，它们为冲突双方带来的财富和权力使得它们本身成了冲突继续的原因。被卷入战争的安哥拉国民陷入了极度的贫困之中。

1998 年，总部设于英国的非政府组织“全球见证组织”（Global Witness）发表了一份报告，谴责非法的钻石交易为安哥拉内战提供支持。报告开头这样写道：“国际社会……与钻石大亨已经串通一气”，UNITA 在其帮助下得以重新武装并发动战争，仅在 90 年代中期，就有 50 万人在这场战争中

丧生。人们可以将大笔财产换成一颗小小的钻石，交易不需要任何文件，也不会留下一丝痕迹。联合国对这类钻石销售的禁令丝毫不起作用，经营这些钻石的公司也并没有受到任何起诉。全球见证组织特别提到了德比尔斯（De Beers）公司，他掌握着全球大约 80%的钻石交易。

第二年，全球见证组织又发表了一份批评安哥拉石油业的报告。石油一直是安哥拉收入的主要来源，当时安哥拉政府收入的 90%都来自石油。全球见证组织的报告中说，这些收入并没有被用于安哥拉的战后重建，而是被腐败的官员们私吞了。他们还建议英国石油公司采取激进手段，公布所有付给安格拉政府的合同款记录。英国石油公司照做了。

通过加强透明度以及严格审查资金流向，英国石油公司希望向安哥拉政府施加压力，使石油的利润造福更多的安哥拉人民。从长远的角度看，这样的措施也可以减少公司的纳税额度：如果政府能够合理利用资金，他们就不必再来要钱了。很明显，要想保持这样的局面，需要把这些措施规范化，并推广到所有国家。因此，在我与托尼·布莱尔讨论之后，后者同意建立一个合适的体系。2002 年，可持续发展世界首脑会议在约翰内斯堡举行，布莱尔在会上宣布了《采掘业透明度行动计划》（EITI）的诞生。EITI 机制鼓励国家公布从石油、天然气和采矿公司接收的款项。对政府实施鼓励十分

重要，因为不管有多少公司公布财政记录，如果政府不公布支出记录作为比较的话，就没有透明度可言。只有双方公布各自的记录，才有可能进行严格的审查。

委内瑞拉、安哥拉和其他许多国家都经历着石油魔咒，EITI 只是众多解决石油魔咒方法中的一个，但经它提出的透明度问题是一个必要的起点。我们要做的还有很多。比如，EITI 没有提到如何授予勘探和开采合同的问题。腐败的方法多种多样，不仅仅是侵吞国家资金这么简单。官员们可以将合同授予那些资质不够的公司，因为这些公司更有可能给他们回扣。

像 EITI 这样的透明制度创立现在仍是自愿式的。我们必须对此做出改变，让腐败无处可逃。公司必须公布向外国政府付款的大量细节，让公民看到他们的土地生产的利润是如何分配的。或许到那时石油就会成为所有人的福音。

## **未来石油**

由于需求量的不断上升，寻找和开发新石油矿藏以及开采旧矿藏仍然十分重要。在未来的 25 年里，石油的需求量将由现在的每天 8800 万桶上升到每天 1 亿桶，大部分是由于亚洲猛增的汽车和卡车数量。石油的来源越来越多样化，加上现在的石油生产具有一定的缓冲能力，如果有需要，还可以生产更多，这些可能让我们不太为石油的短缺而担心。其余的就交给地缘政治吧：包括政府应该分得多少租金，以及何时应该提供适当的刺激，让它们学习合适的技术，这样石油才能不断流淌。

最近的一个变化可能使西方人对石油供应的焦虑不那么强烈了。天然气生产的一场革命很快传播到了石油生产中。这就是关于碳的最后一个故事。

## 天然气

位于特立尼达岛东南端的加莱奥塔角(Galeota Point)

是一个有着丰富野生动物资源的半岛；许多迁徙鸟类在飞越加勒比海时会在这—热带生态系统停下歇脚。这座岛屿最重要的油气储藏也在离这里不远的近海地区。

2004 年 5 月，特立尼达和多巴哥共和国的总理帕特里克·曼宁（Patrick Manning）带我乘坐直升机参观了这座岛屿。我们还参观了岛屿中央巨大的焦油坑。在本该覆盖着热带植物的土地上布满了黑色斑点，显示这里储藏着丰富的油气。通过与阿摩柯的合并，英国石油公司掌握了特立尼达的一些资源，我的特立尼达之行正是为了保证英国石油公司能够在当地继续发展。

20 世纪 90 年代末到 21 世纪初的几年里，英国石油公司陆续发现了几个大的气田，第一个发现就在特立尼达的近海深水中。

天然气的主要成分是甲烷分子，由一个碳原子与四个氢原子连接组成。它是碳氢原子最简单的组合形式，也是地球上最丰富的能源。曼宁希望将最新发现的自然资源用于造福他的人民。

特立尼达曾饱受殖民统治者的剥削。16 世纪，西班牙征服者来到特立尼达。18 世纪初期，英国控制了这些岛屿，直到 1962 年特立尼达和多巴哥共和国获得独立。随着时间的

推移，由于不讲究农业实践的可持续性，岛屿的自然景观遭到很大破坏，同时，国家进口了许多来自西非的奴隶，用来收割甘蔗。曼宁进一步解释说，他们也曾出口过本国生产的蔗糖，但赚的钱还不够进口糖果成品。

随着 1886 年在特立尼达发现石油，国家的经济前景得到了改善。很快，岛上随处可见废弃的油桶，为加勒比海地区的钢鼓<sup>[1]</sup> 文化打下了基础。20 世纪 50 年代晚期，特立尼达开始开发天然气，主要用来生产制作化肥所用的氨。70 年代，新气田的发现使天然气产业得到进一步发展。与出口天然气相比，政府更希望将它用于国内生产，于是，岛上建起了许多能源密集型产业。

同委内瑞拉和安哥拉一样，由于过度依赖石油和天然气，特立尼达国内产生了一系列问题。经济随着石油价格的升降而不断起伏，70 年代，石油价格猛涨时，经济也跟着繁荣，80 年代“石油过剩”时，经济也一起崩溃。同时，由于本地化工行业的不景气，特立尼达陷入了严重的经济衰退。

2004 年我和曼宁交谈之际，正值他的第二任期。他第一次当总理是在 90 年代初，当时岛国的天然气产业正在蓬勃发展。1978 年，特立尼达的石油生产到达了顶峰，很快，人们认识到，天然气才是特立尼达迄今为止最丰富的资源。由

于牢记着石油给人们带来的创伤，特立尼达决定利用天然气来进一步发展自己的能源密集型产业，建立新的氨气、钢铁和甲醇生产厂，以满足美国巨大的出口市场需求。2004年，随着一系列新气田的发现，曼宁再次下定决心将这些自然资源用于当地的发展。英国石油公司提供了进一步的帮助，使当地社区有了自己的产业：一家煤气厂。煤气厂的建设大部分在国内完成，利用当地的资源，并雇用当地民众，该厂于2006年开始运营。英国石油公司的任务是为经济发展提供保证并保护自然环境。如果当地民众发现负面影响，或觉得英国石油公司的介入并没有给他们带来利益，公众的反对很快会导致公司被驱逐出境。



国家大事：2007年，拜访特立尼达拉岛和多巴哥岛的总理帕特里

克·曼宁。

但特立尼达只是一个小岛，除了用来支撑本国工业发展外，还有大量天然气资源可供出口。曼宁向我描述了他的计划，他希望成立一个环加勒比海的政治联盟，这样他可以用天然气交换其他加勒比海国家的商品。但是特立尼达的加勒比海邻国对天然气需求也不大，因此，特立尼达将目光投向了美国。问题是，如何以低廉的方式将天然气运送过去。

## 冷冻天然气

气态天然气所占的体积比含有同样能量的液态石油要大，因此运输起来成本很高。20 世纪中期，随着科技的发展，人们找到了一种部分解决方案，就是将天然气液化，使之变成液化天然气（LNG）。通过压缩天然气并将其推入小型阀门，使天然气冷却，这就是焦耳 - 汤姆逊效应（Joule Thomson effect）。不断重复这一过程，天然气液化装置可以使天然气

的温度降至零下 162 摄氏度，此时天然气已经变成液态。通过这一程序，天然气的体积缩小为原来的 1/600，运输也就不成问题了。但液化过程本身成本很高：一套典型的天然气液化装置需要消耗大量能量，约等于 200 万台家用冰箱消耗的能量，而且不但设备成本高达数十亿美元，制造周期也要数年之久。因此想要通过 LNG 获利，就必须以合适的成本进行大规模生产。



将气体放在正确的轨道上：特立尼达拉岛的液化天然气火车。

20 世纪 80 年代，由于经济衰退，美国能源供应过剩，因此特立尼达生产的 LNG 无法与美国本土廉价的天然气竞争。

特立尼达放弃了向美国运送天然气的计划，向波多黎各运送的计划也随即破产，因为买家不肯长期购买天然气。然而仅在十年之后，美国天然气过剩的局面就告一段落了。LNG 有了前景广阔的出口市场。1999 年 3 月，特立尼达的第一套 LNG 设备大西洋液化天然气号（Atlantic LNG）在岛屿西南端的福廷角（Point Fortin）投入生产，由英国石油公司负责操作。新诞生的出口市场激发了国内对天然气勘测的新热潮，已探明的气田越来越多。2002 年到 2005 年期间，大西洋液化天然气公司陆续增添了三套设备，使特立尼达维持着稳定的经济增长周期。

由于 LNG 的发明，天然气可以被运送到世界任何地方，只要当地有能够接受 LNG 的终端设备并能将 LNG 还原成气态。全世界都在研制新型 LNG 设备，尤其是卡塔尔和澳大利亚，这促进了地区天然气市场的规模全球化，全球化的天然气市场有着明显的优势，人们不再害怕天然气供应的中断，当政治事件或自然灾害中断了某一地区的天然气供应时，人们可以向别的地区寻找资源。到 2011 年，LNG 市场已经急剧膨胀，比 40 年前扩大了 100 倍。如今，LNG 占据了国际运输天然气份额的 1/3。天然气正在以相对较快的速度成为珍贵能源。但在 2000 年前的中国，天然气被认为是邪恶的象征。

## 管道问题

公元前 250 年左右，四川人在开采盐矿时，常以为岩石缝隙里有妖魔渗出来。矿坑边的工人会突然感觉浑身无力，倒下后不久就死去了。还有几次，巨大的爆炸使矿坑不停颤动。每年，人们供奉祭品，希望这些妖魔不再作怪。不久，矿工们意识到这些死亡事件有更科学的解释：岩石中渗透出一种无形的易燃气体。到公元 100 年时，人们用这些燃料蒸汽在盐井边煮盐，将剩下的盐渣留在井边。接着，人们发明了管道。到公元 200 年时，中国人已经开始使用竹制管道收集天然气，用泥巴和盐水覆盖竹节处，防止天然气从这种初级的管道系统中泄漏。人们把天然气输送到家家户户，以高效的方式大规模使用天然气做饭和煮盐。

然而，中国人仍然将精力放在盐业上。1835 年，人们在自贡挖掘了燊海井，其深度达到了前所未有的 1000 米。在挖到 800 米时，矿工遇到了天然气储藏点，但他们仍继续向下挖。他们追寻的是盐；天然气只是一种略有用途的副产品而已。

过去，人们经常觉得天然气的开采和使用很麻烦。不但储藏位置分散，而且溶解在石油里，要运输石油，必须把天然气分离出来。19 世纪末，现代石油业刚刚起步，由于人们不能很好地利用天然气，因此索性将它直接烧掉。相比之下，煤的运输要更方便，只需在到达之后再将煤转化成煤气就可以了，煤气就是天然气的前身。直到 1935 年，天然气的销售量才赶上煤气。

很久以来，“废气处理”一直是石油公司关心的一个重要问题，如果天然气不被烧掉，它就会阻碍石油生产。我记得在伊朗时，我们一边在花园里打羽毛球，一边看着外面天然气在呼呼地燃烧。令人不解的是，直到今天，在俄罗斯，大量的天然气还是会被烧掉，因为人们无法经济地利用它。在其他相对偏远、环境恶劣的油田，燃烧还在继续，虽然出于对气候变化的考虑以及从经济学角度出发（即合理利用天然气的利润可能会更大），这样做的油田已经不多了。1996 年到 2008 年间，每生产一桶汽油，被烧掉的天然气量下降了大约 30%，由于每年被烧掉的天然气仍多达 1500 亿立方米（大约占全球天然气总消耗量的 4%），因此还有继续下降的潜力。

随着各种复杂管道网络的建成，20 世纪 20 年代，天然气行业在美国兴起。在先进的冶金、焊接和压缩科技的帮助下，美国人修建了长距离的管道，比如从得克萨斯狭长地带

到芝加哥的长达 1600 千米的管道。从 1940 年到 1970 年，天然气从占美国能源消耗量的 10% 攀升到了 30%。尽管 70 年代以来核能和可再生能源的消耗量也大幅上升，2010 年，天然气仍占美国能源消耗量的四分之一。大陆远端的天然气如今也能被输送到美国城市中心的家家户户，为取暖和做饭提供了价格低廉的能源。天然气还可以被输送到发电站。今天，这是天然气最主要的用途；人人都需要用电，而天然气就是最高效的发电方式。

## 管道政治

管道的起点和终点要受地理和政治这两个因素的制约。不过美国新兴的天然气行业在这两个方面的优势可谓得天独厚。人们可以轻易地在大片大片的土地上修建管道，这些连接着大型消费市场的输气管道只需跨越州界，而不必横跨国界。但美国是个例外。

“我怎么知道在管道修好之后，中国不会反悔，把天然气价格压低到原来协议价的一半呢？”2004 年，我建议弗拉

基米尔·普京（Vladimir Putin）修建一条由西伯利亚东面的科维克塔（Kovykta）超大气田通向中国的输气管道，他就是这样回答我的。俄罗斯距离任何一个天然气消费市场都很远，需求量越来越大的中国显然是它最好的选择。但令人费解的是，尽管俄罗斯是世界上最大的碳氢化合物生产国，而中国是世界上最大的能源消耗国，中俄两国几乎没有横跨彼此国界的输气管道。

我向时任国家总理的温家宝寻求解决方案，他回答我说：“如何才能保证管道修好后，俄罗斯不会向我们要双倍的价格？”我向他传达了普京的担忧，并希望我们能够找到一种途径，保证中国不会反悔。输气管道的修建成本很高。为了获取充足的资金并保证投资能收获回报，在修建管道前，天然气的生产国和消费国需签订一个长期性的保障性合同。这就需要双方互相信任。

克服了政治上和地理上的重重障碍，天然气的使用已经遍及全球。随着天然气贸易的国际化，许多国家积累了大量财富。但管道终究是有末端的。天然气运输本身的局限性导致它的大部分市场是局部性的，而不是全球性的市场。LNG 的发明使天然气市场全球化，但由于 LNG 设备昂贵，因此需要买方承诺连续多年购买该国的天然气。但意外爆炸和新科技随时都有可能发现新的天然气储藏。美国的情况正是如此，

几年前，美国还需要从国外进口 LNG，但由于美国成功地从页岩矿层中开采出了天然气，现在它拥有潜力去生产所需的天然气。而这样的开采之前一直被认为难度太大，无法实现。

## 水力压裂法的革命

得克萨斯商人的创举和慈善家乔治·米切尔（George Mitchell）共同缔造了页岩天然气革命。20 世纪的后几十年里，在得克萨斯的巴涅特页岩（Barnett Shale），米切尔正在进行实验研究，希望发现一种经济的方法来开采分布在这一地区坚固的页岩层下的天然气。人们很早就知道那里储存着天然气，但由于无法开采，所以一直无人问津。经过 80 年代的几次开采热潮后，大部分石油和天然气公司都放弃了，但是米切尔相信他能战胜页岩。

米切尔精心研究出的水力压裂法，或者叫作“水压法”，成功地释放了页岩层下面的天然气，于是一切风险都变得值得了。他利用混着沙子和少量化学物质的高压水柱使岩石裂开，其实这并不是什么新技术，它在石油和天然气行业已经

被使用了几十年。而且罗伯茨上校还曾在 19 世纪用别的技术做过同样的尝试。不过只有米切尔成功地应用这种技术开采出了石油。米切尔将水压法与横向钻探技术结合起来，因为后者可以扩大承受水压岩石的面积，因此他做到了罗伯茨上校没做到的事情。



水力压裂是获得页岩天然气的未来。拍摄于兰开夏郡的乡村。

美国拥有许多页岩盆地，这种技术的广泛应用让美国大为受益。21 世纪初，美国还需要进口大量的 LNG，因为那时页岩气只能满足美国天然气需求的 1%。到 2012 年时，这个数字已经提高到了 36%，而且天然气储量翻了一番。按照现

在的生产速度计算，美国已经有了足够使用 100 年的天然气储量，其中一半储藏在页岩层以及类似难以开采的地带。米切尔的创新使天然气变得丰富而便宜。天然气的发电功能已经可以和煤相媲美。与含等量能量的石油相比，天然气如此便宜，这是从未有过的事情。在过去的 10 年里，天然气的价格大约下降了 80%。

2012 年，美国正在计划成为 LNG 的出口国。这对特立尼达不是好消息。美国市场已经不再需要特立尼达的天然气。前总理曼宁是对的：在出口之前，尽可能将天然气用在自己国家的发展上。我觉得如今许多决策者的脑中会闪过他的话。

美国页岩气的成功开采要归功于宽松的管道铺设管理政策、补贴以及大量已经就位的钻井和其他基础设施。世界上其他地区都不可能同时具备这些条件。尽管仍比较缓慢，但页岩气和石油的开采已经迈开了步伐。各个国家都梦想着自己的脚下有大量的新能源，并希望自给自足的能力会更强大一些。

然而，美国以及其他国家页岩气开采规模的壮大面临着来自周围社区、环保非政府组织以及其他团体的巨大挑战。他们担心水压法会引起地震；他们还担心水压法会用掉稀缺的水资源，而用过的污水也得不到合适的处理；还有水压过

程中用到的化学物质会污染自然含水层；水压法释放的天然气会进入他们的饮用水中。曾有图片夸张地展示有美国公民正在点燃从他们厨房的水龙头中流出来的自来水，这样的图片引起了许多人的恐慌。

许多恐慌其实源自怀疑和误传。例如，2010年，科罗拉多州石油公司和天然气环保委员会共同拍摄了电影《天然气之地》（Gasland），探讨了水污染的一系列事件，但这些事件都与水压法无关。不过的确有些担忧是有根据的。与核能一样，人们对这种新型技术的恐惧和抗拒不会消失，除非所有的股东都能得到丰厚的商业回报作为补偿。在理想的情况下，所有的讨论都应应以证据为基础。在美国，有证据显示一些经营者偷工减料，以追求更大利润。为了不让这些奸商破坏整个行业的声誉，标准和规定是必不可少的。

## 全球大变化

页岩和水压法代表着美国能源供应开始了巨大的变化。米切尔的方法被用在了石油开采上（以及类似液体的开采），在自然状态下，页岩层很难被穿透，但用这种方法，石油可以从页岩层或其他地质结构中流出来，这就是所谓的“致密油”或“页岩油”油田。

最能抚慰人心的说法就是美国至少能够有效实现能源的自给自足；如果坚持这样的决策不变，美国将不再需要从其他国家进口能源，除了它的邻居加拿大。理查德·尼克松以来的每一届美国总统无不向往着这样的独立，希望美国不用再依靠中东和南美这样不稳定的能源供应。这一目标的政治意义十分深远，它意味着从中东运往美国和西方国家的天然气及石油会减少，而更多的天然气和石油会从中东运往亚洲。我的朋友、普利策奖得主丹尼尔·耶金（Daniel Yergin）这样写道：“这等于是世界石油的再平衡。”不管是在西半球还是在中东地区，在考虑原有的能源和防务关系时，美国有了许多选择。中国一直从中东进口大量能源，特别是石油，因此也需要思考它的国际关系。在国内，由于有了页岩油和页岩气这样廉价可靠的能源供应，美国拥有了相当大的经济优势。简单地说，我们不能确定美国在保证了能源的自给自足后会作何反应。美国能源越来越独立，而亚洲经济逐渐转向能源依赖型，这些变化带来的众多可能性将塑造 21 世纪

的全球政治。

美国天然气使用量的增大带来的另一个副作用是二氧化碳排放量的减少。天然气含碳量小，生产等量的能量，它产生的二氧化碳只有煤的一半。因此，在过去的5年里，美国的二氧化碳排放量下降了7.7%，即50万吨左右，超过其他任何一个国家。全球天然气使用量的增加对降低气候变化的风险至关重要。

## 碳恐慌和气候变化

“人口增加的能力远远大于土地生产人类生活资料的能力，因而人类必然会在这种或那种情况下过早地死亡……严重而不可避免的饥饿就会从背后潜步走近，以强有力的一击，使世界的人口与食物得到平衡。”托马斯·马尔萨斯（Thomas Malthus）1798年在他的《人口原理学》一书中描绘了充满饥荒、疾病和战争的人类未来。他认为在人口数量成指数倍数增长，而增长的速度又超过了成线性增长的食物供应时，这样的灾难是大自然的必要检测。他相信这些检测

方法将人类限制在基本的生存状态下——这就是所谓的“马尔萨斯陷阱”。当然，马尔萨斯没有预见工业革命的到来。

马尔萨斯是最早预言人类末日的著名预言家之一，而他们的预言没有实现，因为他们错误地估计了科技创新改变世界的的能力。

1972年，一个国际专家小组罗马俱乐部发表了一篇著名的报告，题为《增长的极限》(The Limits of Growth)。文章认为如果没有科技或政治变动，在资源有限的情况下，人口的迅速膨胀会带来危险，而在能够预见的所有后果中，最严重的将是在新千年到来时的食物短缺。这一现代的马尔萨斯没有预见的是绿色革命的成果，在过去的40年里，绿色革命导致小麦产量翻了一番。今天，每个人的食物消耗量比1972年增长了大约20%。

马里昂·金·哈伯特和其他相信石油峰值的悲观主义者，包括罗马俱乐部，都已经被证明是错误的。当预期需求超过已知供应量时，价格就会上涨，于是人们就会利用科技开发新的石油资源或更好地利用已有资源。1980年，已证实的石油储量大约在6500亿桶。自那以后，我们已经生产了超过7000亿桶石油，现在至少还有15000亿桶的石油储量。

如今，悲观主义者和末世论者又有了新的恐慌：气候变

化。他们预言了一个马尔萨斯式的大灾难，包括全球规模的饥荒、疾病和战争。在悲观主义者错了这么多次之后，我们是否有理由相信他们这次是对的呢？

初步看来，有两个原因能让我们相信新一代的悲观主义者：一是我们看到了证明人为气候变化的有力科学依据，二是我们清楚地知道人类显然无法解决这一问题。人类活动正在引起地球气温升高，为人类和环境都带来了极度严重的后果，对于这一现象，人们有着强烈的科学共识。能源的使用量和温室气体的排放量在迅速增长，而达成控制排放量的全球协议又遥遥无期。作为地球上的物种之一，我们似乎无法为解决这一生存挑战而通力合作。

## **科学与气候变化的风险**

1992年，在里约热内卢的地球峰会上，我首次意识到了气候变化的真正风险。100多个国家首脑在此聚集，讨论如何应对全球气候变暖等问题。这一话题并不新鲜，但这是首次被提上全球日程。

从表面上看，里约热内卢的讨论与石油业和英国石油公司的成功完全相悖。但气候变化显然不能被忽视：我希望能获得更多信息，了解英国石油公司能否解决这一全球难题。我们必须采取重要措施，降低气候变化的风险。

地球峰会之后，我与许多科学家和专家会面，努力应对这一问题。最后，有一个人说服了我。约翰·霍顿（John Houghton）是联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）科学评估小组的主席。他谈到了概率的问题，此前我曾接受过这一方面的培训，因此能够明白他的意思，他试图说服我，面对激增的全球气体排放，我们不能再保持被动的姿态。

气候变化经常被看作一个简单、线性的因果过程：日益增长的能源消耗会导致大气中二氧化碳浓度的增加，引起地球表面气温的上升，对环境造成灾难性的后果。但是，在同约翰·霍顿的讨论中，我逐渐明白，在这一因果关系链的每一个环节都可能引发许多不同的结果，而每个结果都可能有着巨大的误差范围。

大气层和气候是一个相当复杂的系统，而人类行为更加复杂多变，两者相互作用产生的结果具有很强的不确定性。因此气候变化对环境、人类生活和经济的最终影响就更难以估测。IPCC 称之为“一连串的不确定”；我们不知道气候究

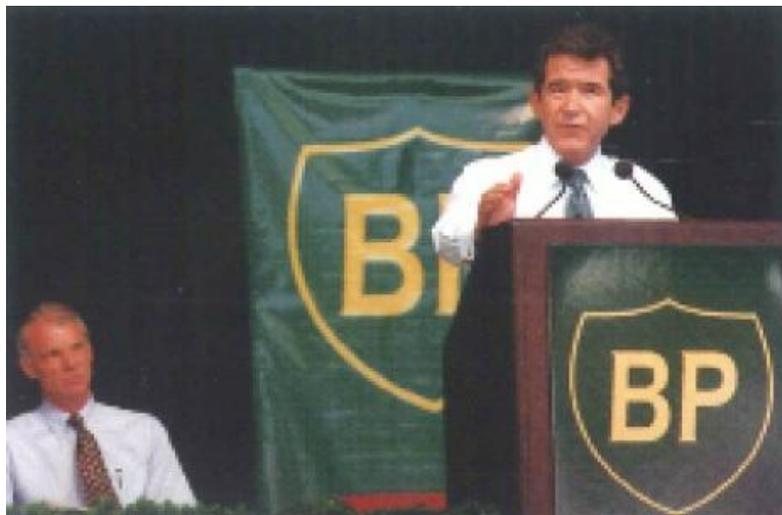
竟会如何变化，也不知道变化的后果是什么。

但这并不意味着无所作为是正确的：不确定不等同于无知。要知道 100 年后世界的样子是很困难的，但是我们可以做估测，将不确定因素一一列出，然后采取合适的措施。持续的工作增进了我们的理解，也减少了不确定性。卡尔·波珀（Karl Popper）曾说，所有的科技都是暂时性的。科学方法的中心原则即所有的发现都可以并应该受到质疑。在人类活动与大气和环境之间的联系这一领域，我们的认知必须不断接受挑战 and 批评。

现在，我们已经掌握了人为气候改变的有力科学依据。甚至早在 15 年前，这就是一个需要人们认真考虑的话题了。这就是为什么我在 1997 年 5 月 19 日宣布英国石油公司将针对气候变化采取行动。站在烈日下斯坦福大学的弗罗斯特圆形剧场里，我向听众解释，英国石油公司决定“不再局限于数据的分析，而要寻求方法、采取行动”。那一天，我们打乱了整个石油业的格局。

在接下来的十年，气候变化的问题继续成为关注焦点。一些政治领导人也将气候变化这一问题提上日程。在美国前总统克林顿和前副总统阿尔·戈尔的推动下，各国签订了《京都议定书》（the Kyoto Protocol ），这是第一个也是唯一一

个约束参与各国二氧化碳排放量的协议。协议书是一个伟大的开始，但也有许多致命的漏洞。协议并不适用于发展中国家，包括中国和印度，而且也没有被美国和澳大利亚认可。之后，戈尔参与制作了纪录片《难以忽视的真相》（An Inconvenient Truth ），“在确立和大力推广与由人类活动带来的气候变化有关的知识方面做出了巨大努力。” 并因此被授予诺贝尔和平奖。



打破石油：与石油巨头分道扬镳的有关气候变化的演讲。1997 年拍摄于斯坦福。

在加利福尼亚，州长阿诺·施瓦辛格领导了颇具雄心的关于应对气候变化的行动。2006 年，我被邀请至位于萨克拉门托大厦四方院中著名的雪茄帐篷做客。他想让我就一个即

将出炉的议案发表看法。该议案计划，到 2020 年，加利福尼亚州温室气体的排放量将比 1990 年时降低 20%；到 2050 年时，降低 80%。尽管具体目标很宏大，施瓦辛格解释说，就应对气候变化而言，政府行动比脱口秀节目上的讨论要有多了。



后会有期，气候变化：2006 年，托尼·布莱尔与阿诺德·施瓦辛格结束对话。

在英国，托尼·布莱尔将气候变化作为 2005 年苏格兰鹰谷 G8 峰会的焦点话题。我相信，这意味着国际社会已经开始

高度重视气候变化问题。布莱尔向世界八大经济体的首脑们阐释了气候变化给我们共同的未来带来的巨大风险，但各国之间还未能达成任何有关实际行动的协议。尽管公众对此问题十分关注，各国首脑也有着坚定的决心，但全球行动尚未启动。口号走在了行动的前面。

## 国际行动失败

从那以后，随着每一届联合国气候变化峰会的召开，达成有意义的国际协定的希望越来越渺茫。第 17 届气候变化会议于 2011 年 12 月在南非德班举行。尽管各国承诺要在接下来的几年内努力达成具有约束力的协议，但没有取得任何实质性进展。各国首脑更关心欧元区日益严重的经济危机。气候变化的问题再次被束之高阁。

为什么在面对威胁人类生存的最大挑战时，我们不能达成一致解决方案呢？

我觉得这是在面对遥远、不确定的危险时，人类的自然

反应。英国一位知名的社会学家安东尼·吉登斯（Anthony Giddens）写道，我们未对气候变化采取行动，是因为气候变化的危险还没有体现在我们的日常生活里。选民不喜欢大谈可能性、预测和利益牺牲的候选人；不管现实如何，只要有人告诉他们一切都会好起来的，他们就会选择相信。

各国政府不断推进财政紧缩政策，在世界大部分地区，受经济增长缓慢和通货膨胀的影响，人们的生活水平一步步在下降，在这样的大环境下，针对气候变化采取的行动对于许多选民来说就像昂贵的奢侈品。气候变化的影响是未知、遥远而分散的，不像今天要付的账单那样实在。这种情绪在任期短暂的民主政客们身上很自然地体现了出来：还是等到经济恢复，或者他们再次当选的时候，再去解决气候问题吧。

但问题不仅仅是简单的短视。即使我们克服了非理性因素，为了我们的长期利益而采取行动，也不可能很快达成关于气候变化的全球协议。

现在的问题是集体行动：这是“全球悲剧”。二氧化碳的排放没有国界之分，因此过多的二氧化碳排放对大气的破坏会影响到每个国家。如果一个国家减少了排放，而其他国家没有减少，它还是会面临一样的气候变化风险。尽管减排关乎全球利益，但如果没有其他国家共同减排的保证，哪个国

家也不会独自承担这一代价。谁都知道坐享其成的好处。

因此，各国需要就如何分配减排任务达成一致目标。但这样的话，每个国家的成本和利益就会不一致。小岛国害怕海平面上升带来的后果，因此它们要求尽量加大减排力度。北半球幅员辽阔的国家，例如加拿大和俄罗斯，其实能够从气候变暖中获利，因为气候变暖会使他们的土地更肥沃、矿产资源更便于开采。

最大的分歧存在于富裕国家与贫困国家之间。以中国和印度为代表的发展中国家争论说，气候变化不会对它们构成威胁。中国的二氧化碳排放量超过其他任何一个国家，但它的人均排放量仅为美国的三分之一。对于世界上所有的经济强国来说，廉价的碳基能源是发展的基础。因此，中国有理由提出疑问：中国为什么不能享有与西方国家一样的发展权利？京都峰会上一个中国代表团这样描述这一区别：“‘发达国家’的排放是可有可无的，而我们的排放是生存必需的。”以美国为代表的发达国家争论说，一个允许发展中国家逃避责任的协议，会让发达国家在面对日益强大的全球竞争对手时处于劣势。

面对不同的国家利益和缥缈未知的问题，我们应该清楚，不能把希望仅仅寄托在一个有约束力的国际协定上。

在试图控制核武器扩散方面，我们有过类似的经历；只有在确定其他国家也会放弃的情况下，放弃本国核武器才符合国家利益。虽然有着世界末日核大战的风险，我们还是没能达成取缔核武器的协议，甚至没能防止它的扩散。

气候变化呈现的是超大规模集体行动的问题。为了保护接下来几十年人类的利益，这一行动要求，在其他国家做出同样承诺的基础上，地球上的每个国家和每个人都要改变他们的生活方式。这是一项巨大的挑战，远远超出了国际层面上的民主机制的能力。

让人惊讶的是，即使没有达成全球协议，情况也已经有所改善，这一方面是由于能源系统中的技术创新，另一方面，在当地、地区和国家利益的驱动下产生的各种政治进步也促进了这一改善。

## **碳科技**

3.6 亿年前，始石炭纪时期，原始森林吸收着地球大气

层中的二氧化碳。随着时间的推移，经过了死亡、腐烂、高温和压力，这些森林被转化成了 5 万亿吨的碳化石燃料。工业时代以来，人类已经将这些燃料的 5% 以二氧化碳的形式释放到了大气中。

受能源需求的驱使，人类以前所未有的速度改变了碳的分配。这种改变仍将继续，除非我们改变使用能量的方式；到 2050 年，地球人口很可能比现在多 20 亿，而全球能源消耗将是现在的两倍。

科技为我们提供了三种达到再平衡的方法：节约能源、低碳能源和建立碳汇。

首先，我们可以减少能源的使用。如果我们不愿意降低生活水平，要减少能源消耗就必须提高效率。在很多情况下，这一方法相对直接，且具有经济吸引力，因为效率增益时常能够节省大量成本。数字通信的革新也会起到很大作用，比如视频电话和远程协作。

提高能效看上去像是一剂良方，不过事实并非如此。如果一件东西变得更加高效，人们使用它的频率也会增加。当人们通过提高能效省了钱时，他们就会把钱花在其他耗能产品上。能源效率和能源节约不是一回事。号召人们节约能源需要的不仅仅是科技的应用，还需要教育、鼓励和规定。

第二个重建碳平衡的科技工具是降低能源产品中的碳强度。最振奋人心的是零碳能源的发展，包括可再生能源，如：风能和太阳能。

仅在十年前，这些还只是发展中的小生境技术，成本奇高且应用范围很小。但在 2010 年，可再生能源几乎已经占到了全球新电力能源的一半。在过去的 7 年里，风力发电量增长了 4 倍，太阳能发电量增长了超过 13 倍。快速的增长大大提高了生产规模，也促进了用来提高效率和减少成本的新技术的发明。例如在 2008 年，用太阳能电池发电，每度电需要 4 美元。现在，同样的一度电只需要不到 1 美元。哥本哈根和德班全球会议已经过去很久了，今天，一场能源系统的转型工作的革命正在悄悄启动。

尽管如此，可再生能源仍只占能源构成的一小部分，碳燃料还将陪伴我们几十年。这样，降低碳强度就需要改变化化石燃料的构成，将重心从碳和石油转向天然气。生产同等的电量，天然气释放的二氧化碳是煤的一半。在过去的十年里，煤满足新增能源需求量的一半，但近几年廉价天然气的蓬勃发展可以很快使燃气发电厂代替燃煤发电厂。天然气发电厂还有一个优势，它可以快速提高发电量，在阳光不强或风力不足时弥补可再生能源的供应不足。

天然气代替石油的难度更大一些，因为石油的碳强度决定了它在汽车和飞机领域的独特作用。天然气车辆由来已久，20 世纪 60 年代中国就发明并使用了“大气包”公交车。装满天然气的巨大灰色气囊在车顶摇摇欲坠，这些气囊中的天然气很快就烧完了，放气后会垂在公交车两边，因此它们需要不断充气。天然气作为运输领域的能源将会被继续大量使用，如果天然气释放的能量单位能够部分代替石油，如美国现在的情形，那么它的用途会更加广泛。电动车和氢动力车也是不错的选择，只要前期投入大量资金完成相应的基础设施建设，才有可能将它们广泛投入使用。



太阳能，在墙上的太阳能。阿尔·戈尔都检查过这些，1998 年拍摄于加利福尼亚。

另一种能够立即代替柴油和石油的是生物燃料。传统的石油形成需要经过几百万年的时间，等植物和动物残骸转化成原油，人们再将原油提炼成柴油和石油。我们可以使用一种更迅捷的方法：种植作物，再将它们炼成燃料。作物生长过程中吸入二氧化碳，燃烧时又排出二氧化碳。在美国，法律规定驾驶过程中需减少二氧化碳的排放，因此大部分车辆使用的汽油中含有 10%由玉米制成的乙醇。这里又出现另一个问题：用于制作生物燃料的作物必须不能减少全球粮食供应。

最后一个减少大气二氧化碳排放水平的方法是吸收二氧化碳。简单地说，就是保留、恢复以及扩大以后的森林和特殊土壤作为碳库。总有一天，我们还可以建立人工的碳库，介入化石燃料的燃烧，捕获被释放前的二氧化碳，将它埋入地下。

2010年11月，我参观了北京附近的华能高碑店发电厂，看到了中国首创的碳捕获技术。这是中国第一家展示碳捕获过程的发电厂。

整个展区足有半个足球场那么大，摆满了一排排钢管。在钢管里，一种液体将下面煤炉中排放出的二氧化碳冻结。在我参观的同时，两名身穿连衫裤工作服的工人走上前去，

打开了仪器一侧的一个小门，拖出一盒冰冻的二氧化碳。我戴着手套拿起一块，很快它就融化并消失在了大气中。

不过，华能工程仍只是一个示范，每年，它只能捕获 3000 吨二氧化碳，还不到中国二氧化碳排放总量的百万分之一。要想大规模捕获二氧化碳，还有很长的路要走。

况且，捕获了二氧化碳，任务只完成了一半：我们还要找地方存储它。人们在这一问题上颇具想象力，从岩石层储藏到海平面下三公里处的二氧化碳湖（二氧化碳在海水中开始下沉的位置）。很多人对于在地球上大量储存二氧化碳这一做法颇感不安，他们害怕万一二氧化碳泄漏，会引发严重后果。核能曾由于核废料处理问题而发展缓慢，如今，同样的担忧出现在了化石燃料领域。

只有解决了成本问题，碳捕获和存储技术才能真正对二氧化碳排放起作用。否则，消费者和工业消耗的能源都要花在碳捕获上。华能出售的冰冻二氧化碳被用在汽水饮料中，而干冰可以在摇滚乐演唱会上派上用场，但和整个二氧化碳的排放量相比，这些产品的市场还是太小了。还有一个更加可行的办法，就是将二氧化碳注入储油层，用于开采油层中剩余的石油。

## 自下而上的政治

人类的聪明才智体现在许许多多的科技手段上：发明节能产品，寻找碳排放量较少的新能源，以及捕获要被释放到大气中的二氧化碳。我们的手中掌握着工具，控制着碳元素，不让它毁灭我们的星球。

除了科技手段，我们还有社会结构来阻止它发生。低碳革命已经开始，革命的发起并不是由宏伟的多边协定，也不是集中决策，更不是庞大的新兴金融机制，而是由自下而上的许多小变化形成的，尽管这些改变是混乱、无序、困难重重的。

在每一级——国家、地区、公司和家庭——凡是涉及自身利益的地方，就会有变化。变化大多是悄无声息的，但积累起来就形成了显著变化。有共同利益的各个国家通力合作，它们设定排放目标，规定碳价，并支持低碳科技，对所有成员国一视同仁。欧洲可能是最好的例子，欧洲各国针对可再

生能源发电量目标签署了共同协议，并制定了有关排污权交易的计划。

考虑到能源安全问题和当地空气及水污染问题，许多国家也在采取单方面行动。全世界有 100 多个国家，包括发达国家和发展中国家，都在支持可再生能源的发展。中国已经成为世界上清洁能源的最大消费国，并制定了目标：到 2020 年，可再生能源占全部能源的百分比将达到 15%。

只要一个国家的政府能够向民众解释可再生能源的优势，并在新能源成本下降之际说服民众接受逐渐取消补贴，那么可再生能源就有继续发展的空间。只要政府能够给予明确可信的支持，投资就能持续进行。在过去的 7 年里，对清洁能源的投资每年都在增长，且涨幅都在 30% 左右。

从家庭层面来说，西方消费者正在改变他们的习惯，即减少能源的消耗，这一半是为了省钱，一半也是为了保护环境。人们在消费时，时时考虑着气候变化的问题，这也为企业施加了压力，使它们不得不改善自己在环保方面的表现。

在全球范围内，各国之间结成了小型的联盟，改变也由此而生。当然，这些联盟不如一个全球性协议全面、有效，但它们的政治可行性显然更高。改变正在发生，这就足以给我们希望了。

不过，这些还不够。我们必须找到一群同样有远见的领导者们，他们需要有共同的目标，即尽可能减少气候变化会给人类带来的灾难性后果。他们需要鼓励所有乡村地区和草根阶层采取行动，从而让我们实现至少对可能上升的温度进行调控的目的。既然领导效能是取决于环境的，那么他们需要选择合适的经济和政治条件来实现他们共同的目标。还有，如果没能做到这一点，他们需要动员民众，为适应不同的气候条件做好准备。碳为人类提供了良好的服务，但我们必须保证不会为此付出过于沉重的代价。

---

[1] 钢鼓是用手工将 55 加仑大小的汽油桶制作而成。——编者注

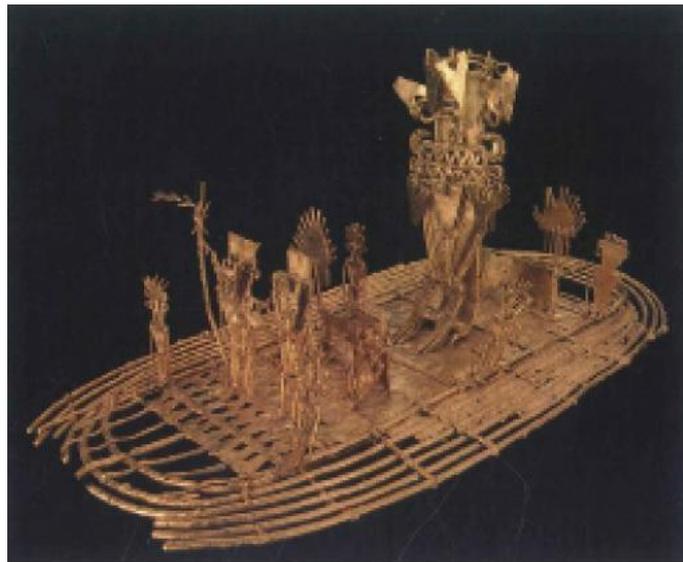
## 03 金

金元素在空气中很难与其他原子发生反应。柔软、易切割、不易被腐蚀，这些天然属性使得黄金成为财富和成功的象征，它像一个巨大的魔咒，永恒地诱惑着全世界的人们。

### 黄金国

20 世纪 80 年代，我第一次拜访哥伦比亚首都波哥大的

黄金博物馆 (Museo del Oro), 此行的亮点就是瑰丽华美的黄金国王金筏。国王坐在金筏的中央, 头上戴着精美的头饰, 身边围绕着 12 个小人。有些造型简单的小人坐在两边, 像是在划动金筏, 其他一些小人披着华丽的饰品, 戴着美洲虎面具, 在国王身边服侍。这个金筏表现的是在瓜塔维塔湖上举行的仪式, 瓜塔维塔湖在波哥大东北部, 穆伊斯卡部落的新首领就在此处接受欢迎仪式。



一个永远流传的神话: 黄金国的财富 (哥伦比亚波哥大的黄金博物馆)

黎明来临时, 国王要脱掉所有衣服, 他的整个身体将被

涂满细腻的金粉。在朝阳的照耀下，国王登上金筏，岸上的部落人群随着鼓声载歌载舞。部落的重要首领们将更多的金子、珠宝和翡翠堆放在他的脚边，再将金筏划到湖中央。到达湖中央时，岸边的呐喊声达到了顶点，金筏停下来，一面旗帜安静地升起。涂满金粉的国王一直静静端坐在金筏上，这时，他要献出祭品，将他的财富投入湖水中。当最后一片金子消失在水中时，旗帜落下，庆典继续，人们为有了一位新的统治者而欢庆。一丝不挂的金人仍在阳光中闪闪发亮，与万物之源相接。

埃尔多拉多（El Dorado）的原意只是“涂金粉的人”，但自从 1541 年西班牙历史学家费尔南德斯·德·奥维耶多（Fernandez de Oviedo）首次提到黄金国王的名字起，这个名字被美化、夸大，地球上的每一个人都为它浮想联翩。埃尔多拉多的意义从一个金人到一个神秘的城市，最后变成了一个完全用黄金打造的王国；它变成了一个梦，一种狂野的渴望，仿佛在下一道山岭或下一道溪谷人们就能够看到它的身影。

黄金国王金筏于 1969 年由三个当地农民在波哥大以南的一个小山洞中发现。除了山洞，穆伊斯卡人还崇拜高山、湖泊和潟湖。他们在这些神圣的地方建造庙宇，一些部落甚至相信人来自湖泊深处。但穆伊斯卡人最敬重的神灵是代表

着文明和智慧的太阳神。他们相信太阳神带来了温暖、光明和时间，因此对他的信仰坚定不移。他们崇拜太阳神，所以也崇拜金子，因为他们认为金子的颜色和耐久度都与太阳类似。金子在空气中很难与其他原子发生反应，因此不会生锈；它的光泽与每天清晨冉冉升起的太阳一样恒久不变。

在我负责英国石油公司的勘探工作期间，我经常去波哥大。这是一座传统的西班牙殖民城市，城市的中心有一座大广场，广场一侧坐落着华丽的总统府。经过几年的努力之后，英国石油公司在距波哥大 200 公里远的偏僻而危险的东部省份卡萨纳雷发现了超大型的库西亚那油田（Cusiana）。有一次我在油田时，英国石油公司经理理查德·坎贝尔（Richard Campbell）送给我一座前哥伦比亚时代的陶土雕像。这是一个带底座的小雕像，来自哥伦比亚的古代金巴亚文明，金巴亚人于公元 1 世纪到 10 世纪期间居住在考卡河附近的山坡上。我对这尊雕像十分感兴趣：它雕刻的是谁？它对金巴亚人来说有什么重要的宗教意义？我翻阅了一本又一本书，随着兴趣渐浓，我开始建立起一个有关前哥伦比亚文明的小书库。就在此时，我决定参观黄金博物馆。第一次走进博物馆，我的目光完全被那些闪闪发亮的黄金制品吸引。黄金独有的高贵气质使它区别于任何由宝石或陶土制成的最精美复杂的艺术品。沐浴在黄金发出的光芒里，有一种平静甚至慰藉

的感觉。抛开它本身的价值，我第一次开始欣赏这种元素的独特魅力。黄金具有普遍的诱惑力。即使是截然不同的文化，也都一直将黄金看作最珍贵的东西。但当文化发生碰撞时，对黄金的争夺就可能导致灾难性的后果。



我收藏的一个黄金的南美容器。

1537年，西班牙征服者们在美洲大陆上第一次与穆伊斯卡人相遇。这一复杂的农业社会拥有100多万人口，他们以波哥大为中心，分散居住在东科迪勒拉山脉25000平方公里的土地上。很快，征服者们毫不留情地控制了这片土地。马背上的西班牙人手执长剑和盾牌，轻易战胜了拿着硬木棍的穆伊斯卡人。从1491年哥伦布到达巴哈马群岛开始，所有当地部落的命运如出一辙。不管他们的对手是加勒比岛的小部

落，还是阿兹特克和印加这样的大王国，西班牙人所向披靡。这些征服者们跟着哥伦布四处寻找肥沃的土地以及通往南海的航路，但他们最想要的还是黄金。西班牙费迪南国王下达命令：“占有黄金！不管是人性化地占有，还是不顾一切风险地占有，总之，必须占有黄金！”

对征服者们无休止的贪欲最好的诠释莫过于俘获和谋杀印加国王阿塔瓦尔帕（Atahualpa）。1532年11月，弗朗西斯科·皮萨罗（Francisco Pizarro）来到了印加重镇卡哈马卡。正当坐在黄金宝座上的国王被抬到广场上时，皮萨罗向藏在广场四周房屋里的西班牙人发出了暗号，这些人立即骑马从各个方向冲向广场，震耳欲聋的炮声和火枪声响起。尽管西班牙人的数量远远少于印加武士，但他们在马背上横冲直撞，随着火药的爆炸声，他们像“碾死蚂蚁”一样屠杀着印加人。阿塔瓦尔帕被俘，由于害怕被杀死，他向全国发出了消息：授予西班牙人自由出入和随意拿取黄金和珠宝的权力。他答应皮萨罗会送给他大量黄金，足够装满一间7米长、5米宽的屋子。每天都有许多印加人背着金坛和金罐源源不断地来到卡哈马卡，每一个坛子和罐子都装满了金块。尽管阿塔瓦尔帕花尽一切心思讨好安抚他的劫持者，他还是因为叛国罪被判处火刑，要被绑在木桩上烧死。临死前，他同意改信基督教，因此可以免受火刑之苦，只是被绞死。皮

萨罗迅速占领了印加的腹地库斯科。



对金子的贪婪：十六世纪印加国王阿塔瓦尔帕被征服者执行处决。

穆伊斯卡和印加人的黄金财富多得超乎任何一个西班牙征服者的想象。这些财富使他们越来越向往黄金国的财富。1541年，第一支探险队从现在厄瓜多尔的首都基多出发，探险队首领就是富有领导能力的贡萨洛·皮萨罗（Gonzalo Pizarro），弗拉西斯科的哥哥。贡萨洛招募了2000个渴求黄

金的西班牙人和 40000 个当地的奴隶。他们骑马从基多出发，向东行进，不久，他们到达了一个地区，后来贡萨洛才知道，这里是南美洲最荒凉、最恶劣的地区之一。皮萨罗的队伍在昏暗、潮湿又密不透风的森林中一直漫无目的地行进了好几周。他们与鳄鱼、蟒蛇和美洲虎纠缠搏斗；每次他们轻挥自己的砍刀，就有无数昆虫从上面落下。他们在恶劣的沼泽里越走越远，队伍中的许多人死于前所未遇的疾病。由于缺乏食物，绝大多数奴隶都死掉了，无奈之下，皮萨罗只好原路返回。

西班牙征服者发起了非常严酷的运动，其效果几乎等同于种族灭绝。在他们掌握了印加之后，至少几万名当地土著被杀死。由于缺乏免疫力，更多当地人死于来自欧洲的疾病，如麻疹。当地人口几乎遭到灭绝。从有关西班牙征服者的档案记录中我们可以看到一些触目惊心的罪行。在科塔镇，当地酋长没能按照胡安·德·阿韦瓦洛（Juan de Arevalo）的要求提供足够的黄金，因此阿韦瓦洛“摧毁了这座小镇，杀死了许多印第安人，他把人们的鼻子切掉，割掉了女人的乳房和小孩的鼻子”。贡萨洛·皮萨罗来到一个偏远的小村庄，向村民询问关于黄金城的事情；如果村民不能向他提供他想要的答案，他就会折磨他们，他用一根木棍从他们的两腿中间插入，再从头部穿出，或直接将他们活活烧死。

皮萨罗领导了寻找黄金国的第一次冒险，此后这样的探险还有许多次，不过都以失败告终。在接下来的 300 年里，成千上万的人，连沃尔特·罗利爵士 (Sir Walter Raleigh) 也在其中，他们在哥伦比亚的丛林里和草原上跋涉，只为寻找黄金国。搜寻的范围越来越大，传说也变得越来越虚无缥缈，但诱人的传言还是不断涌入西班牙殖民城镇。直到 20 世纪初的几年，“钢铁大亨”克虏伯家族还组织了一次到巴西马托格罗索地区的探险，目的是寻找传说中黄金国王的财富。和之前的所有探险一样，这次探险也以失败告终。

西班牙人和印加人都很珍视黄金，但西班牙人的贪欲是野蛮而没有止境的。印加人赋予了黄金宗教意义，除此之外，黄金对于他们来说别无他用，因此他们不能理解西班牙人的贪婪。对于印加人来说，劳动力才是货币的单位，金子并不能作为支付手段。因为黄金太软，密度又大，因此不能用来制作工具和武器，是一种没有实用价值的金属；金子做的犁不能耕地，金子做的剑也没有剑刃。印加人更看重西班牙人带到美洲来的铁制品。对西班牙人来说，金子就是财富，财富就是权力。美洲大陆的宗教和艺术珍品纷纷被熔化，装在六艘船上被运回了西班牙，每艘船大约装载了 200 吨黄金，后来这些黄金全部被制成了硬币。财富来得快，去得也快。大部分黄金被用于购买来自东方的奢侈品和支付昂贵的军

费。由于财富来得过于容易，人们缺乏工作的激情，西班牙的工业停滞不前，而且由于大量劳动力移民到美洲，更是每况愈下。很快，西班牙债台高筑，最后终于破产了。这一情形与 20 世纪末期相似，廉价信贷让钱来得太容易，反而削弱了经济。

对前哥伦比亚时期黄金的有计划掠夺和熔化使很大一部分南美文化遗产已不复存在。1939 年，波哥大黄金博物馆成立，其目的是为了保护仅剩的一点文化遗产。黄金博物馆的标志是一个由金巴亚人制作的名叫“帕帕罗斯”(poporos)的小葫芦。金巴亚人用小葫芦储存和碾碎石灰，他们将石灰和可可叶放在一起咀嚼，这样可以让可可释放更多类可卡因化合物。葫芦的形状有一种特别的美感，它的弧形曲线看上去既像人体的性器官又像水果。它是黄金工艺最好的诠释，它如此美妙，我决定也要收藏一个。作为新手，我有许多次看走了眼，后来又遇见一些赝品和仿品，不过最后我终于如愿以偿。金巴亚的黄金工艺对后来的中美洲雕塑艺术有着深远的影响。它的一些理念也影响着现代的艺术大师，它们被毕加索和马蒂斯吸收运用到了他们的作品中，英国的亨利·摩尔和雅各布·爱泼斯坦也深受启发。在艺术领域，随处可见这些古老精巧的黄金艺术品的影子。

黄金像一个巨大的魔咒。它最大的特点之一就是不会腐

蚀，这一点早在古埃及法老的时代就已经被人们熟知。和2000年以后的穆伊斯卡人一样，古代的埃及人将黄金视作太阳神完美无瑕的肉体，他们也用金泥和珠宝装饰他们的新法老，象征着法老与太阳神之间的神圣关系。然而，就在1995年，两名丹麦科学家研究出了为什么黄金不会生锈，原因与金表面电子的分布有关。这些电子能够有效地排斥外来原子，如氧原子或硫原子，使它们不能与金发生反应。金也是一种很好的导体。由于它既能导电，又不会生锈，因此金是连接电子元件的最佳材料。你可以在手机的用户识别卡（SIM卡）上找到它的身影。在没被用来制作金条、硬币和用于投资的黄金中，有大约20%用于制造电器产品。

剩下的80%用来制作黄金饰品。黄金的延展性很强，1克黄金可以被制成2.5公里长的金线，或一米见方的金箔。黄金在金匠的手中可以变换出无数种造型和花样。伦敦的大英博物馆里珍藏的黄金披肩就是最早的黄金杰作之一，披肩制作于4000多年前，由一锭黄金锻造而成，造型优美繁复。还有珍藏在圣彼得堡冬宫的塞西亚黄金首饰，它们在盒子里闪闪发亮，参观者无不叹为观止。在伊朗和阿拉伯湾的黄金市场里，人们出售的不仅仅是财富，也是美丽，因为在这里，新娘的嫁妆可能全部由黄金制成。我还记得在伊朗南部见到那位巴克提尔利妇女，当时她正在用祖传的金币为裙子镶边，

而她的手臂上还戴着许多金手镯，在阳光下闪耀着纯金独有的黄色。在威尼斯的圣马可广场，有一家金铺制作并出售精美的金项链和金戒指，金铺几经易主，现在仍在经营。几千年以来，黄金首饰一直在仪式和装饰上扮演着重要角色。人人都喜爱黄金的颜色。或许这就是为什么从香港到安提贝海角，全世界所有女人都相信她们和她们佩戴的黄金一样迷人。这种魅力可以让人头脑发热，加利福尼亚就曾发生过这样的事。

## 淘金热

1848年1月24日的一天早晨，住在加利福尼亚的詹姆斯·W·马歇尔（James W Marshall）照例去巡视他在美洲河岔口南岸正在建设的一家锯木厂。这家名为萨特的锯木厂已经接近完工，但水渠的宽度和深度还不够。每天晚上，当所有工人都睡着时，马歇尔会打开水渠的大门，让河水流进来，

帮助拓宽和加深水渠。但那天早上，人们发现前一天晚上河底新露出来的岩床有点不一样。马歇尔的注意力被一个闪亮的小颗粒所吸引。最初他以为是一块石英石反射了太阳光，但很快他发现更多发光的小颗粒，有些大小和一粒麦子差不多。“我捡起一两块，”他回忆说，“然后仔细观察；根据我对矿物的知识，我当时判断有两种可能：一个是亮而脆的硫化铁，另一个是亮而软的金。然后我发现这些颗粒可以被打造成不同的形状。”回到住所，马歇尔的工人们正在吃早餐，他突然公布了这一消息：“伙计们，我应该是发现了一座金矿。”他的发现引发了加利福尼亚淘金热，改变了千千万万人的生活，他们涌进这一地区，希望能够发现他们自己的黄金国。



引发淘金热的金块：马修的金块原品。

要想将马歇尔的发现保密是不可能的，但得到消息一个月以后才有别的人来到萨特锯木厂寻找金子。曾经也有人在

加利福尼亚发现黄金，但数量很少。当地居民持怀疑的态度，他们觉得最好还是把力气花在加利福尼亚欣欣向荣的农业上面。但当他们自己看到开采成果时，一切都变了。有一个当地人回忆一个淘金者打开他的破麻袋，金子马上滚了出来，“不是沙金，也不是小金片，而是大小不一的金块，最小的也有豆粒大小，而最大的足有一只鸡蛋那么大。我看了一会儿；我感觉自己要疯狂了；我的两条腿不由自主地跳起了波尔卡舞步……每跳一步，我面前的金子堆就高一截……简而言之，我已经深深地中了淘金热的毒了”。

淘金热席卷了加利福尼亚，也波及了东部的一些州。1848年12月，美国总统詹姆斯·波尔克在国会会议上证实了加利福尼亚金矿的传闻，全世界都沸腾了。移民淘金者从世界各地赶赴这里：美国东海岸、智利、澳大利亚、中国和欧洲。他们来到加利福尼亚，住在万分拥挤的临时营地，忍受疾病的折磨和基本生活设施的缺乏。但人人都只想着金子，根本没人花时间修建永久居所或基础设施，因此他们的生活条件十分艰苦。淘金者们以相当残酷的方式对待当地的居民，因此后者将他们视为入侵者。有时，为了给一个受到攻击的淘金者报仇，他们会在深夜突然包围整个村庄，抓住所有村民。不过淘金者们只从地下挖金子，而并不偷取当地人的财富。虽然在许多方面他们和西班牙征服者有相似之处，但是，

就残忍和暴行来说，他们还比不上那些西班牙人。

最早到达加利福尼亚的那批人很快就在河床中发现了大量的黄金，他们用手或小刀就可以将大块的黄金从河床里挖出来。一个淘金者在这里挖上 7 个星期，就可以挖到 100 多公斤黄金，价值大约为 40000 美元（约合今天的 100 多万美元）。在最初的几个月里，搜寻范围从萨特锯木厂扩大到了美洲河远处，几千名淘金者带走了价值 200 万美元的黄金（约合今天的 6000 万美元）。对于许多人来说，他们没能如愿发现金矿。表层的黄金很快被采掘一空，人们不得不花更长时间在金矿石中辛苦搜寻，或在河床两侧挖洞。因为容易开采的黄金已经干涸，淘金者的热情逐渐减退了。许多人没有办法，只能留下来，从地面上搜寻一些黄金，够他们维持营地的生活，人们称之为“为衣食而淘金”。引发了淘金热的詹姆斯·马歇尔死的时候也只是个一贫如洗的酒鬼。

19 世纪 50 年代早期，黄金更加难找，开采工作留给了越来越多的工业化采矿公司。他们追溯黄金发现的源头，向河谷更深处开挖，把山坡铲平，用水柱冲碎矿石。人们再也难以发现成块的黄金，他们必须将石块碾碎，从中提取越来越小的黄金颗粒。曾经破旧不堪、无法无天的营地开始变得秩序井然。许多失败的淘金者开起了店铺。1853 年，一个名叫列维·施特劳斯（Levi Strauss）的年轻德国犹太人移民

到了美国旧金山，他就在这通往采金地的大门开了一家店铺。20年后，他制作了世界上第一条牛仔裤，这种牛仔裤立即成为淘金者和西部牛仔的制服，而在今天，它们早已风靡世界。



1855年，在加州淘金的中国工人找到金子。

1848年1月马歇尔发现黄金时，加利福尼亚的领土很小，还不是一个独立的州，不算当地土著，人口只有约20000人。仅在几年之后，它的人口已经多达几十万，到1880年，几乎有上百万。如今，它是美国人口最多的州，也是世界上

最大的经济体之一。在加利福尼亚，黄金投资的规模和成功都是前所未有的。黄金的发现使美国工业革命时期的加利福尼亚走上了一条快速发展的道路。通过移民和铁路的发展，加利福尼亚得以与发达的东海岸联系起来。它从一个农业州转型成了工业州。是黄金投资支撑了它的转型。随着淘金者的机会趋近干涸，加利福尼亚的工业革命为他们在新兴的工业领域提供了新的致富之路。在这段史无前例的发展史中，每个人都有可能迅速发财。

## 金币

在古埃及，黄金首饰是高雅的艺术品，法老们佩戴这些饰品，象征他们的权力和与神灵的亲近。人们常在神像、庙宇、方尖碑和金字塔的表面镀上一层金。黄金与神灵的联系也决定了它被广泛用于祭奠死者，最著名的就是图坦卡蒙的面具和金棺。由于与神灵产生了联系，黄金变得非常珍贵，

因此，它作为财富载体的作用被人们广泛接受。早在公元前4000年时，埃及人就开始铸造金锭。与谷物和牲畜不同，金子体积小，又不会腐蚀，因此它可以作为长时间、远距离支付的手段。但是金子也有它的局限性。它的价值取决于纯度，因此人们需要一种检验金子是否真正值钱的方法。

公元前7世纪，繁荣的商业城市萨迪斯（Sardis，吕底亚首都，吕底亚即今土耳其所在地）拥有大量的黄金和白银，萨迪斯人最先找到了解决这一问题的办法。蜿蜒的帕克托罗斯河（River Pactolus）横穿萨迪斯，流向地中海沿岸，在经过萨迪斯时，河水流动速度减慢，使金和银沉淀，最后形成自然合成的合金，也就是金银合金。根据希腊神话记载，迈达斯国王（King Midas）在河水中沐浴，想洗去点石成金的巫术，于是河床积累下了这些财富。不同的金银合金中，金和银的比例差别很大，因此合金的价值也大不相同。在原始状态，合金是不能作为可信赖的支付媒介的。但是，吕底亚人将合金制成硬币，并规定了硬币的交易面值，这一面值和铸成它们的合金价值无关。以往每次合金易手时，人们都要检测它的纯度，而结果往往不够准确，被铸成硬币之后，人们就省去了这个麻烦。这下，商业交易本身变得更加可信赖，而商人们也不必挑剔他们的交易对象了。



非常富有。被一位国王影响的黄金造币。

公元前6世纪中叶，克罗伊斯国王（King Croesus）统治期间，吕底亚人发现了一种方法，可以将合金分离成纯金和纯银，那就是将合金与盐加热。于是克罗伊斯成了第一个发行纯金和纯银硬币的国王。硬币上印着吕底亚王室的标志，一只狮子和一头公牛在决斗，这个标志象征着生与死的对立。他们克服了合金硬币只能在本地流通的缺点；印着王室标记的纯金和纯银硬币成了国际通用的钱币，这对萨迪斯来说十分重要。萨迪斯城坐落在爱琴海和幼发拉底河之间，是东西方日益频繁的国际贸易往来的必经之路，萨迪斯从中受益颇多。克罗伊斯发行的硬币提高了国际贸易的效率和可信度，因此迅速在小亚细亚地区流行起来。黄金不再是统治者专属的财富载体，而已经流通到了商人手中。随着国际贸易的发展，用在交易中的黄金和白银也越来越多。

吕底亚的财富被挥霍到了奢侈商品和克罗伊斯日益增长的战争野心上。公元前 546 年，克罗伊斯对居鲁士大帝（Cyrus the Great）的波斯帝国发起攻击。但是这一步他走错了，仅在一年内他就被打败。但随着他们向西推进，他们为波斯人带去了铸币的技术。克罗伊斯的发明使金币、银币标准化，不久，金币、银币的使用传遍全世界。

## 文明的象征

我的书房里有一本版画集，是乔瓦尼·巴蒂斯塔·布鲁斯托伦（Giovanni Battista Brustolon）根据卡纳莱托（Canaletto）的油画作品创作的。其中一幅版画描绘了一群人聚集在圣马可广场的四周，正在被手拿棍子、牵着狗的人逼得节节后退。版画以威尼斯大教堂为背景，画面中间坐着威尼斯总督，他刚刚在威尼斯大教堂里完成他的就职典礼。人们抬着总督经过广场，总督向人群中洒下无数金币、银币，

引起阵阵混乱。这里和南美洲的丛林深处并无任何不同，人们都为了金子奋不顾身。



布卢斯特龙按照一幅卡纳莱特的画而雕刻成的作品：总督在他的就职典礼上发黄金。

这幅完成于 18 世纪的油画描绘的是 12 世纪的威尼斯城，当时的威尼斯已经是欧亚大陆新的贸易枢纽。和萨迪斯一样，在威尼斯，黄金货币促进了城市的繁荣。在 12 和 13 世纪，随着西欧经济的发展，东西方贸易往来逐渐增多。丝绸、香料和其他奢侈的商品来到贸易中心热那亚、佛罗伦萨和威尼斯，由于这些商品十分稀有，因此价格非常昂贵。到 1252 年，

大量黄金流入佛罗伦萨，足以让人们开始铸造一种新的金币，即弗洛林币（Florin）。1284年，在总督乔瓦尼·丹多罗（Fiovanni Dandolo）执政期间，威尼斯使用同样精美的工艺铸造了第一批和弗洛林币重量相等的达克特金币（ducat）。达克特金币很快成了标准钱币，并代替了同在威尼斯铸成的格罗西银币（grossi）的作用。强大的商战两用的威尼斯船队使达克特金币在整个欧洲得以流通。



黄金永流传！一个威尼斯比达克特，世界上最持久的金币。

达克特金币成了欧洲的标准货币，能够在欧洲所有地方流通，是威尼斯权力的流动广告。1472年威尼斯参议院颁布的一条法令明确规定：“在我们的领土上发行的钱币是威尼斯共和国的实体，更是共和国的灵魂。”威尼斯所有的硬币都出自造币厂（Zecca），它是威尼斯城的地理和政治中心。坐

在水池边，可以看到这座三层高的建筑坐落在圣马可盆地边缘，正对着总统府邸。每一任总督都以造币厂和铸造的大量硬币为荣，硬币上印着他们每一个人的头像。在 1797 年共和国没落之前的 500 多年里，威尼斯达克特金币一直保持着相同的重量和纯度，从未改变过。

然而，这些纯金铸造的达克特金币也未能避免被造假的厄运，还有些金币的边缘被削掉，以至于导致硬币贬值。削金币的人会沿着金币外延削掉很少量的金子，然后将削下来的金子熔化，再卖回给造币厂。造假金币的人则使用价值较低的合金仿造达克特金币。造假和削金逐渐影响了威尼斯货币的信誉度。由于这些行为太普遍，因此威尼斯的最高法院四十人委员会宣称削金是令上帝感到厌恶的恶行。被抓住的人要交罚款、被砍手和弄瞎双眼。女性罪犯则会面临终身监禁的处罚。

威尼斯不是唯一受假币和削金困扰的城市。在伊丽莎白时代的英格兰，削金者可能会被绞死或烧死，但是这些惩罚并没有威慑到人们。到 1695 年斯图亚特王朝时，英格兰流通的硬币中有十分之一是假币。“这一先令到底是十便士、六便士还是四便士，就要看运气了。”维多利亚时代的历史学家麦考利勋爵（Lord Macaulay）这样写道。第二年，财政大臣任命艾萨克·牛顿为造币厂的监察。牛顿最广为人知的故事是

落在头上的苹果和运动定律，但他在造币厂的日子给后人留下了更珍贵的有形遗产：现代硬币。这一职位本是个闲职，但牛顿带着热情投入了工作中。作为管理者，他的职责之一是对违反国家货币法律的犯罪行为进行处罚。他将他的科学天赋应用到对伦敦罪犯心理的研究中，摇身一变，成了侦探和执法官。在处理一起假币案时，牛顿建议替换整个英国的货币。许多流通中的旧币磨损严重，因此很容易仿造。不过，造币厂发明了一项复杂的新技术，可以在金币边缘刻上“Decus et tutamen”的字样，意思是“为了装饰和防伪”。现在在英国一英镑硬币的边缘还可以看到这样的刻字。17世纪的假币制造者没有这样的设备，因此英格兰银行想将所有的旧硬币都换成可以防伪的新硬币。



旋转它们，但不要夹起来。牛顿的发明流传至今。

但是牛顿还有一个更重要的理由。英格兰白银的流失已经有一段时间了。因为在日常交易中，面值较小的银币是必

需之物，因此它们的流失影响了国内商业。牛顿决心解决这一棘手的经济问题。

## 价值标准

英国的货币系统正在遭受“格雷欣法则”(Gresham's law)之苦：简单地说，就是劣币驱逐良币。在英国，每盎司黄金相对于白银的价格是由法律规定的，而规定的价格导致白银在英国国内的价值低于国外。因此，人们将银币熔化，以较高的价格卖到国际市场上去，就可以获取净利润。麦考利勋爵写道：“大量银币被熔化；大量银币被出口或囤积；但是商店的钱匣里却见不到一块新银币。”

牛顿清楚，只依靠法律是无法阻止银条走私的。他曾目睹假币制造者和削金者为了获取暴利而不顾性命。因此他建议选择一条捷径：将金银之间的汇率调整到接近国际通行汇率，禁止任何人以低于或高于 21 先令银币的价格支付或收

取1畿尼金币。但是这一调整举措仍然不够得力，白银还是持续流失。金币很快占据了主导地位，大不列颠发现他们正在使用的是金本位制，也就是说，每单位的货币价值等同于若干重量的黄金。牛顿的错误判断使黄金价格大幅上涨；仅在一个世纪后的1816年，英格兰银行发行了沙弗林金币。

像之前的威尼斯达克特金币一样，沙弗林金币代表着世界上最强大的商贸国家，作为最安全的货币在全世界范围内被接受。50年代在伊朗时，我记得我和父亲到一个遥远的小村庄去买波斯地毯。在讨价还价之后，我们买走了三块地毯，它们今天还铺在我家地板上。这三块地毯花了我们三个沙弗林金币和一套旧西装。即使在遥远的沙漠深处，人们也认识并相信英国的沙弗林金币。

占世界经济主导地位的英国实施了金本位制，其他国家很快跟进。普法战争发生后，1872年，德国引进了金本位制，荷兰、奥匈帝国、俄国和斯堪的纳维亚纷纷效仿。《1873年铸币法案》也让美国在实质上实行了金本位制，1878年，法国开始实行。到20世纪初，只有中国、部分拉美国家和波斯没有实行金本位制。这些举措得以实施，要归功于美国、南美和澳大利亚许多新发现的金矿。在加利福尼亚淘金热开始的最初6年里，淘金者们生产了价值将近3.5亿美元（约合今天100亿美元）的黄金。黄金的发现在全世界范围内引发

了寻找新矿的热潮。仅在马歇尔发现黄金 60 年之后，世界黄金产量已经增长了 100 倍。正如吕底亚和威尼斯的统治者利用大量涌入的黄金来改革他们的货币系统一样，这些新发现的黄金也被用来改变国际货币系统。这一系统为贸易往来越来越频繁的国家带来了许多好处。它需要稳定的货币汇率，要实现汇率的稳定，需要使所有国家的货币与黄金挂钩。政府保证每个人都可以用他们的货币兑换黄金，因此使货币可以在不同国家之间流通。国际黄金标准为资本和贸易的全球化提供了安全和稳定的保障。它也为黄金规定了一个固定不变的价格。

从 1880 年一直到“一战”开始，金本位制得以蓬勃发展。在这一相对和平繁荣的时期，世界对黄金的重视促进了全球经济的发展。克罗伊斯国王的金币和威尼斯达克特金币是这两个伟大欧亚文明崛起的关键，同样，金本位制使世界经济得以繁荣发展。美国也曾将黄金和白银同列为合法货币，因此，曾困扰英国的那些问题在这里也都出现过。南北战争后，美国实行了单一金属货币的金本位制，这一举措限制了通货膨胀，促进了全球贸易，但减少了货币供应量。一些“黄金民主党人”和主流共和党人支持这一改革，他们认为货币纪律能够催生经济繁荣；但反对者们——主流民主党人和“白银共和党人”——希望白银回到货币系统中来，这

样可以抬高货币价值，通过牺牲“持闲置资金的闲散人员”的利益，使“奋斗的老百姓”感到更加富裕，也使本地的银矿产业受益。这一切在 1896 年威廉·詹宁斯·布莱恩(William Jennings Bryan) 的演讲中体现得淋漓尽致，他反对货币纪律，宣称：“你不该把带刺的王冠硬压在劳动人民的头上，也不该把人类钉在黄金的十字架上。”但是这一伟大的结束语并没有起到任何作用。在全世界，人们发现了更多的黄金，货币供应得到了缓解。

“一战”期间，金本位制实行的压力越来越大。昂贵的军费开支使预算不平衡，导致了严重的通货膨胀，许多政府失去了将货币兑换成黄金的能力。在两次世界大战期间，许多国家取消了金本位制。战后，重建所需的大笔公共开支给政府财政带来了类似压力。许多政府不想受到金本位制的限制，相比之下，他们更希望国家的货币系统能允许他们自由追求国内政治目的。英国经济学家约翰·梅纳德·凯恩斯(John Maynard Keynes) 清楚地知道，金本位制的实行会限制一个民主国家制定，例如降低失业率这样的国内政策的能力。

尽管困难重重，金本位制不会就此销声匿迹。《布雷顿森林协议》(The Bretton Woods Agreement) 就是金本位制最成功的复兴。为了寻求战后的稳定和团结，1944 年国际社

会再次引进了金本位制。协议规定，美元的价值与黄金价值挂钩。美国有能力这样做，因为战争几乎未对它造成任何破坏，因此经济态势良好。但没有哪种货币能和黄金一样经久不衰。20 世纪 60 年代，一度发达的美国经济开始缩水。大笔国内支出和不断攀升的越南战争军费导致收支不平衡的现象越来越严重。通货膨胀和失业率持续加剧，美国的黄金储备不断减少。美国不能再保证货币对黄金的可兑换性，《布雷顿森林协议》限制了政府改善经济的能力。

尼克松总统有两个选择：实行高税率、高利率和极端的预算纪律，或者取消美元与黄金的挂钩，允许美元在外汇交易市场上自由浮动。1971 年 8 月 13 日，星期五，尼克松总统和他的经济顾问们秘密前往戴维营，在那里，他决定取消金本位制。在随后的一片混乱中，金价持续攀升。到 1980 年，由于投资者为了躲避通货膨胀，将希望寄托在黄金上，黄金价格涨到了有史以来最高的每盎司 859 美元。就在金价达到最高点时，巴西丛林里一个幸运地发现再次向我们说明，人类对黄金的追寻之路还很长。

## 永恒的诱惑

1980年，在巴西南部小镇特雷斯巴拉斯（Tres Barras）附近，一个农民正在耕种一块由周围丛林开垦出来的土地，忽然，他发现泥土中露出了一块发亮的金子。他把金子拿到附近的镇上卖掉，很快，这个消息就传开了。不久，10000名掘金者来到农庄，希望能有所收获。和加利福尼亚淘金热时期的情形一样，临时营地被迅速搭建起来。工人们的生活条件极不卫生，非常恶劣。犯罪事件频发，凶杀和卖淫简直是家常便饭。在1979年到1980年期间，巴西的黄金产量翻了4倍，达到37吨，大部分要归功于特雷斯巴拉斯金矿的产出。

1986年，摄影记者塞巴斯蒂昂·萨尔加多（Sebastiao Salgado）来到塞拉佩拉达（Serra Pelada），也就是曾经的特雷斯巴拉斯，小镇的秩序已经得到了改善。金矿矿址被划分成许多小块矿区，每一块由一队工人负责开采。一个矿工每背出一麻袋重50公斤的矿石，仅得到矿区主人发的20美分工资。当某一片矿区发现黄金时，每个工人都有权挑选一袋矿石。“袋子里装的可能就是他们的财富和自由。”萨尔加多写道，“矿工们亢奋地背着麻袋，不断爬下矿坑，再爬上来，他们背着的是泥土，也是他们的希望。”金矿所在地区地形条

件十分恶劣，因此机械设备没有用武之地。在萨尔加多的镜头里，工人们就像一群群蚂蚁，他们沿着架在危险的矿坑斜坡上的梯子爬上爬下。他的黑白照片展现的场景似乎属于一个早已远去的年代，看上去更像 16 世纪的西班牙征服者，而不是发生在今天的场景。黄金为经济发展提供了潜力，但更多的时候，这些好处落在了少数有权势的人手里。1992 年，塞拉佩拉达金矿关闭的时候，一些有钱的地主拿走了黄金，留下几千名在贫困线上挣扎的矿工。



巴西瑟拉佩拉达的金矿，这个大洞最初起源于一个农民在泥土中找到金块。

人类对黄金的利用方式基本没有变过，不管是在法老时代的埃及，在穆伊斯卡时代的哥伦比亚，还是文艺复兴时期的威尼斯。在不同的历史时期，黄金都同时扮演着装饰品和价值储藏两种角色，体现着权力和安全。在繁荣时期，黄金不断易手；在动荡时期，黄金被大量囤积。19 世纪末金本位制盛行时，许多新开采的黄金都被铸成金条，储存在地下金库里。1930 年，凯恩斯这样描述黄金的消失：“‘黄金’不再在市场上流通，人们贪婪的手掌再也触摸不到这种金属。曾栖息在钱包、钱匣和铁罐里的金币们，都被埋在地下的金库吞掉，再也看不见了。黄金从人们的视野里消失，又回到了地下。但是当地面上再也见不到任何金子时，人们开始变得理性起来；用不了多久，贪婪就会消失了。”凯恩斯预言黄金终将失去它的诱惑力。但是历史却不这样认为。2011 年 8 月，始于 2008 年的金融危机刚刚过去，金价就创下了历史新高，达到每盎司 1900 美元，比四年前的两倍还高。

为了开采黄金，矿工们要到达地面以下极深的地方。1986 年，我第一次到访位于犹他州宾厄姆峡谷（Bingham Canyon）的金铜矿坑，当时它还是英国石油公司的产业。宾厄姆峡谷宽 4.4 公里，深 1.2 公里，是地球表面最大的人造洞穴，我站在巨大的采矿设备旁边，感觉自己渺小得像一只蚂蚁。当时，铜的价值很低，让矿坑得以运营的是黄金。南

南非的陶托那金矿（The Tau Tona gold mine）位于地下 4000 米深的地方，是世界上最深的采矿作业。这里的矿土只含有很少的黄金。在南非，每开采 500 吨黄金，需要挖出并碾碎 7000 万吨的土。仿佛我们花很大的力气将金子从地下挖出来，只是为了再把金条放回到地下。



地球上最大的人造洞穴是“宾汉铜矿场”

黄金的诱惑是永恒的，我们用宗教般的虔诚对待黄金。虽然它不再和任何货币挂钩，也不再作为交易的支付手段，

但我们仍想要更多的黄金。在全世界人的眼里，它仍是财富和成功的象征。有着古铜色皮肤的优雅女士们用黄金首饰打扮自己，就如同当代的黄金国王；奥运会冠军和诺贝尔获奖者仍对他们的金质奖牌无比珍视；结婚时，我们仍会互换用黄金打造的戒指。我们对黄金的信仰经久不衰；我们与黄金的关系从未改变。黄金并没有退出历史舞台，因为它是不朽的。那么法老和征服者的黄金都到哪里去了？它们只不过是熔化，转换成了另一种形式。你戴在手上的黄金戒指可能来自宾厄姆峡谷，也可能来自陶托那金矿。又或许，它里面的某一丝黄金，曾属于穆伊斯卡的黄金国王。

## 04 银

银元素在成像技术上的应用让摄影风靡一时，从此银不再只是储存价值的货币。它有了足以影响世界的力量，人们从此可以用影像记录回忆和历史，让流动的瞬间定格，以一种不可思议的方式还原这个真实的世界。

我第一次接触银是通过摄影。当时我还是个孩子，住在新加坡，因为父母忙于工作，把我留给保姆照看，因此我时常感到十分孤独。在 20 世纪 50 年代，父母双方都要工作是不太常见的事情；不过雇佣保姆倒是很普遍。为了逗我开心，他们给了我一台照相机，就此对摄影的爱好陪伴了我的一生，银作为摄影的基础，改变了我的世界。它是我快乐的源泉，也是我研究和观察这个世界的途径。



1953 年的新加坡，一个五岁的儿童在尝试摄影。我的母亲不耐烦地为我的布朗尼盒式相机摆造型。

早在摄影发明以前，银和金一样，是财富的象征和储存介质。我将从这里开始讲述银的故事。在南美洲的西班牙征服者中，有一个流传已久的关于银山的故事，就像之前也流传过的黄金国传奇一样。他们听说，这些银山就位于炎热干燥的北厦谷（Chaco Boreal）低地。西班牙征服者们经历了恶劣的气候，又对当地土著犯下了残暴罪行之后，终于到达科迪勒拉的瑞尔山脉，但与那些寻找黄金国的探险家们不同的是，他们此行并没有无功而返。在爬上海拔 5000 米的高峰后，他们的眼前出现的是呈圆锥状的波多西山（Cerro de Potosi）。他们沿着贫瘠的山坡向地下挖，发现山体内部居然

是由白银构成的。

## 白银之山

16世纪来临之际，西班牙征服者来到印加领土前几十年，瓦伊纳·卡帕克国王（Emperor Huayna Capac，被征服者残忍杀害的阿塔瓦尔帕之父）看到圆锥形的波多西山，不知为何，他得出结论说，山体里一定满是珍贵的石头和金属。几千万年前，富含金属矿物的火山灰随着火山的喷发来到地表，并进入波多西山岩石层的内部。金属矿物凝固，形成了包裹严密、浓缩程度较高的银矿脉。在印加时代来临以前，这些矿脉一直静静地隐藏在贫瘠的山坡下。相传，国王派人在山坡上挖矿，突然，人们听到一个巨大的声音说：“上帝要把这些财富留给后来人。”人们从山里逃了出来，并给这座山取名为波多西，在奎彻语（Quechan）中的意思是“大雷”。



看着一座银色的山：麦当娜在波托西。

这些“后来人”似乎就是西班牙征服者。没人知道到底是谁第一个打开了波多西银矿脉。围绕这个疑问有许多传说，比如印第安人在追一只美洲鸵时被山坡上露出来的一块含银的岩石绊倒了。16世纪40年代西班牙人到这里时，很有可能印第安人已经开始小规模开矿了，但大规模开矿还是发生在贡萨洛·皮萨罗来到印加王国之后。到1545年，征服者们已经挖到了山体深处。波多西山脚下的同名小城很快成为

秘鲁的中心，也是当时世界上最大、最富有的城市之一。25年后，当总督弗朗西斯科·德·托莱多（Viceroy Francisco de Toledo）第一次下令进行人口普查时，这个曾经只有几座小茅屋的村庄已经拥有了 12 万人口。

波多西位于海拔 4000 米高的位置，气候寒冷、干燥，常年有大风。16 世纪的矿工和精炼工路易斯·卡波捷（Luis Capoche）曾写道，猛烈的大风“卷起尘土和沙子，简直遮天蔽日”。但在这片安第斯山脉中的贫瘠土地上，西班牙人建立了一座富丽堂皇的城市，窄窄的街道两旁豪华公馆林立，商人们出售的是“巴黎的毡帽……德国的钢制工具……以及威尼斯的水晶杯”。娱乐方面，他们建起了赌场、舞厅和戏院。大约有 700 个职业赌徒和 100 多个妓女居住在城中。人们从世界各地蜂拥来到这里，因此不同的人群之间时常发生斗殴，决斗更是得到许可地成为日常活动。波多西的灯红酒绿使它成为殖民地时期南美洲的中心，许多盛大的节日庆典都在这里举行。1608 年，为了庆祝圣餐节，波多西不眠不休，上演了六天的话剧，举行了六晚的假面舞会、八天的斗牛大赛、三天的嘉年华狂欢和两天的比武大会。其中一场嘉年华在一个广场举行，一个马戏团的“动物种类和挪亚方舟上的一样多，他们的喷泉同时喷出美酒、水和当地的饮料”。黄金国的黄金之城或许是个谜，但征服者们用波多西山深处的财宝打

造了他们自己的白银之城。这座浮华的城市折射出的是生产规模的扩张，由于使用了水力开矿技术，从 1573 年到 1585 年，波多西的白银生产规模扩大了 7 倍。每年的需水量剧增。征服者们筑起大坝，还建造了一个包含 32 个湖、蓄水量达 600 万吨的储水系统。1592 年，白银产量达到了每年 200 吨的高峰，在之后的 17 世纪和 18 世纪，产量开始慢慢下滑。在 200 年的时间里，波多西山生产了占世界产量一多半的白银，总量 30000 吨。

西班牙语中有一种夸奖人的方式，“vale un potosi”，意思是“和波多西一样富有”，这是对人的最高赞颂。波多西成了财富的象征，神圣罗马帝国皇帝赐予波多西帝国之城的美誉，还在盾牌上刻下了这样的字样，翻译过来的意思是：“我是富有的波多西，是世界之宝，是群山之王，是众王羡慕的对象。”

但波多西华丽的财富外衣之下，隐藏的是残酷的事实，那就是对几百万名印第安人的奴役。印加社会建立在强制劳动的基础上，因此印第安人对进贡的概念有着根深蒂固的服从感。征服者们有效地利用了这一社会结构，奴役当地的工人。这样的情况持续了 250 年。每年，10000 多名工人被带离他们在玻利维亚或秘鲁高地的家园，西班牙人将他们视作“没有主人的动物”，他们有时会强迫这些工人在地下 500 米

的地方日夜不休地连续工作 23 周。疲惫不堪的工人们还要经常遭到鞭打和殴打，被打死的事情时常发生。波多西山因此被称为“吃人的山”，这一名称至今仍流传在那些从古矿井中冒险开采金属锡的工人中间。现在，人们每年还要在矿井井口杀死一只美洲驼作为献祭，希望安抚大山深处的魔鬼。但今天的波多西城和波多西山都已经只剩下空壳了。这里位于安第斯山区，气候不适合农作物生长，又远离南美洲其他大城市，只有银矿让 16 世纪和 17 世纪的波多西得以繁华一时。当白银被开采一空时，这里的人、赌场和嘉年华也一去不返了。与加利福尼亚不同，波多西的当地经济没有多样化发展的机会。千疮百孔的波多西山已经被洗劫一空，山坡表面满是炉渣和不值钱的废弃矿石，为波多西染上了一层红色。

波多西的白银与阿塔瓦尔帕和穆伊斯卡的黄金一起被运到了西班牙，或到了商人手里，或被当作贡品献给了西班牙国王。但正如一位 17 世纪的评论家说的那样：“从秘鲁运到西班牙的不是白银，而是印第安人的血汗。”

## 波西米亚的银矿

波多西的白银流入了商业中心热那亚、佛罗伦萨和威尼斯。同时，欧洲自己的银矿也在蓬勃发展。15 世纪末和 16 世纪初，人们在萨克森（Saxony）和蒂罗尔（Tyrol）发现了新矿，而新技术的使用提高了旧矿的利润率。1527 年，正值采矿业热潮，格奥尔格乌斯·阿格里科拉来到波西米亚小城约阿希姆斯塔尔（Joachimsthal，即今天的捷克共和国境内的亚希莫夫），成了一名医生，这里距他的出生地萨克森很近。约阿希姆斯塔尔坐落在铁矿山（the Ore Mountains）的山坡上，是欧洲采矿业的中心。在这里，他目睹了矿石的开采和加工科技是如何改变着周围的一切。这座小城建于 1516 年，在 11 年的时间里，它的人口从 1000 人增长到了 14000 多人，增长的原因就是银矿的大量产出和用这些白银铸成的“塔勒”银币。阿格里科拉花了大量的时间参观和研究四周山坡上的银矿和冶炼厂。1530 年前后，他辞去小镇医生一职，在接下来的几年里，他四处旅行。在此期间，他将采矿当成他的研究课题，并著成《论矿冶》一书。阿格里科拉对采矿业的研究颇有成果，直到启蒙运动时期才有人在这个领域超越他。

在这本书中，阿格里科拉不但细致入微地解释了如何寻

找、开采和加工珍贵矿石，还不厌其烦地阐述采矿者和采矿艺术的好处。对于阿格里科拉来说，采矿业的优势不言自明，那就是生产出制药、涂料和铸币等所需要的原料。“没有人，”他写道，“耕地可以不需要金属工具。”对于那些质疑采矿业价值的人们，阿格里科拉这样问道：“金银采矿业的利润要比农业利润大多少？……谴责采矿业的人说，至少农业的利润是稳定的，他们夸大了农业的好处。我并不认同这样的看法，因为即使在 400 年后，银矿仍不会枯竭。”但他也说，采矿业只会让那些“真正用心的人”获利。要获得成功，采矿者必须懂得许多采矿的艺术和科学方法。他必须懂得如何保证矿工的健康以及如何通过法律“行使自己的权利”。读起来好像阿格里科拉在描述今天矿业公司的所作所为。

根据阿格里科拉的描述，12 世纪时，人们“极其偶然”地在弗莱贝格 (Freiberg) 附近的撒拉河 (the River Sala) 边发现了一个巨大的银矿，这里距离约阿希姆斯塔尔 50 英里远，受迈森的奥托侯爵 (Margrave Otto of Meissen) 管辖，他还有一个更广为人知的名字，“富有的奥托”(Otto the Rich)。在 13 世纪的大部分时间里，弗莱贝格都是欧洲银矿业的中心，人们在这里发现了一个又一个的银矿，前一个枯竭了，后一个马上接替。但这样的情况在 14 世纪中叶就停止了，银矿越来越少，再也没有白银流向欧洲各国。

采矿者们追寻着一个银矿脉的痕迹，最终来到了一个沥青铀矿，也就是我们今天所说的铀矿石，这意味着他们已经采到了这一矿脉的尽头。约阿希姆斯塔尔的沥青铀矿中的铀含量丰富，后来被用于制造原子弹。其他矿必须废弃，因为它们代表着“凶残的魔鬼”，阿格里科拉写道，“人们必须通过祈祷和斋戒的方式将它们驱逐。”我们现在知道，这些魔鬼其实是有毒的爆炸性气体。自阿格里科拉的时代以来，采矿技术已有了显著的进步。我们不再通过观察天象来判断矿脉的走向，也不再相信魔鬼和怪兽的存在。当时的阿格里科拉无法想象，南非的陶托那金矿矿坑有 4000 米深，也想象不出开采稀土金属所需要的复杂化学手段。但是，他相信自然资源可以造福人类社会的理念一直流传至今。我们是否能从自然资源中获益，取决于我们开采和使用它们的方式。阿格里科拉明白，元素本身是中性的：“好人用它们做好事，它们就有用；坏人用它们做坏事，它们就有害。”

波西米亚的白银改变了欧洲的金属货币。富有的奥托和他的继任者们在德国开起了多家造币厂，它们生产的银币流入英格兰，换回羊毛和布料。银币的生产一时达到空前规模。在许多场合，银币比金币更实用。因为面值较低，银币被中世纪欧洲逐渐壮大的商人阶层用于日常小笔交易中。有些银币甚至还流入农民手中，这可能是自古罗马时代后的第一次。

## 雅典猫头鹰

雅典猫头鹰是一种厚而重的银币，一面印着戴头盔的雅典娜头像，反面则印着她的猫头鹰，是智慧的象征。这种银币于公元前 6 世纪在雅典首次铸造，并且很快就流传开来。它们被用于对外贸易中，成了雅典权力的象征。其他硬币的流通时间都不长，只有猫头鹰银币的重量和形制一直保持了 300 多年。这种连贯性使得雅典银币在整个地中海地区得以流通。在时间长短和可靠性方面，只有铸造了 500 多年的中世纪威尼斯达克特币能与之媲美。第一批猫头鹰银币铸造之时，雅典的民主制度已经稳固，正处于政治、经济飞速发展的起步阶段。雅典繁荣的一个条件是它控制着爱琴海及其岛屿以及一些沿海城市，要做到这一点，必须拥有强大的舰队。另一个条件就是从雅典城北的拉夫里翁（Laurium）开采出来的大量白银。这些白银帮助雅典成功建立了地中海沿岸首屈一指的文明。色诺芬（Xenophon）写道：“神灵赐予我们采之

不尽的银矿供我们独享，我们的邻国从未在它们的领土内发现银矿脉。”但是在公元前 413 年，斯巴达人攻占了银矿附近的一个小镇，并在此建造城堡，企图占领这一地区，雅典人开始失去对白银的掌控。一个叛逃的雅典将领告诉斯巴达人如何占领这一地区，才能切断由拉夫里翁到雅典的白银供应。这一计划成功了，银矿被关闭，迫于无奈，人们熔掉了雅典卫城上的所有金质物品，其中包括八尊胜利女神的雕塑。公元前 404 年，在遭受长期围困后，雅典人向斯巴达人投降。修昔底德（Thucydides）将雅典的战败主要归因于长期的白银短缺。银矿为这个伟大文明的崛起做出了贡献，而银矿的缺席又加速了它的衰落。

胜利女神被熔掉了。利用这些黄金，人们制成了在重量和形制上与银币相同的金币，用来代替银币。但由于黄金价值较高，一个金币等于 12 个银币，因此在小笔的零售交易中，金币派不上用场，人们主要用它们支付来自国外的货物。在雅典文化、政治和经济的全盛时期，占主导地位的是白银，而不是黄金。历史上，黄金与白银的比率一直不高，从这一点就可以看出白银的重要性。在雅典，黄金的价值是白银的 12 倍，与吕底亚国王克罗伊斯规定的 10 倍不相上下。在三千多年的时间里，这一比率一直在 9：1 到 16：1 之间浮动，而在 2011 年，黄金的价值至少是白银的 50 倍。

白银和黄金相对价值的浮动是以相对供求关系为基础的。当地黄金和白银来源分布的变动会导致它们价值比率的差异，但随着国际贸易的发展，这些变动渐渐可以忽略不计。一盎司白银的价值永远会远小于一盎司黄金的价值。这是白银具有历史意义的优点之一，因为它可以被铸成小面额的“零钱”，用于日常交易。为了加强白银的实用性，也为了确保商人们明白它的价值，国库或货币管理部门需要制定金银价值的比率，而不是让这一比率自由浮动。多次的人为规定让一些人得以在无意中实现了套汇，而国家则在这一过程中遭受了损失。例如，早在中世纪，欧洲白银储量巨大时，就有人将银块通过地中海运往北欧，在那里，这些人把银块换成黄金，从中获利。白银的数量一直比黄金多，因为国库要缓解货币供应，就必须使用白银。这种“不稳妥的”货币政策是不可能持久的。随着时间的推移，人们在国际贸易中更愿意用黄金作为价值标准，黄金需求量增大，相对价格自然就得到了巩固。白银的地位越来越尴尬，直到 19 世纪中叶，它才在摄影技术中找到了自己的新位置。

# 感光银盐

1973年，纽约市炎夏如火，每到周末下午，我都会去华盛顿广场公园拍照。公园中央的一排棋桌旁永远围着热爱下棋的老人们，他们目光热切地盯着黑白格的棋盘。在我按下快门的瞬间，由这一城市场景反射出来的光线通过全开光圈、照在卤化银胶卷上。光子与胶卷相遇的位置，银原子形成，记录下历史的画面。

18世纪末，英国著名陶艺家约西亚·韦奇伍德（Josiah Wedgwood）的儿子托马斯·韦奇伍德（Thomas Wedgwood）第一次产生了将画面永久保存下来的念头。约西亚曾使用过照相机的暗箱，他用暗箱将周围的画面投射到一个屏幕上，这样可以将图画更快、更准确地画到陶制品表面。韦奇伍德想要永久保存这些画面，由于在1725年一位德国教授偶然间发现了硝酸银的感光特性，于是韦奇伍德开始用硝酸银做实验。1725年，当时约翰·舒尔策（Johann Schulze）正在纽伦堡附近的阿尔特多夫大学（the University of Altdorf）研究一种硝酸和白垩的混合溶液（里面恰巧也含有一定量的银）。那天阳光明媚，他的实验台靠近窗边，阳光直接照进了装溶液的罐子里。突然，他发现朝向窗户那一面的混合物变

成了紫色，而背向窗户的那一面却还是白色。他想，或许，是太阳的热导致溶液发生了化学反应。他又做了一次实验，这次，他把罐子放在了没有阳光的地方。结果什么也没发生。舒尔策意识到，一定是阳光的作用改变了混合物成分，在进一步实验后，他得出结论，在这一反应中起关键作用的是银元素。



英国碘化银纸照相法。

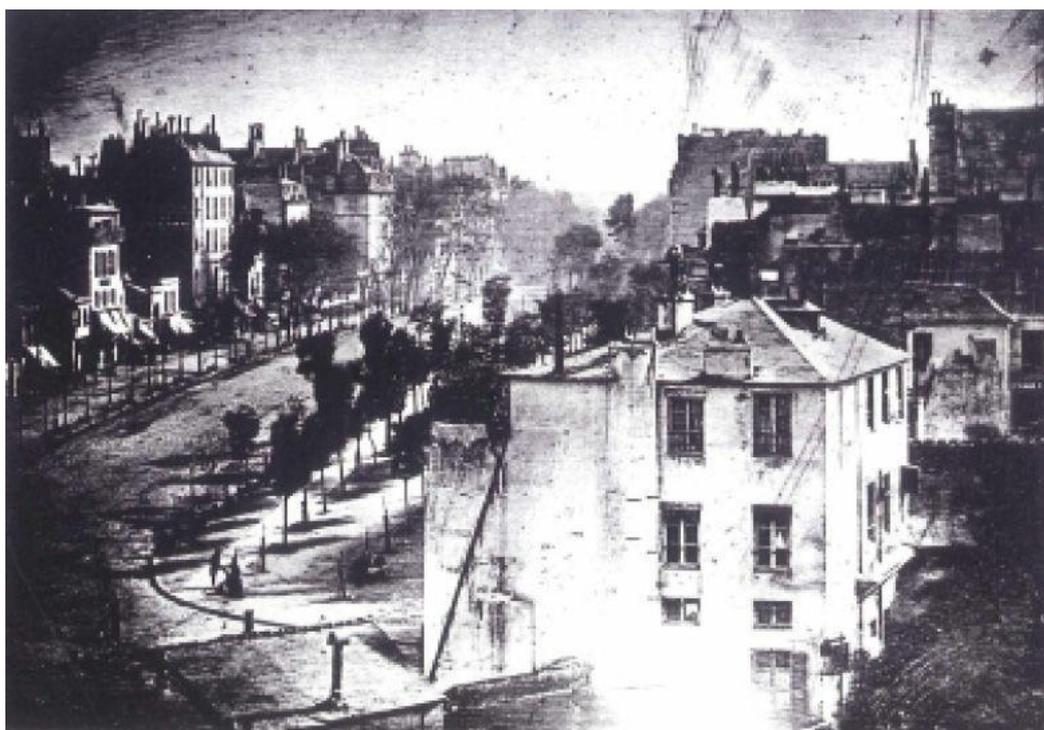
韦奇伍德利用了这一发现。他在纸张上涂上一层硝酸银溶液，然后将物体放在上面。使纸张暴露在阳光下，上面就

会出现物体的轮廓，但阳光总是会使其其他部分的硝酸银也变黑，纸上的图像也随之消失了。由于沮丧加上健康问题，他停止了实验。产生永久图像的摄影技术的发明还要再等上 30 年。

1833 年 10 月，另一个英国人威廉·亨利·福克斯·塔尔博特 (William Henry Fox Talbot) 正在科莫湖畔度蜜月。他想用显像描绘器记录这一带的风景。显像描绘器是绘图人员的另一个好帮手，它用三棱镜将图像叠映到纸张上。塔尔博特的尝试收效甚微。当他把目光从棱镜上移开时，“发现铅笔在纸上只留下了几道可怜的线条。”福克斯·塔尔博特想要找到更好的方法。他显然忽略了前人韦奇伍德的实验，一回到家中就开始了自己的实验。他开始用涂了硝酸银溶液的纸张制作一些平面物体的轮廓，比如树叶和花边。但和韦奇伍德实验的结果一样，塔尔博特无法阻止图像的褪色。一天，他注意到纸张边缘的感光度往往比其他位置强得多，而纸张边缘只浸到很少量的盐溶液（用于制作硝酸银溶液）。他发现，经过高浓度盐溶液处理的纸张感光度会大大降低。于是他意识到，如果他将纸张浸到浓度很高的盐溶液里，图像就能够保存下来。但这只成功了一半。暗箱中出来的图像太浅，无法成像。他又开始做实验，希望改善纸张的感光度，并通过镜头的使用，使光聚集到一个更小的区域，这样就可以产生

邮票大小的图像。这些图像“应该是某个矮人艺术家的作品”，福克斯·塔尔博特写道。在摄影技术上，他走得比舒尔策和韦奇伍德更远，但和他们一样，塔尔博特也没能领会这一发现的重大意义；他把摄影放到一边，又去研究别的爱好了。

同时，英吉利海峡的另一边，一个法国的剧院设计师正在做实验研究银的感光特性，他使用的是镀银的铜板和碘。1835年春天，路易斯-雅克-芒代·达盖尔(Louis-Jacques-Mande Daguerre)将一块实验失败的铜板放在橱柜里，准备以后抛光再用。几天后他发现，铜板上奇迹般地出现了图像。原来，是橱柜中盛水银的瓶子散发出水银蒸汽，让铜板显现了“隐藏的”图像。铜板刚刚曝光时，银原子创造了一幅看不见的图像，但原子的数量太少，不足以使图像显露。水银蒸汽与图像中的银原子融合，才使它显现出来。通过这一过程，达盖尔可以将曝光时间缩短至20分钟，这样就可以捕捉静止物体的图像了。1839年8月19日，法国科学院公布了达盖尔银版照相法的发明。英国的福克斯·塔尔博特听说这一消息后，立即发明了他自己的潜影照相法，通过使用新型纸张，他将曝光时间缩短至一分钟左右，他将这种新方法称为卡罗照相法(calotype)。



1838 年，用法国的银版摄影法拍摄的第一张人类生活照片。

自从托马斯·韦奇伍德第一次试图利用银的感光性拍照开始，又一个 40 年过去了。市场上出现了两个有竞争力的成功品牌；福克斯·塔尔博特和达盖尔都竭力向大众推荐他们自己的照相机。福克斯·塔尔博特的方法最初难以被人们接受。塔尔博特照相机照出来的相片没有达盖尔的那么精细，但它可以用一张底片照出多张相片，而达盖尔法则无法做到这一点，因此达盖尔照相机只能用于一次性拍照中，比如为有钱人拍肖像照。福克斯·塔尔博特的照相机最终胜出，在之后的 200 年里，它为以银为主要应用元素的摄影技术奠定

了基础。

## 相片时代

4 岁时，我在新加坡拍了人生中第一张照片。新加坡曾经是英国皇家的殖民地，因为当时正值女王伊丽莎白二世的加冕礼，街头巷尾一片欢腾。我用我的柯达布朗尼相机拍我的家人、朋友和眼前的一切东西，只要还有胶卷，我就拍个不停。后来我的布朗尼被更好的相机代替，并开始了一系列类似的更新换代，现在我的最新武器是一套莱卡相机。这些相机帮助我记录转瞬即逝的动作和场景，时而也会有佳作问世。1900 年，柯达发布了第一批以流行卡通人物命名的布朗尼相机。相机由一个简易的硬纸板盒和一卷胶卷组成，既便于携带又易于操作。相机一发布便取得成功，特别受到儿童的欢迎。每台相机价值 5 先令（大约等于平均周薪的四分之一），几乎人人都买得起。布朗尼相机的问世得益于明胶溴化

银底板的发明。这些底板可以过后被拿到实验室里曝光、储藏和冲洗。因此它们被称为“干片”。而“湿”的胶棉板必须在很短时间内曝光冲洗，所以无论摄影师们走到哪儿，都得随身携带一个笨重的便携实验室。

1877年，柯达的创建者乔治·伊斯曼(George Eastman)第一次接触湿板，很快，他就发现了湿板的不实用之处。“我的装备只包括了最重要的器材：一个肥皂盒大小的照相机，一个足以撑起一座平房的三脚架，一个硬片夹，一顶黑色帐篷，一个硝酸盐染缸和一个装水的容器。”在读到关于干板的发明后，他决定自己做实验。到1879年，他已经发明了自己的底板，这种底板从照相到冲洗所用的时间远远超过市场上的其他底板。伊斯曼还是不满意：他的玻璃板既重又脆，且价格昂贵。就像后来的亨利·福特发明T型车一样，伊斯曼想让人人都可以享受到便捷的照相方式。他想“让相机像铅笔一样方便使用”，但为了实现这一目标，他必须发明更便宜、更简单的照相过程。于是他发明了“伊斯曼底片纸”，这回，用来捕捉画面的不再是玻璃，而是纸卷。伊斯曼底片纸可以放进一个很小的黑盒子，围绕这一结构，他将相机的设计精简到了极致：镜头是固定的，而快门的释放仅靠一根线。

1888年柯达相机以每台25美元(约合今天的600美元)的价格正式发售。相机销量很好，因此伊斯曼开始进行大规

模生产，相机的价格也越低。1896年，第100000台相机出厂；此时相机的价格已经降到了每台5美元（约合今天的120美元）。由于简单易用且价格低廉，柯达相机拥有很大的市场。与其他消费家电的发明者一样，伊斯曼让使用者（照相者）将注意力集中在使用目的上（拍照），而将相机的技术功能（冲洗和打印）隐藏起来。每台柯达相机出售时都付有一百张胶卷，胶卷照完后再返回工厂。几天后，洗好的照片就会交付到消费者手中，正如柯达的口号说的那样：“你只需按下快门，其余的交给我们。”到1897年年底时，他的工厂每天处理七百张胶卷。现在每个人都可以当摄影师。柯达相机让人们有机会记录他们的人生经历，珍藏人生最宝贵的瞬间。照片变得随处可见，这些画面记录着改变世界的大事件，也影响着一代又一代人。

## 关键时刻

有一些照片记录了残忍、暴行和偏狭。一张照片拍摄了一个越南共产党员临刑前的情景，一把枪正指着他的太阳穴，对于我来说，这张照片就是越战的同义词。



“照片是最有力的武器”：越战的标志性影像。1968年2月。

另一张照片里，无数平民在庞大的卢旺达难民营里等待发放食物，这个画面让我永远也忘不了发生在那里的种族大屠杀。

奥斯维辛集中营里，骨瘦如柴的囚犯紧贴着铁丝网，这张照片描绘的正是纳粹大屠杀中我的许多家人的命运。



1945 年的奥斯维辛，一个没人能忘记的名字和恐惧感。

还有许多记录欢快时光的照片。有一张照片是我在窗前俯瞰大运河时拍下的，我想捕捉不同季节里的威尼斯情调。摆在书桌对面的是我亲手装裱的一张照片，拍的是佛罗伦萨中央火车站里的人们，他们正在入迷地欣赏马萨乔（Masaccio）用透视法创作的壁画。由摄影师塞西尔·比顿（Cecil Beaton）拍摄的一组照片以威斯特敏斯特教堂为背景，主题为刚刚加冕的女王伊丽莎白二世，整组照片极富诗意，意在为刚从“二战”阴影中走出来的大不列颠增添一丝

欢乐的气氛。照片帮助我们了解并记住许多重要的历史事件。这些具有纪念意义的照片不但记载了我们共同的经历，也定下了几代人的基调。



从我的窗口尝试着拍摄被雾笼罩的威尼斯。

“二战”爆发前夕，带胶卷的便携式照相机更加普遍，胶卷的感光性也更好，这使得摄影师们可以跟着士兵走上战场，而 19 世纪的摄影师马修·布雷迪（Mathew Brady）和罗杰·芬顿（Roger Fenton）就做不到这一点，他们的笨重设备迫使他们只能选择一些静态的拍摄主题。1944 年，战地摄影师罗伯特·卡帕（Robert Capa）跟随第二波入侵诺曼底的盟军一起来到战场。站在英吉利海峡齐腰深的海水中，机关枪子弹不断在周围水面上呼啸而过，卡帕拍摄了诺曼底登陆

那天最重要的几张照片。“如果你拍的照片不够好，那是因为你离得不够近。”卡帕这样说。照片将流动的瞬间定格，但如果没有银，这些画面会转瞬即逝。1957年，著名的摄影大师亨利·卡蒂埃-布雷松说，“在你拍照的那一刻，你就是在创作。你的眼睛必须看到生活本身展示的构思或表达的情绪，而且你必须有何时该按快门的直觉。”

在合适的时间按下快门就能拍出好照片，越战期间，这样的照片揭示了平民是如何被卷入战争的。敌人不再是看不见脸的怪兽，而是一个具体化的痛苦人类。透过照片，地球另一边的普遍人性被展示在人们面前，唤醒了全球的社会良知。上面提到的埃迪·亚当斯（Eddie Adams）在1968年拍摄的“西贡枪决”，拍摄了一个无辜越南市民被不假思索地枪杀的场面，激起了大量反战之声。同时，他的照片也说明一个问题，那就是摄影拥有扭曲事实的力量。亚当斯解释说：“将军用枪杀死了越南共产党员；我用相机杀死了将军。相机是最有力量的武器。人们相信它们；但即使不加任何处理，照片也会说谎。它们通常半真半假。这张照片没有表达的内容是，‘当时当地，如果你就是那个将军，你抓住了这个所谓的坏人，在此之前，他杀死了许多美国人，那么你会作何选择？’”

尽管照片表现的内容接近现实，但它绝不是完全可靠的

信息来源。照片可以具有欺骗性，而且它们的确常常具有欺骗性。最有名的事例就是李约瑟·斯大林经常叫人修改照片，作为清除党内政敌的手段；一旦政敌被清洗，他们就会从照片上消失。



相机真的不说谎吗？



“消失的代表”。

不过可信的照片也会带来扣人心弦的画面。1994年，摄影记者塞巴斯蒂昂·萨尔加多（Sebastiao Salgado）在卢旺达西南的基贝霍难民营停留了三天。为了逃离民兵的强奸和杀害，每天都有数以百计的难民来到这里避难。萨尔加多被眼前的一切惊呆了：“人们恐惧到了极限，似乎已经对死亡麻木了。我看到一个人手里拿着一包东西，一边走一边与另一个人聊天。他走到乱葬岗，把一动不动的小孩尸体抛到尸堆上就走了，仍在边走边聊。”作为经济学家的萨尔加多想利用这些照片使世界贫困人口的数字更加具有说服力。图像永远比讲述更具冲击力：人类受苦受难的画面被呈现在人们眼前，生动且充满了人性化的细节，其效果远远超越了简单的政治新闻。通过这些行动，摄影师们敦促人们采取行动。

对于我来说，除了摄影，银还有其他储存珍贵记忆的方式。在我书房的咖啡桌上有三只波斯银箱，这是20世纪60年代我的父母离开伊朗时收到的礼物。箱子表面装饰着精美的凸起纹饰，这是工匠们用锤子从里面向外面轻轻凿出来的浅浮雕。它们使我回想起在伊朗的时光：废弃燃烧的火光，夜晚油田的亮光，当然了，还有我们去拜访的银匠，他们盘着腿坐在屋里熟练地做活。就饰物、装潢和首饰来说，银一直是保存记忆的最佳途径。但银也继续承载着价值。20世纪70年代，银盐摄影风靡之时，两兄弟为了给他们的财宝找个

安全的避难所，导致银价上升到了前所未有的高度。



保存在波斯银盒中的私人回忆。

## 白银的最后一搏

邦克·亨特最早是靠石油发家的，这也是他最重要的事业。他的父亲 H·L·亨特是得克萨斯最大的石油生产商，邦克·亨特从他父亲那里继承了对石油事业的兴趣。H·L·亨特在石油小镇埃尔多拉多(El Dorado, 西班牙语即黄金之国，这个名字真是十分贴切。1926年，邦克就在这里出生)的扑

克牌桌上赢得了自己的第一桶金。他用赢来的钱购买了一个小型油矿的租赁权，十分幸运的是，他的第一口油井就打出了石油。虽然这口井很快干涸了，但他接下来又投资了好几个出油的油井，他从得克萨斯发展到佛罗里达，后来又回到得克萨斯。他成为得克萨斯东部油田最大的独立经营者。邦克·亨特继承他父亲的事业时，美国境内油田开发的机会已经寥寥无几，于是他将眼光投向了利比亚。当时的利比亚政府（伊德里斯国王统治期间）将特许权卖给外国公司，允许他们在利比亚境内进行石油钻探。各公司间彼此竞争，都想买下最有油田开发潜力的土地。亨特作为一个独立经销商，必须与设备先进、资金充足的国际石油公司相抗衡，最终，他成功购买了昔兰尼加省的油田开发特许权，位置在利比亚东部，接近利比亚与埃及的边界。另一个由他买下特许权的土地呈 T 形（邦克会说“T”代表着得克萨斯），这块地的名字叫 65 区（Block 65），在撒哈拉沙漠的深处，由于看上去石油开发的潜力不大，因此亨特买的很便宜。

最初，石油开发工作进行得极为不顺，亨特的资金很快就要见底了。1960 年，亨特不得已与英国石油公司达成一项协议，他同意英国石油公司在 65 区钻探，所发现的石油五五分成。1961 年 11 月，这场赌博终于有了成果，英国石油公司发现了巨大的萨里尔油田（Sarir），据估计，该油田的储

量大约在 80 亿到 100 亿桶，而且其中至少一半是可开采的。虽然 20 世纪 60 年代油价走低，亨特的那一半也要值 40 亿美元左右，加上从父亲那里继承的遗产，亨特成了世界上最富有的人。但不管是英国石油公司，还是邦克·亨特，他们的发财梦都被一场政变打断了：1969 年，穆阿迈尔·卡扎菲上校上台执政。英国军队从 1835 年就开始镇守波斯湾地区，但 1971 年 12 月，他们准备撤离了。在撤离的前一天，伊朗趁机插手，占领了三个具有战略意义的小岛。英军没有对这一占领采取行动，导致了阿拉伯世界的集体反对。当时，英国石油公司大半资产是归英国政府所有的，因此，为了报复英国，卡扎菲将英国石油公司在利比亚的产业全部国有化。此时的亨特还在经营他那一半的油田，每天生产大约 200000 桶石油，不过在第二年，卡扎菲下令所有石油公司必须将公司 51% 的股份交给利比亚政府。许多公司不得不照做，但亨特拒绝了。1973 年 4 月，他的伊比亚公司被国有化，用卡扎菲的话来说，这是为了给“冷漠、傲慢的美国一巴掌”。邦克·亨特已经是世界上最富有的人，他继续豪赌，又输掉了一切。在这种情况下，继续投资需要一定的商业胆识，而亨特正是这样的人。石油投资的风险貌似越来越大，因此他把钱投进了房地产和赌马，这两项都是他的爱好。接着，他又将目光投向了白银。

20世纪70年代，白银成为越来越安全的价值储存手段。较高的通货膨胀率使货币很快贬值，贵金属是个不错的投资领域。而与黄金相比，价格仅1.5美元每盎司的白银似乎更划算。亨特的观点是“只要你买的不是纸，买总好过不买。你必须长期购进。如果不想买黄金，就买白银、钻石、铜，但是一定要买。货币是靠不住的，傻子都能操纵印刷机”。邦克·亨特的哥哥威廉·赫伯特·亨特也对投资白银感兴趣。他读过杰尔姆·史密斯（Jerome Smith）著的《70年代的白银利润》（*Silver Profits in the Seventies*）一书，书中称“在我们这一代，或许就在70年代，白银会比黄金更值钱”。赫伯特·亨特这样解释他的投资逻辑：“我分析了美国近代经济历史，我相信最明智的投资要不受通货膨胀的影响。我觉得自然资源是符合这一要求的投资领域，因此我投资过石油、天然气、煤炭和贵金属，包括白银。”70年代初，黄金和白银的价格比例是20：1。邦克相信这一比例会最终会回到历史平均水平，大约在10：1左右，根据他的逻辑，这就意味着即使黄金的价格维持不变，白银的价格也会翻倍。

亨特兄弟开始大量购进白银，他们买下了几百万盎司的白银。到1974年年初，他们手中握有总量达5500万盎司的白银合约，大约占全世界白银总量的8%。一般情况下他们会买进白银的实物。他们追求的不是通过投机实现短期利润，

而是通过实物的方式永久性地储存价值。但随着他们掌握的白银越来越多，市面上的实物供应就越来越少，白银价格也水涨船高。由于担心美国政府会像 20 世纪 30 年代干涉黄金价格一样干涉白银的价格，亨特兄弟决定将大量白银转移到欧洲的保险库。在达拉斯东部的一个 2500 英亩的大农场里，他们举行了一次射击比赛选拔神枪手，通过这种方式，他们招募了一批牛仔。这些人在午夜到达纽约和芝加哥，将 4000 万盎司的白银从装甲车上卸下，装上三架没有标志的波音 707 客机，随后，携带着枪支的牛仔们登上飞机，保护亨特兄弟的白银飞往苏黎世，在那里，白银被分别储存在 6 个秘密的地点。

但储存白银的花费颇多；为了防止财富被侵蚀，亨特兄弟需要的不仅是白银价格稳定，而且是持续走高。幸运的是，由于亨特兄弟不断购买白银，加上白银市场又出现了新的大买家，以及 70 年代通货膨胀对商品价格的影响，白银价格真的上涨了。在 1970 到 1973 年间，白银的价格翻了一番，涨到了每盎司 3 美元，到 1979 年，白银价格已达到每盎司 8 美元。接着在 9 月份，价格突然跳到了每盎司 16 美元。由于大量购入白银，亨特兄弟面临着商品期货交易委员会（Commodities Futures Trading Commission, 简称为 CFTC）的调查。CFTC 越来越担心会发生白银的短缺（如果白银短缺，

银条的数量就不能满足期货合约)，因此他们要求亨特兄弟卖掉一部分白银。亨特兄弟对联邦的干涉深恶痛绝，因此拒绝了这一要求。

他们继续购进白银。到 1979 年年底，亨特兄弟掌握了美国 900 万盎司的白银，另有储藏在欧洲的 400 万盎司和期货合约上的 900 万盎司。1979 年最后一天，白银价格达到 34.45 美元每盎司。到 1980 年年初，CFTC 愈加担忧，他们坚信“相比于美国和世界的白银市场”来说，亨特兄弟“过于坐大”。有 CFTC 撑腰，交易所宣布了限制交易者的新规定，规定期货合约交易额不能超过 100 万盎司。但价格还是一路攀升，亨特兄弟仍在不断买进。1 月 17 日，价格达到了一个新高，50 美元每盎司。此时，亨特兄弟手中握有价值将近 45 亿美元的白银，如果全部卖掉，可获取 35 亿美元左右的利润。4 天后，当局做出反应，关闭了白银期货市场，给亨特兄弟带来了灾难性的后果。白银价格一路狂跌到 34 美元每盎司，且在此后的一个月里都在这个价格左右徘徊。价格的下跌一部分是由于人们大量出售零碎的银制品，他们把家里最古老的银质餐具都拿出来融成了银条。“为什么会有人想要把白银换成钱？”邦克问道，“我猜他们可能懒得给它抛光了。”亨特兄弟继续按照合约收货，现在他们已经掌握了超过 1.55 亿盎司的白银。他们对白银的长期价格非常有信心，并且还在试

图扭转下跌的白银价格。到3月14日，白银价格跌到了21美元每盎司。3月25日，亨特兄弟意识到他们已经没有继续追加保证金的实力。邦克给赫伯特发了一条信息：“收手吧。”他们的经纪公司打电话向他们索要未付的1.35亿美金的期货合约保证金。赫伯特说他们手头没有这么多钱，他们开始出售抵押的白银；白银的抛售引起了市场的恐慌。3月27日，星期二，“银色星期二”，白银市场崩溃了，白银价格跌到10.8美元每盎司。道琼斯指数下降了25个点，达到五年内最低。为了还债，亨特兄弟不停抛售白银，使白银价格一跌再跌。他们还出售了许多个人财产，包括“上千枚铸造于公元前3世纪的古代钱币，16世纪的古董，希腊和罗马的铜雕像和银雕像……一块劳力士手表和一辆奔驰轿车”。

亨特兄弟通过投资赚了几十亿美元，转眼间又赔得分毫不剩。凭借石油和白银，邦克·亨特两度成为世界上最富有的人，但是又两次输掉了他的财富。尽管如此，他仍相信白银的价格会再度上涨，他预言说，有一天，白银的价格会达到125美元每盎司。但这也许就是白银的最后一搏了。亨特兄弟在白银市场上的行动将他们推到了镁光灯下，媒体将他们塑造成贪婪狡猾的商人，新闻界咬着他们不放。但邦克·亨特这样告诉一个朋友：“至少我知道每次他们拍我的照片时都在使用一点银子。”



亨特兄弟：最后的白银大亨，1980 年。

## 白银的出路在哪？

1888 年，柯达相机第一次出现在市场上，自那时起，相机和卤化银胶卷开始流行于世界各地。1980 年，银盐影像风靡一时，达到了顶峰。然而，仅在 30 年后，摄影界就发生了大变化。自 2000 年起，柯达的名字就和奥斯卡联系在了一起。

起，然而在 2012 年奥斯卡颁奖晚会上，这家本是常客的赞助商却缺席了。因为柯达破产了。经济型相机和胶卷的先驱没能与时俱进跟上数码摄影的脚步。在红毯上，摄影记者在拍照时已经不再用到银元素。2012 年，人们用来记录画面的是硅晶片。银改变了我们的世界，它不但是储存价值的媒介，也在科技史上写下了浓墨重彩的一笔。有着 150 年历史的卤化银照片在人类发明史上占据了重要的位置，但如今它已经谢幕了。在今天，同 3000 年前一样，我们对黄金这“太阳的汗水”还保持着崇敬之心，但我们也该为“月亮的眼泪”留下一滴伤心的泪水，感叹它逐渐退出了改变世界的舞台。

## 05 铀

从没有一种原子的裂变可以产生如此惊天动地的力量，铀原子从被发现起，就站在距离死神最近的地方。人们是要和平地利用铀元素进行宇宙能源的开发，还是无法掌控地走向自我毁灭？这真是一种脆弱的平衡。

### 炸弹

2011年10月28日：我站在广岛和平纪念馆的外面。距纪念馆东北100米的地方矗立着一座纪念碑，1945年8月6日上午8点15分，原子弹在广岛上空爆炸，纪念碑所在地就是爆炸的中心点。7000人直接在爆炸中丧生，更多的人死于爆炸所引起的烧伤和放射病。整座城市几乎被夷为平地。



原爆圆顶屹立在今天的广岛：改变世界的事件所遗留下的。

和平公园的中心大道直接通向原爆圆顶塔，与呈T形的原子弹瞄准点相生桥（Aioi Bridge）比邻。爆炸和爆炸后吞噬全城的大火使城里的建筑几乎荡然无存，圆顶建筑是少数幸存的建筑之一。爆炸发生后，这座中空、扭曲的建筑被按

照原貌保存，提醒人们原子弹和核武器的巨大破坏力，也作为对那些死去的人们的纪念。为了突出爆炸的毁灭性力量，和平公园内没有任何高层建筑，这一点颇具象征意义。但在原爆圆顶塔与和平公园的四周，整个城市已经获得了新生。到 1995 年时，广岛的人口就超过了原子弹爆炸前的水平。广岛的城市天际线被摩天大楼占领，而战后几十年日本的经济奇迹更是让原爆圆顶塔显得愈加渺小。

在我面前的是黄色、绿色和蓝色帽子组成的海洋。每天都有上百名学生来到和平公园参观。有些孩子只顾玩耍欢笑，另一些孩子则专心聆听着老师的讲解。每隔一小段时间就会有人摇动和平钟，让钟声响彻整个公园。人们因为同一个原因来到这里：了解广岛的原子弹悲剧，了解如何让悲剧不再发生。

纪念馆内陈列着由广岛原子弹幸存者制作的绘画集。这些绘画创作于爆炸几十年后，但那天的情形仍历历在目。一张张浏览这些绘画，伤痛和恐惧逐渐在我心中蔓延开来。这些绘画是人类苦难史的一部分记录，幸存者们亲手绘制了这些图画，记录他们受伤的灵魂，这些绘画的冲击力比任何照片都大。许多人根本来不及讲述他们的故事：公园的一座土丘里仍埋葬着上千副不知名受害者被烧毁的残骸。

最简单的绘画往往最有冲击力。展台的中间有一张白纸，上面画着一个被烧成黑球的人，几乎分辨不出四肢。原子弹爆炸的速度非常快，被灼伤的人和物根本没有冷却的时间；在这样的热度下，沥青被煮沸，皮肤也会被烧伤。这一画面的目击者说：“他的整个身体已经被烧焦，根本分辨不出男女——但他还在痛苦地蠕动。我不得不努力克制，不去看残忍的一幕，但其实我这一辈子也忘不了。”



一位经历过广岛核爆的幸存者。广岛被投掷原子弹时他十六岁。

广岛幸存者无法忘记，我们必须保证我们自己也不会忘记。

在我去广岛几周前的一次晚餐会上，我听到美国前国务卿乔治·舒尔茨（George Shultz）谈到，取消核武器是他的主要动机。当时，我没有完全理解他的意思，但当我身处和

平公园，回想 66 年前的那一天，一切都非常清晰。在与母亲一同参观华盛顿的纳粹大屠杀纪念馆时，我有过同样的感受。“二战”期间，她的所有亲属都被杀害了，她自己就是奥斯维辛集中营的幸存者。人类在对待自己的同胞时，不应该像对害虫一样实行彻底消灭。大屠杀是带有邪恶目的非人道行为，是有组织、有计划的；广岛原子弹爆炸是为了阻止另一场非人道的战争，是一次单一事件。母亲在奥斯维辛纪念碑前放了一根蜡烛，那时我哭了；站在和平公园里，我再次流泪。我记得在离开大屠杀纪念馆时，母亲说了这样两句话：“你为什么哭？这不过是个纪念馆。这里既不吵闹也没有恶臭。”她提醒了我，与眼光锐利的现实主义相比，多愁善感毫无用处。

广岛的例子生动地告诉我们，人们对元素的利用是一把双刃剑。原子弹的发明和使用发挥了铀元素的巨大能量潜力；1945 年广岛上空的核威力永远改变了这个世界。

# 原子的裂变

铀元素最初作为沥青铀矿（又被称作“倒霉石块”）的一部分被人们开采出来。中世纪，矿工们在波西米亚王国的克鲁尔山（Cruel Mountains）中开采银矿，他们的鹤嘴锄深深地嵌入岩石，但有时只挖出一团倒霉的沥青铀矿石。沥青铀矿的发现往往意味着某一个银矿脉的终结，矿工们还要累死累活地开挖新的矿井。

几个世纪以来，铀都被当作废物扔掉，但就在 20 世纪初，科学领域忽然对铀矿石产生了巨大兴趣。1896 年，亨利·贝克雷尔（Henri Becquerel）从铀盐中发现了自然放射线。他将一些铀盐放到一块感光板上，很快感光板上出现了一些轮廓。这种现象其实比较常见。一直以来，人们认识到铀会对底片产生类似的影响，贝克雷尔以为这是由阳光引起的化学反应的结果。由于接下来的几天巴黎都是阴云密布，因此贝克雷尔决定暂停实验。他把感光板和铀盐放进了抽屉。几天后他回来时，发现感光板上神奇地出现了一些轮廓。感光板完全没有接触到阳光，因此，一定是铀的某种特性制造了这些轮廓。贝克雷尔称之为“放射”。

同在巴黎的玛丽·居里听说了贝克雷尔的发现。为了进一步实验，居里弄来了大量的沥青铀矿石。当时的沥青铀矿石还被人们当成废品，因此从克鲁尔山弄一些矿石无须花一分钱。居里用从这些沥青铀矿中提炼的铀盐进行实验，证明了放射线的多少取决于铀的数量。与铀呈块状还是粉末状无关，也与铀是否暴露在光和热的环境中无关。她从实验中得出假设，即放射来自于原子内部，而不是原子间的化学反应。这些放射线首次让人们发现了铀原子内部的不稳定性。

接着，居里又发现了两种放射性元素，镭和钋。1903年，居里和她的丈夫皮埃尔以及亨利·贝克雷尔一起被授予诺贝尔物理学奖。但居里夫妇为他们的放射性研究付出了代价。他们都患上了奇怪的疾病，玛丽的疾病更是致命。今天，我们知道这是由于辐射的缘故，但最初人们并不知道放射线是有害的。

20世纪60年代后期，我在剑桥大学阅读《自然科学》时首次了解到铀的神秘特征。40年前，也是在剑桥大学，许多学者进行了有关核物理这一新兴领域的开拓性实验。1920年，当时的卡文迪许实验室主任、后来被称为“核物理之父”的欧内斯特·拉瑟福德（Ernest Rutherford）得出假设，他认为原子不仅是由带负电荷的电子和带正电荷的质子结合而成的，而还应该含有一种中性的粒子，他称之为“中子”。

12年之后，卡文迪许实验室的副主任、拉瑟福德的副手詹姆斯·查德威克（James Chadwick）证明了中子的存在。这是分裂原子最关键的一步。

我到达剑桥的时候，因核物理研究而声名远播的卡文迪许实验室早已不复往日的风光。只有一个人例外，那就是奥托·弗里施（Otto Frisch），他在曼哈顿计划中起到了重要作用，而广岛的那颗原子弹正是曼哈顿计划的产物。几年前，弗里施对一个很不寻常的实验结果做了一次诠释，在基本的层面上，这次诠释为原子弹的产生奠定了基础。

1938年，弗里施在瑞典与他的姨妈莉泽·迈特纳（Lise Meitner）一起过圣诞节。迈特纳也是一位物理学家，她曾在德国达勒姆的威廉皇帝研究所（Kaiser Wilhelm Institute）任职，由于害怕第三帝国的迫害，在1938年年初逃到了瑞典。她的德国同事奥托·哈恩（Otto Hahn）和弗里茨·施特拉斯曼（Fritz Strassman）一直在给她写信，通知她实验的最新进程。在最近一次通信中，他们提到了一个奇怪的实验结果。当他们用中子撞击铀原子时，铀原子裂变成了重量很轻的粒子，总重量只有铀原子核的一半。这一点根本解释不通：中子根本没有足够的能量将这么大的原子撞碎。他们决定在散步的过程中讨论这一结果。

与他的姨妈迈特纳一起走在寒冷的瑞典乡村小道上，弗里施突然想到，铀原子的原子核一定很不稳定。铀原子体积较大，质子和中子之间的强相互作用力只够与带电荷的质子之间的排斥力相抵消。如果铀原子的原子核吸收一个外来的中子，这种力量就足以使原子变得极不稳定，继而发生裂变。他向迈特纳解释了他的推断，两人停下脚步，坐在一根树干上，开始在纸上写着什么。他们将铀原子核比作“一个颤颤巍巍、不稳定的水滴，好像一碰就会破开”。之后，弗里施进行了进一步的实验，确定了这一结论，1939年2月，他和迈特纳一同向《自然》杂志提交了两篇论文。在论文中，弗里施将这一新发现的裂变现象称为“核裂变”。

核裂变会释放大量的能量。铀原子裂变后会产生两个较小的原子核，总质量会变轻。失掉的质量（ $m$ ）大约等于一个质子质量的五分之一，这些质量根据爱因斯坦的公式  $E=mc^2$  转化成了能量（ $E$ ）。因为光速（ $c$ ）很快（每秒钟 299792458 米），很小的质量就可以产生很大能量。弗里施计算出，一个铀原子裂变产生的能量足以让一颗沙子在空气中跳起一定的高度，而一颗沙子里大约含有一万亿个原子。

但单凭一个铀原子是做不成原子弹的。广岛的爆炸来自一公斤铀里所含的几千万万亿原子的同时裂变。一个原子裂变后，如果释放的中子具有合适的速度，那么就会引起附近

的铀原子也发生裂变。这就释放出更多的中子，并引起更多铀原子的裂变。这是一个链式反应。因此，铀原子被认为是自我毁灭的大师。

迈特纳和弗里施解开了原子裂变之谜。当时，他们并未意识到他们的发现会导致原子弹的产生，会夺去无数人的生命。

迈特纳的实验室里没有发生过爆炸。人们发现，只有一种特定类型的铀原子才能维持链式反应，这种类型的铀原子在自然界中很少见。自然生成的铀基本上都是同位素铀 238。不过，为了制造能够产生爆炸的链式反应，人们需要高浓度的可裂变铀 235。这就是“浓缩铀”。

## 城市的建造

在纽约哥伦比亚大学，匈牙利和意大利物理学家莱

奥·西拉德 (Leo Szilard) 和恩里科·费米 (Enrico Fermi) 听说了弗里施和迈特纳的实验，他们开始进行自己的核裂变实验。到芝加哥大学后，他们在学校足球馆下面的一个旧壁球场里建立了世界上第一个原子反应堆：芝加哥原子反应堆一号 (Chicago Pile-1)。他们的举动没能逃过苏联间谍的眼睛，但是由于翻译问题，他们没能跟进实验的进展：苏联人错把壁球当成了与之同名的蔬菜，因此将“壁球场”错误地翻译成了“南瓜地”。但实验的场地对实验结果并无任何影响。通过研究裂变反应堆释放的大量原子核，西拉德得出结论，铀元素可以维持链式反应，因此可以被用于制作炸弹。他后来回忆说：“我毫不怀疑，世界正在向悲痛前进。”

“二战”初期，西拉德决定立即将他们的发现上报给总统罗斯福。他与阿尔伯特·爱因斯坦联名写了一封信，信中阐述了制造这种新型炸弹的可能性，并提出警告说德国很可能也在研制这种炸弹。罗斯福下令成立铀顾问委员会 (Advisory Committee on Uranium)，并为铀研究划拨了大量款项。对原子爆炸的研究越来越具体化，同时，由于日本偷袭珍珠港，美国加入了战争，局势越来越紧张，美国不同的核研究方向逐渐聚拢在曼哈顿计划的旗帜下，目标十分明确，即制造原子弹。

1942年9月，美国政府通过决议，决定购买田纳西州小

镇橡树岭（Oak Ridge）周围方圆 200 公里的土地，建造克林顿实验室（Clinton Engineer Works）。克林顿实验室是曼哈顿计划的三大基地之一，它的任务是生产制造原子弹需要的浓缩铀。另外两个曼哈顿计划旗下的基地是汉福德（Hanford）和洛斯阿拉莫斯（Los Alamos），前者负责生产原子弹材料，后者是计划的“智囊团”。三个地点都是严格保密的。在地图上根本找不到它们的存在，参与人员只能用 X、Y、Z 来指代它们。

曼哈顿计划的总指挥莱斯利·格罗夫斯少将（Major General Leslie Groves）对选址相当满意。橡树岭周围是大片空旷的土地，对保密和安全工作十分有利。加上远离海岸线，免去了被敌军攻击的危险，附近的河流提供了充足的水资源和水力电，这些对在这里即将进行的巨大工程来说至关重要。

格罗夫斯办事效率非常高，仅用了两周时间就迁走了居住在该地区的 1000 户居民。这些居民别无选择。基地地址已经选好，没人能阻挡美国政府制造炸弹的脚步。美国陆军工程师兵团的一名官员称之为“小孩子的游戏”。

对于克林顿实验室来说，规模重于一切。在鼎盛时期，实验室雇用了 80000 名工人。橡树岭小镇迅速成为田纳西州

第五大城市，小镇的人均博士学位拥有率高于其他任何一个美国城市。仅在 K - 25 铀处理大楼里就有 12000 人在工作。当时，该大楼拥有有史以来最大的底层面积。在 K - 25 大楼里，人们通过让气态的铀通过许多层纤维膜来使它浓缩。较轻的分子通过纤维膜的速度要比较重的分子快，铀 235 比铀 238 要轻，因此铀 235 的比例会逐渐增大。

当时，美国也不确定这样的实验是否能成功，但他们必须尝试。原子弹里铀的能量含有无比巨大的破坏力，只有它才能在一瞬间决定战争的胜负。他们还意识到，研制原子弹的进度十分重要。他们害怕德国人先造出原子弹，使他们成为铀巨大威力的受害者。

对于美国来说，独特而黑暗的历史环境是一个契机，为大笔的工程花销和橡树岭居民的迁出提供了像样的理由。他们还得以将世界上最优秀、最聪明的科学家笼络到洛斯阿拉莫斯，成立“智囊团”。洛斯阿拉莫斯的负责人罗伯特·奥本海默（Robert Oppenheimer）是第一批见证了美国核实验成功的人，1945 年 7 月 16 日，第一颗原子弹在三一核实验爆炸点成功爆炸。后来他回忆说，当他看着新墨西哥州沙漠上空明亮的原子弹爆炸闪光时，他想起了印度教经文中的一句话：“我成了死神，成了世界的毁灭者。”



核恐惧之父：奥本海默和格罗夫斯在原子弹试验后的残留物旁，1943年。

\* \* \*

今天，科学领域的难题更加多姿多彩，答案也更加难以捉摸。2009年3月，我参观了橡树岭国家实验室，也就是曾经的克林顿实验室。实验室的方形工业大楼坐落在田纳西州的崇山峻岭中，广阔的乡村地带正好为实验室的规模做了掩护。参观时，我见到了X-10石墨反应堆，这是世界上第二个核反应堆，也是美国国家历史地标。K-25铀浓缩设施已经被拆毁了。

科学研究的焦点日新月异。我作为一家私人股权投资公司的合伙人身份参观实验室，这家公司当时正负责管理世界上最大的可再生和替代能源的投资基金。我来这里是为了了解实验室的一些最新动向，主要是将一些作物，如草和树，制成生物燃料的方法，因为一般来说，这些作物无法被人类食用。植物纤维素中所含的糖分就可以被制成生物燃料。但非粮食作物中同样含有许多木质素，木质素与糖分紧密结合在一起，很难被分离出来。实验室把研究重点放在白杨树上，因为在自然特征方面，白杨树的个体差异很大。研究者们研究了 1000 种不同的白杨树，想找到哪种白杨树含的糖分最多。美国希望能够使用经济实惠的方法生产颇有竞争力的生物燃料资源，以此减少对外国进口石油的依赖。橡树岭或许已经告别了铀时代，但它又再次为国家安全利益而起航了。

\* \* \*

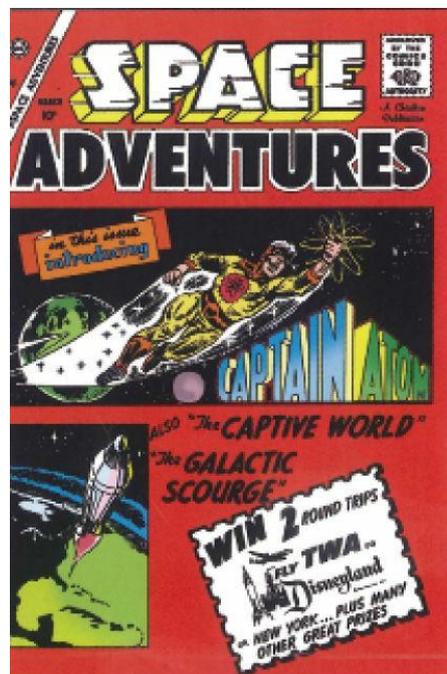
1945 年 7 月 25 日，最后一批制造广岛原子弹所需要的浓缩铀离开了橡树岭，两天后，它们被运到了太平洋上的天宁岛 (Tinian)。三米长的“小男孩”原子弹就是在这里组装完，再被运到了广岛的上空。从这一步开始，需要用到的科学原理就变得十分简单。块状的浓缩铀被合成一大块，用来引发无法控制的核反应。

为了制造毁灭一座城市的炸弹，人们建立了另一座新城。在这场“历史上最大的科学赌博”中，美国一共花了 20 亿美元，并最终赢了这场赌博。曼哈顿计划是极少数政府成功挑选赢家的例子，但这场赌博的关键之处很明显：因为只有一种武器可以立即结束战争。实验室中的战争和海陆空的真实作战一样，都对盟军的胜利至关重要。在投下原子弹的一刻，人类释放了“宇宙的基本能量”。但原子弹也让我们对这种新发现的自我毁灭能力感到害怕；它揭开了人类现代文明的新篇章。

## **冲啊，原子！**

“在裂变的瞬间，原子队长根本不是血肉之躯……脱水的分子结构仍是完整的，但一个人们永远无法察觉的变化已经发生了！曾经的巨大导弹如今消失得无影无踪！里面的人也不见了踪影！”

“与纯铀 235 一样具有放射性”的原子队长（Captain Atom）出生于 1960 年 3 月的一次核弹头爆炸中，是美国流行漫画《太空冒险》（Space Adventures）的主角。20 世纪 50 年代末到 60 年代初，我十分热衷于这些科幻故事。原子的神秘力量给了漫画作者们无尽的想象力。他们创作了一整套激动人心的超级英雄，他们驾驭原子的能量，惩恶扬善。在当时世界上最大的威胁（至少在美国人看来是最大）是美苏之间全面核战争的爆发。原子队长首次亮相就拦截了一颗苏联核导弹，拯救了整个世界。回到地球上，原子队长受到了人们的热烈欢迎，艾森豪威尔总统对他说：“你比任何其他武器都更能阻止战争的爆发！”



原子队长再一次拯救世界。

自从“小男孩”原子弹让人们看到了铀的威力，原子时代似乎已经到来了。一些原子超级英雄利用他们的能量“粉碎每一次试图危害地球的罪恶行径”（原子队长的台词），并且“使人类免于自我毁灭”（原子霹雳的台词）。不过也有一些人利用原子作恶。原子先生（Mister Atom）是一个原子能机器人，他不顾一切地致力于掌控这个世界。

真实世界中也有同样的问题。曼哈顿计划的总指挥格罗夫斯中将被许多人认为是原子弹之父，他严肃地警告人们要在两者之间选择那条“正确的道路”：是通向原子能大屠杀的原子武器，还是前途光明的乌托邦式的原子能未来。似乎人类站在了一个通向原子能世界的交叉路口。

1953年，艾森豪威尔总统在联合国大会上发表讲话，讲话中也透露了同样的意思。这通演讲被称为“和平原子能”演讲。由于美苏两国核武器发展迅速，艾森豪威尔号召全世界不再制造原子弹，并号召人们以和平的方式利用原子能，以造福人类。他希望美国能够做出榜样，减少核储备，并打开世界超级核大国之间的对话通道。艾森豪威尔承诺美国会“全心全意找寻一条道路，使人类奇妙的创造力不再被用来消灭人类，而是用来为人类生活做出贡献”。

在这一想象中的原子能乌托邦，人们相信，在实验室里，

铀原子裂变产生的无限中子资源可以让我们人工制造任何种类的原子。自人类起源开始，我们一直试图了解和驾驭事物最基本的组成成分；显然，现在我们对元素的掌握程度已经远超出任何古代炼金术师的想象。

同样神奇的还有人们对放射线医疗作用的预言。癌症是人们最害怕的疾病之一，人们相信，放射性元素很快可以攻克癌症的难题：一个卡通片讲述了一个标有“癌症”的骷髅试图逃离“原子能”的闪电术治疗。这些放射性元素还能在人体内游走，帮助人们发现疾病的踪迹。通过掌握它们的路径，我们希望能够发明帮助人们健康长寿的医疗工具包。追踪元素在植物中的踪迹可以帮助我们解开光合作用之谜，学会驾驭太阳能、提高食物产量。

在所有铀原子裂变带来的好处中，最显眼的就是简单、丰富的能源来源。这一点在广岛原子弹造成的破坏中可见一斑。铀原子核的能量或许会让能源危机成为历史：很快我们就会开上原子能车，每部车都配有一个小型的核电发电机。

在 1960 年原子队长出现在报纸上之前，我的最爱是每周一期的《老鹰》，它是 50 年代英国男孩儿们的漫画。我记得我曾研究过报纸中间插页上错综复杂的原子能潜水艇和航空母舰的剖面图。还有一幅画画的是“来自未来的”“原子

能火车头”，火车头以铀为能量来源，正在飞速前进。由于无须补充燃料，核能被认为是优于石油和煤的能源。无论是在陆地上还是在水里，我们都可以使用铀作为能量来源，前进得更快、更远。

人们甚至想到原子能可以让我们完全掌控气候。人造太阳可以控制天气，一位作家甚至建议用人造太阳融化冰冠，来创造温暖和煦的全球气候。

核能不同于人类以往所有的能量来源。20 世纪五六十年代，漫画作品和未来主义作家令人们对铀元素肃然起敬。铀并不是唯一一个科技作用被夸大的元素。它与钛和硅一起组成了“战后神奇元素”三人组。不过，在此期间对铀的夸大远超过其他任何元素。广岛上空的蘑菇云就是铀元素巨大威力的最好诠释。在人们的想象里，铀元素仿佛无比神奇，然而在后来的应用中，许多想象都没能实现。

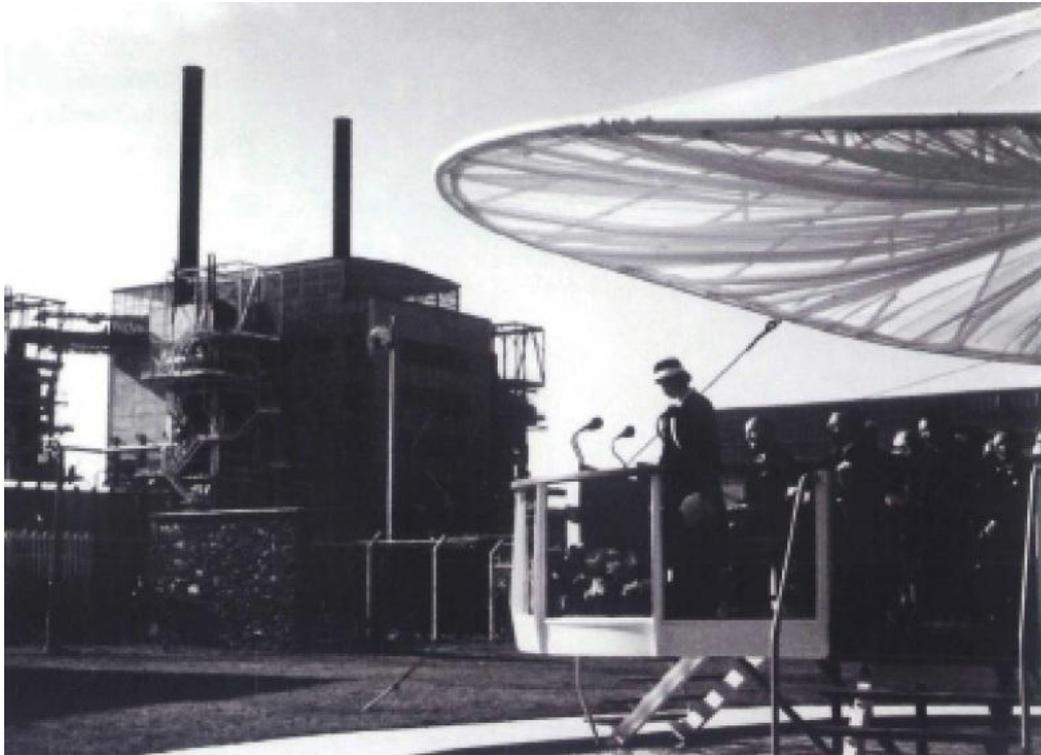
在大多数情况下，原子能交通被认为不切实际且不够安全，而用铀使气候变暖的想法现在听起来简直可笑，而且从改变气候的角度来看，这个想法也十分落伍。放射线确实是重要的医疗手段，但它无法治愈癌症。不过在一个特定的工业领域，人们有理由感到兴奋，那就是利用核裂变产生的热能发电的核电站。很快，核电站便开始遍布全球。

## 矛盾的机构

1956年10月17日，女王伊丽莎白二世在英国坎布里亚郡按下开关，开启科尔德霍尔（Calder Hall）核电站。铀所含的能量第一次以商业规模被直接传送到千家万户。原子能“曾是破坏力极大的危险武器”，而科尔德霍尔核电站冷却塔下的女王向人们提供了解决这一危险的方法。通过将核能用于“造福社会”，英国政府希望领导世界走上和平应用原子能的道路。

英国核能的迅速发展主要源于需求，而不是自主选择：1947年的严冬导致英国出现了全国性的燃料危机。“二战”以后，英国90%的能源需求都由煤炭供应，1948年，新增需求量超过了新增供应量。煤炭储备被迅速消耗掉，这对于曾是世界上最大的煤炭出口国的英国来说是前所未有的。工业革命时期，正是充足的煤炭资源使英国得以繁荣；如果想维

持世界经济大国的地位，就必须找到新的能源。



原子能为和平服务。1956年，国家元首伊丽莎白二世主持卡德霍尔核电站投入运行的典礼。

石油是新能源中的有力竞争者。1954年7月，燃料电力大臣宣布进口石油，以补充火电厂发电的不足。但这不过是权宜之计。虽然石油储藏的减少后来被证明是子虚乌有，但当时人们还是十分担心，他们想找到关于能源问题的长期解决办法。对于原子能委员会主席彻韦尔勋爵(Lord Cherwell)来说，道理很简单：“1磅铀等于1000吨煤炭。”

当时我的父亲正在英伊石油公司的马斯吉德苏莱曼油田工作，因此我随父亲居住在伊朗。油田的油井每天都燃烧着熊熊大火，我沉浸在石油生产的神奇过程中，完全没有想到能源安全的问题。直到后来回到英国读大学，我才开始了解核能工业。英国正在投资第二代核电站，高速发展的高科技核工业急需高精尖人才的加入。当时大学教育是非常罕见的，只有不到 5% 的年轻人能上大学，于是，核工业提供了丰厚的奖学金，吸引大学毕业生的加入。对于我来说，核工业是真正意义上的现代化，他们正在塑造人类的未来，因此我向英国原子能机构申请了一份奖学金。

最后，我接受了英国石油公司的奖学金，但做出这个决定还是比较艰难的。英国石油公司的国际化空间对我很有吸引力：这个公司面临的挑战似乎更大、更复杂。不过，在我整个石油职业生涯里，核能一直不是重心，仅在几次石油供应困难和工业危机之后，核能才显得十分重要。

我们正处于一个这样的时代。人为因素诱发的气候变化风险再次将核能推向了风口浪尖。核能以低碳的方式满足全球持续增长的能源需求，但核爆炸又让人们对于核能发展提心吊胆，其中有一场爆炸就与科尔德霍尔核电站有关。

尽管科尔德霍尔打着和平利用核能量的旗号，但在幕后

该核电厂也被用来生产原子弹需要的浓缩铀。这是一个矛盾的机构。在美国先后向广岛和长崎投放原子弹之后，英国与当时许多政府也想制造原子弹。1946年10月，英国首相克莱门特·艾德礼（Clement Attlee）召集内阁讨论核武器浓缩铀的问题。就在内阁将以费用问题为理由反对这一提议时，外交大臣欧内斯特·贝文介入了。他是坚定的强硬派，为了在这场悲哀的人类竞争中不落于人后，他说：“我们一定要造出原子弹……我不是为了我自己，但我不希望美国国务卿再以刚才对我说话的口吻对英国任何一届外交大臣说话……英国必须要不惜一切代价造出原子弹……我们一定要造出披着米字旗的原子弹。”



“我们一定要让英国国旗在上面。”英国具有威慑力的核武器蓝剑。

英国第一颗原子弹用到的钚就是后来在科尔德霍尔所在处生产的。科尔德霍尔的反应堆设计主要看中的是生产钚的能力，在国际核武器竞赛中，钚元素扮演着重要角色。核反应堆内发生的核裂变会释放大量中子，当中子辐射到铀 238 时，铀 238 就会转化成钚。反应堆的设计还包含了发电机系统，可以利用这一过程中产生的热量发电。最初，钚和电力的生产存在取舍关系：钚生产最大化会导致电力生产的减少，反之亦然。由于英国政府对核武器需求量的增加，电力生产经常被忽视。

20 世纪 60 年代，美国和苏联在全球军备竞赛中开始领跑，英国不再迫切需要核武器。因此科尔德霍尔又将重心转移到了电力生产上；英国的军用和民用核工程之间的界限愈加分明。从 1956 年女王宣布科尔德霍尔的建立到 2011 年年初，全球核电站的发电能力已经扩大到了 440 个反应堆，发电能力占全球的七分之一。70 年代和 80 年代的核电站建设高潮过后，核电站容量的增长速度开始减慢，但许多工业分析家预言下一个十年将是“核能复兴”的十年。2011 年年初，英国正在策划新建十个核电站；中国计划到 2015 年核电站建成数量是现在的四倍；即使传统的反核国家德国也在试图延长已有核反应堆的使用寿命。科尔德霍尔代表的核电的光明前途似乎离我们越来越近了。但几个月之后，一次事件会

将这一切改变。

## 核恐惧

2011年3月11日，日本东北部的地震引发了日本东北沿海地区的海啸。大约16000人死于这场灾难，其中大部分被淹死在海啸引发的洪水中。

福岛第一核电站（Fukushima Dai-ichi nuclear power plant）距离震中180公里。在第一次震级9.0的地震中，它似乎安然无恙；这是有史以来的最强的五次地震之一。然而，就在不到一个小时之后，一个15米高的海啸巨浪冲破了核电站的防洪堤。彻底断电和之后的设备故障导致了一系列的核泄漏和核爆炸，放射性物质被释放到了周围环境中。

福岛事件提醒我们，我们对元素的掌控远没有达到万无一失的程度。9.0级的地震虽然极少，但类似的事件毕竟还

是会发生，而对于像铀这样放射性超强的元素来说，事件的后果将是灾难性的。



2011 年的日本福岛：终结后的开始。

几个月后我第一次到东京时，日本还沉浸在灾难的悲痛中。福岛核电站的事态发展还没有完全得到控制，日本报纸的头条都是与核有关：恐惧之情溢于言表。人们担心的主要是核电站到底释放了多少核辐射，以及这些辐射最终去了哪里。每天，日本政府会公开通报全国各地的辐射级。英日两种语言的报纸都登载了辐射级地图。人人都成了专家，他们每天的话题是西弗特和核辐射测量，用于测量辐射的盖革计数器销量大增。核辐射再次成为日本民众最关心的问题。

日本是第一个也是唯一一个经受过原子弹爆炸灾难性

后果的国家，灾难过后，对核能的恐惧一直无法消退。当时没有人知道广岛和长崎的爆炸会给健康带来什么样的影响。那些受到波及的不幸的人们在疾病中挣扎，一点一点地试图了解自己、朋友和家人患上的种种疾病。可能是几分钟、几小时或者几天之后，原本幸存下来的人们忽然倒下，出现在皮肤上的紫色斑痕像是死亡的先兆。病人开始恶心、呕吐、腹泻、便血，紧接着是高烧和虚弱。一位广岛的医生蜂谷道彦（Michihiko Hachiya）问道：“难道是这种新型武器释放了某种毒气或致命细菌？”

在日本，广岛和长崎原子弹爆炸幸存者们被称为“hibakusha”，意思是“原子爆炸余生者”。长期以来，他们饱受社会歧视，由于对核污染的恐惧，人们尽量避免接触他们。时至今日，人们对辐射仍有误解。普林斯顿学者罗伯特·索科洛（Robert Socolow）称之为“恐惧 - 风险比”：想象中的辐射危害常常比真实危害大得多。这些错误认识来自辐射本身的神秘本质。人们尽管看不到辐射，也很难通过感官感觉到它，但它仍具有很强的穿透力。可能在你不知道的时候，你已经暴露在辐射之下了，甚至事后你也没有意识到，因为辐射的后果非常不确定。可能你不会有不良反应；也有可能在今后的某个时间患上癌症。后果根本无法预测。

单独一次暴露在原子弹释放的辐射中与长期暴露在核

电站事故释放的辐射中，两者的危害等级完全不同。福岛核泄漏事故中还没有人员死亡，将来也不太有可能成为死亡的直接原因。事故释放的核辐射分散到日本很大区域，之后的几个月里，人们监测到一些具有潜在危害的核辐射浓度较高区域，甚至包括 250 公里以外的东京。学校操场、棒球场和人行道上都发现了放射性尘埃，尽管这些不能都归咎于福岛核泄漏。大多数情况下，福岛疏散区以外的辐射级别很低，不会危害人体健康。但日本民众非常害怕，因为不管风险有多大，有没有危害没人能说得准。

1986 年乌克兰切尔诺贝利核电站灾难发生后，人们和今天一样忧心忡忡，当时，爆炸在几秒钟之内就将一个反应堆完全摧毁。人员伤亡十分惨重：30 人死亡，106 人患上了严重的辐射综合征。幸存者变得焦虑、抑郁，除了由于他们被迫离开家园外，还因为他们害怕反应堆释放的辐射会引起癌症和其他致命疾病。

事实上，切尔诺贝利核灾难给广大民众带来的影响相对较小。尽管事故的确释放了大量的放射性物质，但随着这些放射性物质扩散到整个北半球，它们的浓度已经被大大稀释了。在事故地区之外，辐射级别非常低，几乎没有对健康造成任何明显危害。然而，民众对于此次事故的反应非常巨大。在德国，当人们发现一些地区的辐射达到最高级别时，这样

的反应造成了相当持久的影响。

不出意外，福岛灾难过后，民众对核能及其安全性的信心大减。人们发动抗议，要求日本政府直接放弃核能。灾难过后，美国皮尤研究中心（Pew Research Center）的智囊团做了一个民意调查，发现 46% 的日本民众同意日本核能维持现有水平，不过更多的人认为应该缩小核能的生产规模。我在英国大使馆遇见英国驻日本大使戴维·沃伦（David Warren）时，他向我解释说，日本民众愤怒的对象更多的是政府和公司，而不是核能本身。尽管此次日本政府的反应速度已经远超过 1995 年阪神大地震，但仍可发现官员们缺乏应有的清晰和果断。政府、民众以及核电站所有者东京电力公司（TEPCO）之间缺乏明确的沟通。有一次有人听到日本首相菅直人这样问 TEPCO 官员：“到底在搞什么？”尽管没有可靠依据，但许多日本民众认为东京电力在向政府和民众隐藏事故的真实规模。

TEPCO 走的是传统公司经营的路线，他们的习惯是报喜不报忧。公司受到来自各方的压力，主要是批评他们没能为大规模海啸做好充分计划，以及之后的操作失误造成了辐射泄漏到周围地区。民众更担忧的是，福岛事件反映了政府在核工业管理方面的无能。核泄漏事故发生后又爆出了许多负面消息。日本一直靠非正式的信任关系来维持国家统治，因

此管理者和被管理者从没有完全分开过。福岛事件促使人们重新审视这一关系。同样，切尔诺贝利灾难事件也是由于管理者和被管理者之间缺乏清晰的界限，因此导致国家规定实施不利。

切尔诺贝利事件同时也是核工业管理不力的一个缩影。苏联政府的第一反应是隐瞒事故消息。直到无可辩驳的证据被摆在官员们的面前，他们才承认爆炸的发生，于是政府的公信力土崩瓦解。尽管在日本的福岛事件中，并没有这样恶劣的隐瞒消息行为，但它仍旧引发了类似的信任危机。

## 昨天的元素

到 2012 年 5 月，日本所有核反应堆已全部停止工作。其中一些在福岛地震遭到了永久性破坏，还有许多核反应堆在第二年逐渐关闭，等待安全性测试或常规维护。许多人将这一举措视为政治姿态而非出于实用性需要。在此期间，日

本一直没有核能，直到 2012 年 7 月，两座核反应堆恢复工作。事故发生一年后皮尤研究中心又做了一次民意调查，发现 70% 的被调查者认为日本应当减少核能使用，只有 20% 的人认为应该维持在现有水平。随着时间的推移，日本民众似乎越来越欢迎没有核能的未来。

日本曾计划通过核反应堆提高核电产量，从 2010 年的 30% 提高到 2030 年的 50%。如今，日本正计划尽量减少对核能的依赖。为了达到这一目的，日本需要寻找新的能源，并通过提高效率和节约能源来实现降低能源消耗。对于一个自然能源资源贫乏的国家来说，这是一个巨大的挑战，更何况日本已经是世界上能源效率最高的国家之一。

世界其他国家也有减少核能生产的计划。就在福岛核泄漏事故之后，德国总理安哥拉·默克尔宣布将延长现存核电站寿命的决定暂缓三个月。2011 年 5 月，她宣布到 2022 年，要彻底放弃所有核电站的使用。许多国家计划暂停反应堆的工作，等待安全性审核。

到目前为止，所得数据证明了核能的安全性；核能比任何其他能源都安全。不过，我们对灾难和辐射的恐惧意味着我们要坚持不懈地改进安全标准，使核能的安全标准高于以往任何能源。确实，其他能源也不是绝对安全的；它们总会

对人类和环境产生这样那样的危害。但它们的危害不涉及对辐射的危害。

人类一直在寻找无碳的能源，核能帮助我们解决了一部分问题。但福岛事件标志着它在日本以及全世界的终结。由于与核武器相关，核能生产一直是个不安定因素。在许多人眼里，与其他能源种类相比，其中包括可再生能源，核能生产又昂贵又麻烦。从决定建立核电厂到开始发电，这中间有很长一段时间，不管是国家规定还是供求关系都有可能发生变化，根本无法保证投资回报。另外，加工铀燃料以及处理放射性副产品的成本比其他燃料来源要高得多。这就使筹措资金成为一个难题。不管是出于商业难题，还是民众担忧，核能的未来都不太乐观。

## 人性不是一纸条约

广岛核爆炸一周年时，幸存者聚集在护国神社祭奠逝

去的人们。他们手中的旗帜上写着：“世界和平从广岛开始。”

逝者已逝，城市重建的漫长工作需要人们从头开始做起。爆炸发生时，有 300000 名平民居住在广岛，但在“二战”期间广岛具有相当重要的军事意义，这里建有一座通信中心、一些军用物资贮藏库以及能容纳 43000 名士兵的军事基地。在这场战争最残忍的一刻过后，广岛被重新塑造成了寻求世界和平、彻底根除核武器的标志。

2011 年我在广岛时，我曾会见广岛县知事汤崎英彦 (Hidehiko Yuzaki)，与他探讨了福岛核泄漏事故以及广岛原子弹爆炸遗产。广岛的存在时刻提醒人们核武器的巨大破坏力，以及我们需要继续努力，彻底根除核武器。

1953 年艾森豪威尔发表了“和平原子能”演讲，从他的演讲中衍生出了《不扩散核武器条约》(Nuclear Non-Proliferation Treaty)，并导致了国际原子能机构的成立。该组织负责监控核活动，并帮助无核国家发展和平核能项目。该条约于 1970 年开始生效，是具有法律约束力的协议，它禁止任何缔约国向无核国家扩散核武器。在条约生效前已经拥有核武器的国家必须“真诚地进行谈判”以求达到彻底消除核武器的目的。

如果没有这一条约，据估计到目前为止至少有 30 个国

家已经拥有核武器。即使有条约存在，仍有 9 个核武器国家，大约掌握着 22400 枚核弹头。其中 4 个国家——印度、以色列、巴基斯坦和朝鲜——没有签署条约。许多国家仍拼尽全力想要制造核武器，因此彻底消除核武器仍是遥不可及的梦想。

2003 年 10 月，美国中央情报局（CIA）特工截获了一艘途经地中海开往利比亚的货船。特工迅速将船上的一些板条箱卸下，带到戒备森严的仓库中。第二天，CIA 特工打开板条箱，他们的怀疑得到了证实：里面装的是上千个铝制离心机部件。两天后，美英两国的情报官员在利比亚沙漠里会见了卡扎菲上校。利比亚交出了他们的核武器资料，两国情报官员继而发现了背后的运营网，并最终逮捕了上千名涉嫌此案的人员，其中包括阿卜杜勒·卡迪尔汗（Abdul Qadeer Khan）。

卡迪尔汗出生于 20 世纪 40 年代的英属印度，由于印度的分裂，他在逃往巴基斯坦之前，一直生活在日益严重的冲突中。孩提时，他曾亲眼看见列车驶入家乡车站，车上堆满了穆斯林的尸体，看着这样的景象，卡迪尔汗心中的国家荣誉感和对印度的仇视越来越深。1971 年 12 月，巴基斯坦在与印度的战争中遭受了惨败。冲突过后，总统佐勒菲卡尔·阿里·布托（Zulfikar Ali Bhutto）上台执政，他将核武器视

作唯一能够与军事实力强大的邻国对抗的法宝。上台一个月后，布托会见了全国顶尖的科学家和军事人员。他希望能在三年内制造出原子弹。“能成功吗？”布托问道。“可以，一定可以造出来。”与会人员答道。

他们的邻居也有同样的目标。1974年5月18日，印度总理英迪拉·甘地（Indira Gandhi）看着巨大的蘑菇云在拉贾斯坦邦沙漠上空升起。微笑佛陀（Smiling Buddha）核试验十分成功，印度正式成为拥有核武器的国家。印度核试验公然违背了四年前开始生效的《不扩散核武器条约》。印度从未签署过该条约，但它的核试验仍是对西方国家的一个沉重打击。印度制造核武器使用的是从美国和平原子能项目中解密资料，而核弹头内的钚来自反应堆的废弃燃料，该反应堆由加拿大提供给印度用于发电。印度面临着大规模国际谴责。但对印度现有的军事能力感受最深的还是邻国巴基斯坦。印度的原子弹在距巴基斯坦国界不足50公里的地方爆炸，这是对邻国的再次示威。

印度核试验的成功引发了卡迪尔汗加入巴基斯坦核项目的想法。60年代他移民到欧洲学习，在荷兰一家名为URENCO的核燃料公司供职，这让他有机会接触到铀浓缩过程的一些机密信息。微笑佛陀核试验后，他给布托写信说他知道如何制造生产原子弹所需要的裂变材料，并表示愿意为巴

基斯坦核工程服务。有人开始怀疑卡迪尔汗涉嫌传递机密情报，1983年，在卡迪尔汗缺席的情况下，荷兰一家法庭以间谍罪判处卡迪尔汗四年监禁。卡迪尔汗拒不承认这一指控，他的律师千方百计为他辩护，强调卡迪尔汗获得的信息可以随便在任何一个大学实验室里找到。最终指控罪名不成立，卡迪尔汗证明了自己的清白。

有了卡迪尔汗的帮助，巴基斯坦成功制造了一颗原子弹。1998年5月28日，他们在巴基斯坦的查盖丘陵地区（Chagai Hills）进行了核试验。面对国家荣誉，巴基斯坦总理纳瓦兹·谢里夫（Nawaz Sharif）别无选择。原子弹爆炸成功时，巴基斯坦举国欢庆，因为他们的军事实力终于可以和印度相抗衡。卡迪尔汗成了国民英雄。

卡迪尔汗研制核武器的首要动机是支持自己的祖国、防御好战的邻国。巴基斯坦的核武器能力使印度在发起挑衅时有所顾忌。至于将核武器生产能力扩散到其他一些国家，如利比亚、朝鲜、伊朗和其他国家，其中的动机就不仅仅是国家荣誉这么简单了，他的动机不再来自政治意识形态，而来自贪婪和自恋。至今我们仍不清楚这一核扩散网络到底延伸到了什么地方，也不知道这些人是否仍活跃在世界各地。



1999 年，核科学家阿卜杜勒·卡迪尔·汗在巴基斯坦的 Ghauri-II 导弹的发布会上。



毫无疑问，在过去 40 年里，不扩散核武器行动大大限制了拥有核武器国家的数量。然而，核扩散网络说明了核扩散并没有被完全根除。这样的失败部分是由于《不扩散核武器

条约》不可避免的单边性。从本质上来说，国际法律对制定和执行法律的国家有利，因此，《不扩散核武器条约》本身就带有巨大的断层。

世界各国被划分为有核和无核两个阵营。在条约生效前就拥有核武器的 5 个国家（美国、英国、法国、俄罗斯和中国）拥有对其他国家的核武器威慑力，任何拥有核能项目但没有核武器的国家必须将项目开放以供检查。但拥有核武器的国家却没有义务做出回应。拥有核武器的国家不愿放弃，而没有核武器的国家又千方百计地研制。

我曾经历过冷战时期的紧张局面，当时，核武器的存在一直使和平处于不稳定状态。如果放在以前，美苏两个超级大国一定早就开战了，但热核大战导致世界末日这样的战争前景让两国都不敢轻举妄动。

国际和平只能依靠核武器威慑力：如果任何一方发动核攻击，另一方也会动用全部核武库。其结果就是整个国家的彻底毁灭。正如美国国防部长罗伯特·麦克纳马拉（Robert McNamara）描述的那样：“科技限制了我们的行动，我们看着恐怖的未来而不敢采取任何行动。人类在地球上生活了 100 多万年，遭受了无数灾难，但核战争的后果会使那些灾难相形见绌……核侵略对于侵略者来说无异于自杀，不仅会自毁

军事力量，还会毁灭他们整个国家。”

这段话概述了相互确保摧毁战略（MAD）的大意，相当于提出了一项必要的战略措施：战略家们得出结论，为了保证国家安全，即使刚刚经受过核打击，美国也要保留完全摧毁侵略者的能力。美国的核威慑力足够，保证在抵御苏联全面攻击的情况下，还能消灭对方。用术语来说，就是他们需要维持“二次打击能力”。

苏联人将二次打击能力的逻辑发挥到了极致，他们建立了“死亡之手”系统（Dead Hand system），这一系统非常神秘，至今流传着关于它的谣言。如果美国核攻击消灭了苏联领导集团，死亡之手就会被触发，即触发一个自动核反应系统。死亡之手会发射一系列不带弹头的导弹，这些导弹向俄罗斯境内几千枚导弹传递一组无线电码，触发这些带有弹头的导弹飞越整个俄罗斯去摧毁美国。

相互确保摧毁战略会带来令人恐惧的后果，而核武库的建造原因也十分怪诞：巨大的核武库足够世界毁灭好几次，然而建造它们的目的是为了永远不会使用它们。核武器不断制造紧张气氛，但在某种程度上它也维护了和平。

但今天的世界又是另一番景象。两个超级大国的相互确保摧毁局面已经不复存在。拥有核武器的国家越来越多，这

些国家各有各的动机，我们无法相信它们的理智。在这些核大国中，民族主义和身份政治会导致有些人头脑发热，忘记核武器的破坏力。不管是什么原因触发核武器使用，是消息的误报，还是错误的判断形势，或仅仅是由于机械事故，不变的事实是，每多一个国家加入核武器拥有国的队伍，核战争的风险就会多一分。最让人害怕的是核武器可能会落入恐怖分子手中，而对于这些人来说，死亡并不对他们构成威慑。

我们曾和平地利用铀元素，也在广岛投放过首枚原子弹，这些都属于人类对宇宙最基本能源的开发。60年过去了，相互确保摧毁战略防止了人类毁灭的发生，但我们不能再依赖这种脆弱的平衡。灾难极有可能发生，人类无论如何都承担不起这样的后果。而如今如果某个国家投放了一颗核弹，这枚核弹的破坏力将是广岛原子弹的许多倍。

广岛和平公园与纪念馆有许多参观的学生，走在他们中间，我意识到教育的必要性，不管是对青年人还是老年人，都要让他们了解核武器的破坏性。汤崎英彦正在领导一场不扩散核武器的新行动，我们在谈话中达成了一致意见，即无核未来还是很有希望实现的。要展开国际的建设性政治对话并不是一件容易的事。但如果我们能够降低核爆炸的风险，所有的努力都是值得的。彻底消除核武器或许不现实，但至少我们要为之努力。

新的一代人有许多新的想法，他们没有经历过冷战时期，因此，在他们心里，核武器的意义十分单纯：一种具有巨大破坏力的威慑性武器。当谈到纸面文件和各种协议时，英彦知事抬眼看着广岛，巧妙地总结说：“我们要从人性的角度思考，不能靠纸上的约定解决问题。”

## 06 钛

钛与铀和硅被并称为战后三大“神奇元素”。金属钛强度重量比相当高，又具有抗腐蚀性，在军用领域发挥着独有的作用。钛与氧结合形成的二氧化钛，作为增白剂，更加普遍地存在于日常生活中，为我们创造出一尘不染的洁净空间。

1950年10月，《大众科学》杂志选择“新竞争者”作为这一期主题，主要内容是“铝和铁作为飞机、火箭、枪支、装甲的结构材料的地位正面临挑战”。由于坚固、轻巧又耐腐蚀，钛已经成了未来的神奇金属。

1791年，英国牧师、矿物学家和化学家威廉·格雷戈尔（William Gregor）在康沃尔郡的曼纳坎山谷里分离河水中的“黑色砂”时发现了钛。现在我们知道他发现的是钛铁矿，

即一种铁钛氧化物，从钛铁矿中可以提炼出不太纯的金属氧化物，他将这种金属氧化物称为磁铁钴矿。四年后，德国化学家马丁·克拉普罗特（Martin Klaproth）从另一种钛矿金红石中分离出了二氧化钛。在古希腊神话中，泰坦族被他们的父亲乌拉诺斯神囚禁在地下，克拉普罗特即以泰坦巨神为这种新元素命名。克拉普罗特还发现了铀；因为当时这两种元素的特性还没有被完全发掘，因此克拉普罗特为它们选择了两个抽象的名字。不过巧合的是，克拉普罗特取的名字都十分恰当：与被囚禁在地下的泰坦族一样，钛与钛矿石联系非常紧密，很难提取。

直到 1910 年，任职于纽约郊外伦斯勒理工学院（Rensselaer Polytechnic Institute）的冶金学家马修·阿尔伯特·亨特（Matthew Albert Hunter）才成功制得一份纯金属钛样本。他的成果揭示了钛的一些物理特性。20 世纪 40 年代，此时距钛元素的发现已经过去了 150 年，直到此时，人们才开始使用工业手段从矿石中提炼钛。

冷战初期，随着国际局势日益紧张，美苏两国都积极发展科技，以便能在海空两个领域以及外层空间占据优势地位。从这个角度来讲，钛元素具有十分神奇的力量。“一战”和“二战”用的是铁和碳；冷战用的便是钛和铀。

钛使冷战时期的工程学有了重大突破，洛克希德黑鸟（Lockheed Blackbird）超音速侦察机就是一个例子。黑鸟侦察机的速度可达到声速的三倍，比苏联当时最先进的导弹还要快，可以在几小时内将关键的军事情报送回美国本土。黑鸟工程的成就令人赞叹，即使在今天，它仍是世界上速度最快的有人驾驶的喷气式飞机。

## 超音速黑鸟

“我们在 27000 米的高空飞行，将速度提升至 3 马赫（表示速度的单位，1 马赫相当于 340.3m/s）……我们飞得越高越快，敌人就越难发现我们，更不可能阻拦我们。”洛克希德航空航天公司高级开发项目的副总裁凯利·约翰逊（Kelly Johnson）这样向工程师们解释。

20 世纪 50 年代冷战期间，美国不顾一切想要了解苏联的军事实力。一些人提出的卫星科技有着严重的局限性：卫

星运行轨道是固定的，不可能不被发现，况且从外太空拍摄的地球照片太模糊了，价值不大。

凯利·约翰逊认为，要想获取足够的军事情报，还要保证飞行员的安全，唯一的手段就是使用侦察机。冷战期间的第一批侦察机由“二战”中的轰炸机改装而成，这些轰炸机飞行速度较慢，飞行海拔高度较低，极易受到苏联导弹的攻击。50年代末，洛克希德最先进的U-2侦察机飞行高度可达21千米，飞行速度可达每小时800千米，但苏联也在下功夫研制可以攻击U-2的反侦察机武器。美国注意到了U-2在苏联反侦察技术下的弱点，想要研制一种可以飞得更高更快的新型侦察机。1960年，就在洛克希德刚刚开始着手研制黑鸟时，一架U-2侦察机被击落，飞行员加里·鲍尔斯（Gary Powers）被克格勃俘虏。

黑鸟的飞行速度比U-2快四倍，飞行高度比U-2高8千米，黑鸟帮助美国实现了它的野心：美国空军想制造一种不必再躲避苏联导弹的飞机，因为这种飞机的速度比任何锁定它的导弹都要快。以前曾有飞机通过补燃器使飞行速度达到3马赫，但只能持续一小段时间。飞鸟能够全程都以这个速度飞行，因为它可以全程使用补燃器。但要制造一件如此复杂的工程作品，洛克希德的工程师们需要先学习如何驾驭钛元素。

1959 年，飞行速度可达 3 马赫的黑鸟在洛克希德的设计与工程处开始制造，该处厂房被称为“臭鼬工厂”，因为附近的一家塑料厂经常发出令人难以忍受的恶臭。工程师们很快发现，在轻金属中，只有钛能抵御飞机时速为 3 马赫时产生的高温；而钢虽然可以，却太重了。

27 千米的高空空气稀薄到几乎呈真空状态，温度低达零下 55 摄氏度。而由于黑鸟的速度比步枪子弹还要快，因此尽管环境温度很低，与空气的摩擦还是让黑鸟机头的温度高达 400 摄氏度。补燃器附近的温度更是高达 560 多摄氏度。如果不是被涂成黑色，温度还会更高。由于高温，机身在飞行过程中会被拉长几英寸，因此机身和油箱只有在高速飞行中才能准确对齐，但在地面上时，燃料会透过接缝泄漏在跑道上。

90%的黑鸟机身重量来自金属钛。工程开始时，没人如此大规模地应用过钛金属，更何况是在如此极端的条件下。美国只有一家小公司（钛金属公司）能打磨钛金属，但他们制造的钛板质量也是参差不齐。更棘手的是，他们没有足够的钛来制造飞机。CIA 搜遍了全球，最终在苏联找到一家出口商，这家出口商没有意识到他们是在帮助自己的对手美国制造侦察机。

在飞机方案调试和制造过程中，一共生产了 1300 多万个钛金属零部件。在这一过程中，工程师们遇到了无数难题。一点点杂质就可以使钛金属变得很脆，最初，零部件从半人高的地方掉下来就能被摔碎。用笔在钛板上画一道线，钛板很快被腐蚀成两半；镀镉的扳手会让螺钉消失；最令人费解的是，夏天制造的点焊金属板会裂成碎片，而冬天制造的就完好无损。最终，人们在水箱里找到了原因：夏天时，臭鼬工厂的工人会在水箱中注入氯气以抑制藻类生长，而氯气就是污染源。

人们为这些问题找到了解决方法，但成本十分昂贵。工程师们的工作环境必须一尘不染，他们将每个零部件都放在酸液中浸泡，并在氮气环境中完成焊接。飞机的成本直接飙升到几亿美元。

但飞机还是被制造出来了，1964 年 12 月 22 日，黑鸟侦察机进行了第一次试飞，为了满足约翰逊的愿望，飞机以超音速掠过空军基地的跑道。洛克希德成功制造出了人类历史上最先进的飞机。至今，它仍是人类智慧与地球元素的最佳结晶。

黑鸟不仅仅是一项工程奇迹，还是战争中的实用工具。越战中，黑鸟很快就在首次执行任务时体现了它的价值。位

于南越溪山的美军基地遭到北越军队的包围，美军无法确认装载着敌军士兵和弹药的卡车停车场位置。1968年3月21日，黑鸟在北越和南越之间的非军事区执行了侦察任务。黑鸟拍到的照片不仅显示了停车场的位置，还显示了北越军队在溪山周围部署的重型火炮。几天后，美军对这些目标发动空袭，仅用了两周时间就解除了包围。



洛克希德公司的超音速侦察机“黑鸟”，适用于任何天空。拍摄于1995年。



在越战中体现了自身价值后，1973年10月，黑鸟又出动了。当时埃及军队横跨苏伊士运河，挑起了赎罪日战争。以色列猝不及防，美国担心以色列会由于缺乏情报而丢失更多土地，因此派出了黑鸟侦察机。支持阿拉伯联军的苏联将宇宙卫星重新定位，为联军提供以色列军队的位置信息；尼克松总统下令黑鸟也为以色列提供类似情报。

黑鸟从纽约出发，飞到阿拉伯 - 以色列边界，要在5小时之内完成9000公里的飞行，这在当时是一项新纪录。它只需要在特定区域飞行25分钟就可以将地面上的军队部署情况拍下来。到第二天早上，这些记录着阿拉伯军队位置的照片就会出现在以色列将领的办公桌上。

通过对钛的应用，美国得以在冷战期间掌握制空权。钛也让美国在太空领域占据着优势：阿波罗和水星太空计划中都用到了大量的钛。但在铁幕的另一端，苏联也在利用金属钛来统治海洋，钛被苏联人用来建造一种新型的潜水艇，这种潜水艇体积更小、速度更快、潜得更深。

# 苏联潜水艇

“它拥有最先进的设计：新材料、新发电厂、新武器系统——它一定是最优秀的潜水艇。”当时苏联的初级海军工程师格奥尔基·斯维亚托夫博士（Dr Georgi Sviatov）这样评价 K-162 潜水艇。苏联一直在研制一种潜水艇，它能够快速通过敌方水域，悄无声息地对敌军发动进攻。

工程师们考虑过用钢和铝，但相比之下钛的优势十分明显。在制造潜艇船体时，工程师们一定要考虑所使用金属的强度重量比，这种金属必须很轻，这样潜艇才能浮起来，同时它又必须能够承受巨大的水压。钛的强度重量比相当高，因此能够使潜艇到达更深的地方。另外，钛还能抗腐蚀，只要在表层形成一层很薄的二氧化钛层，它就可以适应恶劣的海洋环境，不受腐蚀。与铁不同的是，钛没有磁性，因此潜艇被发现的概率会大大降低，也不会触发磁性水雷。

就在美国刚刚制造出黑鸟侦察机时，苏联也在花重金打造高科技潜艇船体。第一艘钛金属船体的潜水艇 K-162，造价非常昂贵，有的人甚至觉得比用黄金制造还贵；该潜水艇被人们称为“金鱼”。

1983 年，苏联再次动用钛金属，这次他们要制造的是潜深最深的潜水艇。400 英尺长的潜水艇被命名为“Komsomolets”，意即“共青团员”。该潜水艇内部壳板由钛金属打造，可以潜到海平面以下 1 千米的地方。1989 年，由于高压空气管路破裂并引起潜艇失火，“共青团员”号在挪威海域沉没。大火在富氧空气中很快蔓延开来。由于火烧、水淹和窒息，69 名船员中共有 42 人遇难。破裂的钛金属船体装载着两个核反应堆和至少两个核弹头，如今船体被埋葬在一座水泥筑成的石棺里，以防止内部的钚泄漏。



泰坦的海洋：一个钛“苏联 705 计划”潜水艇。

60年代末，美国军事情报人员第一次开始收集关于苏联钛金属船体潜水艇的信息。卫星图片拍下了位于彼得格勒（圣彼得堡）苏多梅克海军部造船厂（Sudomekh Admiralty Shipyard）的潜艇船体，图片中的金属比钢的反光性强，而且不会腐蚀。1969年冬，美国海军副参赞、海军中校威廉·格林（William Green）参观彼得格勒时，一艘驶离苏多梅克造船厂的卡车上掉下一块碎片，被格林捡了起来。美国军方人员在从苏联运回来的各种金属碎片中搜寻线索，终于，在70年代中期，他们找到一块刻着“705”字样的钛金属碎片。他们一直在调查苏联潜艇计划，因此知道这是苏联潜艇计划的序列号。很久以来，美国一直不太相信这些情报。因为对于苏联潜艇船体制造这样庞大的项目，钛金属太贵也太难以把握了。

随着冷战的结束，用钛金属打造的潜深极深的潜艇已经派不上用场了，极速3马赫的钛金属构架飞机也失去了作用。90年代初，随着苏联解体，铁幕两边的军费开支都被削减；这被美国总统乔治·布什和英国首相玛格丽特·撒切尔称为“和平红利”。705潜艇计划被取消，黑鸟侦察机的项目经费也被撤走，作为在战斗中唯一没有被击落过且未损失过一位飞行员的侦察机，黑鸟退役了。

## 过渡金属钛

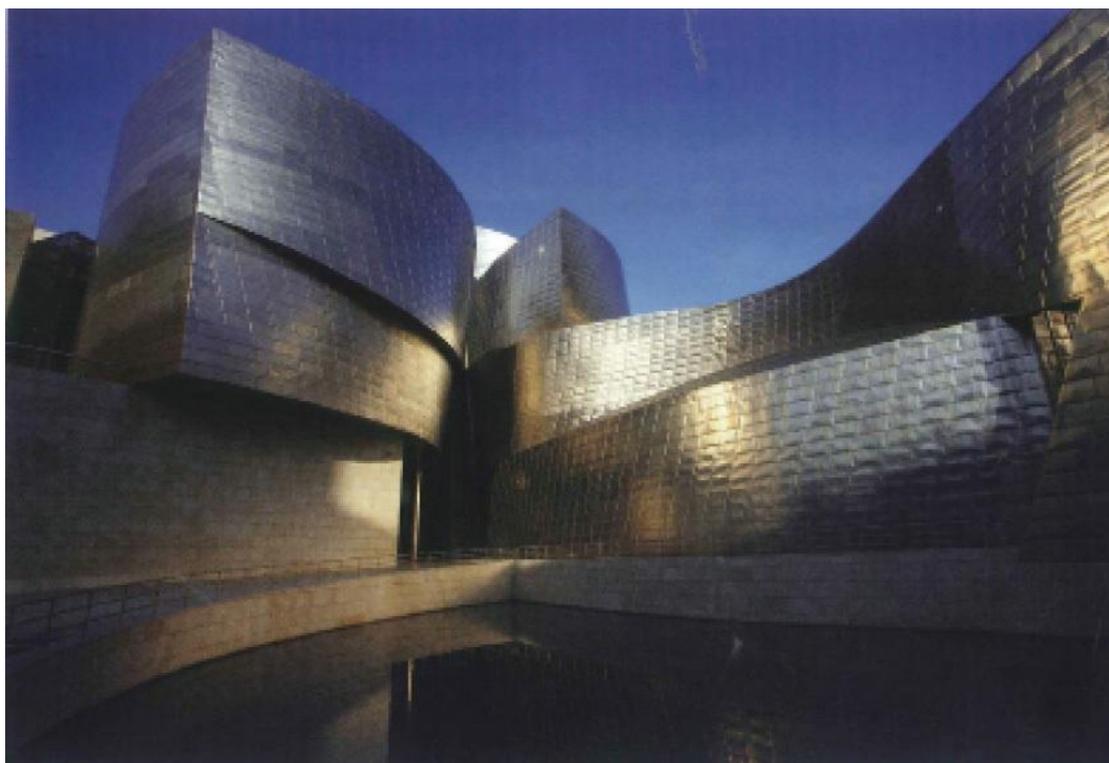
今天，钛发挥的作用很有限。它被用于建造钻井平台或炼油厂，因为在这些地方，恶劣的海洋或化学环境会轻易腐蚀钢铁；它被用于人体假肢植入，因为假肢植入中最重要的是力量和生物相容性；它还被用于高规格的“外肢”制作，像自行车车架、高尔夫球杆和网球拍。在钛金属的最大消费领域——航空航天领域，钛的作用仍旧十分重要，因为机身重量的减轻可以节省燃料。不过在各个领域，铝合金正在成为钛金属的竞争对手，尤其是专业技术领域。民用超音速飞机的标志，协和客机就大量应用了铝。钛作为神奇金属的生涯已经结束了；它曾一度辉煌过，也曾一度改变过世界。

正当钢铁摩天大楼接二连三地拔地而起时，我们很少在现代社会的架构中见到钛。西班牙北部毕尔巴鄂的古根海姆博物馆（Guggenheim Museum）是个例外，这座壮丽的博物馆外表整个被镀了一层钛。这座未来主义建筑的外观有着像船体一样的流线形。原本被选作建筑表皮的材料是不锈钢，但

建筑师弗兰克·盖里（Frank Gehry）不喜欢不锈钢表皮，因为在阳光下不锈钢会过于明亮，而在阴影中又显得太暗。他考虑过锌、铅和铜，就在他的方案公布几天前，他又收到了一份由钛制成的促销样本。这种新材料的反光特性使它在所有光线下都可散发出柔和的光泽。这就是盖里想要的效果，但它的造价太高了。

一天，设计组的一名成员注意到钛的价格突然下降了。世界上最大的钛生产国俄罗斯正在向市场上大量抛售这种金属。为防止价格再次上涨，在一周以内，盖里就买齐了所需的所有钛。1997年，由33000块镀钛板的古根海姆博物馆正式向公众开放，受到了人们的一致好评。

钛金属一直存在于我们的生活中，但它的作用永远也比不上铁，因为铁廉价、普遍而且具有多种功能。限制钛金属广泛应用的原因是人们需要通过一种过时的工序将钛从钛矿石中提取出来。20世纪40年代，冶金学家威廉·克罗尔（William Kroll）首次使钛金属发挥了它的潜能，于是这道工序被命名为“克罗尔法”，今天，克罗尔法仍作为生产钛金属的最主要方式被广泛应用。克罗尔法的能源消耗量极大，因此成本很高。在价格上，钛比钢要高一个数量级，所以，除非在一些特殊领域，否则人们还是更愿意使用钢。而当涉及重量问题时，人们的首选往往是铝。



艺术和建筑中的钛—古根海姆博物馆，毕尔巴鄂。

钛并没有像人们在 50 年代时设想的那样被广泛应用，今天，钛的产量只是钢的千分之一。考虑到钛的储量在所有金属中排在第四位，紧随铝、铁和镁之后，这么小的产量简直不可思议。

但纯金属钛只是钛元素故事的一半。当在自然状态下，钛与氧原子结合时，就形成了二氧化钛。二氧化钛在现代社会中十分常见，只是我们很少意识到它。

## 亮白的钛

作为一个伦敦人，每年夏天我都要去温布尔登，比赛开始前，我都要观察网球场上精心修剪的草坪和上面细致描绘的白线。球员们走出大看台，从头到脚一身雪白的装束，这是自 1877 年第一次草地网球锦标赛就沿袭下来的传统。在 19 世纪，白色是财富的象征；今天，由于有了二氧化钛，球场标线和球员装束都是明亮的白色。

我们从未停下脚步留心观察一下世界上无处不在的白色。在白色墙壁的办公室里，我们穿着白色 T 恤，在雪白的纸张上书写办公。我们吃着白色的食物，用的是白色的牙膏，因为我们觉得白色象征着干净和纯洁。我们在脱脂奶中加入增白剂，让它显得更加可口。在我们购买的物品中，几乎所有的白色都来自无害的 E171 添加剂，即二氧化钛。由于添加了二氧化钛，脏兮兮的灰色和苍白的黄色都变成了纯白色，这使现代消费者的生活显得更加惬意。

80年代末，我是标准石油俄亥俄公司的首席财务官，那时我第一次知道钛元素可以用来作为增白剂。魁北克铁钛公司（QIT）是一个子公司，成立于1948年，当时，人们刚刚在美丽的魁北克阿拉德湖区（Lake Allard）发现了世界上最大的钛铁矿储藏。在将铁分离出来炼钢后，我们将二氧化钛矿渣卖给其他公司做白色颜料。



魁北克的 Tio 湖，钛铁矿矿山，力拓矿业集团（Rio Tinto）在美丽的风景中开采钛。

每年我要到 QIT 一次，那年我在飞机上就看到了钛铁矿的全貌，整个钛铁矿的面积相当于 100 个橄榄球场那么大，

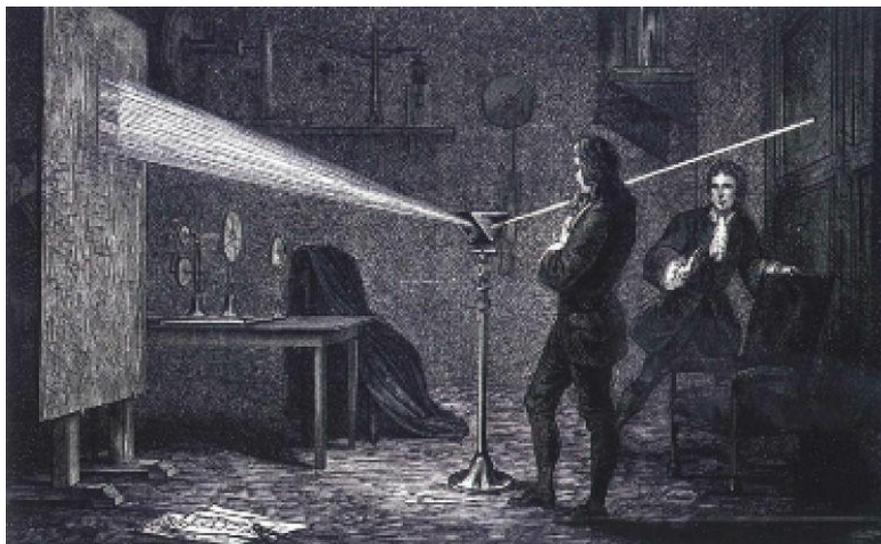
在阿拉德湖的衬托下显得尤为壮观。在过去 30 年里，公司一直在不断发展，50 年代，钛矿渣的产量从 2000 吨增长到了 230000 吨，而铁产量则从 2700 吨增长到了 170000 吨。在 20 世纪六七十年代，随着对钛和钢产品需求量的增加，公司施行了一系列的现代化和扩建工程。今天，QIT 每年生产 150 万吨的二氧化钛。据估计，全球的二氧化钛储藏量约达 7 亿吨，因此 QIT 的产量只是九牛一毛。与铁和石油不同，关于钛矿藏的争端几乎不存在，因此为了满足需求，公司可以轻松提高产量。

与钢铁摩天大楼和硅芯片一样，人工制造的白色就在我们身边，它已不再是财富的象征，而是现代生活一个无处不在的符号。但为什么在所有颜色里，人类对白色情有独钟？为了寻找答案，我们必须先了解一下光本身。

## 为什么是白色？

1665年8月，英国林肯郡乌尔索普庄园，艾萨克·牛顿爵士放下书房的窗帘，只留一丝缝隙让阳光照进来。他用一个玻璃棱镜对着光柱，光穿过棱镜，在对面的墙上形成了一道光谱。本着严谨的态度，他测量了光的色散，并得出了关于颜色的革命性新理论。

自从亚里士多德的《论颜色》(De Coloribus)起，2000多年来，人们一直认为所有颜色都来自黑与白的不同组合，因为这两种颜色是我们色彩认知中的两个极端。根据这一理论，彩虹的颜色是由于棱镜对白光的折射而产生的。为了反驳这一理论，牛顿用一模一样的棱镜展示了光谱可以被重新组合成白色。牛顿成功证实了颜色是白光本身的属性；他“解开了彩虹之谜”。



1754年的剑桥大学，艾萨克·牛顿和约翰·威尔金斯在研究光谱。

牛顿将光谱分为七种颜色：红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫——七种颜色正好与一个全音节的七个音符以及太阳系七大行星呼应。牛顿写道：“但最美妙、最令人惊叹的作品出自白色。”白光是彩虹之母；它是所有颜色的基础。

与太阳本身的金色不同，阳光是白光，它包含了彩虹光谱中的所有颜色。太阳射出的光线中各种颜色的光比例不同，当这些颜色组合起来，就是人眼观察到的白光。这并不是巧合：我们的眼睛经过了几十亿年的进化，阳光在我们眼中是最白、最明亮的光源。当阳光照在某一个物体表面时，如果物体以同样比例反射阳光中不同颜色的光线，那么肉眼看到的物体就是白色的。白色主要是对阳光的模仿；我们将物体涂成白色，这样它们就会明亮显眼。

而天空中的太阳呈金色，是由于大气层光线色散的作用。我们崇拜太阳，因此也十分重视黄金。但是太阳的白光太普遍了，就像我们身边的白色墙壁，因此我们很难注意到它。

自打人类第一次进入洞穴时起，就一直在试图建立安全、舒适的居住环境，这样我们的家庭和社会才能得以发展。我们建立屏障抵御风雨，将自然界隔绝在外。为了保持墙壁的白色，我们想要控制地球的破坏力，因为这股力量不断击打、

损耗和弄脏我们的建筑。建筑内壁的白色发出耀眼的光芒，简直可以与太阳一较高下。

## 白色之外

二氧化钛创造的白色世界初看起来确实令人赞叹，作用也不容忽视，但好像不如超音速飞机和深潜潜艇那么有噱头。不过仔细观察，我们会发现钛的光辉与黑鸟的钛金属架构一样工艺复杂。

二氧化钛不仅有无与伦比的白，还十分干净。二氧化钛纳米微粒能够吸收太阳光中的紫外线。由于有了这些微粒的包裹，白墙可以分散紫外线，达到杀菌的作用。在窗户上涂一层很薄的二氧化钛，窗户仍是透明的，但却可以吸收紫外线，将玻璃表面的尘土分解。二氧化钛薄层还能起到防水的作用，这样雨点落在窗玻璃表面时就不会形成水滴，于是，玻璃上的尘土就被水冲走了。最近，同样的原理被人们用在

了制衣业，用来制作可以自我清洁的衣服。二氧化钛捕捉并反射光线，从而为我们创造了一个一尘不染的环境。

二氧化钛的超凡特性在与电子相互作用时也可见一斑。和硅一样，二氧化钛属于半导体，因此在光电池中（用于太阳能发电）可以被用来传输电流。硅既吸收光线，也含有电子，可以传输电流，而钛只对紫外线敏感。因此二氧化钛对防紫外线晒伤很有用，被大量用于防晒霜的制作，而在光电池中应用的规模则较小。为了尽可能捕捉太阳射出的光，人们在二氧化钛纳米微粒顶端涂上了光敏染色剂。

科学创新的灵感来源常常出人意料，为了探讨钛光电池，我们要回顾一下 19 世纪末卤化银照相技术的发明。卤化银和二氧化钛两者本身都对可见光光谱不敏感。早期的照相乳胶只对偏蓝的光线敏感，而对光谱中偏红的一端则毫无反应。1873 年，德国摄影师赫尔曼·威廉·弗格尔(Hermann Wilhelm Vogel)发现，有一些染色剂可以改进干片对光谱不同区域的感光性。染色剂能够吸收光子，发射出电子。接着，高能电子与附近的卤化银分子相互作用。弗格尔的实验令照片黑白分明，并最终导致了彩色照片的发明。类似的染色剂如今被用在二氧化钛光电池中，但这次发射出的电子并没有将卤化银转化成银，而是它们本身被二氧化钛半导体转化成了电极，从而产生一股电流。

在钛元素领域，光电池是最新的转折点。钛与阳光有着不解的缘分：白色涂料和人工色素模仿了太阳射出的光线，防晒霜保护我们不被紫外线晒伤，如今在光电池领域，二氧化钛将太阳能转化成了电能。

钛与铀和硅一同并称战后三大“神奇元素”，它们展示了元素改变世界的巨大能量。铀元素在广岛上空发挥了它的巨大威力，而钛也在军用和民用两个领域塑造了战后时代。元素的影响力可以追溯到几千年前人类社会的初始阶段。因此，每当想到在我有生之年能看到这三种元素的巨大影响力，我都会感叹不已。

“二战”之后，我们找到了元素的新用途，因此我们认为这些“神奇元素”会继续改变世界；然而我们错了。广岛原子弹爆炸后，铀的能量让人们兴奋不已，他们幻想着铀元素的广泛用途，包括治愈癌症和控制气候。今天，人们带着恐惧和不确定的眼光看待铀元素；40年代对铀光明未来的设想没能实现。曾被视作高性能结构金属的钛沦为了俄罗斯餐具制作的材料，现在还被广泛用作增白剂，这是60年前谁也没想到的。1948年，晶体管问世，硅元素第一次出现在公众面前，不过在接下来的几年里，硅元素仍未能引起人们的注意。硅是战后三大“神奇元素”中影响力最大的一个，它引领了更小、更快、更廉价的计算机发展潮流，使我们得以享

用计算机强大的处理和通信能力，作为原材料，硅完成了它的华丽转身。然而在当时，硅却被认为是毫无价值的沙砾。

## 07 硅

从最初的玻璃、镜子，到望远镜、太阳能电池，得益于人们偶然间将最简单的二氧化硅颗粒转化成了颇具美感的玻璃制品。而硅元素最大的贡献在于，成就了拥有强大信息传播功能的移动通信和互联网世界。从此我们的生活被彻底改变。

在以色列的阿卡城（Acre）南边有一小块沙滩，那曼河（Na'aman River）就在这里流入地中海。那曼河中有很多淤泥，潮水退去后，河滩上露出富含二氧化硅的干净白沙。据冶金学家万诺乔·比林古乔（Vannoccio Biringuccio）记载，有一群商人“来到海边寻宝”，在这里停下吃饭。他们在沙滩上找不到石头，就从船舱里拿出大块硝石（一种纯碱）用来支撑大锅。“煮食物时，他们发现硝石变成了一种光滑的

流体……这就是玻璃的诞生。”

这些商人们偶然间将最简单的二氧化硅颗粒（仅含有硅原子和氧原子）转化成了颇具美感的物品。这一发现引发了大量玻璃制品创新：古埃及的玻璃珠子，近东的玻璃花瓶以及威尼斯的玻璃镜子。比林古乔写道，“人们做了许多次实验，随意向里面加减原料”，从古到今，人们“制造了大量的玻璃制品，或许以后的人们很难超越这些成就了，因为这些美丽的物品数量实在太庞大了”。

在玻璃的 5000 年历史中，人们用它制作了数量惊人的原创工艺品。之所以能够做到这一点，并不是由于工匠们应用了什么神奇的工具。公元 1 世纪，近东的人们发明了玻璃吹制工艺，这是玻璃制造工艺中最重要的创新，现在大多数玻璃工艺品仍通过这种方法制成。诚然，装饰玻璃制造领域的持续创新得益于玻璃本身原子排列的可塑性。当沙子颗粒与碳酸钠熔合时，形成的液体非常黏稠，因此当它凝固时，原子不能迅速就位以便形成规则的晶体结构。硅和氧被固定在一种类似液体的扭曲结构当中，因此可以被塑造成任何形状。玻璃不规则的原子结构给其他元素的加入留下了空间。通过加入不同杂质，玻璃可以展现不同的光学特性：透明、半透明、不透明和多彩的。而这些玻璃的颜色都有无数种可能。

由沙子变成玻璃仅是硅对人类进步的巨大贡献之一。它的第二个贡献发生在好几千年以后，来自纯硅晶体。这种晶体具有超凡的电学性能，它们能够被用于光电池制作，帮助将太阳能转化成电能，还能被用在晶体管中，构成计算机的中央处理器。晶体管无疑是所有硅元素应用中影响最大的，因为它使每个人都能享受到计算机强大的运算和通信能力。

人类通过驾驭硅元素的光学和电学特性，创造了无比美丽的装饰品和无比强大的科技，这两者会一直给我们带来惊叹、欣喜和启发。但在硅元素 5000 年的历史中，玻璃占了大部分时间，而在关于玻璃的历史中，威尼斯占据了重要位置，因为在文艺复兴时期的威尼斯，玻璃制造业作为一种艺术形式发展到了顶峰。

## 玻璃

威尼斯 4 月一个阳光明媚的清晨，我从圣斯德望广场

(Campo Santo Stefano) 旁一家古董店的窗旁经过时，一眼瞥到一个有着精美的装饰派艺术风格的大象尾部。这家商店在一条小巷里，因此，我很难逆着拥挤的人潮退回去一睹它的全貌。我试着靠近窗户，店里摆放着一排木质格子，里面陈列着玻璃花瓶和高脚酒杯，透过格子，我看到黑色和青绿色相间的大象。大象的鼻子巧妙地卷着，很显然，这种工艺出自附近穆拉诺岛 (Murano) 的玻璃手工艺人之手，威尼斯大部分的玻璃制品都来自那里。大象的身上有很多突出的部分，这些部分必须先单独制作好，然后再安装到大象的躯干上，因此大象是最复杂的玻璃工艺品。我收藏玻璃大象工艺品已经有五年了。我曾在威尼斯的时候遇见过罗浮宫的一位前董事，他收藏了大量的玻璃动物工艺品，让我大为羡慕。几年后，我发现我的搭档收藏大象雕塑；大象是地球上最高贵的生物之一，它们十分聪明，彼此间能形成深厚的社会纽带。我把搭档对大象的喜爱和自己对威尼斯玻璃的喜爱结合起来，并由此开始了我的收藏之旅。

还没走进商店，我就知道自己肯定会买下那尊大象。店主一定也从我的肢体语言上猜出了这一点；最后我很可能买贵了。现在我拥有一百多尊大象，这个数量还会增长。这尊大象由纳波莱奥尼·马丁努奇 (Napoleone Martinuzzi) 于 1930 年制作，当时马丁努奇在韦尼尼 (Venini) 的一个工作

室里工作。在马丁努奇的艺术指导下，韦尼尼成了玻璃工艺品的创新地，不断尝试新的类型和形式。马丁努奇倡导干净优雅的形态和独特的浓重色调，他对穆诺拉玻璃工业的复兴有很大贡献。

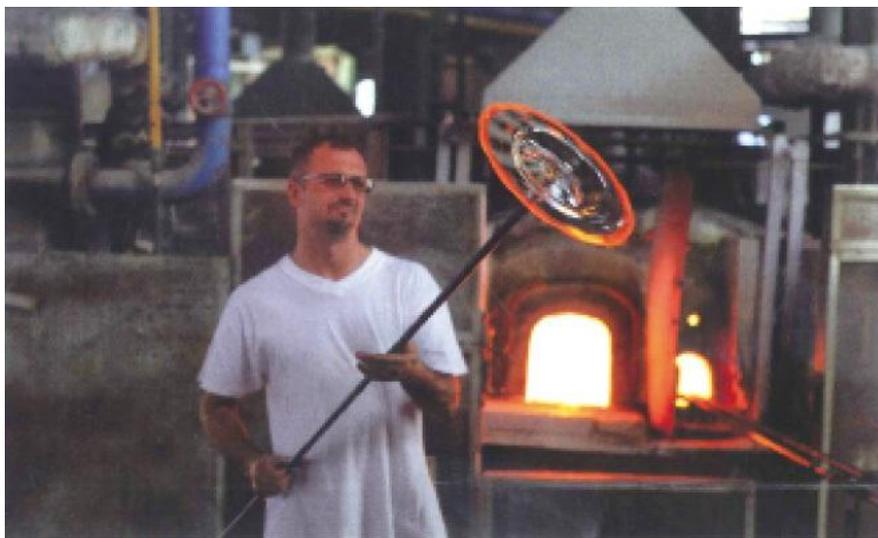


我的四个从兽群中脱离的玻璃大象。小心易碎！2012年。

1291年，由于玻璃窑在威尼斯城引起了多起火灾，因此大议会下令将威尼斯的玻璃窑迁到穆诺拉岛。此后，穆诺拉岛的玻璃工业逐渐兴起。人们通过东方商路进口了埃及和伊斯兰玻璃工匠曾使用过的碳酸钠和二氧化硅。这些商道同时也保证了玻璃的出口销路，让本地的玻璃工匠比其他地区的工匠更有优势。在岛上的玻璃作坊里，工匠们用吹管、钳子和剪刀等工具制作出出色的工艺品，岛上的玻璃工业如今用

的仍是这些工具。

在穆诺拉岛，“这里制作的玻璃最好，”比林古乔写道，“这里的玻璃制品更漂亮，更缤纷多彩，工艺也比其他任何地方都好。”与比林古乔同时代的格奥尔格乌斯·阿格里科拉也很欣赏穆拉诺岛工匠的作品。在欢庆耶稣升天日期间，他这样赞赏威尼斯出售的大量玻璃工艺品：“高脚杯、茶杯、水罐、长颈瓶、碟子、盘子，还有窗玻璃、动物、树木和船只，真是应有尽有。”文艺复兴时期的威尼斯，玻璃成了出色的艺术品。虽然玻璃只是由普通的沙子制成，并不算稀有，但制作出精美的玻璃工艺品仍需要高超的技巧，因此它们和许多稀有的矿石一样被人们珍视。



穆拉诺岛的玻璃吹制，2010年。

在 15 世纪威尼斯的许多重要发明当中，有一样十分惹人注目，它就是“水晶”，它是一种“和石英一样无色透明”的玻璃。由于存在杂质，许多玻璃呈现的是黄色、灰色或绿色，但威尼斯的玻璃工匠们将石英质的鹅卵石碾碎，获得高质量的二氧化硅，再将这种二氧化硅和纯碳酸钠一起放进经过改进的玻璃熔窑里，制作出了像水晶一样透明的玻璃，大受人们追捧。

## 玻璃战争

最受人们称颂的威尼斯玻璃工艺品是镜子，通常它们由“水晶”制成。在玻璃表面涂上一薄层反光涂层，就可以制成镜子，这种镜子比用金属打磨而成的镜子要先进许多。但由于表面不够光滑和镀银工艺不够成熟，玻璃镜子仍旧算不上完美。“在镜子里看见的一点儿也不像自己，”这是来自一个 15 世纪的人的真实感受。于是，工匠们改进了玻璃底板，并使用新材料来镀银，这样他们生产出来的镜子“非常美观、纯净又不易腐蚀，只是价格太昂贵了”。完全透明的窗户和水

银涂层的玻璃镜子从威尼斯被运到巴黎和伦敦的有钱人家中。17 世纪，这些美丽的奢侈品代表着顶尖的时尚，它们为贵族的豪华宅邸带来了光明，让太太小姐们能够在镜子中清晰地看到自己。威尼斯最精美的镜子被卖到了天价。有一块镶着银框的镜子，它售出的价格比拉斐尔的油画还贵三倍。镜室 (Cabinets aux miroirs)，意为摆满镜子的房间，成了当时的奇观，它既是一种光学现象，又是财富的象征。奥地利安妮女王和凯瑟琳·德·美第奇 (Catherine de' Medici) 都曾下令修建过镜室。

当时的法国还不能生产质量均匀的玻璃，因此他们要花大价钱从威尼斯进口装饰性的玻璃工艺品。两国之间的贸易平衡被打破，因此在 1664 年，法国政客让 - 巴蒂斯特·科尔贝 (Jean-Baptiste Colbert) 向法国驻威尼斯大使皮埃尔·德·邦齐 (Pierre de Bonzi) 建议向巴黎引进威尼斯玻璃工匠。邦齐回答说：“表明要去法国的工匠都将冒着被扔进海里的风险。”威尼斯共和国意识到玻璃工业对本国经济的重要性，因此不惜一切代价维持垄断，对技术和贸易方面的信息严格保密。玻璃工匠享有极高的优待，他们可以随身携带短剑，还可以在耶稣升天日的游行队伍中占据显眼的位置，所有这些都是为了将他们留在威尼斯。甚至如果一个贵族和玻璃工匠的女儿结婚，也不必放弃他的头衔，这在等级森严

的社会里意义非同寻常。但为了保住贸易优势，威尼斯人依靠的不仅是奖赏。任何离开穆拉诺岛的玻璃工匠将会面临严重的后果。共和国的秘密执行机构“十人议会”规定“如果任何手艺人将他的技能传到国外，且违反规定留在国外，那么他所有的近亲都会被关进监狱。”如果他还不听从命令，“议会会派特使将他杀死，在他死后，他的家人会获得自由”。

最终，邦齐找到了3个见钱眼开、不顾风险的工匠，他们愿意为了一大笔钱离开威尼斯。1665年6月，工匠们到达巴黎，在勒伊路建起了生产车间。不久，又来了20个穆拉诺工匠，他们受到丰厚报酬的诱惑，冒着风险来到巴黎，在巴黎附近圣戈班新建立的皇家制镜公司工作。威尼斯当局及时地发出警告，威胁要逮捕他们的家人并没收他们的财产，但因为有太多工匠离开威尼斯，因此他们的威胁变得越来越空洞。科尔贝甚至设法将一些工匠的妻子送到巴黎与他们团聚。然而，1667年1月，一个刚刚到达巴黎的工匠发烧并死去，三周以后，另一名工匠也在抱怨胃部剧痛后死去。人们开始传言这些工匠被威尼斯当局下毒了。威尼斯工匠们相信其中有阴谋，因此纷纷返回穆拉诺。圣戈班的工厂曾一度因此停滞，不过这一切都太晚了。威尼斯的贸易秘密已经传遍了巴黎，法国的玻璃和制镜业已经起步。

1682年，法国玻璃工业繁荣发展，法国国王路易十四利

用本国出产的镜子建造了有史以来最宏伟的镜室：凡尔赛宫镜厅。镜厅巨大的拱门下共有 17 面镜子，每一面都由 18 块小方镜组成。“镜厅两边一边是真正的窗户，一边是镜子做成的假窗户，两边相对，使整个大厅看起来比实际大了许多倍。”《风流信史》杂志这样写道。



视觉上的无穷：凡尔赛宫的镜厅。

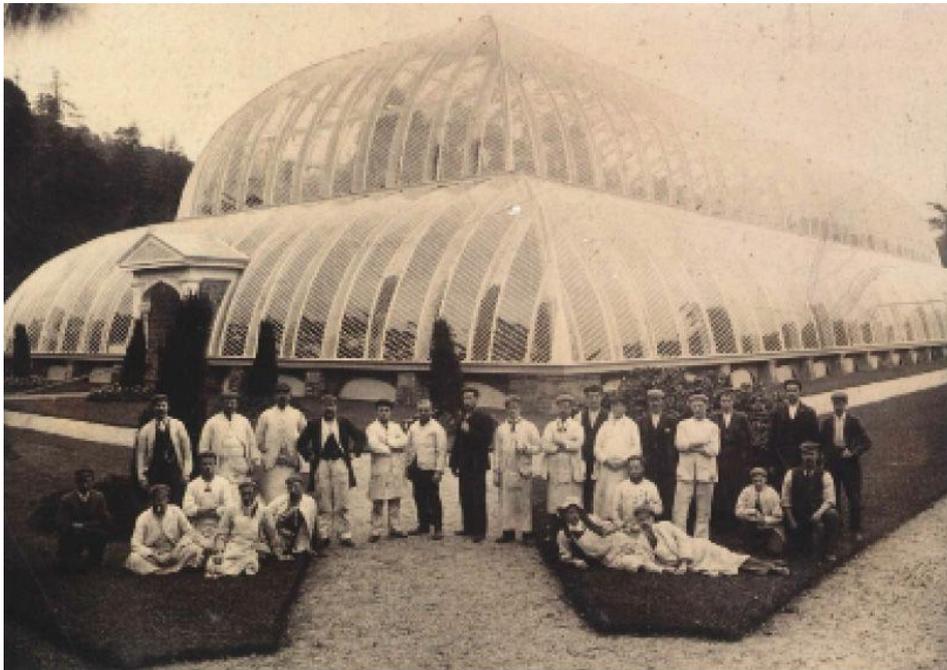
镜子越来越便宜，也越做越大，1700 年，皇家公司做了一面三米长、一米宽的大镜子。法国的玻璃工业迅速赶超威尼斯，而由于间谍和叛逃的作用，威尼斯的商业秘密也一再泄露给欧洲邻国。1680 年，威尼斯大使哀叹道：“是上帝和

自然的恩赐加上我们的辛勤努力才让我们独享这一技术，但我们的同胞却将技术传到了海外，每当我看到这些逍遥法外的恶徒经营着海外的工厂时，我的眼里就充满了泪水。”17世纪末，威尼斯的玻璃工业濒临崩溃。穆拉诺玻璃工匠没能跟上技术和造型创新的步伐，比如欧洲其他国家发明的铅水晶玻璃。十人议会出台了限制性规定，以保护玻璃工匠的财产权及维持玻璃制品价格，但这更让玻璃工业雪上加霜，因为这些规定使新技术无法进入威尼斯，也遏制了工匠们的创新精神。

在英国，著名的巴黎玻璃工匠乔治·邦当（Georges Bontemps）帮助伯明翰玻璃工厂的钱斯兄弟（Chance Brothers）吸收了不少法国工人以及他们的技术。法国大革命后，邦当逃离法国，也搬到了伯明翰，随他一起来到伯明翰的还有平板玻璃的制作技艺。但尽管专家云集，英国玻璃工业的发展还有一个障碍要跨越，那就是征税。自1746年起，国家对玻璃征收很重的税，因此只有富人才能买得起玻璃制品。没有几户人家能买得起窗户，因为政府对制作窗户所用的玻璃征税很重。这种征税简直是“光天化日之下的明抢”。《柳叶刀》杂志描述它是“荒谬的对光的征税”“政府对民众最残忍的行为之一”，因为这样的征税对健康造成很大损害。1845年，该项征税被取消，玻璃工业开始迅速发展。

“玻璃的生产第一千零一次证明了不受限制、不受约束的贸易可以带来多么大的好处。”查尔斯·狄更斯写道。由于玻璃突然变得丰富又廉价，建筑师们开始以前所未有的规模进行相关尝试。

## 水晶宫



查特斯沃思庄园伟大的帕克斯顿音乐学院。正在为水晶宫排演。

三万名热情的观众站在伦敦海德公园水晶宫的玻璃屋顶下等待。“在他们四周、中间和头顶上，是自然和艺术赋予我们的美丽与实用的结合体。”《时代周刊》这样评论道。在观众的头顶上方是一座闪闪发亮的穹顶，既宽阔又威严，即使最高贵的大教堂的穹顶也不能与之媲美。人们正在等待维多利亚女王的到来，她将宣布 1851 年万国工业产品博览会的开幕。当女王驱车驶入公园大门时，宫殿高耸的玻璃穹顶和钢铁架构出现在了她的面前，水池前的护卫队鸣炮以示敬意。之前曾有人担心枪炮的爆炸声会“使宫殿的玻璃穹顶颤动，这几千名女士都会被割伤”。幸运的是，这样的情景并没有出现。

在这座玻璃宫殿里展示着来自世界各地最杰出、最了不起的发明和工艺。东方的丝绸、珠宝、香料与西方最新的科学装置并排陈列。阿尔弗雷德·克虏伯的新铸铁枪与达盖尔银版照片和福克斯·塔尔博特的卡罗照相机照片摆在一起。亨利·贝西默的注意力还没有转移到钢铁业的改进上，但他展示了一种帮助磨削和抛光玻璃的真空吸附平台以及改进后的甘蔗榨汁机。博览会上共有十万余件展品。在水晶宫的中央，是一座 8 米高的英国水晶玻璃喷泉。

游客们要付 1 先令门票钱，相当于当时一个劳动力一天的工资。一定有许多人认为这一先令花得很值，因为有超过

四分之一的英国人去参观了博览会。在那个时代，旅行还是一件很奢侈的事，而照相技术也刚刚起步，但每个人都能在家门口亲眼看一看这个世界。万国博览会不只是个游乐场，还是工业革命期间发明成果的商贸展览和产品展销会，而透明的水晶宫就成了展示各国产品的巨大橱窗。政府官员亨利·科尔说服了维多利亚女王的丈夫阿尔伯特王子主持博览会并成为资助人。1849年在巴黎举行的第二共和国博览会规模十分巨大，给他留下了深刻的印象。因此科尔决定将大英帝国的博览会办成世界级的博览会，超过巴黎的那场。他向阿尔伯特王子保证，这场博览会将确立英国工业领导国的地位，并证明英国的全球影响力。

水晶宫由建筑师和工程师李约瑟·帕克斯顿（Joseph Paxton）设计，作为博览会场地，它是十分完美的选择。太阳光从各个角度照进来，让每样展品都沐浴在阳光下。当时，许多人认为玻璃不能作为建筑材料，帕克斯顿是为数不多的对玻璃的建筑功能深有研究的建筑师之一；在此之前，他已经建造了世界上最大的温室，该温室长70米，是为德文郡公爵在德比郡的查兹沃斯庄园而建。但与水晶宫相比，温室就是小巫见大巫了。水晶宫600米长，150米宽，由3300根铁柱和300000块玻璃建造而成。之前曾负责建造查兹沃斯庄园温室的钱斯兄弟赢得了玻璃供应的合同。他们因为通过邦

当等人从欧洲引进了新方法而大受赞誉，人们称赞他们“虽然承担着巨大的代价和风险，但仍在经营中体现了慷慨、智慧的企业精神”。玻璃俨然已经成了一项全球工业。



1851年伦敦的水晶宫（the Crystal Palace），这座伟大宫殿，它的建造不为皇室而是为了展示科技。在最顶端的两个男人是铁工。

水晶宫使玻璃在伦敦得到了“百分之百的瞩目”。全世界人突然意识到了玻璃的重要性，因为它不再仅仅是美丽的装饰品，还是具有实用价值的建筑材料。然而，水晶宫的每块玻璃都是由工匠手工打磨和吹制而成。为了制作窗户所用的

玻璃板，工匠先要将玻璃吹成球形或圆筒形，再切开磨平。这一手工制作过程成本很贵，并且制成的玻璃也有各种瑕疵。大块的玻璃板是将熔化的玻璃浇筑在一块铁板上，但如果铁板不够光滑，制作出来的玻璃就会很粗糙。将玻璃板磨削和抛光也不甚理想，因为这一过程会使大半玻璃损耗掉。

玻璃作为建筑材料的广泛应用还需等待创新的到来。1952年，阿拉斯泰尔·皮尔金顿（Alastair Pilkington）发明了浮法玻璃生产法。浮法玻璃的生产是将一块铁条放入熔融玻璃的池窑中，再将铁条拉起，就得到了玻璃平板。这样的玻璃板是在熔融的锡液面上铺开、摊平，因此玻璃表面也十分光滑，不再需要进一步的打磨。皮尔金顿的浮法玻璃质量出众，成本却比传统方法节省了许多。很快，城市新建筑的前脸都采用了玻璃。伦敦最近修建的一座玻璃幕墙的摩天大楼高达310米，看上去简直就像一座玻璃碎片大厦。

如今玻璃被大量应用在工艺品和建筑中。镜子和玻璃窗不再是富人的特权；我们身边的世界已经被透明反光的材料包围了。

## 闪光的镜子

在杉本博司(Hiroshi Sugimoto)的摄影作品《音乐课》(The Music Lesson)中,两个蜡像人站在一台维金纳琴旁。在弹琴的那位女士上方挂着一面镶着乌木框的镜子,她的脸庞和音乐室的方格大理石地面一起映在了镜子里。同样出现在镜子里的还有照相机的三脚架。这张照片是对约翰尼斯·维米尔(Johannes Vermeer)同名油画的模仿。尽管不是特别清晰,但还是可以在画面中的镜子里辨认出画架的一条腿和一只横杆。摄影师和画家都在作品中应用了镜子的元素,他们巧妙地将自己安插在作品中,让自己与创作的对象一同进入观众的视线。镜子为我们提供了另一个视角,它拓宽了我们的视野,让现实又多了些层次感。在卡罗尔的《爱丽丝镜中奇遇》(Through the Looking-Glass)中,爱丽丝假装镜子里有另外一个世界。当她穿过镜子时,便抛下了身后的一切,进入了想象中的王国。《论映像》(On Reflection)的作者乔纳森·米勒(Jonathan Miller)解释说:“除了能给我们带来直观感受的各种光之外,映像对我们也很有吸引力,因为它代表了事物的矛盾性,它们看上去

像是在这里，实际上却是在那里。”

最早的镜子被人们看作是一种奇妙的物品，可以用作自省。柏拉图是西方第一个讨论镜子的哲学家：“你可以把镜子转向不同方向：你可以一下子拥有很多东西，太阳，星星，动物，家具和植物，简直无所不包。是的，所有这些看得见的东西都可以被收进镜子，只是它们都不是真的。”柏拉图相信镜子中的映像是被扭曲且带有欺骗性的。纳西索斯（Narcissus）错把水面中的映像当成现实，一不小心迷上了自己的倒影，他沉浸其中无法自拔，最终跳入水中追寻自己的倒影而丧命。但苏格拉底却认为年轻人可以通过照镜子更好地了解自己。

今天，镜子更是给人们带来了最直观的自信和幸福感。很少有人会在路过一面镜子的时候不会瞥一眼镜中的自己。如果没有了镜子我们的生活会变成什么样。但玻璃和镜子不仅仅改变了我们在社会中看待自己的眼光，它们还改变了我们观察宇宙的方式。

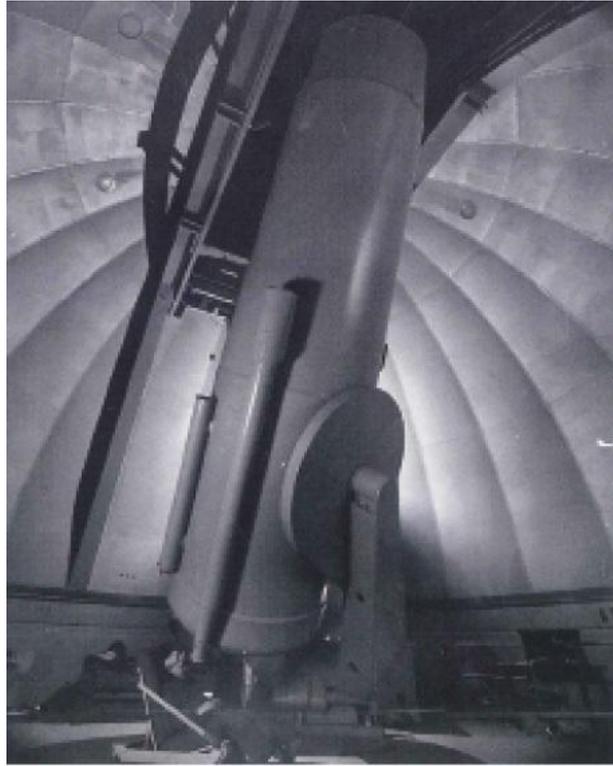
## “如果他们也曾看到这一幕”

1609年夏天，当时住在威尼斯的伽利略·伽利莱听说了这样一件设备，人们用它可以“看到远处的东西”。他还听说，这件设备有一根管子构成，管子两端各安装了一片曲面镜。伽利略很感兴趣，但他的心里还有些顾虑：曲面镜会使形象扭曲，按道理来讲，安装两块曲面镜可能会使物体形象扭曲得更严重。伽利略是一个能工巧匠，因此他从眼镜商那里买来两块镜片，开始着手制作自己的望远镜。到了夏末，他已经制成了可以将物体放大八倍的望远镜。他将望远镜展示给威尼斯议员们，说它是“最神奇的东西”。伽利略用望远镜观察到了以前肉眼从未看到过的物体。他定位了几百颗新星，更让他惊奇的是他看到了月球上的山脉和围绕着木星的卫星。

当时的人们大多认为地球是宇宙的中心。行星和恒星都在这一被称为水晶球体系的宇宙模式中围绕地球旋转。但伽利略观察到夜晚的天空具有一些不规律的特点，这些特点与之前人们一直认为的天球天穹的完美本质相矛盾。伽利略利用望远镜对行星轨道进行了更精确地测量，再次证明了地心说的错误；地球不再是宇宙的中心。哥白尼曾于1543年提出

宇宙新模式的说法，即日心说，这一说法引起了广泛的争议，而伽利略的观察正为日心说提供了证据。地球一直在转，但地面上的人们竟然没有感觉，这怎么可能？但伽利略的新工具不断为他提供证据。自从古代以来，夜空的范围第一次扩大了。由于望远镜的发明和使用，西方人开始逐渐脱离自亚里士多德之后几乎未曾改变的宇宙观。针对早期天文学家的观点，伽利略这样写道：“如果他们也曾看到这一幕，他们一定会得出和我们一样的结论。”

望远镜帮助人们冲破了肉眼的限制，看到了遥远的夜空。我们看得越远，就越希望能看得更远。伽利略开启了望远镜制作的热潮，人们想制作出倍数更大的望远镜。到 17 世纪中叶，一些富有的天文学家们已经制造出了 50 米长的望远镜，使用的时候需要搭配长杆和滑轮。由于镜头曲率的原因，图像会有模糊感，望远镜的长度是克服这个问题的方法之一。在这些“折射望远镜”里，不同颜色的光在通过镜片时的折射率是不同的，造成图像不清晰。牛顿解决了这个问题，他发明的“反射望远镜”使用的不是玻璃镜片，而是镜子。镜子对入射光的不同部分以相同方式反射，与光的颜色无关，这样产生的图像就清晰了。对于牛顿来说，他的望远镜进一步证实了白光是由不同颜色的光谱组成的。



“如果他们能看到我们所看到的。” 1959 年，帕洛玛山天文台。



即使望远镜使用了很大的反射镜，图像仍能保持清晰。反射镜越大，望远镜就能看得越远。18 世纪的天文学家威廉·赫舍尔(William Herschel)将这一原理利用到了极致。他竭尽全力改进他的反射望远镜，使我们的视野延伸到了太阳系以外。他给英国皇家协会的李约瑟·班克斯爵士(Sir Joseph Banks)写信说：“不断延伸视线是为了提高我们‘向宇宙空间扩展的能力……’”赫舍尔不断磨削和抛光出更大的反射镜，解决了光在星体表面发生漫反射的问题，并在白茫茫的光带中分辨出了无数颗亮度较暗的星星。后来其中一些“星云”被确认为类似银河系的星系。反射望远镜的规模越来越大：从 1917 年威尔逊(Mount Wilson)天文台周长 2.5 米的胡克望远镜(Hooker)，到 1948 年帕洛玛山天文台周长 5 米的海尔望远镜(Hale)。今天，加纳利和夏威夷山顶的望远镜所用的反射镜周长已经超过 10 米，它们以前所未有的准确度记录着我们周围的夜空。

光子不但为我们带来其他恒星的信息，也承载着能量。早在望远镜发明以前，人们就开始利用镜子采集由太阳系自己的恒星散发出的能量。

# 太阳能

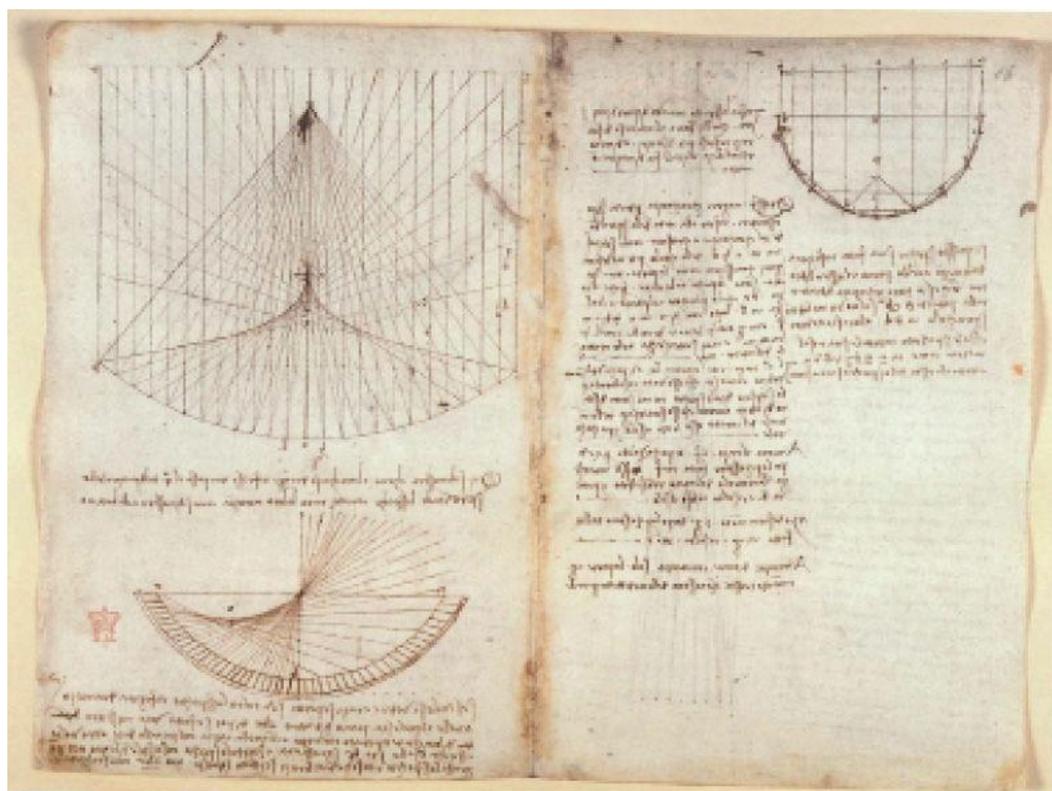
17 世纪中叶，天主教耶稣会学者阿萨内修斯·基尔舍神父（Father Athanasius Kircher）将五面镜子以特殊的相对位置摆放，以便使光照射到 30 米外的一个目标上。镜子反射的光非常强烈，站在目标位置的助手感到非常不舒服。基尔舍想：“如果有一千面镜子，那么会产生多么神奇的效果。”

基尔舍神父可能熟知阿基米德有关镜子的传奇故事。公元前 3 世纪初，罗马舰队在执政官马塞卢斯（Marcellus）的率领下向叙拉古（Syracuse）进发，阿基米德指挥士兵们面对舰队举起手中的镜子。富有戏剧性的一幕出现了；无数面镜子聚集了大量热量，将罗马舰船点燃了。为了保卫叙拉古，抵抗来袭的罗马舰队，阿基米德发明了很多富有想象力的新式武器，镜子就是其中一种。阿基米德对几何学深有研究，他能够算出如何将焦点集中在敌船上，或者如何在敌船靠近之前用投石机准确将其砸中。

在万诺乔·比林古乔于 16 世纪创作的《花炮制作术》（Pirotechnia）一书中，他回忆了与一个朋友的对话。他

的朋友曾制造过一面直径 70 厘米的镜子。一天，他在德国城市乌尔姆观看军队检阅仪式，出于好玩的心理，他用镜子将阳光反射到一位穿着盔甲的士兵肩膀上。镜子反射的光非常强烈，“那位士兵简直受不了了……反射光烧着了盔甲下面的衣服，也烧伤了这位士兵，令他感到非常痛苦。”

16 世纪，达·芬奇设计了一些新奇的方式来利用太阳光。达·芬奇像以往一样雄心勃勃，他计划制造一面 6000 米宽的凹面镜，凹面镜的中心有一根长竹杆，阳光被聚焦在竹竿处，用来烧水或熔化金属。



富有远见的天才。达芬奇的太阳能机械手稿。

和达·芬奇的其他许多发明一样，这件庞然大物只停留在他的草稿本上。直到英国工业革命期间，人们才能够制造出大型的玻璃或镜子，但规模仍比不上达·芬奇的设想。亨利·贝西默晚年曾建造过一座熔化金属的太阳风炉。他在 10 米高的塔内安装了反射镜，用来将阳光反射到顶部一块 4 平方米的凹面镜上。凹面镜将光聚焦在塔底熔炉。他曾使用这座风炉熔化铜和气化锌，但效果不太理想，加上风炉造价很高，因此几年后连贝西默自己都“灰心了，并放弃了建造太阳风炉的想法”。

在大西洋另一边的费城，一位美国发明家弗兰克·舒曼（Frank Shuman）注意到了汇聚太阳能的问题。20 世纪初，他巧妙地利用了玻璃的吸热特性，即使地面上还有积雪，他也能将太阳能热箱中的水温提高到恰好低于沸点的温度。他写道：“我确信这项发明在干燥的热带国家会非常有用。在这里，如果天气晴好的话就能够成功；但你也知道这里天气不是很好。”埃及的天气大多时候晴朗干燥，因此他的太阳能热箱动力蒸汽机可以用来抽水灌溉田地。另一位发明家奥布里·埃内亚斯（Aubrey Eneas）修建了一座底面面积超过 65 平方米的巨大圆锥形反射堆，用来在像加利福尼亚和亚利桑那这样阳光充足的州收集太阳辐射。埃内亚斯还受到美籍瑞典工程师约翰·埃里克松（John Ericsson）发明的抛物线形

槽反射器的启发，这位工程师还曾建造美国南北战争期间的装甲舰莫尼特号，但他将人生最后的 20 年时间都花在研制太阳能机器上。贝西默和埃里克松都是钢铁生产和应用领域的先锋，他们也都担忧用来熔化铁矿石、驱动蒸汽机的煤炭资源有一天会被耗尽，因此他们不约而同地曾试图寻找替代能源。因为沙漠中没有传统的煤炭资源，因此埃内亚斯计划为生活在那里的人们提供更廉价的能源。两位发明家都希望通过提高生产规模来降低太阳能的成本；但即使规模再大，太阳能的发电量也无法与传统能源相比。即使在今天情况也是如此。在西班牙安达卢西亚地区富恩特斯（Fuentes）附近的一块贫瘠平原上，树立着 2500 多面镜子，每一面镜子都有 120 平方米大小，它们将阳光反射到中心地带的一座高塔上。在高塔里，熔盐被加热到 600 摄氏度之后，再被储存到大桶中，需要的时候再被取出用来驱动蒸汽涡轮和发电。但由于没有政府补助，这家现代化工厂也面临着无竞争力的问题。

太阳能曾一度淡出了人们的视线，直到“二战”后不久，纽约贝尔实验室的科学家们开始研究硅元素的导电特性。1954 年，杰拉尔德·皮尔逊（Gerald Pearson）、达里尔·蔡平（Daryl Chapin）和卡尔文·富勒（Fuller）制造出了第一块硅光电池。

## 太阳能光电池

由于传统的干电池在热带气候条件下消耗很快，因此贝尔实验室交给达里尔·蔡平一项任务，让他开发一种可以支持电话系统的便携式能源。他开始研究各种可能性，包括风力机、蒸汽机和太阳能。蔡平没有用镜子和热箱去采集太阳能，而是开始研究另一种利用太阳能的方法，我们现在称之为“光伏效应”。

1839年，亨利·贝克勒尔（Henri Becquerel，射线专家）的父亲亚历山大-埃德蒙·贝克勒尔（Alexandre-Edmond Becquerel）发现了光伏效应。贝克勒尔将两个黄铜做的盘子放进一种导电液体，并用光照射。他发现光使溶液中产生了一股电流。如果能够对这股电流加以利用，那么人们就可以应用太阳能了。

100多年以后，科学家们成功地制造出了光电电池，但利用的太阳能仍只占全部太阳能的0.5%。这显然不能满足蔡平对能量的需求，因此他开始了自己的探索。实验室的另两

位科学家杰拉尔德·皮尔逊和卡尔文·富勒听说了蔡平的研究，当时他们恰好在研究硅半导体的电学特性。他们认为他们开发的材料可以用来制造光电电池。令人惊讶的是，他们不仅制造出了光电电池，而且规模比常规电池还要大五倍。

1954年4月，他们宣布成功发明硅太阳能电池，并展示如何用光电电池驱动无线电发射机。很快，光电电池显示了它的价值，为贝尔实验室在热带地区的市场提供了能源。太阳能电池的研究第一次有了重大突破。不过直到1958年光电电池被用于美国先锋太空计划，光电池的应用才有了第一次重大突破。飞行器装载的化学燃料很快被耗尽，但卫星发射后，太阳能发电机组一直在正常运行。太阳能电池首次在卫星发射领域打开了市场。

直到今天，在边远地区，太阳能电池仍常常是最划算的发电方式，因为它省去了昂贵的基础设施，比如输电线，也不需要运输燃料。太阳能电池有很强的灵活性，可以在边远、能源匮乏地区进行单个安装。2001年，我参观了英国石油公司在印度尼西亚的太阳能农村地区电气化工程，该工程的规模当时位居世界第五。在农村社区中，大约有40000个家庭使用了小规模硅太阳能电池组发电。人们用电力水泵抽水灌溉庄稼，家庭、学校和医院都用上了电力照明。太阳能电池间接促进了教育和学习，孩子们的学习时间不再局限在白

天。



巴勒莫的阳光。意大利 AES Solar 公司的太阳能光伏电站。

与蕴藏在地表以下的化石燃料不同，太阳能无处不在。每年，太阳照射到地表的能量大于人类自古以来开采的能源总量，包括煤炭、石油、天然气和铀。每天，地球表面接收的能量是全世界电力需求量的 130000 倍。尽管如此，人类利用的太阳能仍只占全球发电量的千分之一。部分原因是由于太阳能的利用效率十分低。每有一个光子被硅太阳能电池吸收，就会产生一小股电流，这是由于在电池中，光子的能量被转化成了一个电子和一个正电子（即“空穴”）。光子在被吸收时，它的能量会被转化，由于光子必须具有足够的能量才能够被吸收，而只有一小部分光子能做到。因此，即使最优秀的实验室太阳能电池也只能捕捉和转化 40% 的光，并将其转化为电力。在普通的商业应用中，太阳能电池的转化率仅为 10%~20%。这已经比贝尔实验室在 1954 年制造的第一代太阳能电池的效率高出许多倍了。仅仅过了 60 年，这样的进

步真是了不起；植物也通过光合作用将光能转化成能量，而在经过几十亿年的进化之后，植物光合作用的效率也不过才3%。

太阳能电池的最大难题不是技术上的，而是经济上的：太阳能电池发电的成本高是由于太阳能电池本身的造价太高。作为新兴科技，这一问题正在得到改善，比如，人们尝试用制造晶片剩下的边角余料来制作太阳能电池。电池制作的成本也在迅速下降，这多半要归功于中国，由于中国市场正快速发展，数量众多的生产商为我们带来了规模经济。不过，太阳能电池产生的电能还没有实现与市电同价，因此不具备与由传统的非可再生燃料能源生产的电能竞争的能力。但市电同价的目标已经离我们越来越近了。随着生产规模的扩大，太阳能电池的价格也在逐渐下降；2011年，太阳能电池的生产能力增长了将近75%，远远超过过去十年里年均增长45%的比率。这种持续的增长对于实现低碳能源经济来说至关重要。

1954年贝尔实验室宣布成功发明硅太阳能电池时，《纽约时报》评论说它标志着“一个新时代的开端，太阳能电池最终将引领人们实现人类最美妙的梦想，即利用太阳的无限能量造福人类文明”。这个梦想很有可能变为现实，并且不会排放任何温室气体。想要像利用化石燃料和核能一样利用太

太阳能，我们还要付出更多努力，但在所有可再生能源当中，太阳能是迄今为止最有前途的一种。

## 计算机

1970年，阿拉斯加州安克雷奇：控制板上的红灯在疯狂闪烁。计算机的磁芯存储器崩溃了。当时计算机的崩溃是真正意义上的崩溃，快速旋转的机械磁盘不停发出刺耳的摩擦声，最后停止工作。我们只好不断地重启计算机，连完成最简单的程序都十分艰难。那真是个漫漫长夜。当时我是一名石油工程师，这是我的第一份工作。由于我曾在剑桥大学学习过，因此我是当时为数不多的几个能用计算机解决工程问题的人之一。我拼命赶工，我的老板赶着要与一些美国石油公司更大牌的老板开会。他们要讨论如何分配普拉德霍湾油田（Prudhoe Bay）的石油。由于我们的公司规模较小，所以他希望我能用计算机提前设计好方案，以便在会议上一鸣惊

人。

这是个难题。公司拥有的许可证是以土地冠名的，因此他们掌握石油的多少取决于这块土地的石油分布情况，而石油的分布又十分不均匀。长夜过去，清晨到来，经历了无数次的关机和重启，我的方案终于成功出炉。如今通宵工作已经是家常便饭了。

当时我的工作地点在安克雷奇唯一的“计算机处”，该部门由一位斯坦福大学的毕业生米利特·凯勒掌管。计算机处只有一台计算机，是当时最先进的 IBM-1130。白天，米利特用计算机语言 COBOL 运行一些商业程序来为当地银行建立金融账户。晚上，我用它运行自己用 FORTRAN 语言编写的程序，FORTRAN 是流行的科学和工程计算机语言。IBM 的科技十分先进，“每秒钟可以完成多达 120000 次加法运算”，通过应用先进的科技，我为英国石油公司建立模型，帮助它发展壮大。早些年，英国石油公司在计算机科技领域就一直采取主动创新的态度。20 世纪，公司开发了一些程序，用来计算石油运输的最佳线路。但 IBM-1130 的发明为石油行业的处理能力提供了新动力。作为地球物理学家，米利特对我的工作十分感兴趣，他经常陪我一起工作到深夜，帮我照看喜怒无常的计算机或是换上下一张磁盘。



1965 的电脑不仅需要大量电流的支持，尺寸也非常庞大：IBM 1130。



IBM-1130 是我在剑桥之后接触到的第一台计算机。它没有剑桥的大型主机泰坦那么强大，它比泰坦小得多，价格也便宜得多，而且也更容易上手。主机泰坦要占据一整间屋子，要对它进行操作至少需要整个实验室的人手。IBM 致力于带领计算机走出这样的境遇，让计算机成为各行各业的必需品。

今天，要离开计算机的帮助去探索和开发石油简直无法想象。2005 年丹尼斯飓风险些使雷马钻井平台葬身大海，而到雷马油田开始产油时，公司已经可以使用地震及相关数据建立三维立体效果图来描绘海平面几千米以下位置的石油储藏。科学家和工程师们得以协同工作，根据油田的长期发展，更有效地制定决策，例如在什么地方钻井等。要完成这些目标，需要处理大量数据，这项工作便由计算机担任，在过去的 60 年里，计算机的能力有了巨大的改进。但不管是今天的高性能计算机，还是 1971 年安克雷奇的 IBM1130，计算机技术的核心一直都是由硅元素制成的小装置：晶体管。

## 硅晶体管

20 世纪 40 年代末，贝尔实验室固态物理学小组的威廉·肖克利（William Shockley）和他的团队正在研究一组半导体元素的电学特性。当时贝尔的电话网络仍由机械开关控制，信号放大使用的是真空管。这些方法速度慢且不太可靠，因此研究主管奉命寻找电子替代品。肖克利将目光投向了半导体，他希望能用半导体制作放大和开关元件。尽管这一理论基础看上去毫无问题，但没能奏效。他的同事约翰·巴丁（John Bardeen）是一位才华横溢的理论物理学家，他决心解决这一问题。他发现电子总是被束缚在半导体表面，使电流不能通过整个装置。他与善于动手的沃尔顿·布拉顿（Walter Brattain）一同克服了半导体表面陷阱的问题，他们将肖克利的想法变成了现实，从而发明了世界上第一个晶体管。

1948 年年底，贝尔实验室宣布了由肖克利、巴丁和布拉顿共同发明晶体管的消息；之后他们为此获得了诺贝尔物理学奖。在新闻发布会上，他们阐释了晶体管的潜力，晶体管将代替真空管作为收音机和基础计算机的元件。和真空管的作用一样，晶体管能够放大电子信号，并可以作为通断开关，但它的速度比真空管快得多，体积和需要的能量也小得多。当时的媒体没有把晶体管当作一回事。《纽约时报》“在第 46 页一个广播闲话专栏的后面登载了这条消息”。晶体管具有

改变世界的潜力，但那时的人们完全没有意识到这一点。毕竟记者们很难理解这些装置和它们抽象的功能到底会对我们的日常生活产生什么影响。今天，我们用电脑进行沟通、制作图片和声音，但即使这样，也没有几个人能把小小的硅片和计算机的复杂功能联系起来。



适合当代艺术博物馆：肖克利，巴丁和布拉顿因发明晶体管而获得诺贝尔物理奖。

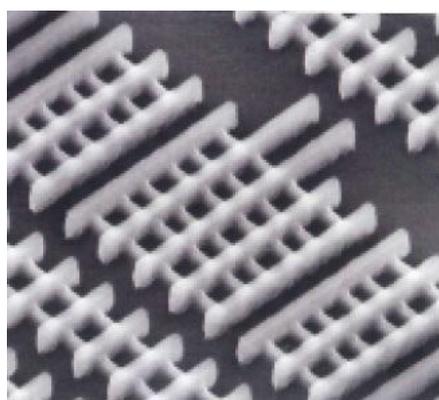
任何计算问题都可以被分解成简单的几个逻辑步骤，如将两个数字相加或在两个数字之间做选择。这些步骤由“逻辑门”控制，这是数字电路的基本构成要素。逻辑门由晶体管和其他一些简单元件组成，晶体管起开关的作用，用来传

送信号。大多数逻辑门拥有两个通断开关作为输入端。每个开关都有开和关两个状态，即“0”和“1”，逻辑门的输出由这两个输入端及逻辑门的类型决定。例如，“与门”只有在两个输入都是 1 的情况下才会输出 1。其他输入组合（0 和 1；1 和 0；0 和 0）都会导致输出 0。一个基础型的计算机就由这些基于晶体管的逻辑门组成，数个逻辑门共同完成复杂的输出。计算机的性能和复杂性随着逻辑门的数量增多而提高。

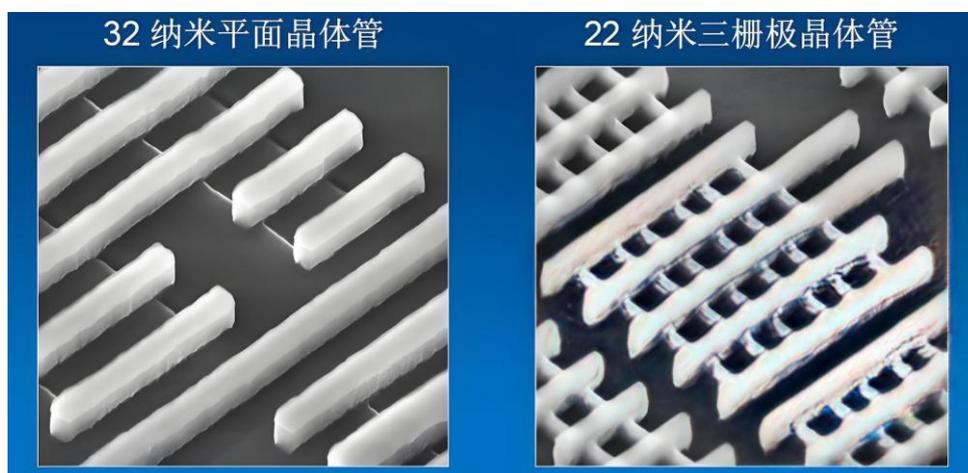
晶体管能完成这一任务的原因是他们体积很小、成本低廉且耗能很少。由于具有这些特性，人们可以将它们大量安装在一台计算机内。但它们真正的优势在于速度快。一个晶体管的通断开关功能由一小股电流控制。由于晶体管体积很小且电子的速度很快，使开关可以在一秒钟内开关超过 1000 亿次。如果用手指的话，大概需要 2000 年的时间才能对电灯完成类似的开关操作。硅的半导体特性让它成为制作开关的绝佳材料，尽管最初人们也用其他半导体，如锗，而且现在也在用许多合金材料制作晶体管，但这些材料都不具备硅高性能、低成本的双重特性。

不过，最初晶体管的商业应用与计算机无关，而是被用来制作放大器。第一款使用晶体管的产品诞生于 1952 年，是由沙诺通（Sonotone）生产的助听器。类似的原理被用在了收音机上，晶体管被用来放大从发射台收到的电磁波。由于

晶体管体积小，因此收音机的体积和成本也随之下降，使收音机更加方便携带，从而打开了一个巨大的新市场。晶体管收音机预告了流行音乐大众时代的到来。随着这些产品的成功开发，人们逐渐认识到晶体管的重要性。1953年3月，《财富》杂志刊登了一篇名为《晶体管之年》（The Year of the Transistor）的文章。文章写道：“在晶体管和新生的固态电子学领域，人类或许会发现能与原子能一较高下的新力量。”硅加入了铀和钚的行列，成为战后的“神奇元素”之一。



英特尔的 22 毫微米晶体管。



## 硅芯片

就在肖克利、巴丁和布拉顿发明晶体管不久，他们的关系也破裂了。极度偏执和好胜的肖克利觉得自己获得的荣誉远远不够。由于他明显缺乏管理能力，且不够随和，因此导致他升职不利，他为此迁怒于贝尔实验室。1956年，受到斯坦福大学工程学院院长弗雷德里克·特曼(Frederick Terman)的鼓励，他离开了贝尔实验室，在加利福尼亚创建了自己的公司——肖克利半导体实验室。特曼以独到的眼光看到了半导体行业的潜力，他希望自己的学生也成为其中一员。肖克利和特曼合力将半导体行业的中心从美国东部转移到了西海岸，为后来的硅谷奠定了基础。

在肖克利半导体实验室，一群才华横溢的年轻人开始对硅进行深入研究。公司的一个员工戈登·摩尔(Gordon Moore)曾写道：“对（硅的）加工方法和物理特性，谁都不是很懂。我们只有不断探索，先弄清应该怎样操作。想要制作出产品，还需要做很多努力。”但这些人肖克利的公司做得并不顺利。肖克利脾气很差，又缺乏管理能力，这些让他的团队十分灰心。他经常公开解雇员工，还会为一些小事要求员工进

行测谎。肖克利和员工们在很多方面都有分歧，包括公司的发展方向，以及哪些发明应该商业化。大约一年后，肖克利实验室最有天赋和野心的八个人决定离开。“叛逆八人帮”首先与巴德·科伊尔(Bud Coyle)和阿瑟·罗克(Arthur Rock)取得了联系，其中后者是风险投资之父。科伊尔和罗克劝说他们，与其为别的公司打工，不如创立自己的公司。他们从舍曼·费尔柴尔德(Sherman Fairchild)那里获得了140万美元的资金。费尔柴尔德不仅是一名商人，还是个发明家，他在IBM公司有大笔的股份。有了启动资金，八人小组在加利福尼亚帕洛阿尔托附近成立了仙童半导体公司(Fairchild Semiconductor)。

真空管外形笨重、性能不可靠，因此那时的当务之急是解决这一技术问题，尽可能使晶体管的性能稳定。制作晶体管时，需要手工用导线将晶体管安装到电路上。随着一台计算机内电路的增多，这些连接发生故障的可能性也随之增加。这就造成了很大的风险。电路中的其他元件，如电阻器，并不是由硅制作的，而是由碳和其他材料制作的。这就提高了电路生产的成本，也降低了生产效率。1958年，德州仪器公司的一位科学家杰克·基尔比(Jack Kilby)开始对电路进行改进，将所有元件都改成由硅制作，最终开发出了“集成电路”。但基尔比的电路所用的导线仍是细金属线。

仙童半导体公司的发明家们发明了一种方法，用硅表面自然形成的二氧化硅氧化层来包裹和保护这些元件。仙童半导体公司的共同创始人罗伯特·诺伊斯（Robert Noyce）将这一过程描述为“将晶体管包裹在二氧化硅做成的茧中，这样它就永远不会被污染了。这就像建造丛林手术室一样，把病人放进塑料袋里，再在塑料袋里做手术，这样丛林里的苍蝇就不会飞进来污染伤口了。”诺伊斯开始考虑还能利用这一新过程做点儿什么。他忽然想到可以用氧化层来简化整个生产过程，这样整个电路的成本就会降低。氧化层具有绝缘性，因此电路中的所有元件都可以由一块硅晶片制成，还可以用覆盖在氧化层上的金属片来代替导线，完成电路元件之间的连接。只要在芯片上打一个孔，就可以与另一面的元件进行导电连接。这样，导电连接可以被“印刷”到一个电路上去，而不再需要脆弱的导线了。他将这一发明称为“集成电路”，即晶体管、电容和电阻同时集中在一块硅晶片上。这一发明大大提高了电路的稳定性，美国国家航空和航天局甚至将集成电路用于早期阿波罗太空任务。同时，生产成本也大大降低。诺伊斯利用硅的自然属性制作出二氧化硅保护膜，从而发明了集成电路，巴丁认为这简直与“轮子的发明一样意义重大”。

## 摩尔定律

由于诺伊斯的发明，仙童半导体公司成为集成电路开发和生产领域的领头羊。公司发展十分迅速；1958年，公司收入为50万美元，但到1960年时，收入已经是两年前的40多倍。以仙童为中心，更多的计算机科技和软件公司纷纷在这一地区成立，这里就是后来大名鼎鼎的硅谷。

1965年，仙童公司“叛逆八人帮”之一的戈登·摩尔注意到一个现象，即硅晶体管的价格和规模有着一致的下降趋势；从那时起，这一趋势一直推动着硅谷的高速发展。根据摩尔定律，每年，一块计算机芯片可容纳的电子元件数目（如晶体管、电阻和电容）都会翻一倍。1965年时，摩尔预计这一增长势头至少会持续十年，也就是说到1975年时，一块计算机芯片可容纳的电子元件数会从十年前的60个增长到60000个。令人惊讶的是，他说对了。但摩尔定律的有效性并未截止到1975年。计算机性能指数速率增长以及计算机价格的下降一直持续到了今天。

今天，最先进的微处理器含有超过25亿个晶体管，这些

晶体管的体积已经微缩到了只有 22 纳米，只比一个 DNA 断链的宽度大 9 倍。晶体管体积的缩小，加上计算机行业的整体发展，共同创造了卓越的成果：2011 年，全世界晶体管产量达到  $10^{18}$ （在 1 的后面加 18 个 0）。这一数量分别比全世界每年所产大米的粒数和每年印刷的字符数还要多。一个晶体管的成本甚至低于书中或报纸和杂志上的一个字母的印刷成本。根据摩尔定律，这一小型化的过程可以用更快的速度生产更便宜的芯片。而当芯片体积更小、价格更便宜时，它们会被用在更多装置中，更深入地融进我们的日常生活。正如戈登·摩尔在第一次提到摩尔定律的那本书中描绘的那样：“集成电路的未来就是电子器件的未来。”



没有现代硅片之父摩尔（Moore）和格鲁夫（Grove）就不会有苹

果和 Windows。

1968 年，摩尔和诺伊斯离开了仙童，他们用手中的资金创建了他们自己的公司：英特尔。1997 年，我在斯坦福大学商学院院长麦克·斯彭斯（Mike Spence）的建议下，加入英特尔董事会。在商学院学习期间，我曾做过学院咨询委员会主席。但我还是想在加利福尼亚蓬勃发展的商业圈里占据一席之地，因为我相信自己可以在英特尔学到许多东西。在我加入董事会之前，我遇见了英特尔的首席执行官安迪·格鲁夫（Andy Grove），他曾在仙童半导体公司与诺伊斯和摩尔共事过。直到今天，格鲁夫仍是我见过最令人敬佩的企业思想家之一。在日新月异的半导体行业里，他曾多次依靠自己的智慧和精力做出成功的战略规划。但格鲁夫对英特尔产品背后的科技也了如指掌；他曾写过关于半导体物理的教科书。董事会成员中有老练的风险投资家阿瑟·罗克，董事会主席由工程大师戈登·摩尔担任，这样的董事会简直强大得令人敬畏；由此可见公司必定有着世界一流的管理水平。格鲁夫的座右铭是“只有偏执狂才能生存”。他身体力行，并以同样的标准要求董事会和管理人员。在快节奏的行业里，你必须时刻注意即将出现的变化。格鲁夫将最重要的变化称为“十倍速变化”，因为“真正的变化发生的速度永远比企业已经习惯的快一个数量级”。集成电路带来的变化正是如此。之后的

互联网则又是一个例证。

## 硅与通信

20 世纪 90 年代初，在日内瓦附近的欧洲原子核研究中心（CERN），计算机科学家蒂姆·伯纳斯-李（Tim Berners-Lee）正在研究如何能让 CERN 的几千名科学家更有效地进行合作。每一次的粒子撞击实验都会产生大量数据，但由于没有通信网络来共享这些数据，科学家们不可能进行实质性的合作。美国军方已经就信息共享网络的理论和实用设计做过不少研究。50 年代冷战期间，由于局势紧张，各国急需开发分散式的通信网络。如果通信依赖一条单独的线路，进行点对点的通信，这种通信很有可能被中断。但如果用多条线路组成通信网络，即使某两点之间的通信被中断，信息还可以另外选择其他线路，信息传输就有了多元化备选线路。

伯纳斯-李以该通信网络为基础建立了一个系统，将

CERN 的所有计算机连接起来；这就是后来的万维网。学术和工业领域人士率先应用万维网寻求合作。他们已经认识到了计算机的重要性；这些基于硅元素的机器拥有强大的处理能力，人们用它完成各种复杂的任务，如绘制油田地图和进行气候模拟。伯纳斯 - 李发明的万维网也是易于使用的全球通信网络，使之能迅速在普通人群中普及。随着拥有个人电脑的人数迅速增多，互联网也应运而生。到 1995 年 7 月，全球共有 660 万台计算机相互连接；到第二年，这个数字几乎翻了一番。1997 年我加入英特尔董事会不久，安迪·格鲁夫宣布英特尔要引领世界生产 10 亿台个人电脑；当时这是一个遥不可及的目标。

今天，互联网连接着 20 多亿人，已经超过了格鲁夫预计的目标。互联网甚至延伸到了太空领域，将国际空间站的宇航员与地球连接起来。互联网的诞生也让硅有了新的用武之地，一开始硅仅被用于生产计算机，现在它还被用于通信基础设施和装置的制作。伯纳斯 - 李的创新建立在肖克利、摩尔和其他硅谷企业家的研究基础上，同时互联网的实现也要依赖硅的另一种功能。20 世纪七八十年代，人们发明了硅光纤（一种玻璃），用来在远距离电信传输中代替铜缆线。线路的传输能力因此得到了很大提高，信息以光速通过互联网传向世界各地。

人们在商务活动和日常生活中需要进行即时沟通，互联网是满足人们这一需求的骨干力量。但要完全满足通信需要，还需要一些东西：人机之间的连接需要做到简单易行、令人愉悦。苹果公司满足了人们这一需求，正因为如此，苹果公司的大名在最近几十年里广为人知。2012年5月，我在苹果公司总部、硅谷小镇库比蒂诺遇见了苹果公司工业设计高级副总裁约尼·伊维爵士（Sir Jony Ive）。

## 形式与功能

我与约尼·伊维在户外相遇。院子里阳光明媚，我们坐下来喝咖啡时，他开始向我解释设计的复杂过程。“我的中心任务是考虑功能和形式之间的关系，”他指着面前桌上的杯子说，“你看这个杯子。我们用它喝咖啡的时候，并不会对此多想，因为我们知道它就是用来喝咖啡的。它的形式和它的功能有着固有的联系。但这一点在工业革命之后发生了改变。机械化使功能和形式脱节了，发展到今天，就拿智能手机来说，在它的功能里，有一大部分与它的形式并无固有的联系。”

电子在硅层的快速移动驱动着我们的智能手机，但它的复杂性隐藏在了闪亮的金属外壳和光滑的图形界面之后。它的外壳和里边的科技一样重要，因为外壳能保证任务运行的顺畅无误，让人机连接与用杯子喝咖啡一样简单。第一台个人电脑外表十分吓人，吓走了许多潜在用户。它们看起来和实验室设备并无差别，褐色与黑色相间的大箱子，这是由科学家设计给科学家用的。这让用户和计算机之间有了一道无形的障碍，约尼在苹果公司的任务就是打破这道障碍。那天晚些时候，他把我带到了他的设计工作室，我只站在门口简单参观了一下，他就在这里指挥整个团队设计未来的产品。工作室装着磨砂玻璃，防止人们向里窥探，打扰了这一安静的工作环境。设计人员们的想法层出不穷，但能达到他的标准的大作却寥寥无几。设计员们常常花上几天、几周甚至几个月的时间设计、模拟和重造，争取将每个按钮、每条曲线都做到完美，力求将产品的实用性发挥到极致；他们想要生产人人渴求的产品。他们带着这样的渴求和力量创造出了革命性的产品，传遍了世界。

## 社交媒体革命

2010年12月中旬的一天，穆罕默德·博阿齐齐(Mohamed Bouazizi)正在突尼斯西迪布济德(Sidi Bouzid)的一个街边摆摊卖水果。两个警察来到他的水果摊前，他既没有营业执照，也没有钱贿赂两位警察，因此他的手推车被没收了。他试图向当地政府部门投诉，但得到的却是他们的嘲笑。由于无助和绝望，他拿了一罐汽油浇在自己身上，并划着了火柴。博阿齐齐的死讯迅速传遍全国，引起了突尼斯人民一连串的抗议，其中许多抗议活动就是通过社交网站组织起来的。不久后，总统逃离了突尼斯。

推特(Twitter)和脸书(Facebook)为突尼斯绝望的青年人提供了平台，让他们可以彼此沟通、分享不满，并协调组织政治行动。整个阿拉伯世界随之震动，最后导致埃及、利比亚和也门的统治者纷纷下台。这不是第一次硅元素在政治革命中发挥作用了。冷战期间，自由欧洲电台(Radio Free Europe)曾使用晶体管收音机在全苏联广播反对共产主义的宣传言论。任何革命组织在试图发动政变时，总会先控制国家广播电台，比如20世纪90年代初期的雨果·查维斯。谁控制了广播电台，谁就控制了整个国家。

拥有强大信息传播能力的移动通信和互联网让 2011 年的这场革命在短时间内就掀起了轩然大波。硅元素让人们能够在互联网上对此进行辩论和探讨，对革命起到了推波助澜的作用。但除了这些高尚的目的，硅元素有时也被用于实行监视、窥探和迫害。革命前夕，突尼斯当局就曾通过互联网锁定并逮捕了一些有影响力的博客作者。在一些国家，网上的公开信息都是经过审查的，那些通过社交媒体发表反政府言论的人会受到政府监视。与其他元素一样，对硅元素的利用有好也有坏，而且不管结果怎样，都不会受地理边界的限制而迅速传遍全球。

## 硅的社会

夏洛克问道：“里亚尔托有什么新消息？”这是莎士比亚的戏剧《威尼斯商人》里的情节。文艺复兴期间，里亚尔托是威尼斯的金融和商业中心，如果想知道那里的新消息，你

必须得亲自走一趟。地方通信受步行速度的限制，而国际通信则取决于轮船航行的速度。几百年后的工业革命期间，人类已经可以利用煤炭和石油驱动蒸汽火车和轮船，之后又有了汽车和飞机。碳使人类走得更远更快，扩大了我们的地理范围和通信能力。

但是在改进通信能力方面，硅的贡献最大。正如碳改变了我们的交通方式一样，硅令我们的日常生活发生了巨大转变，大大地拓宽了我们的社交圈，让我们在交“朋友”时有了更多的选择。硅的力量远远超过了碳。即使在今天，全世界也仅有 15% 的人口拥有汽车；坐过飞机的人则更少。

硅更为普遍的应用是在移动电话领域，它们已经完全改变了社会的发展方式。尽管很久以前就有人发明了移动电话，但和早期的计算机一样，这些电话价格昂贵、个头很大且十分耗电；电话所用的电池很大，用户不得不将电池放进汽车后备厢。曾几何时，人们只能在大学实验室和大型公司里见到计算机：今天，一个智能手机的运算能力已经超过 1969 年人类登陆月球时 NASA 所有计算机的总和。到 90 年代末，移动电话价格已经大幅下降，许多发展中国家的人们也能买得起。到 2002 年，全球有超过 10 亿的手机用户，这是移动电话发展历程中的里程碑，相比之下，固定电话花了 128 年才达到这一目标。硅元素将众多独立个体连接起来，从而改变

了社会内部的权力平衡。我们只要看一下非政府组织和互联网游说集团日益壮大的影响力，就可以知道硅元素是如何在全世界范围内催生了这些政治变迁的。

想知道今天的重要新闻，你再也不必跑到里亚尔托去了；你只要把手伸进口袋就可以了。硅增进了我们对世界的理解，碳和铁改进的是人类的力量，而硅改进的则是人类的智力。

未来学家雷·库日维尔（Ray Kurzweil）指出，“未来，科技发展的步伐会越来越快，它的影响力会让人类的生活发生不可逆转的改变”。此时此刻，人类、机器、物理现实和虚拟现实全都融为一体。他认为，计算机会为我们解决人脑处理局限的问题，为我们打开人类知识的新前沿。人脑每秒可以完成 100 万亿到 10000 万亿个指令，而计算机的性能现在还赶不上人脑，况且有些任务计算机根本不可能完成，比如处理生活中大量模棱两可的问题。不过库日维尔认为计算机可以在 2025 年时达到这一分水岭。这些推测或许不太符合常理，但小小的硅芯片所拥有的能量同样让人感到不可思议。人类用随处可见的沙粒制造出了神奇的计算机，或许有一天计算机的智慧会超过人类本身，但我们仍需谨慎行事，以免夸大了科技的潜力。正如戈登·摩尔说的：“现在我还看不到（摩尔定律）结束的迹象，但也不会太远了，大概就在十年之后吧。”那么接下来的十年我们还能期待些什么？英特尔

公司已经有了关于硅的新发明。

## 硅光子

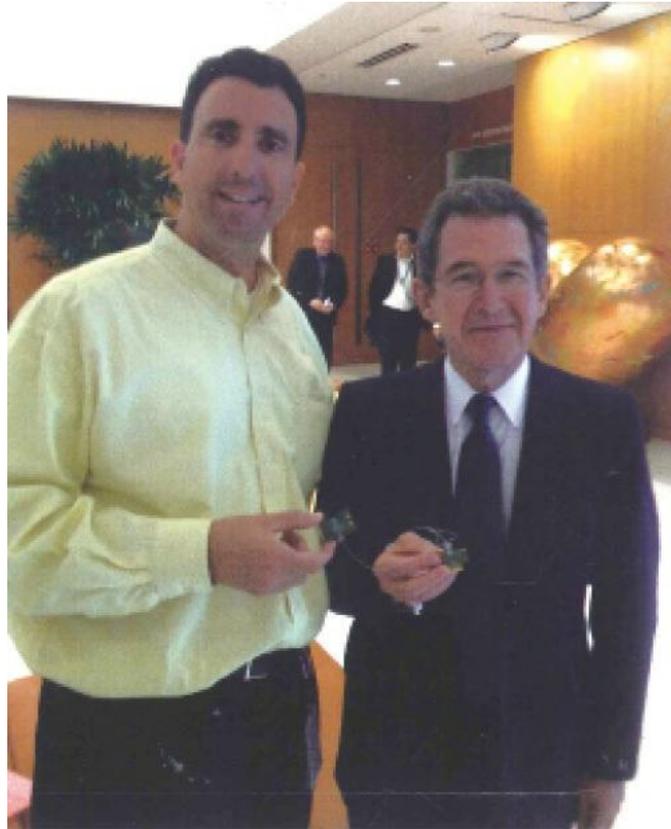
2010年5月，在加利福尼亚圣克拉拉市，一位研究员马里奥·帕尼恰（Mario Paniccia）领我走进了迷宫一样的英特尔公司总部的格子间办公室。每个人的桌子都一样大，他的位置在办公室的一个角落。“老板们坐在靠窗的地方。”他解释说。他在帮我找一个硅做的小型装置，我边等他边浏览墙上的照片。除了他的家人和朋友，我发现帕尼恰还和另一个人合影过好几次，我认出了这个人，因为我们曾在英特尔董事会共事过十年之久：戈登·摩尔。在其中一张照片里，帕尼恰和摩尔穿着高尔夫球衣，并肩站在一起，“这是我们终于打完十八洞的时候拍的。”帕尼恰解释说。显然，摩尔给了帕尼恰很多启发，令他成为新一波硅科技创新中的一员。目前他正在研究将摩尔定律的指数趋势法应用到数据传输科

技当中。终于，他找到了要找的盒子，他打开盒子，拿出两个硅芯片，两个芯片之间由一个奶酪切割线粗细的半透明光纤连接。他对我说：“未来的通信就靠它了。”

与铜缆线相比，光纤传送数据的速度更快、距离更长，但现在用的还不多。光纤本身由玻璃制成，成本很低，但产生光信号的激光器价格却十分昂贵。另外，光纤上每隔一段距离就要安装一个光中继器，接收端还需要一个解码器，这些都价格不菲。这些设备无法大批量生产，系统也无法进行大规模组装，这让光纤通信的成本远远高于使用铜缆线。光纤每秒钟可以传输几十太字节（TB）的数据（大约相当于普通个人电脑硬盘存储量的一百倍），现在，光纤基本上只用于洲际和国家间的大型“信息高速公路”。每铺设一条光纤线路大概要花掉几亿美元。

帕尼恰认为这种情况终会发生改变，而改变的关键就是他递给我的那两片小小的“硅光子”器件，很快，这种高性能的光纤就会从大型数据中心走进个人电脑，变得物美价廉。如果我们回想杰克·基尔比和罗伯特·诺伊斯在集成电路上的突破，就会想到，想要在光纤上有所突破，就要用硅制作整个设备，这样才能以 50 年的硅科技为基础，用低廉的成本大规模制造整个光纤通信系统。帕尼恰的器件每秒钟可以传输 80 千兆字节（GB）的数据，以这样的速度下载一部高清电

影，只需不到一秒钟。他的团队正在研制每秒 1 太字节的连接，如果成功的话，下载整个美国国会图书馆的馆藏资料大约只需 90 秒。



硅光子背后的大人物：马里奥·潘尼西亚（Mario Paniccia）

这些硅光子器件是最新的发明，它们将与其他复杂设备一同满足人们的计算和通信需求。它们将硅分别与光和电子的相互作用结合起来，产生可以大规模生产的高速通信连接系统。硅再次刷新了自己的功能，不远的将来我们就会看到它的新功能的实现。但是在那之后呢？地平线上，另一颗科

技新星正在冉冉升起，这次，它的来源是碳。

## 碳的回归：石墨烯

有一种新物质即将成为 21 世纪的神奇材料，它看上去不太起眼，像是极具未来感的铁丝网，但它的潜力很有可能比硅还大。在阳光灿烂的加利福尼亚，一群极富魅力的创业者缔造了硅的成功；而在阴雨连绵的英格兰北部，铅笔和胶带创造了这种新材料的传奇。新千年伊始，俄罗斯裔教授安德烈·海姆（Andre Geim）和他的学生康斯坦丁·诺沃肖洛夫（Konstantin Novoselov）正在曼彻斯特大学研究一种新型晶体管，制作这种晶体管的材料不是像硅一类的半导体，而是一种导体。他们希望制作出体积更小、速度更快、耗能更少的晶体管。他们首先用铅笔芯的制作材料石墨进行了实验，石墨仅含有一层很薄的层层排列的碳原子，当你用铅笔写字时，笔尖会承受一定的压力，石墨中的薄碳层会滑动开

来，在纸上留下字迹。

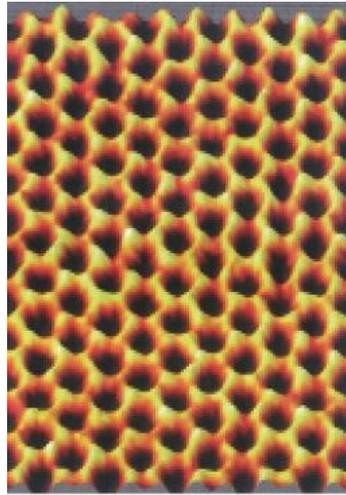
科学家们许多年来一直在研究纯碳结构的特性。碳在化学上能够自我结合，形成大量化合物，如碳氢化合物中最重要的链状和环状结构。1985年，得克萨斯州休斯敦莱斯大学的哈里·克罗托（Harry Kroto）的团队发现了形状类似足球的碳60（buckminsterfullerene）。几年后，碳纳米管成了90年代的“神奇材料”。同样，科学家们试图研制碳原子薄片；大多数人认为，在只有一层碳原子时，薄片会不稳定甚至起皱。但当他们深入研究石墨烯薄片的特性时，海姆和他的学生们有了惊人的发现。他们使用普通的胶带剥落石墨块片层，使产生的石墨薄片越来越薄，只有几个原子的厚度。直到最后，他们通过显微镜观察，发现他们已经实现了前人以为不可能实现的目标：仅有一层原子的碳薄片。他们发明了石墨烯。他们开始着手探索这种新型材料的特性，并有了许多新发现。他们发现石墨烯是世界上最坚固的材料，比钢要结实300倍。虽然石墨烯的厚度仅有保鲜膜那么厚，但要用一根铅笔穿过石墨烯层，需要一头大象的力量。它具有高度的灵活性和导电性，在室温下，它的电阻率极小，它的导热和导电功能甚至超过铜和银，很有可能是世界上最优秀的导体。更棒的是，它还是现存材料中透明度最高的。诺沃肖洛夫说：“石墨烯很不寻常。每次我们研究它时，都会有有趣

的新发现：它的光学性能、电学性能和机械性能都很出众。”

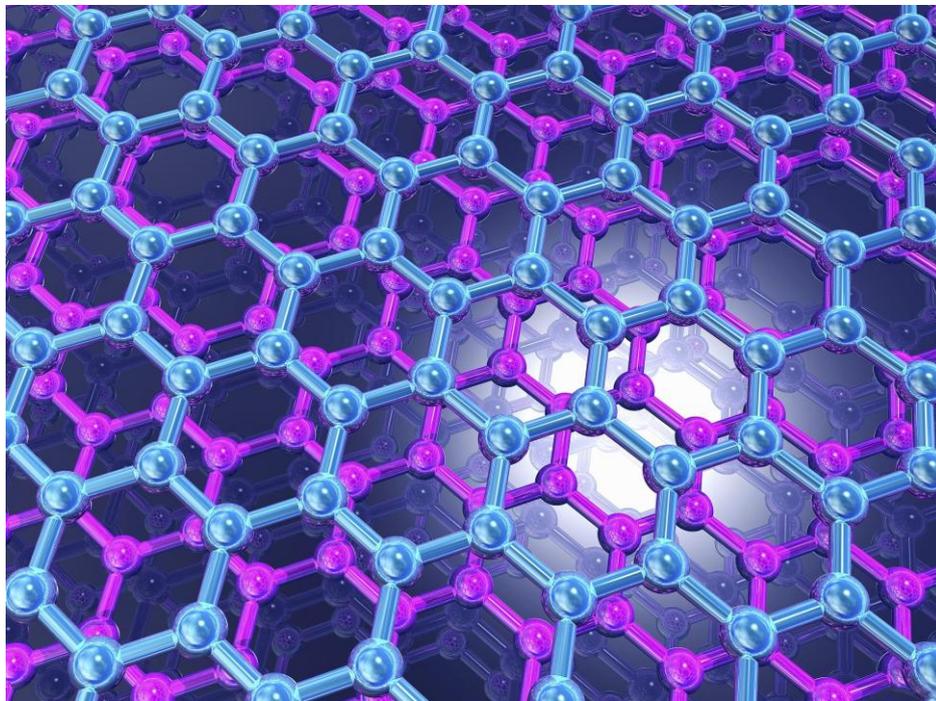
他们于 2004 年公布了初步实验结果，这为他们带来了巨大的科学价值和商业利益。仅在 6 年后的 2010 年，海姆和诺沃肖洛夫获得了诺贝尔物理学奖。在颁奖典礼上，瑞典皇家科学院称：“碳是地球上所有已知生命的基础，如今它再次给我们带来了惊喜。”碳是所有元素中用途最广泛的。作为化石燃料的主要成分，它促进了世界的发展，推动着生产、贸易和通信的进步；作为二氧化碳的主要成分，它有可能永久地改变我们的气候和生活方式；作为石墨烯的主要成分，它可能会令许多产品发生彻底变革，从而改善我们的生活。它的透明度和导电性可以被用于制作太阳能电池和触屏，它的坚固性和灵活性可以在轮船船体和宇宙飞船制造上发挥作用，它的半透气性又使它在制作抗病毒绷带和净水器方面有一席之地。石墨烯还可以被用来制作锂电池正极，这样生产出来的锂电池储电量是普通锂电池的十倍，充电速度也比普通电池快许多倍。如果将手机里的晶体管换成石墨烯晶体管，制作出来的超薄手机可以被卷起来放在耳后。

石墨烯具有巨大的潜力，但通常新材料的价格也非常高。我想起 20 世纪 50 年代科学界的乐观主义精神。大众科学杂志和漫画都预言未来将由铀元素来满足我们所有的能量需求，包括供暖、开车甚至轻触开关就能控制地球气候。比钢

更坚固、更轻也更抗腐蚀的钛也曾被预言会像铁一样存在于我们生活的方方面面。与石墨烯类似的碳 60 在实际中几乎毫无用处，而碳纳米管也未对工业生产产生大的作用。



从微观角度看未来材料：石墨烯。



石墨烯的潜力在实验室里得到了证实。至于它是否能引起一场产品革命，这已经是一个经济和工程问题，而不再是科学问题；将一种新材料商业化需要一定的时间、努力和金钱。现在看来石墨烯的首次商业应用应该是在薄膜触摸屏和电子纸张方面，要实现更大的突破，我们还需等待几十年。人类受到好奇心的驱使，发挥自己的聪明才智，一次又一次地令元素发挥新的潜能、展现新的特性，不断改变着这个世界。石墨烯就是最好的例子。

## 后记 能量、进步和毁灭

我怀疑，无论在哪里，每一代人都觉得自己所处时代的发展速度比以往所有时代都快。他们是对的。从科技进步到人口增长，今天一切事物的发展都比以往更快。人们做出决策的速度更快，决策的传播和影响范围也都更广泛。今天我们所做的一切，其对人类的影响力都远远大于以往。今天人类利用元素的方式将为未来埋下伏笔。阿格里科拉在 16 世纪时曾警告人们说：“好人用它们做善事，它们就是有用的。坏人用它们做坏事，它们就是有害的。”我想知道如果阿格里科拉活到今天，他会给我们什么忠告。下面是我对此事的看法。

第一，我们需要认识到一点，元素给我们带来的不仅是好处，还有一些负面的影响。碳元素参与改变了全球气候，

铀元素被用于制造大规模杀伤性武器，元素的负面作用从这两个例子就可见一斑。要就元素的危险性达成共识，需要各国在教育方面加大力度。各国之间的沟通同样十分重要，既得利益者们惯于忽视这些负面影响，解决这一消极态度更是当务之急。

第二，人们一再预言某种元素、矿产或商品会被耗尽，尽管到目前为止这些预言均一一落空，但终有一天它们会成为现实。我们需要不断投资科学，提高可耗尽资源的生产力。我们也要对科技的可用性提早做出判断，根据它们的表现进行总体评价。对短期内供应关系因素的考虑不可能为未来的研究和发展提供任何合适的基础。因此领导者们需要具有冒险精神，调整自己的眼光和行动，以适应长期的发展。

第三，我们需要以全新的眼光看待人类与生俱来的贪婪。这七种元素一直催生着贪欲；它们拥有的实用性和能量能够满足所有人的私欲。许多人梦想着一夜暴富，因此为达目的不择手段。他们不顾一切地占有土地，他们蓄意破坏，剥削劳工，然后再用所得财富重复他们的所有恶行。

要彻底消除贪婪是不可能的，但我们可以控制它，让它为我们服务。社会制定法律，禁止剥削人民和过度开发环境。在该法律得以实施的地方，土地盗抢销声匿迹，公司和个人

纷纷购买土地；奴役工人的现象不复存在，而是改为雇用工人；破坏环境的行为得以改善，人们开始保护生态环境。法律规定了禁止使用武力，但它可以迫使人们只能在规定界限之内行动。在其他领域，我们依靠良法建立市场，创建协议，使个人利益和社会集体利益统一。法律驾驭了贪欲，并利用它的力量为人类服务。

在大多数情况下，法律通过规定生效，在最基本的层面上，即禁止对社会有害的行为，社会禁止使用铁剑杀人，也禁止为了追求金子而驱使奴隶。但事情常常比这些更复杂。我们对碳元素的应用提高了几十亿人的生活水平，但同时也造成了许多人的死亡和对土地、空气及水资源的污染。我们一边为经济发展提供能源，一边努力使元素对人类和环境造成的危害最小化，进行有效监管正是要在两者之间寻找一个平衡点。

今天，最困难同时也是最重要的是制定有效的监管政策、找到平衡点以减少气候变化的风险。政府必须对此进行仔细思考；他们不能只简单地禁止碳燃料使用，那样的话，发达经济国家就会面临崩溃，而经济发展中国家的步伐也会停滞不前。相反，他们必须设计一套合理的机制，引导自我利益向集体利益靠拢，减少能源使用、使能源生产去碳化以及发展碳捕捉技术。

理论上的理想状态是实现全球碳税，迫使污染者对二氧化碳的释放有所顾忌。但在实际操作中，由于国际和国内政策的影响，全球碳税不太可能实现，因此我们必须退而求其次，设计一整套复杂的机制，包括补贴、监管、税制和碳定价。这一过程不但混乱，而且缺乏效率，但如果社会要抑制碳的破坏力，除此之外别无他法。我深信这个过程终将有所收效。

明智的监管不仅能够保护公民和环境，也对公司有利。例如，在页岩地区开凿天然气井时，某些经营者有一些不良行为使整个行业蒙羞。监管制度必须防止这一小部分人破坏大部分人的利益，并同时鼓励行业内部的良性竞争。直到1911年标准石油解体，其他美国石油公司才得以迅速发展。监管制度被用来限制标准石油的贪婪、并鼓励小规模市场参与者的成长。90年代在俄罗斯有过类似的现象。当时，俄罗斯石油业贿赂、威胁和欺诈成风，法律系统被牢牢掌控在少数有权势的人手中，任凭他们胡作非为。虽然法规甚多，但掌权者却选择性地应用部分法规，目的是为自己谋利。

如今在许多国家，政府对元素的破坏性开采问题视而不见，更有甚者，政府也参与其中，社会命运因此岌岌可危。非洲拥有丰富的未开发的资源财富，但资源开发的大部分收入都进入了精英阶层的口袋，成为腐败的战利品。当我回顾

自己的从业经历时，我发现要使这些国家的现状发生改变，最有效的方法就是通过国际力量向政府施加压力，迫使他们公开资源开发的收入和支出。这样，一旦出现不合理现象，公民就可以追究他们的责任。另外，施行反贪污法律也是一条可行之路。

我本人曾亲身参与采掘业透明度倡议组织（Extractive Industry Transparency Initiative）的建立，在此过程中，我深刻体会到，只有透明度才能有效保证石油带来的财富真正到达公民手中。在整个商界，透明度已不再可有可无。由于有了更即时、更广泛的通信手段，公民和非政府组织可以看到商业经营的一举一动，他们不需花费分毫，就能迅速召集反对人士的意见、发起影响巨大的全球性运动。

今天的法律更加有力，个人的贪欲得到了前所未有的良好约束。随着社会的发展，由于有透明度相助，我们需要提高工作实践能力，并对环境给予更多尊敬。透明度不能解决所有问题，但如果能将透明度实际应用到商业活动中，会给我们带来深远的影响。

第四，我们需要大力发展慈善事业。就利用元素为人类服务这一方面来说，法律是最关键的机制。但光凭法律还远远不够。虽然元素促进了人类的发展和繁荣，但同时也带来

了巨大的不平等。在卡内基和洛克菲勒的故事里我们看到了这一点。不过他们也曾将财富又赠予他人，一定程度上缩小了当时社会的贫富差距。证据显示，慈善行为受一系列动机的驱使。显然，他们想在死后留下点什么，让他们的名字能永垂不朽，比如建造卡内基音乐厅和洛克菲勒大学。因为他们意识到，大公司的辉煌转瞬即逝，而伟大的机构却能永久留存。他们也受到了罪恶感的驱使。在他们生前，卡内基和洛克菲勒都是有名的“强盗大亨”，都曾因为恶性竞争和虐待工人而备受谴责。我怀疑他们如此慷慨的原因正是由于发生了霍姆斯泰德罢工和伊达·塔贝尔曝光这些丑闻。

第五，驱使他们投身慈善事业的还有家长式的同情心。他们相信凭借他们的财富和想法，可以创建更美好的社会，并改善工人阶级的生活条件。洛克菲勒基金会和纽约卡内基公司如今仍拥有 25 亿美元的资金；每年他们在全球的捐款额达几亿美元，其中大部分捐给了教育事业，因为教育是社会最纯粹的投资形式，教育能够增进人力资本存量，促进社会发展，并让每个人都能实现自己的潜力。

在 20 世纪和 21 世纪，慈善发生了本质改变。有些人，特别是欧洲人，认为由于国家有权征税和支配税收，因此国家是纠正不平等现象和促进发展的最合适机制。但其他人，包括世界上最富有的人，他们并不认同这种看法，他们觉得

以身作则才是最重要的。比尔·盖茨和沃伦·巴菲特承诺要将他们财富的一大半捐赠出去，并劝说美国其他亿万富翁也这样做。盖茨的话让人想起了 100 年前卡内基的观点：富人必须将财富捐赠给得到妥善管理的各项事业，以造福更多的人。

盖茨和巴菲特都是通过慈善制造积极变化的先驱人物。他们的头脑中有着清晰的想法，社会的变化总要依靠这些伟大的领导者们为我们树立榜样。这些人都承担着个人风险，因为不同的人，在不同的时代，会对他们的行为褒贬不一。格罗夫斯少将在 1942 年接手曼哈顿计划时，他的上级告诉他说：“如果你能把这件工作做好，我们就能赢得战争。”三年后，在他的领导下制造出的原子弹成功摧毁了一座城市，并如他的上级预言的那样，结束了远东的这场战争。

我们的社会在不断变化，领导者们也必须随之改变自己的方向。当格罗夫斯和奥本海默看到他们制造的武器具有如此强大的威力时，他们的目标和方向发生了改变。他们觉得有必要对铀的作用进行引导，将它应用于造福人类、而不是毁灭人类的事业中。今天，在遏制核武器扩散方面，领导者的作用仍十分重要。核武器具有十足的威慑力，要想用政治手段控制核武器，需要各国之间通力合作，但几乎每个国家都在核武器方面蠢蠢欲动，因此想将潘多拉的盒子重新盖上，

政治手段行不通。没有核武器的世界无疑会更加美好，但对各个国家来说，当然还是拥有核武器更好。对于这样的困境，我们没有一劳永逸的解决方法：如果所有人都不肯放弃自私、冷漠的行动方式，那么等待我们的不会有好结果。

在使用碳基能源方面，我们也面临着同样的困境：如果减少碳排放量，我们的生活当然都会更美好，但涉及具体的个人和国家时，我们还是希望能用碳基能源发展经济、改善生活。在这些复杂的事件里，我们既为各国的不作为感到灰心丧气，又无意于采取行动来寻求对策。我们需要的是良好的领导机制：领导人们进行全球范围的合作，超越利己主义的理性思考，为人类共同的利益各自采取行动。只有优秀的领导者才能引领我们走上光明的未来，不管这个未来是无核的未来还是无气候变化风险的未来。我们需要的是勇敢坚毅、鼓舞人心的领导者，从某种意义上讲，他们应该带领我们采取非理性的行动：即在不能保证得到回报的情况下牺牲自我利益。

有许多领导者，如美国前国务卿乔治·舒尔茨（George Shultz）和广岛知事汤崎英彦，他们正在为了无核未来而努力。他们主要致力于向人们宣传核爆炸带来的严重后果，以及通过谈判签订一些协定。在我参观了广岛之后，我才明白在这场核爆炸中人们究竟受到了多大的伤害，我也才明白为

什么阻止类似事件发生是我们的当务之急。

在气候变化方面，一些国家已经率先就无碳未来采取了行动。美国、中国和德国的政府都在大力支持本国洁净能源的开发，洁净能源的产量正在迅速攀升。由于实现了规模经济，洁净能源的成本也在大幅下降。例如，在过去的5年里，全球的太阳能产量年均增长率高达60%。在近期内，减少世界二氧化碳排放量还是要依靠提高天然气使用比例，特别是页岩天然气。在这方面，锲而不舍的乔治·米切尔做出了无与伦比的贡献。

不过，许多人仍将气候变化视作属于未来的不确定风险。我们需要更卓越的领导者，带领我们去追寻新科技，去规划一个不再依赖碳燃料的社会，并将这一理念灌输给所有人。

但仅凭卓越的领导团体还不能解决这些全球问题。我们还需要深入理解社会的日常生活需求，并乐于冒险支持新发现和新发明。照相技术并不是乔治·伊斯特曼发明的，福特也没有发明汽车，但他们的远见让他们看到了这些科技发明的潜力，并最终把它们转化成了价格实惠的大众消费品。

史蒂夫·乔布斯（Steve Jobs）的远见是通过简单易用的电脑技术改变世界。以前的电脑只是大公司的运营工具，乔布斯使它成为直观的普通人使用的工具。他坚持不懈地追

求完美，他的热情感染了许多人。正是由于乔布斯的这种领导风格，他制作的简单又复杂的电子设备改变了几十亿人的生活。他代表的是计算机行业许许多多不怕风险、艰苦创业的企业家们。威廉·肖克利发现硅晶体管的潜力后，立即到西海岸创建了自己的半导体公司。当他的员工不再认同公司的发展方向时，他们便离开公司，开始自己创业。英特尔就是在戈登·摩尔和安迪·格鲁夫的领导下这样诞生的，后来英特尔成为世界上最大的先进计算机芯片生产商，它的名字几乎家喻户晓。这些成就导致了一种新变化的产生。虽然阿拉伯春天的起因是由于自由和尊严受损，但却是基于硅元素的移动设备真正催动了这场政治变革。我怀疑，那些硅芯片的先驱们，如杰克·基尔比和罗伯特·诺伊斯看到今天的一幕，也会惊诧万分。

在一小部分人的带领下，人类通过对元素的利用取得了长足的进步，也实现了极大的繁荣，这些人就是广义上的领导者，包括科学家、企业家和政治家。他们放眼未来，渴望创造出更优秀的东西。在现代社会里，科技创新的步伐越来越快，下一个世纪这些元素将以何种方式改变世界，我们根本无从想象。70年前，谁能描绘铀或硅的种种可能？是那些富有远见的领导者们冒着风险勇敢地挑战了现状，也正是他们，将继续帮助元素发挥它们的潜力，为造福人类写下新的

篇章。

## 致谢

本书截稿时，我在威尼斯读到沃尔特·本杰明（Walter Benjamin）一篇关于书籍收藏的文章。他在文章中讲到了一个贫穷的学校教师的故事。这位教师酷爱藏书，但他看着书单上的书目，发现自己根本买不起，于是他索性开始自己写书，并因此得以收藏了大量书籍。作者认为，最高尚的藏书方式莫过于自己创作。

本杰明的文章让我意识到，我就是不折不扣的藏书家。他将收集书籍的途径按价值大小分为三种：向有品位的藏书家借书，从书商那里买书，以及在书籍拍卖会上买书。这让我不由想起在撰写本书的过程中引用过的三本意大利古书，我要感谢帮助我购得这三本书的人：我的拍卖代理人 and 书商罗宾·哈尔沃思（Robin Halwas），他帮助我购得了珍

贵的比林古乔（1540）著作的首版副本，此手稿已知的最早来源是出自1552年法国宫廷医生弗朗索瓦·拉斯·德斯·纳科斯（Francois Rasse des Neux），不仅如此，哈尔沃思还帮助我购得了布鲁斯托伦根据卡纳莱托的油画作品创作的版画集的首版；我要感谢大英图书馆的克里斯蒂安·詹森（Cristian Jensen），我曾试图在拍卖会上买下阿格里科拉手稿的副本，但没能成功，正当我备受挫折的时候，詹森为我提供了机会，让我读到一个更好的版本，这一版本曾被英王詹姆斯一世的儿子亨利王子收藏，上面还有他的批注。对曾经对我的藏书事业给予不断激励的这两位以及其他所有人，我表示衷心的感谢。

在我撰写本书的过程中，许多朋友不惜牺牲私人时间，为我提出了许多建议。我要感谢《石油大博弈》（The Prize）和《能源重塑世界》（The Quest）两本书的作者、普利策奖得主丹尼尔·耶金（Daniel Yergin）给我的帮助；我要感谢英国石油公司前董事戴维·艾伦博士（DrDavid Allen），还有著名的英国现当代史学教授（彼得）亨尼西勋爵（Lord Hennesy）；感谢麦肯锡公司前高级合伙人伊恩·戴维斯（Ian Davis），以及瑞弗史东团队成员厄恩斯特·萨克（Ernst Sack）和西蒙·梅因（Simon Maine）；感谢我上一本著作《超越商海》（Beyond Business）的合作者菲利帕·安德森（Philippa

Anderson)；我还要感谢在威尼斯时常与我共进午餐的罗米利·麦卡尔平女士 (Lady Romilly Mcalpine)，和英国石油公司前资深同事尼克·巴特勒 (Nick Butler)；感谢我之前和现在的个人研究助理戴维·罗克利夫 (David Rwcliffe) 和马修·鲍威尔 (Matthew Powell)。

我要感谢营销伦敦 (Endeavour London) 的总裁查尔斯·梅鲁洛 (Charles Merullo)，书中的许多插图照片都得益于他的帮助。

这本书最初的灵感来自我的出版商艾伦·萨姆森 (Alan Samson)，在撰稿的最初阶段，他给了我许多指导意见。我的著作经纪人埃德·维克托 (Ed Victor) 也一直对我鼎力相助。对这两位我深表感谢。

托马斯·鲁东 (Thomas Lewton) 花了一整年时间彻底研究本书采用的所有资料。他以极大的耐心出色地完成了工作，在我需要他赶工的时候，他从不推辞。我为此向他表示深深的谢意。

一如往常，我要感谢阮仪 (Nghi Nguyen)，她为本书的最后校订工作提供了宝贵意见。

最后，我要感谢所有对本书提供宝贵经验的人：英国石

油公司现任总裁、我的老同事鲍勃·达德利 (Bob Dudley);  
还有瑞弗史东的创始人戴维·洛伊申 (David Leuschen) 和  
皮埃尔·拉佩尔 (Pierre Lapeyre), 他们不断提出质疑, 让  
我对能源行业及其周边领域的问题一直保持浓厚的兴趣。

**约翰·布朗**

2012 年 9 月, 于威尼斯

# 参考书目

## 序言

- Bragg, W. H., *Concerning the Nature of Things* (London: G. Bell & Sons Ltd, 1925)  
Browne, John, *Beyond Business* (London: Weidenfeld & Nicolson, 2010)  
Diamond, Jared, *Guns Germs and Steel* (London: Jonathan Cape, 1997)  
Feynman, Richard, *The Meaning of It All* (London: Penguin Books, 1998)

## 铁

- Ashton, T. S., *The Industrial Revolution* (Oxford: Oxford University Press, 1968)  
Batty, Peter, *The House of Krupp* (London: Secker & Warburg, 1966)  
Bessemer, Henry, *Sir Henry Bessemer, F.R.S.: An Autobiography* (London: Office of Engineering, 1905)  
Bismark, Otto von, *Blut und Eisen* (1862)  
Bodsworth, C., *Sir Henry Bessemer: Father of the Steel Industry* (London: IOM Communications Ltd, 1998)  
BP, 'Building the Big One', *Frontiers*, April 2005, [www.bp.com](http://www.bp.com)  
Carnegie, A., *Autobiography of Andrew Carnegie* (New York: Country Life Press, 1920)  
Carnegie, A., *The 'Gospel of Wealth' and Other Writings* (New York: Penguin Books, 2006)  
Gillingham, John, *Coal, Steel and the Rebirth of Europe, 1945-1955* (Cambridge: Cambridge University Press, 1991)  
Harris, F. R., *Jamsetji Nusserwanji Tata* (Oxford: Oxford University Press, 1925)  
Hennessy, Peter, *Never Again* (London: Jonathan Cape, 1992)  
Hillstrom, K. H. and Hillstrom, L. C., *The Industrial Revolution in America, Vol. 1: Iron and Steel* (California: ABC-CLIO, 2005)  
Hogg, Ian V., *German Artillery of World War Two* (London: Greenhill Books, 1997)  
Howard, Michael, *The Franco-Prussian War* (London: Routledge, 2000)

- Jeans, W. T., *Creators of the Steel Age* (London: Chapman & Hall, 1884)
- Kraus, Peter, *Carnegie* (New Jersey: Wiley, 2002)
- Krause, P., *The Battle for Homestead* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1992)
- Lala, R. M., *The Creation of Wealth* (New Delhi: Penguin Portfolio, 2006)
- Landau, S. B. and Condit, C. W., *Rise of the New York Skyscraper 1865–1913* (New Haven: Yale University Press, 1996)
- Manchester, William. *The Arms of Krupp* (London: Michael Joseph, 1968)
- Manvell, R. and Fraenkel, H. *Adolf Hitler, The Man and the Myth* (New York: Pinnacle, 1973)
- Mills, Charles, *Echoes of the Civil War: Key Documents of the Great Conflict* (BookSurge Publishing, 2002)
- Mindell, David, *Iron Coffin: War, Technology and Experience Aboard the USS Monitor* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2000)
- Morris, C., *The Tycoons* (New York: Times Books, 2005)
- Nasaw, David, *Andrew Carnegie* (New York: The Penguin Press, 2006)
- Needham, J. and Wagner, Donald B., *Science and Civilisation in China*, Vol. 5, Part 11 (Cambridge: Cambridge University Press, 2010)
- Parker, William, *Recollections of a Naval Officer* (Annapolis: Naval Institute Press, 1985, originally published in 1883)
- Roberts, William, *Civil War Ironclads* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2002)
- Schuman, Robert, *The Schuman Declaration*, 9 May 1950
- Sen, Amartya, *The Argumentative Indian* (London: Penguin Books, 2006)
- Sparberg Alexiou, Alice, *The Flatiron* (New York: Thomas Dunne Books, 2010)
- Wagner, Donald B., 'The cast iron lion of Cangzhou', *Needham Research Institute newsletter*, No. 10, June 1991, pp. 2–3
- Wawro, Geoffrey, *The Austro-Prussian War* (Cambridge: Cambridge University Press, 2003)
- Weeks, Mary Elvira, *Discovery of the Elements* (Kessinger Publishing, 2003; first published as a series of separate article in the *Journal of Chemical Education*, 1933)

## 碳

- Agricola, Georgius, *De re metallica* (New York: Dover Publications, 1950, translated by Hoover, H. C. and Hoover, L.H., originally published in 1556)
- Agricola, Georgius, *De Natura Fossilium* (New York: Geological Society of America, 1955, translated from the first Latin edition of 1546 by Mark Chance Bandy and Jean A. Bandy)
- AOGHS, 'Shooters – A "Fracking" History', *The Petroleum Age*, American Oil and Gas Historical Society, 4 (3): 8–9.

- Bamberg, J. H., *The History of the British Petroleum Company*, Vol. 1: 1901–1932. (Cambridge: Cambridge University Press, 1982)
- Bamberg, J. H., *The History of the British Petroleum Company*, Vol. 2: 1928–1954. (Cambridge: Cambridge University Press, 1994)
- Bamberg, James, *British Petroleum and Global Oil*, Vol. 3: 1950–1975 (Cambridge: Cambridge University Press, 2000)
- Berger, Michael, *The Automobile in American History and Culture* (London: Greenwood Press, 2001)
- Blundell S. J. and Blundell, K. M., *Thermal Physics* (Oxford: Oxford University Press, 2007)
- Briggs, Asa, *Victorian Cities* (New York: Harper & Row, 1963)
- Brown, G. O., 'Henry Darcy and the making of a law', *Water Resources Research*, Vol. 38, No. 7, 1106, 10.1029/2001WR000727, 2002
- Browne, John, *Addressing Climate Change*, 1997. www.bp.com
- Chernow, Ron, *Titan* (New York: Random House, 1998)
- Crowther, James, *The Cavendish Laboratory* (London: Macmillan, 1974)
- Club of Rome, *The Limits of Growth* (London: Earth Island Limited, 1972)
- Cullen, W. D., 'The public inquiry into the *Piper Alpha* disaster' (London: HMSO, 1990)
- Darcy, H., *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon* (Dalmont: Paris, 1856)
- DHOS, 'Deep Water: Report to the President', National Commission on the Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, January 2011
- Edkins, Joseph, *The Religious Condition of the Chinese* (London: Routledge, 1859)
- Engels, Friedrich, *The Condition of the Working Class in England* (Oxford: Basil Blackwell, translated and edited by W. O. Henderson and W. H. Chaloner, 1958)
- Flinn, Michael and Stoker, David, *The History of the British Coal Industry*, Vol. 2: 1700–1830: *The Industrial Revolution* (Oxford: Clarendon Press, 1984)
- Forbes, Robert, *Studies in Early Petroleum Histories* (Leiden: E. J. Brill, 1958)
- Ford, Henry, *My Life and Work* (London: William Heinemann, 1922)
- Franklin, Benjamin, 'Of the stilling of waves by means of oil', *Philosophical Transactions* 64: 445–60, 448, 1774
- Freeland, Chrystia, *Sale of the Century* (London: Abacus, 2005)
- Frick, Thomas C., *Petroleum Production Handbook* (New York: McGraw-Hill, 1962)
- Friedman, Thomas, *Hot, Flat and Crowded* (London: Allen Lane, 2008)
- Giddens, Anthony, *The Politics of Climate Change* (Cambridge: Polity Press, 2011)
- Global Witness, 'A Rough Trade' (London, 1998)
- Global Witness, 'A Crude Awakening' (London, 1999)
- Goodell, Jeff, *Big Coal* (New York: Houghton Mifflin Company, 2006)
- Hardin, G., 'The Tragedy of the Commons' *Science* 162(3859): 1243–8, 1968
- Hart, Matthew, *Diamond* (London: Fourth Estate, 2002)

- Helm, Dieter, *The Economics and Politics of Climate Change* (Oxford: Oxford University Press, 2009)
- Hubbert, M. K., 'Nuclear energy and the Fossil Fuels', *Drilling and Production Practice*, American Petroleum Institute, 1956
- International Energy Agency, 'Cleaner Coal in China', OECD, 2009
- International Energy Agency, 'World Energy Outlook', 2011
- IPCC, 'Third Assessment Report' Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001
- IPCC, 'Fourth Assessment Report' Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007
- Jevons, W. S., *The Coal Question* (1865)
- Jianjun, Tu, 'Coal Mining Safety: China's Achilles' Heel', *China Security*, Vol. 3, No. 2, pp. 36–53 (World Security Institute, 2007)
- Kurlansky, Mark, *Salt: A World History* (London: Jonathan Cape, 2002)
- Lane, Frederic, *Venice: A Maritime Republic* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1973)
- Levi, Primo, *The Periodic Table* (London: Penguin Books, 2000, originally published in 1975)
- Levine, Steve, *The Power and the Glory* (New York: Random House, 2007)
- McLaurin, John J., *Sketches in Crude Oil – Some Accidents and Incidents of the Petroleum Development in all parts of the Globe* (1896)
- Malthus, Thomas, *An Essay on the Principle of Population* (London: Routledge, 1996, originally published in 1798)
- Montgomery, C. T. and Smith, M. B., 'Hydraulic Fracturing, History of an Enduring Technology', *Journal of Petroleum Technology*, December 2010
- More, Charles, *Understanding the Industrial Revolution* (London: Routledge, 2000)
- Morris, Ian, *Why the West Rules for Now* (London: Profile Books, 2010)
- Needham, Joseph, *Science and Civilisation in China*, Vol. 1 (Cambridge: Cambridge University Press, 1954)
- Needham, Joseph, *Science and Civilisation in China*, Vol. 5, Part 7 (Cambridge: Cambridge University Press, 1986)
- Needham, Joseph and Golas, Peter J., *Science and Civilisation in China*, Vol. 5, Part 13 (Cambridge: Cambridge University Press, 1999)
- Nevins, Allan, *Ford: The Times the Man, the Company* (New York: Charles Scribner's Sons, 1954)
- Norwich, John Julius, *A History of Venice* (London: Allen Lane, 1982)
- Peebles, Malcolm W. H., *Evolution of the Gas Industry* (London: Macmillan Press, 1980)
- Pomeranz, Kenneth, *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy* (Princeton: Princeton University Press, 2000)
- Popper, K., *The Logic of Scientific Discovery* (London: Routledge, 2002, originally published in German in 1934)

- Rackley, S., *Carbon Capture and Storage* (Amsterdam: Elsevier, 2010)
- Ricardo, D., *On the Principles of Political Economy and Taxation* (London: John Murray, 1821, originally published in 1817)
- Roston, Eric, *The Carbon Age* (New York: Walker & Co., 2008)
- Schlumberger, 'Prize Beneath the Salt', *Oilfield Review*, Autumn 2008
- Schlumberger, 'Has the Time Come for EOR?' *Oilfield Review*, Winter 2010/2011
- Shepherd, R. and Ball, J., 'Liquefied Natural Gas from Trinidad and Tobago: The Atlantic LNG Project', James A. Baker III Institute for Public Policy (Energy Forum, 2004)
- Skinner, S. K. and Reilly, W. K., 'The Exxon Valdez Oil Spill: A Report to the President', 1989
- Song, Ligang and Woo, Wing Thye, *China's Dilemma* (Anu E Press, Asia Pacific Press, Bookings Institution Press, Social Science Academic Press, 2008)
- Tarbell, Ida, 'Character Study Part One', published in *McClure's Magazine*, July 1905
- Tarbell, Ida, *History of the Standard Oil Company* (New York: Philips & Co. 1904)
- Tocqueville, Alexis de, *Journeys to England and Ireland* (New York: Anchor Books, 1968, edited by J. P. Meyer, originally published in 1835)
- UNFCC, 'Kyoto Protocol', United Nations Framework on Climate Change, 1997
- Victor, David et al., *Natural Gas and Geopolitics from 1970 to 2040* (Cambridge: Cambridge University Press, 2006)
- Watts, Stephen, *The People's Tycoon* (New York: Alfred A. Knopf, 2005)
- Werrett, Simon, *Fireworks: Pyrotechnic Arts and Sciences in European History* (Chicago: University of Chicago Press, 2010)
- Whiteshot, Charles Austin, *The Oil-well Driller: A History of the World's Greatest Enterprise, the Oil Industry* (West Virginia: The Acme Publishing Company, 1905)
- Winchester, Simon, *Bomb, Book and Compass* (London: Penguin Books, 2009)
- World Bank, 'The Cost of Pollution in China' (2007)
- Yergin, Daniel, *The Prize* (New York: Free Press, 2009, originally published in 1991)
- Yergin, Daniel, *The Quest* (London: Allen Lane, 2011)
- Zoellner, Tom, *The Heartless Stone* (New York: Picador, 2006)



- Ball, Phillip, *The Elements: A Very Short Introduction* (Oxford: Oxford University Press, 2004)
- Bernstein, Peter, *The Power of Gold* (New York: John Wiley & Sons, 2000)
- Brands, H. W., *The Age of Gold* (London: Arrow, 2006)
- Bray, Warwick, *The Gold of El Dorado* (London: Royal Academy, 1978)
- Browning, Peter, *Bright Gem of the Western Seas* (Lafayette, CA: Great West Books, 1991)

- Caughey, John Walton, *California Gold Rush* (Berkeley: University of California Press, 1975)
- Davies, Glyn, *A History of Money* (Cardiff: University of Wales Press, 2002)
- Eichengreen, Barry and Flandreau, Marc, *The Gold Standard in Theory and History* (London: Routledge, 1997)
- Emmerich, André, *Sweat of the Sun and Tears of the Moon* (Seattle: University of Washington Press, 1965)
- Hammer, B. and Norskov, J. K., 'Why gold is the noblest metal of all', *Nature*, Vol. 376, 20 July 1995
- Hammond, Innes, *The Conquistadors* (London: Collins, 1986)
- Hemming, John, *The Search for El Dorado* (London: Michael Joseph, 1978)
- Holliday, J. S., *The World Rushed In* (London: Victor Gollancz, first published in 1981, this edition in 1983)
- Keynes, J. M., *Essays in Persuasion* (London: Macmillan, 1984, originally published in 1931)
- Labbé, Armand, *Colombia Before Columbus* (New York: Rizzoli, 1986)
- Lane, Frederic and Mueller, Reinhold, *Money and Banking in Medieval and Renaissance Venice*, Vol. 1 (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1985)
- Lapiner, Alan, *Pre-Colombian Art of South America* (New York: Harry N. Abrams, 1976)
- Levenson, Thomas, *Newton and the Counterfeiter* (Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2009)
- Marx, Jennifer, *The Magic of Gold* (New York: Doubleday & Co., 1978)
- Museo del Oro, *El Dorado: The Gold of Ancient Colombia* (New York: Graphic Society, 1975)
- Pemberton, John, *Conquistadors* (London: Futura, 2011)
- Ramage, Andrew and Craddock, Paul, *King Croesus Gold* (London: British Museum Press, 2000)
- Rawls, J. J. & Orsi, R. J., *Mining and Economic Development in Gold Rush California* (Berkeley: University of California Press, 1999)
- Rouillard, Patrick, *Colombia* (Publisher unknown, in EJPB library)
- Salgado, Sebastião, *Workers* (London: Phaidon Press, 2003)
- Shaw, Ian and Nicholson, Paul, *The British Museum Dictionary of Ancient Egypt* (London: British Museum Press, 1995)
- Sutherland, C. H., *Gold: Its Beauty, Power and Allure* (London: Thames & Hudson, 1959)
- Sykes, Ernest, *Banking and Currency* (London: Butterworth & Co., 1932)
- Stahl, Alan, *Zecca* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2000)
- Weatherford, Jack, *A History of Gold and Money* (London: Pierre Vilar, 1976)
- Wood, Michael, *Conquistadors* (London: BBC Books, 2000)

## 银

- Bakewell, Peter, *Miners of the Red Mountain: Indian Labor in Potosí 1545–1650* (Albuquerque: University of New Mexico Press, 1984)
- Cartier-Bresson, Henri, *The Decisive Moment* (New York: Simon & Schuster, 1952)
- Coe, Brian, *George Eastman and the Early Photographers* (London: Priory Press, 1973)
- Coe, Brian, *Kodak Cameras: The First 100 Years* (Hove: Hove Foto, 1988)
- Davy H., 'An account of a method of copying paintings upon glass, and of making profiles, by the agency of light upon nitrate of silver. Invented by T. Wedgwood, Esq. With observations by H. Davy', *Journals of the Royal Institution of Great Britain*, 1, pp. 170–74, p. 172 (1802)
- Fay, Stephen, *The Great Silver Bubble* (London: Hodder & Stoughton, 1982)
- Ferry, Stephen, *I Am Rich Potosí* (New York: Monacelli Press, 1999)
- Fox Talbot, William Henry, *The Pencil of Nature* (Chicago: KWS Publishers, 2011) (London: Longman, Brown, Green & Longmans, 1844)
- Fox Talbot, W. H., 'Some Account of the Art of Photogenic Drawing, or the Process by Which Natural Objects May Be Made to Delineate Themselves without the Aid of the Artist's Pencil', Read to the Royal Society on 31 January 1839
- Friedman, Milton, *Money Mischief* (New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1992)
- Frizot, Michael, *A New History of Photography* (Milan: Könemann, 1998)
- Gandía, Enrique de, *Historia crítica de los mitos de la conquista Americana* (Buenos Aires, 1929)
- Gernsheim, Helmut, *The Origins of Photography* (London: Thames & Hudson, 1982)
- Guilbert, John, *The Geology of Ore Deposits* (New York: Freeman, 1986)
- Habashi, Fathi, 'Niece De Saint-Victor and the Discovery of Radioactivity', *Bull. Hist. Chem.*, Vol. 26, No. 2, 2001
- Hanke, Lewis, *The Imperial City of Potosí* (The Hague: Martinus Nijhoff, 1956)
- Howgego, Christopher, *Ancient History from Coins* (London: Routledge, 1995)
- Hurt, Harry, *Texas Rich* (New York: W.W. Norton & Company, 1981)
- Kagan, Donald, *The Peloponnesian War* (London: Harper Perennial, 2005)
- Kraay, Colin M., *Archaic and Classical Greek Coins* (London: Methuen & Co. Ltd, 1966)
- Lindgren, Waldemar and Creveling, J. G., 'The Ores of Potosi, Bolivia', *Economic Geology*, Vol. XXIII, No. 3, pp. 233–62, May 1928
- Nef, John, *Cambridge Economic History of Europe*, Vol. II: *Trade and Industry in the Middle Ages*, Chapter X: 'Mining and Metallurgy in Medieval Civilisation' (Cambridge: Cambridge University Press, 1987, edited by M. M. Postan and Edward Miller)
- Salgado, Sebastião, *Migrations* (New York: Aperture, 2000)
- Smith, Jerome, *Silver Profits in the Seventies* (Vancouver: ERC Publishing, 1972)

- Spufford, Peter, *Money and Its Use in Medieval Europe* (Cambridge: Cambridge University Press, 1988)
- Spufford, Peter, *Power and Profit: The Merchant in Medieval Europe* (London: Thames & Hudson, 2003)
- V&A, *Queen Elizabeth II: Portraits by Cecil Beaton* (London: V&A Publishing, 2011)
- Wade, Nicholas J., 'Accentuating the negative: Tom Wedgwood' (1771–1805), photography and perception, *Perception*, Vol. 34, pp. 513–20, 2005
- Wells, Liz, *Photography: A Critical Introduction* (London: Routledge, 2002)
- Xenophon, *A Discourse Upon Improving the Revenue of the State of Athens*

## 铀

- Baggott, Jim, *Atomic* (London: Icon Books, 2009)
- Boyer, Paul, *By the Bomb's Early Light* (New York: Pantheon, 1985)
- Buruma, Ian, *Wages of Guilt* (London: Atlantic Books, 2009)
- Cambridge University Physics Society, *A Hundred Years and More of Cambridge Physics* (Cambridge University Physics Society, 1974)
- Chadwick, James, 'Possible Existence of a Neutron', *Nature*, p. 312 (27 February 1932)
- Corera, Gordon, *Shopping for Bombs* (London: Hurst & Company, 2006)
- Cunningham, C., 'The Silver of Laurion', *Greece & Rome*, Second Series, Vol. 14, No. 2 (October 1967), pp. 145–56
- Degroot, Gerald, *The Bomb* (London: Pimlico, 2005)
- Frantz, D. and Collins, C., *The Nuclear Jihadist* (New York: Hachette, 2007)
- Frisch, Otto, *What Little I Remember* (Cambridge: Cambridge University Press, 1979)
- Frisch, Otto, 'Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment', *Nature*, Vol. 143, No. 3616, p. 276 (18 February 1939) doi: 10.1038/143276a0
- Frisch, Otto and Meitner, Lise. 'Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction', *Nature*, Vol. 143, No. 3615, p. 239 (11 February 1939) doi: 10.1038/143239a0
- Gowing, Margaret, *Britain and Atomic Energy 1939–1945* (London: Macmillan, 1965)
- Hachiya, Michihiko, *Hiroshima Diary, The Journal of a Japanese Physician August 6–September 30, 1945* (London: Victor Gollancz, 1955)
- Hales, Peter, *Atomic Spaces: Living on the Manhattan Project* (Urbana, IL: University of Illinois Press, 1997)
- Hendee, William, R., 'Personal and public perceptions of radiation risks', *Radiographics*, November 1991
- Hennessy, Peter, *Cabinets and the Bomb* (Oxford: Oxford University Press, 2007)
- Hiroshima Peace Memorial Museum, *A-bomb Drawings by Survivors* (Hiroshima: The City of Hiroshima, 2007)

- IAEA, *The Great East Japan Earthquake Expert Mission*, International Atomic Energy Agency, 2011
- International Institute for Strategic Studies, *Nuclear Black Markets: Pakistan, A.Q. Khan and the rise of proliferation networks* (London: IISS, 2007)
- Johnson, Charles and Jackson, Charles, *City Behind a Fence* (Knoxville: University of Tennessee Press, 1981)
- Lamont, Lansing, *Day of Trinity* (London: Hutchinson, 1966)
- Lifton, Robert Jay, *Death in Life* (London: Penguin Books, 1971)
- McNamara, Robert, 'Mutual Deterrence', 1962
- National Diet of Japan, *The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*, 2012
- Norris, Robert S. and Kristensen, Hans M., 'Global nuclear weapons inventories', 1945–2010, *Bulletin of the Atomic Scientists*, 2010 66: 77 doi: 10.2968/066004008
- Nuclear Energy Agency, *Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources* (OECD, 2010)
- O'Neil, John, *Almighty Atom: The Real Story of Atomic Energy* (New York: Ives Washburn Inc., 1945)
- ORNL, *Oak Ridge National Laboratory, The First 50 Years*. [www.ornl.gov](http://www.ornl.gov)
- Pocock, R. F., *Nuclear Power: Its Development in the United Kingdom* (London: Unwin Brothers, Institution of Nuclear Engineers, 1977)
- Rhodes, Richard, *The Making of the Atomic Bomb* (New York: Touchstone, 1988)
- Rutherford, E., 'Nuclear Constitution of Atoms', *Proc. Roy. Soc.*, A97, 374, 1920
- Socolow, Robert, 'Reflections on Fukushima: A time to mourn, to learn, and to teach', *Bulletin of the Atomic Scientists*, 21 March 2011
- Studera, Michael H. et al., 'Lignin content in natural Populus variants affects sugar release', *PNAS*, 12 April 2011, Vol. 108, No. 15, pp. 6300–305
- UN, *The Treaty on the Nonproliferation of Nuclear Weapons* (1968)
- UNSCEAR, *Source and Effects of Ionising Radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2008 Report to the General Assembly, Vol. II, 'Health effects due to radiation from the Chernobyl Accident' (New York: United Nations, 2011)
- Young, J. et al., *Radiation and Public Perception*, Advances in Chemistry (Washington, DC: American Chemical Society, 1995)
- Zeman, Scott and Amundson, Michael, *Atomic Culture, How We Learned to Stop Worrying and Love the Bomb* (Boulder, CO: University Press of Colorado, 2004)
- Zoellner, Tom, *Uranium* (New York: Viking, 2009)

## 钛

- Aldersey-Williams, Hugh, *Periodic Tales* (London: Viking, 2011)

- Cohen, B., *Cambridge Companion to Newton* (Cambridge, Cambridge University Press, 2002)
- Crickmore, Paul, *Lockheed Blackbird: Beyond the Secret Mission* (Oxford: Osprey, 2004)
- Crickmore, Paul. *Lockheed SR-71: Operations in the Far East* (Oxford: Osprey, 2008)
- Crickmore, Paul. *Lockheed SR-71: Operations in Europe and the Middle East* (Oxford: Osprey, 2009)
- Emsley, John, *Nature's Building Blocks* (Oxford: Oxford University Press, 2001)
- Graham, Richard, *SR-71 Revealed* (Osceola: Motorbooks International, 1996)
- Grätzel, Michael and O'Regan, Brian, 'A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films', *Nature*, Vol. 353, pp. 737–40, 24 October 1991
- Haydon, Robert, *The Autobiography and Memoirs of Benjamin Robert Haydon*: Vol. 1 (London: Peter Davies, 1926, edited by Tom Taylor)
- Klaproth, Martin, *Analytical Analytical Essays Towards Promoting the Chemical Knowledge of Mineral Substances*, Vol. 1 (1801)
- Leyens, Christoph and Peters, Manfred, *Titanium and Titanium Alloys, Fundamentals and Applications* (Köln: Wiley-VCH, 2003)
- Mills, A. A., 'Newton's Prism and his Experiments on the Spectrum', *Notes Rec. R. Soc. Lond.* 1981, 36, 13–36 doi: 10.1098/rsnr.1981.0002
- Phillips, Lance and Barbano, David, 'The Influence of Fat Substitutes Based on Protein and Titanium Dioxide on the Sensory Properties of Low-fat Milks', *Journal of Dairy Science*, Vol. 80, No. 11, November 1997, pp. 2726–31
- Polmar, Norman, *Cold War Submarines* (Virginia: Potomac Books, 2004)
- Polmar, Norman, *Submarines of the Russian and Soviet Navies 1718–1990* (Annapolis: Naval Institute Press, 1991)
- RAND, 'Titanium: Industrial Base, Price Trends, and Technology Initiatives' (RAND Corporation, 2009)
- Rich, B. R. and Janos, L., *Skunk Works* (Boston: Little Brown & Company, 1994)
- Winkler, Jochen, *Titanium dioxide* (Hannover: Vincentz Verlag, 2003)
- Wu, Deyong and Long, Mingce, 'Realizing Visible-Light-Induced Self-Cleaning Property of Cotton through Coating N-TiO<sub>2</sub> Film and Loading AgI Particles', *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2011, 3 (12), pp. 4770–74

## 硅

- Auerbach, Jeffrey, *Great Exhibition of 1851* (New Haven, CT: Yale University Press, 1999)
- Beaver, Patrick, *The Crystal Palace* (Chichester: Phillimore, 1986)
- Becquerel, A. E., 'Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires', *Comptes Rendus*, 9: 561–7 (1839)

- Berlin, Leslie, *The Man Behind the Microchip*. (Oxford: Oxford University Press, 2005)
- Biringuccio, Vannoccio, *Pirotechnia* (Cambridge, MA: MIT Press, 1966, edited by Cyril Stanley Smith and Martha Teach Gnudi, originally published in 1539)
- BP, 'Computing Colossus' *Frontiers* (BP, 2003)
- Bricknell, David, *Float: Pilkingtons' Glass Revolution* (Lancaster: Crucible, 2009)
- Brock, David, *Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation* (Philadelphia: Chemical Heritage Press, 2006),
- Ceruzzi, Paul, *A History of Modern Computing* (Cambridge, MA: MIT Press, 1998)
- Chance Brothers Limited, *Mirror for Chance* (1951)
- Chance, Toby and Williams, Peter, *Lighthouses: The Race to Illuminate the World* (London: New Holland Publishers, 2008)
- Copernicus, Nicolaus, *De revolutionibus* (1543)
- Deboni, Franco, *Venini Glass* (Turin: Umberto Allemandi, 2003)
- Drake, Stillman, *Galileo: Pioneer Scientist* (Toronto: University of Toronto Press, 1990)
- Fay, Charles Ryle, *Palace of Industry, 1851: A Study of the Great Exhibition and Its Fruits* (Cambridge: Cambridge University Press, 1951)
- Gable, Carl I., *Murano Magic: A Complete Guide to Venetian Glass, Its History and Artists* (Atglen, PA: Schiffer, 2004)
- Gibbs-Smith, C. H., *The Great Exhibition of 1851* (London: HMSO, 1981)
- Grove, Andrew, *Only the Paranoid Survive* (London: HarperCollins, 1997)
- Hoskin, Michael, *The Cambridge Concise History of Astronomy* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999)
- Kämpfer, Fritz, *Glass: A World History* (London: Studio Vista, 1966)
- Kryza, Frank, *The Power of Light* (New York: McGraw-Hill, 2003)
- Kurzweil, Ray, *The Singularity Is near* (London: Duckworth, 2005)
- Lancet*, Vol. 1: 22 February 1845, p. 214 (London: John Churchill, 1845)
- Lécuyer, Christophe, *Making Silicon Valley: Innovation and Growth of High Tech, 1930–1970* (Cambridge, MA: MIT Press, 2006)
- McCray, Patrick, 'Glassmaking in Renaissance Italy: The Innovation of Venetian cristallo', *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, Vol. 50, No. 5 (1998), pp. 14–19 doi: 10.1007/s11837-998-0024-0
- McCray, Patrick, *Glassmaking in Renaissance Venice* (Aldershot: Ashgate, 1999)
- Melchior-Bonnet, Sabine, *The Mirror: A History* (New York: Routledge, 2001)
- Miller, Jonathan, *On Reflection: An Investigation of Artists' Use of Reflection Throughout the History of Art* (New Haven: Yale University Press, 1998)
- Novoselov, K. S., 'The rise of graphene', *Nature Materials*, Vol. 6, March 2007
- Novoselov, K. S. and Geim, A. K. et al., 'Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films', *Science*, 306, 666 (2004)
- Pendergrast, Mark, *Mirror, Mirror* (New York: Basic Books, 2003 [ebook])
- Rasmussen, S. C., *How Glass Changed the World* (Heidelberg: Springer, 2012)

Ryan, Johnny, *A History of the Internet and the Digital Future* (London: Reaktion, 2010)  
Shurkin, Joel, *Broken Genius* (London: Macmillan, 2006 and ebook)  
Siffert and Krimmel, *Silicon, Evolution and Future of a Technology* (Heidelberg: Springer, 2004)  
Tait, Hugh, *Five Thousand Years of Glass* (London: British Museum Press, 1991)

## 后记

Benjamin, Walter, *Illuminations* (New York: Schocken Books, 1969)  
Groves, Leslie, R., *Now It Can Be Told* (New York: De Capa Press, 1962)

## 致谢

Statistical data has mostly been derived from the BP Statistical Review of World Energy and the IEA World Energy Outlook