

D·普赖斯 著

宋剑耕、戴振飞 译

世界科学社

小科学·大科学





封面设计：姚 南

内部资料

成本费：1.00元

定价：0.45元

小科学, 大科学

D·普赖斯 著

宋剑耕 戴振飞 译

冯之浚 张念椿 校

世界科学社

小科学，大科学

本书是作者在1962年于布鲁克海文国家实验室所作的四次“培格莱姆”讲演（Pegram Lectures）基础上写就的。两个主要论题是：科学的指数型发展和科学家的作用；科学的这种发展对当代社会，诸如政治、资财、国家地位以及未来发展的影响。作者论及了科学的形态、规模以及支配大规模科学的发展及方式的基本规则等普遍性问题。

“小科学”与“大科学”的基本特征都是呈指数型的迅速发展，其速度高于人口和经济的增长，乃至每10~15年就要翻一番。但是作者指出，早期的科学事业在性质上并不与近10年来的“大科学”相异。普赖斯教授认为：很清楚，小科学中包含着许多富于宏大意义的因素。且由于曾蹉跎在某些学术角落里，现代大科学或许包含了一些由某些不知名的开拓者操持的“小本经营”，而正是这些开拓者的成就将是在1975年具有决定性利益的出发线。

“〔普赖斯博士〕……他不断地萌生着新的思想并清晰地记录下来。”

——《国家》

“〔本书〕……包括一些短论，它们是基于这样一个指导思想——将科学的方法运用于现代科学自身的整体结构，这样有助于开创崭新的科学学，不基于抽象的理论而基于实际的观察……每一科学工作者必读之物。”

——《自然》

哥伦比亚大学出版社 纽约，伦敦

乔治B·培格莱姆讲演

科学在今日世界发挥如此重要的作用，所以需要开展对科学与其它社会方面之间相互作用的深刻细致的评价。为此目的，大学联合会(Associated Universities Inc.)理事在布鲁克海文国家实验室举办了一年一度的乔治B·培格莱姆讲演会。

每次讲演会为时两周以上，在此期间，讲演人住留在这个实验室里。这种安排为他提供了正式的和非正式的与实验室工作人员接触交往的机会，也为他提供了一段摆脱其它事务的自由时间。

该讲演会是为了纪念乔治B·培格莱姆(1877~1968)而命名的，他是核时代最有影响的科学家之一。他曾是物理学教授，哥伦比亚大学的系主任，副校长。由于他的努力使政府认识到核能在国防上的潜力。1946年他领导着Initiatory University Group，在该组织建议下，于纽约地区建立了核科学研究的区域中心。这样，在建立大学联合会和创立布鲁克海文国家实验室的过程中发挥了主导作用。他曾多次得到奖赏和荣誉学位，最后一次是卡尔·泰勒·康普顿金质奖章，以表彰他在物理学上的杰出贡献。乔治B·培格莱姆的清晰头脑和文雅风度为熟悉他的人永远怀念，为纪念他而举办的讲演活动已成惯例，以承其志，即科学的成果能够用来为人类的需要和希望服务。

以往的培格莱姆讲演者都是杰出的科学家，他们以其各种

各样的观点论述科学和科学家对于社会的影响。其中第四位讲演人是耶鲁大学的戴雷克J·de 索拉·普赖斯教授，著名的科学史专家，从某种意义上这是从另一角度来看问题。他的讲演是在1962年6月19~29日，论及科学自身的社会效应。普赖斯教授把科学的方法运用于科学的迅速发展，科学著作的变化作用，以及科研组织结构的演变等研究中，且就涉及现今科学家生涯中的主要问题进行了生动的分析。其以物理学家和科学史专家的双重资格使其从事的这项工作具有非同一般的权威性。

1962年度培格莱姆讲演委员会

乔治B·柯林斯

赫伯特J·库茨

爱尔兰J·卜尔克

爱雷·艾斯泰尔

乔门·S·罗柏尔森

哲哈特·弗雷德兰得，主席

前 言

培格莱姆讲演是谈述科学及其在社会上的位置的。其一般方式是讲述大众科学或是进行有关人与科学相互作用的人文学方面的讨论。前几次的讲演人在空间科学上予多关注，且在科学的哲学和科学史上亦有所涉猎。虽然就专业而言，我所关心的是科学史，但我曾有过一段作为物理学家的历史，这就使我的讲演与众不同。

我的目的不在于科学内容上的讨论，更不在于从人文学观点分析它的各种关系，相反，我想通过产生于科学的一切科学性分析的分别处理，把这些问题澄清的更有条理。为什么我们不把科学的工具用于科学自身？为什么不对科学进行计量、归纳、建立假说并从中得出结论？

在像布鲁克海文国家实验室这样庞大的原子机构中发表讲演，理所当然地要解释科学如何成为人类活动决定性的且耗资昂贵的部份。科学发展到今天，在经营管理、组织结构和政治活动方面都取得了很大的进展，它们在很大程度上都是在为特定目的而安排的，经验性的基础上逐渐完善的。很长一段时间里我为一些现实中不能令人满意的人文学评论感到不安。在这些讲演中，我仍困扰于我们还不是很科学地从整体上分析规律性的东西，而这些规律性的东西只能在开始从人文学上论述那些没有规律性的东西之前予以解剖分析，那些没有规律性的东西的产生是因为人毕竟是人而不是机械。

我所采取的方式是从统计上而不是从纯粹数学上论述科学

的形态与规模以及控制大规模科学发展的基本规则等普遍性问题。这就是说，我将不讨论科学发现的任何细节部分和它们的作用以及它们的内部关联，甚至也不讨论某一特定的科学家。相反，我把科学处理为一个可以定量的实体，试图着眼于国家和国际，发展一种关于科学人力、文献、才智和经费的演算方法，借助这一方法，我们可望分析当今的大科学时代究竟新在哪里，以区别以往的小科学时代。

我所采用的方法与热力学中的一些方法相似，热力学研究了气体在各种温度和压力下的性状。人们不可能单独地观察称为“乔治”的特定分子，它在某一给定时刻以特定的速度运动和处于一特定的位置，人们仅能考虑气体集合的一个均量，而这个集合中某些分子的运动速度高于其它一些分子，它们无目的分隔开来且朝不同的方向运动。基于这样一个不以人的意志而转移的均量，把气体的性状作为一个整体来研究才是有其实用价值的事情，而且就是通过这种热力学的研究方法，才使我想要把对科学的分析作为一个整体来考虑。

基于这种喻意，我的第一篇讲演是关于科学的“体积”，第二篇是科学分子的速度分布，第三篇是科学分子之间的相互作用方式，第四篇是关于这种“气体”的政治财富和社会财富的获取。

戴莱克J.de·索拉·普赖斯 红海文1962.11

目 录

前言

- (1)科学学序幕(1)
- (2)高尔顿再访(28)
- (3)无形的学院和源源而来的科学通勤者(53)
- (4)对于大科学时代科学家的政治战略(80)

瞧你个子有多大啊，宝贝，
为什么你却不知？
只有你才这么大，
而且还有长高的余地。

——童谣

(1)

科学学序幕

在一次将由许多著名物理学家发表他们划时代的第一手科学发现的会议上，会议主席在议程开始时说：“今天我们有幸与巨人们聚会，而我们如今正是站在他们的肩头上生活。”^{〔1〕}

注〔1〕：杰拉尔德·豪尔敦《近代的物理学》，见“美国物理学”杂志，29(1961, 12)，805。在我的研究中，我很喜欢关注有关这类问题的优秀文章。杰拉尔德·豪尔敦的另一篇文章《Models for Understanding the Growth and Excellence of Scientific Research》，见“Excellence and Leadership in a Democracy”，（纽约，哥伦比亚大学出版社，1962），94—131，第一次发表于“美国技术与科学研究院学报”91，(No.2)，362—99，1962.3，题名为《Scientific Research and Scholarship: Notes towards the design of proper scales》，使我的研究受益非浅，尽管我与这些作者在许多细节问题上观点往往不一致，但我从中得到很多统计数据资料。

此话简括地例证了科学所特有的直接性，即认为有史以来科学事件的大部分正在当今我们所经历的这段时期发生着。从另一方面来看，就所谓“科学家”这个名称的合理定义而言，有史以来科学家总数中的80%—90%现在仍在世，换言之，任何现在正起步的年轻科学家，在其正常职业寿命结束时，回顾自己这段科学生涯，他就会发现，科学成就的80%—90%是他亲眼看着发生的，而只有10%—20%才是在他这段经历之前发生的。

科学的直接性特征如此鲜明，人们发现科学家和外行人对现代科学都有这种见解。正是这种特性使科学从根本上与世共存。作为一个科学史家我意通年奋斗，为牛顿时代以前人类长河大半的科学实践正名，而当代科学家们却认为爱因斯坦以后的科学才真正具有意义。

由于当今的科学大大超过了以往的水平，我们显然已经进入了一个新的时代，那是清除了一切陈腐却保留着基本传统的时代。不仅现代科学硬件如此光辉不朽，堪与埃及金字塔和欧洲中世纪大教堂相媲美，且用于科学事业人力物力的国家支出也骤然使科学成为国民经济的主要环节。现代科学的大规模性，面貌一新且强而有力使人们以“大科学”一词来美誉之^[2]。大科学是如此新颖，难免不使人去探寻它的开端；大科学又是如此庞大，以至我们很多人担心是否我们创造出一个直立的庞然大物；大科学更是如此地不同于以往，这又使我们不免用怀旧的心情回顾曾是我们生活方式的小科学。

注 [2]：艾尔文·温伯格《Impact of Large-scale science on the United States》见“科学”杂志，134 (1961.7.21)，164；《联邦实验室和科学教育》，见“科学”杂志，136 (1962.4.6)，27。我从温伯格的文章中蒙惠非浅。

如果我们想了解应当怎样在这个新时代里生存和工作，那就有必要认识一下小科学过渡到大科学的本质。很容易把这种变革加以戏剧化，并以天真的态度看到其前后的区别。但是把小科学时代的科学家描绘成性格孤僻、不修边幅的天才，在小阁楼里或地下室里自生自灭，被社会视为不奉国教的人，处于贫困潦倒的境地，只为心中之火所驱使的那些形象，究竟有多少真实性呢？而相应的大科学时代的科学家的形象又是如何呢？是在华盛顿披荣载誉？是被波士顿环行道上的所有研究机构竞相争聘？是知识界的出类拔萃之辈？是政治和企业命运的主宰者？这种变革的基础难道又是第一颗原子弹爆炸引起公众激烈的反对？是军事导弹和卫星引起的全国震撼？是这种变革在其历史根源不过是曼哈顿工程，卡纳弗勒角火箭技术，盘尼西林的发现以及雷达、电子计算机的发明这一基础上就非常迅速地发生了吗？

回答以上问题，我想人们会直截了当地说“不是”，小科学时代科学家的怪僻形象是过于天真地被接受了，且这种从小科学到大科学的过渡极少富于戏剧性，而逐渐发展的色彩更浓些。很清楚，过去的小科学包含了许多富于宏大意义的因素。且因曾蹉跎在某些学术角落里，现代大科学或许包含了由一些不知名的开拓者操持的“小本经营”，而正是这些开拓者的成就将是在1975年具有决定性利益的出发线，关键性的突破在其未成形时就可预知，犹如强人终成大事那样，这并不是一种规律，而是一种例外。

历史上曾有过很多伟大的民族做出的贡献。15世纪，在撒玛坎德（Samar Kand）的伟大的尤拉夫·白格（Ulugh Beg）观象台，16世纪泰柯·布雷（Tycho Brahe）建在其居住的文岛（island of Hven）上的观象台，17世纪印度人贾森

(Jai Singh) 的观象台，都明显地是吸收国家可用资源的结晶。至于国际上的贡献，在18世纪就有过观测金星运行的庞大远征队。至于大规模的硬件研究，18世纪在荷兰出现过轰动一时的电器。当时，机械似乎把人的科学技能推向了绝项，赋予人以扭转乾坤之力与电闪雷鸣相抗衡。或许也为人们提供了打开生命与物质之门的钥匙。在某种意义上，我们对现代加速器的美梦，相形之下不免为之逊色。

别让我们为缤纷的历史所迷惘，我们所关心的毕竟不在于找到例证，说明小科学在某时将是大科学，大科学在某时曾是小科学，而在于对这种变革逐渐发展的论证。为达此目的，我们必须开始以计量的方法分析科学，下这样的决心去探索科学变革的奥秘将是比以往更加困难的。

我们的出发点将放在基于各种学科领域数值表示量的经验统计上。所有这些令人信服的一致性与规律性说明，如果科学发展的各细部环节是以合理的方法予以计量的话，那么这种发展的正规方式是呈指数型曲线的，这就是说，科学是在某一时期的固定基数上复利式地发展繁衍。从数学上来讲，指数型曲线伸延规律服从这样一个单一条件，那就是在任何时候，其增长速率与其基数大小成比例，换言之，现有的基数越大，其增长也越迅速。在这一点上，科学的发展规律犹如世界范围或某一国家的人口增长和瓶中培养的果蝇群体的繁殖量，或如早期工业革命时代铁路的伸延里程。

乍看起来，似乎确立这种经验性的科学发展规律既非突如其来，亦非意义深远，然而这一规律毕竟有几点显著特征，并可从中抽取出许多有说服力的结论。确实，这种规律影响深远，我毫不犹豫地把它认定为对科学进行任何分析的基本规律。

令人惊讶而富于意义的特点在于，不同于大多数拟合曲线，这个经验规律在很长时限内精确度极高，即使近乎随意地选择一个指数来计量，人们也很容易展示出科学呈指数型曲线规律的发展与两、三个世纪的实际情况相吻合。因此，这一规律在现阶段尽管仍不过是经验性的，但它比以往的反映短期经济发展的时间级数在意义上要重大的多。这就使人产生很大的疑问，科学发展的规律既然只不过是一种经验性的东西，那么只有适当地确定指数才能反映其发展的指数型。人们可以看到，关于这一规律是有其合理的理论基础的。

科学发展的第二个重要特征是其惊人的速度。科学在量上成倍或成10倍的增长所需的时间，是其呈显著的指数型发展的最好描述^[3]。根据人们所计量的内容和计量的方法，科学的规律在人力和出版物方面以10—15年为一周期就趋于翻一番。不分程度高低而只注重科学最基本定义，则这种倍增周期为10年；而只计算那些具有严格定义的科学著作和其撰写人，则这种倍增期为15年，若进一步提高计量上的严格性，以至于仅把那些质量非常高的科学著作计算在内，那么这种倍增周期缓至约为20年。

下表列出可计量的和可估计的分类学科发展倍增周期长短的次序，并表示出科学与技术如此迅速的发展一直是超过人口的发展和我们的非科学机构的发展的。

100年：载入国家人名辞典的人物数量。

50年：劳动力，人口，大学的数量。

20年：国民生产总值

注 [3]：显而易见， $(1 \times 2)^{10} = 1024$ ，即1经过连续10年的倍增发展便是1024这一因数；再者， $(1 \times 10)^3 = 1000$ ，即1经过3年连续的10倍发展就相应于1000这个因素。

- 著名的物理学家
- 重大科学发现
- 化学元素数量
- 仪器的精密度
- 每千人中大学生数量
- 15年：文科学士、理科学士
- 科学期刊种类
- 科学学会成员
- 化合物数量
- 各学科领域中的科学文摘数量。
- 10年：小行星发现数量
- 行列式理论文献
- 非欧几何文献
- 伦琴射线文献
- 实验心理学文献
- 美国电话机数量
- 美国工程师数量
- 交通速度
- 发电量。
- 5年：国际间电话通讯量
- 铁的磁导率。
- 1 $\frac{1}{2}$ 年：加速器百万电子伏特。

记住这一指数型发展的长期确定性，我们注意一下以15年为倍增周期延续三个世纪的发展，相应于2的20次幂的倍增，即达100万这一因数。这样，从1660年到今天（1962）科学量竟成百万倍地增加了。这莫过于是对科学与工业革命最完美的

解释说明了。

恰在1660年之后，具有现代气质的第一个国家科学协会成立了，科学家们首创了科学期刊，且自然而然地开始写些科学论文，以代替撰写一向为他们唯一销路的书籍。现在我们有了一张世界范围内的现已发现的约50,000种科学期刊的统计表（图1），其中大约有30,000种目前仍在发行；这些科学期刊共载论文达6,000,000篇（图2），且其增长量每年至少以500,000篇计^[4]。科学人力的发展情况大体上亦是如此。17世纪中叶仅有极少数科学家，少得可以数过来并叫出名字，而今天单美国就有数以百万计的各级科学技术人员（图3）。在这期间，科学家人数的增长更为符合指数型的规律，如今的一百万科学家是从1900年的十万，1850年的一万，1800年的一千人发展过来的。单就规模而言，小科学到大科学的过渡已经稳定下来——至少也曾有过小的周期性波动，类似股票市场的行情一样——且已遵循了如前所述的随时间呈指数型曲线的发展规律。

这样，把我们带进现今科学世纪的每15年一次的稳定倍增，使科学产生一特有的直接性，这使我们可以这样认为：科学的大部分是现代的，而大部分科学工作者也都是在世的。若以15年为科学家人数的倍增期这一规律为前提，那么以后任意一个15年期间的科学家数量都将与该时以前科学家数量的总和一样多。然而，在任何时候，科学家实体同时并存的时限不是15年而是45年，这是考虑到把科学家进入科研前线的平均日期和从实际科学活动中退休的平均日期区别开来。这样，对于1个出生于这样一个45年周期以前的科学家，我们现在就有1个科学

注[4]：关于这个问题更详细的研究可参见本人《巴比伦以来的科学》，（纽海文，耶鲁大学出版社1961），第五章。

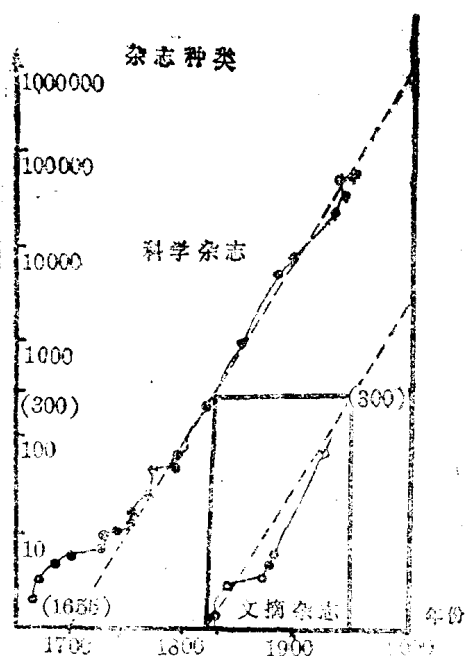


图1 作为时间函数的科学期刊和文摘期刊总量

〔注〕：文摘期刊开始于近300种科学期刊问世以后。这里的数字是发行过的杂志种类总数，而非目前正发行着的杂志种类总数，而且也不仅仅是那些纯粹科学性杂志，凡带有科学味道的杂志统统计算在内。若仅统计有严格定义的科学杂志，那么这里的数字将减少一个数量级。即使如此，总的规律不变。详见本人《巴比伦以来的科学》，（纽海文，耶鲁大学出版社1961）