

导 言

我 17 岁时，入剑桥大学做了学生，并且有幸结识了著名的数学家戈德弗雷·哈代(Godfrey Hardy)。

当时，几乎所有数学家与科学家都离开了学校，投身于第二次世界大战了。学校里没有研究生，任何专业的高年级学生也很少。留在剑桥从事数学的人只有著名的老教授们和一群非常年轻的大学生。哈代当时已经 64 岁了，情绪沮丧，处境恶劣。他已经患上了心脏病，这种病几年后令他残废。他从来也不谈论在我们周围汹涌澎湃的战争；他对战争深恶痛绝到了缄口不言的地步。他开设了关于纯数学的讲座，他喜欢让四五个学生在小讨论间里围坐在一张小桌子边听他讲课。在这个小房间里，我们坐得离哈代只有几英

尺远听讲，一周三次，有两年之久。他讲课就像婉达·兰多夫斯卡（Wanda Landowska）¹ 在拨弦古钢琴上弹巴赫：精确而通体透明，但是又向所有能够看穿表面的人展现出他热情的快感。每一次讲座都经过精心准备，就像一件艺术品一样，让充满智慧的结论好像自发地在课时的最后五分钟里呈现。对我来说，这些讲座是令人陶醉的享受，我时时感到一种冲动，要拥抱住这个离我两英尺远的白头发小老头，向他说明，我们对于他继续谈话的愿望是多么五体投地的感激不尽。

在我到剑桥之前那一年，哈代出版了一本小书，名为《一个数学家的辩护》（*A Mathematician's Apology*）。这本书是为那些没有经过数学训练的读者写作的，引导他们渐入佳境地进入数学世界，他在这一世界中如鱼得水。他是个非常纯粹的数学家，而他的书所传递的讯息是：纯数学是惟一值得尊敬的数学类别。他写道：“数学家，就像画家或者诗人，是模式的创造者。如果他的模式比画家或者诗人的更为长久，那是因为他的模式是由观念构成的。”他把自己看成是艺术家，创造出具有抽象美的作品。他将应用数学看做是二流的数学，常常造成损害而不是改善，他特别痛恨应用数学以任何方式被应用于战争。他骄傲地声称，他在一

¹ 婉达·兰多夫斯卡（1877—1959年）是旅法波兰女钢琴家。——译者注

生中从未做过任何可以被视为有用的事情。他所做的一切都是艺术作品，并且是有独特风格的艺术作品。他数学论文的风格与内容同样优美。他尽其所能地写得清晰优雅。

在我后来的科学生涯中，我并未忠于哈代的理想。开始，我步他的后尘进入了数论领域，并且解决了几个数论问题。这些问题优美但无关宏旨。后来，在我作为数论理论家工作了三年之后，我决定成为应用数学家。我认为理解自然的基本奥秘要比继续证明只能引起一小撮理论家兴趣的定理令人振奋得多。我小心地避免向哈代说起我的这个决定，因为我知道这只会令他伤心。几年之后，当我已经成功地完成了向应用数学的转变并且感到可以告诉他这一消息时，他已经辞世了。我要告诉他的是，在我过去作为数论理论家所做的工作，与我现在作为物理学家所做的工作之间，并没有高下之分。但是这时一切都已经太迟了。

在后来的岁月里，我有许多次曾经希望，我能够向哈代解释，我已经运用他教给我的数学做了什么。我梦想着有朝一日他能够理解并原谅我背离了他的理想。

通过我的职业生涯，我已经幸福地找到了有效利用我的数学技巧的科学领域。我已经在粒子物理、统计力学、凝聚态物理、天文学、生物学等领域研究过形形色色的问题。我也曾经研究过工程问题，将数学应

用于仪器和机械的设计。当我在设计机械时，我常常想到哈代书中的著名论断，这一论断以有点刺人的字眼表达了他对应用科学的憎恶：“如果一门科学的发展有助于加剧在财富分配上业已存在的不平等，或者更直接地促成人类生命的毁灭，据说它就是有用的。”我要在此证明哈代错了，要证明科学能够在不造成损害的情况下对人有用。在选择所论述的问题时，我总是把哈代的警告铭记在心。哈代的论断经常是千真万确的，这是一个所有应用科学家都必须严肃对待的警告。

在我的一生中，有三次我所从事的应用研究课题可能哈代会加以反对。在 1956 年，我帮助设计了一种内在安全的核反应堆，这种反应堆以“特里加”（TRIGA）的名字出售，并且直到今天仍然在生产销售。它大部分被用于医院，产生用于诊断代谢疾病的短寿命同位素。短寿命同位素有许多优点，但是它们必须在使用它们的地方生产出来。反应堆的内在安全基于物理定律，而不是基于机械装置。特里加的原型机在圣迭戈的一次公开仪式上向全世界展示出来，伟大的物理学家尼耳斯·玻尔亲自按动开关使它运转起来。在那些日子里，大部分科学家，像玻尔，都认为和平利用核能是为人类造福。虽然核能并不能满足我们的所有愿望，我仍然相信特里加是为善的工具，而非作恶的利器。

我参加的另一项工程课题是自适应光学。问题是

要设计带有快速控制系统的可变镜片（flexible mirror），以校正由于大气扰动所产生的光学图像变形。自适应光学在原理上能够容许陆基望远镜与空基望远镜同样清晰地看到太空中的天体。不幸的是，同样这一种技术既可以帮助与世无争的天文学家，也可以被用于军事目的，将激光束聚焦。在我开始研究工作之前，我对于自适应光学的和平与军事用途进行了仔细的研究。我得到这样的结论，死光的应用只是幻想，而天文学的应用是实实在在的。现在显然我的判断是正确的。自适应光学正在为天文学家所利用，取得了巨大的成功，而光束武器只有在科幻故事与电影中才能见到。

我最近与数学实际应用有关的工作开始于几年前。问题是帮助柬埔寨、波斯尼亚、安哥拉和阿富汗的人民，在这些国家里，有数以百万计的地雷隐藏在地下，而每年有成千上万的无辜平民与儿童因这些地雷爆炸而致死和致残。这些人民需要价廉轻便的探雷器，便宜到可以大量生产与广泛分发，轻便到可以在没有道路与电力的地方使用。美国陆军愿意提供帮助，但是没有合适的装备。军队的设备太重也太贵，那是为快速清扫雷场以便士兵能够迅速通过而设计的。问题是使得军队的技术适应平民的需要，使之轻便简单。对于平民来说，速度并不重要。

保罗·霍洛维兹（Paul Horowitz）是哈佛的物理学家，也是搜寻来自地球外（extraterrestrial）生命形式之讯

息的领导者之一，还是解决地雷问题的负责人。他发明了他称之为聪明探针的仪器，这是由人们在搜寻地下的地雷时通常所使用的探棍（pointed stick）改造而成的。通常的方法是非常小心地将探棍刺入被埋藏的物体周围，根据形状将地雷与岩石和树根区分开来。

霍洛维兹设计出一种尖端上带有微型声音发射器与接收器的探棍。这个尖端向任何它所触到的物体内部发射出一连串柔和的声脉冲，然后接收反映着物体内在振动的回波。地雷的回波与岩石和树根的回波截然不同。鉴别地雷的过程变得迅速得多，也安全得多。回波甚至能告诉你那是哪种类型的地雷。

在俄国、意大利、中国与美国生产的地雷所产生的回波很容易识别。聪明探针只消耗非常少量的电力，可以靠电池来工作。霍洛维兹现在正致力于使它更轻、更结实，以便在野外使用。目的是使它类似于已有的棍形探针，这样已经完全习惯使用棍形探针的人们就很容易学会使用聪明探针。我很幸运与霍洛维兹一起工作去解决地雷问题。他以一种微小的方式，减轻了滥用科学对人类造成的损害。我相信，如果哈代知道了我们所做的工作，他会为我们祝福。

*

*

*

技术只是推动人类历史的许多力量之一，并且难

得是最重要的力量。政治和宗教、经济和意识形态、军事和文化竞争至少与技术同样重要。技术只给了我们工具。人的欲望和制度才决定我们如何利用它们。我在这本书中强调技术是因为这是我的本行。当我写到人的欲望和制度时，我是个外行。而当我写到技术时，我在某种程度上是专家。

当专家试图预测未来时，他们常常出错。

在本书里，我从 20 世纪末展望 21 世纪。在写作之前，我从某些细节上考察了两位专家在 19 世纪末对 20 世纪的展望，他们是儒勒·凡尔纳（Jules Verne）和威尔斯（H. G. Wells）。无论是凡尔纳还是威尔斯都没有将未来看得很清楚。因为他们的失误和疏漏而苛责他们是不公正的，因为他们是小说家而不是科学家。他们的目标是娱乐，他们的读者而非对技术进行分析。儒勒·凡尔纳在他写于 1875 年的随笔《理想城市》（*An Ideal City*）中，预见到出生率的增长会导致安装一种“五百匹护士力的婴儿喂养机”。威尔斯在他写于 1899 年的小说《当沉睡者醒来》（*When the Sleeper Wakes*）里，预见催眠术将取代药物、消毒剂和麻醉剂而成为医学实践的重要使用工具。这些幻想似乎都不能太当真。

凡尔纳最成功的预言是《海底两万里》（*Twenty Thousand leagues Under the Sea*）中尼摩船长的潜水艇，和《从地球到月球》（*From the Earth to the Moon*）中巴尔底摩枪械俱乐部射向月球的飞弹。威尔斯在《当沉睡

者醒来》里取得了更大成功。他描述了彩色电视机即刻展示遥远的事件，飞机在两个小时内从伦敦飞往美国，和 CAD - CAM（电脑辅助设计，电脑辅助生产）机在沉睡者醒来后给他迅速提供新衣服。凡尔纳和威尔斯都未能预见 20 世纪生活的某些最基本的方面：私人汽车相对于其他交通工具的支配地位，电话和个人电脑的无处不在，殖民帝国的迅速消失。他们最根本的错误是他们相信，技术必将变得越来越大，而非越来越小。威尔斯将英格兰的人口塞进五个城市中，其中伦敦就有三千三百万人，而农村则完全荒芜了。埃德·特纳(Ed Tenner)在他的书《为何事物反噬》(*Why Things Bite Back*) 中评论道，一位法国漫画家阿尔伯特·罗比达(Albert Robida)，既没有受过技术训练，也不喜欢技术，但他表现的 20 世纪要比凡尔纳和威尔斯准确得多。罗比达在 1883 年就发表了描绘平面电视屏幕、试管婴儿、轰炸机和化学战的卡通漫画。罗比达认识到，而凡尔纳和威尔斯则没能认识到，20 世纪将是世界大战的世纪。

由于凡尔纳和威尔斯未能在一百年前精确地预见未来，所以我也并不奢望今天我的观点会比他们的更少错误。我正在描述的是未来可能走上的成百万进程中的一种。事物以我所描述的方式发生的可能性非常小。我关注的只是表明，一条通向更美好世界的道路是存在的。无论是沿着我所描绘的这条道路，还是

更可能地沿着某一条其他道路，我们有机会达到一个更幸福也更平等的世界。我们在达到这一世界之前是否正确地辨别出了这条道路并不重要。本书的目标是激励我们去探寻这一道路。

作为一个科学家，我在模型和理论之间作出严格的区分。理论是一个建构，由逻辑和数学建成，人们假设它描述了我们所生活的实际宇宙。模型也是一个建构，它描述了一个简单得多的宇宙，包括了实际宇宙的某些特征，却忽略了其他特征。理论和模型都是理解自然的有用工具。它们以不同的方式发挥作用，重要的是在头脑中铭记这一不同之处。理论之所以有用就在于能够通过将对实际世界的观察与其预见进行比较来检验它。另一方面，理论可能是无用的，因为其结果过于复杂，难以预测。模型之所以有用是因为其行为足够简单，可以预测和理解。另一方面，模型也可能是无用的，因为它留下了太多空缺，丧失了与现实的任何联系。当我们探索宇宙时，我们离开坚实的大地，进入未知世界。在坚实的大地上我们建造理论。在探索了一半的前沿上我们建造模型。例如，在天文学里，爱因斯坦的广义相对论对于与我们在时间和空间上接近的事物给出了异常精确的图像。而当我们走向遥远的边疆时，我们就用宇宙论模型来描述宇宙。宇宙论模型有着诸如“新膨胀宇宙”或者“冷暗物质大爆炸”之类的名称。在超出观察所及的领域，模型对于理

解自然是基本的工具。随后，当更多的细节能够被观察到时，模型将为理论所取代。

21 世纪的技术史是超出观察所及的领域的绝佳例证。我为它描绘的图像是模型，而不是理论，其中省略了实际世界的基本特征。精确的预见不是我的目的。在未来领域建构模型的目的不是要预测，而只是要勾画出我们将会进入的世界的草图。

*

*

*

本书基于 1997 年春天在纽约公共图书馆举办的一组讲座。这一系列讲座的题目是《科学的三副面孔》。这些讲座主要包括有关科学的故事，再加上深入历史和政治的题外话。有些故事涉及过去，有些故事则涉及未来。我当时讲这些故事是为了向非科学家的听众表明，科学在他们的生活中是何等重要。我感谢纽约公共图书馆的听众帮助我鉴别出基本的主题。在把讲座转变成文字的过程中，我多少留下了所讲述的故事。我并不试图删去那些题外话。我只是重新安排了材料以强调主要的主题，一个关于未来的模型，其中太阳、基因组和互联网是驱动力。

我感谢纽约公共图书馆，特别是帕米拉·列奥（Pamela Leo），组织了这一讲座，在堂皇的演讲厅里给我提供了活跃的听众。我感谢牛津大学出版社，特别

是劳拉·布朗（Laura Brown），资助了这一讲座并同意出版本书。我感谢其他许多人对本书的帮助，特别是我女儿埃丝特（Esther）和我儿子乔治（George），他们的书《发行 2.0》（*Release 2.0*）和《机器中间的达尔文》（*Darwin Among the Machines*），对我的思索有深刻的影响。我感谢我的妻子，依美（Imme），她总是来听我的讲座，并且是我最诚实的批评家。

科学革命

约翰·兰戴尔(John Randall)在1939年时是个34岁的英国物理学家，已经在固体物理学方面从事着平凡的工作。他被普遍认为工作勤奋但是不太杰出。

1939年9月，英国突然面对着阿道夫·希特勒这个致命的敌人。英国当时还完全没有准备好应付轰炸或者抗击有空中支援的入侵。部署在英国海岸的原始雷达系统使用的是米波发射机。这些发射机是当时威力足够强大，能够产生来自几百英里之外的敌机的可探测回波的惟一机型。作为保卫英国的第一道防线，这些发射机有三个严重缺陷。第一，它们只能探测敌机的距离，而对角度的分辨率很差。第二，只要德国人一开始用同样频率的无线电噪音来干扰它们，它们的有效范围就急剧缩减。第三，最糟糕的

缺陷是，它们对于低空飞行的飞机几乎完全无效。低空飞过海峡的德国入侵者通常都能不被发现就飞临英国海岸。

每一个了解形势如何险恶的人也知道如何来补救它。补救的办法就是微波。以厘米波长的微波工作的雷达，比起米波雷达来，其有效性会有极其巨大的提高。这些机器会有狭窄的搜索光束，从而赋予它们在角度上与范围上更大的分辨率。窄光束也会保护它们不受干扰，使它们探测到低空飞行的飞机。不幸的是，没有人知道如何建造足够强大的微波发射机，从而造成实用的雷达。那时最好的发射机也只能发射几瓦功率，而需要的是发射几千瓦功率。兰戴尔当时是伯明翰大学物理系的低级助教。他当时正好在从事微波物理方面的工作。在 1939 年 9 月，人家把发明高功率微波发射机的任务交给了他。兰戴尔在一位工程师同事亨利·波特（Henry Boot）的协助下，在两个月内解决了这个问题。他于 1939 年 11 月发明了谐振腔式磁控管，在八个月里他已经有了—台工作样机，可以发射一千二百瓦功率的微波，比以前任何发射机的功率提高了不止一千倍。致命的敌人推动他做出辉煌的事业。冷酷无情的需要成倍地增加了他的大脑效率，正如他的发明成倍地增加了发射机的功率—样。在 1941 年美国尚未参战以前，一只谐振腔式磁控管被秘密带到美国，这是丘吉尔与罗斯福所达成协议的组成部分。由它武装起来的微波雷达使得英国与美国

的空军占有了决定性优势，从而对于击败阿道夫·希特勒作出了重大贡献。这是约翰·兰戴尔故事的前一半。

这个故事的后半一半开始于第二次世界大战结束时。

兰戴尔现在名声卓著，他对于胜利的重大贡献受到一个感恩戴德的民族的欢呼喝彩。他被任命为伦敦国王学院的正教授和系主任，这在那些日子里意味着他就是老板，有权力与声望为所欲为。他认识到他有了一个独一无二的机会来表明他在和平时期与在战时一样富于创造性。他决定放弃他在固体物理与微波方面的老本行，完全重新开始。他决定要创立一个从事刚刚萌芽的分子生物学领域研究的部门。他很快就从两个独立的财源获得了大笔资助，它们是英国的医学研究理事会和美国的洛克菲勒基金会。他花了几年来了解分子生物学的进展情况，同时修复他那位于伦敦而被轰炸严重摧毁的办公建筑。他安装了当时最先进的 X 射线结晶学的设备，并且聘请莫里斯·威尔金斯 (Maurice Wilkins) 和罗萨琳德·弗兰克林 (Rosalind Franklin) 来使用它。又过了几年，威尔金斯和弗兰克林就获得了第一张由 DNA 排列好的纤维所产生的清晰 X 射线衍射图像。他们的图像导致了克里克 (Crick) 和沃森 (Watson) 提出 DNA 双螺旋结构的理论解释。DNA 的结构于 1953 年在英国发现，而不是几年之后在美国发

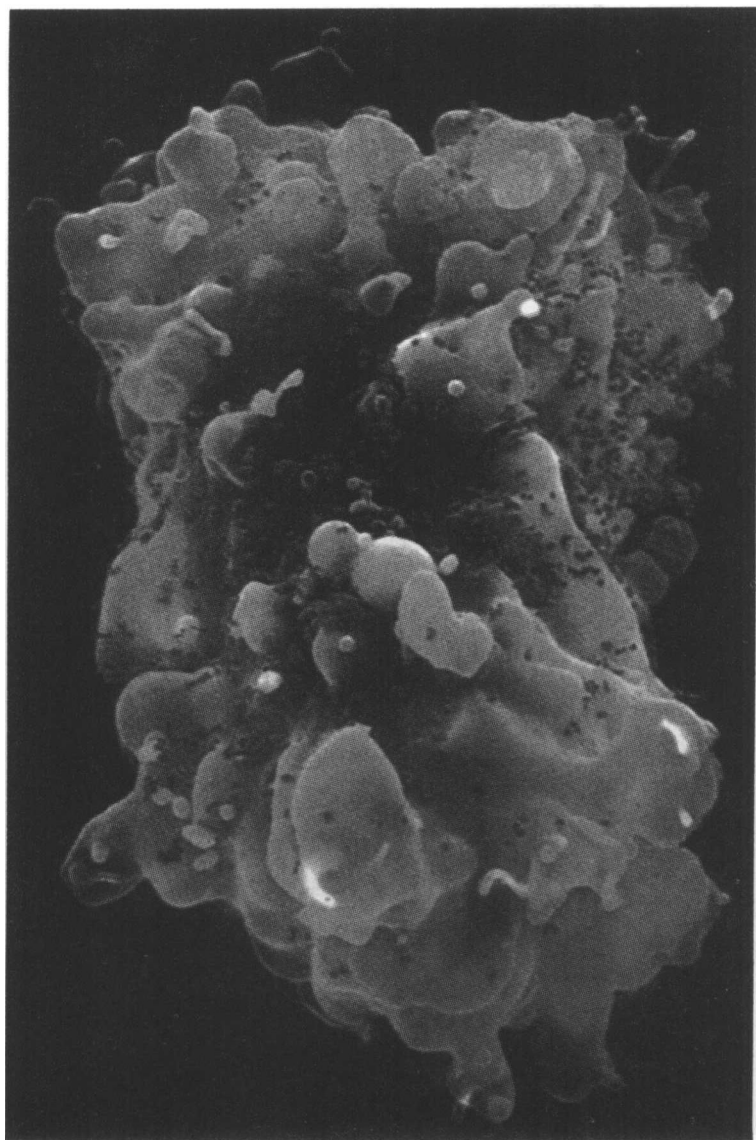
现，应当直接归功于兰戴尔的远见卓识。如果兰戴尔不拥有阿道夫·希特勒所强加给他的那份伟大的话，他也许从来也不会梦想到他的远见，也许根本没有机会去实现他的远见。

兰戴尔为三项科学革命提供了工具。导致双螺旋发现的分子生物学领域的伟大革命是由 X 射线结晶学的新工具所驱动的。与此同时，另外两项革命则发生在原子物理学和射电天文学领域。第二次世界大战刚刚结束，在战争期间出于军事目的而发展起来的微波技术被应用到原子和分子波谱学领域，也被用来探测太空里的微波源。微波波谱学革新了原子物理学，使得我们在观察原子精细结构时的清晰度有了上千倍的改善。微波观测革新了天文学，给予我们太空中射电源的清晰图像，堪与最好的光学望远镜所获得的图像相媲美。这两项革命都是由技术所驱动的，而技术则是从兰戴尔发明的谐振腔式磁控管发展而来，而在这期间，他已经转而为分子生物学的革命去提供工具了。

约翰·兰戴尔的故事在第二次世界大战期间度过青年时代的那一代科学家中绝不是个别的，他们都拥有战争紧迫性所强加给他们的伟大。我特别想到了我的朋友罗伯特·威尔逊（Robert Wilson）和理查德·费曼（Richard Feynman），在 1943 年蜂拥到洛斯阿拉莫斯去建造原子弹的年轻人中，他们脱颖而出。威尔逊被提升为

洛斯阿拉莫斯实验物理的负责人，而费曼则是炸弹工作数字计算的组织者。战争一结束，他们俩就发誓再也不为核弹作任何事情。他们都从原子弹转向和平科学，并且迅速成为国际领导者。威尔逊在战后的三十年里是粒子加速器的重要建造者，而费曼则成为重要的粒子理论家。美国有三十年之久成为研究粒子物理的最佳所在，在很大程度上要归功于威尔逊与费曼的杰出才能。洛斯阿拉莫斯赋予他们一种认识到科学具有震撼世界的威力的眼光，也赋予他们成为粒子物理新世界开拓者的信心，正像谐振腔式磁控管赋予兰戴尔成为分子生物学开拓者的信心一样。

五十年后，战争与和平的同样课题又出现在医学界面前。今天，与爱滋病的战斗和五十年前与希特勒的战斗同样尖锐，同样悲壮。爱滋病是与希特勒同样危险的敌人。爱滋病不会无条件投降，即使是在受到重大打击之后。与爱滋病的战斗必须进行到底，正像与希特勒的战斗必须进行到底一样。终有一天，会有一种患者负担得起的爱滋病疗法出现，那时这场战斗就将结束。当这场战斗结束时，帮助赢得这场战斗的年轻医生与病毒学家就将拥有强加给他们的那份伟大。他们将从医学战场转而进入更广阔的科学世界。那时他们的最大资本就是拥有声望与公众的支持，这将允许他们为所欲为。我希望他们将准备好去创新，去开创新的科学分支，去建造探索新世界的新工具。如果他们幸运的话，



爱滋病毒感染的淋巴