



国际天文年特稿

2009

# 以镜观天400年

文/王绶琯

● 莫纳克亚天文台景色

400年前历史上第一具天文望远镜问世。这是天文学史上划时代的创举，也是现代科学萌芽时期的第一个重大发明。这具望远镜的聚光能力大于肉眼约100倍，是眼睛“望远功能”的巨大延伸。它在伽利略手中立即成为科研利器，很短时间里便取得了一系列突破性的天文发现。继后的历史见证了现代科技登上历史舞台的气势。到今天，即将出台的望远镜的聚光能力已将超过伽利略望远镜一百万倍；作为广义的“眼的延伸”，各类天文望远镜感应的辐射范围已远远不限于肉眼所及的“可见光”，而是遍及全部电磁波谱——射电各个波段、红外线、可见光、紫外线、X射线、伽玛射线；一些射电望远镜系统的“分辨能力”（分辨细微天体细节的能力）已经达到了相当于能够在北京分辨出来远在天津的两根并在一起的头发丝。现在国际上对天文设备每十年平均总投入不下六七十亿美元，把各类天文望远镜的功能“升级一代”。400年间，从使用两块镜片手制的望远镜的“窥天”创

举，到今日这种大规模、高速度、巨投入的“向宇宙进军”，其间伽利略及其后继者们许多动人心弦的故事历历在目。这篇文章里我们试图在这些故事的历史画面上解读400年中带动着它前进的两种力量：一为基于学科背景的动力；一为来自社会背景的互动。

## 学科背景一： 现代天文学在人类文明发展中的角色

天文学的历史作用体现了天文学的学科动力。17世纪天文学与物理学合奏的“第谷—开普勒—牛顿三部曲”，导致牛顿力学和万有引力定律的发现。宣告了现代科学的诞生。在人类文明发展史的这一划时代事件中，天文学是主角之一。

这次事件是有史以来第一次物理学基础理论的突破。天文学，作为一门以物理学为基础的自然科学（利用物理学的基础理论来解释天文学实测

现象),同台演奏了这“三部曲”。当时达到的辉煌,曾拜赐于此前长时间的“排练”。现在我们问:在这之后现代科技登上历史舞台,物理学分支多元化,天文学在其中的状态有什么变化?“三部曲”能不能重奏?是不是能期望新的辉煌?

回答这些问题意在试估天文学在文明发展中的真正角色。仍从“三部曲”说起。当时这是两门自然科学的合奏。自然科学旨在认识自然,以发现和研究自然现象、探索和解读自然规律为目的。认识自然按其深刻程度分为三个层次。第一是认识自然事物的存在的表象;第二是认识其表象的经验规律;第三是认识其存在与发展的本质。对此,

“第谷-开普勒-牛顿三部曲”可以视为按“自身发展”的规律奏出的乐章的典型。历史上,太阳系天体运行的研究,历2000年到了第谷,第一层次的认识达到了前所未有的精度,而开普勒三定律所体现的第二层次认识上的成就,直到现在都堪称登峰造极。但是即便如此,这两个层次的认识还只是做到了“知其然而不知其所以然”,基本上只对一事一物(即对于描述太阳系天体运行)有效。只有到了牛顿,才把研究从物体之间相对运动的表象深入到

这种运动的物理本  
质,从而从“知其  
然”跃进到了“知  
其所以然”。

当时的天文学研究,在获得开普勒三定律之后,前沿上的课题进入到如何解释太阳系天体按照这些定律的运行,而物理学的情况是,牛顿继承了伽利略力学研究的结果,总结出了力学的规律。但是当时所能做的一切力学实验,精度都受到了条件的严重限制。而与此对照,天上行星的轨



● 布拉格的第谷和开普勒雕像

道运动不但不受磨擦阻力的影响,而且周期很长,能有效地化解计时技术的不足。物理学家牛顿正是洞察到了大自然在天文世界里演示的这一种“力学实验”,利用第谷和开普勒的天文实测结果,“验证”了力学定律并发现了引力定律。

力学的突破性成就同时创造了“天体力学”。在这之后这种类别的天文学实测结果都用以做出理论解释,并通过理论推测以拓展认识的范围。于是还可以通过新的实测对推测的检验来检验理论的效力。自此原有的“三部曲”进入常规,带动着天文学稳步前进。

力学再现学科辉煌是过了200多年爱因斯坦广义相对论的问世。这一次天文学的作用虽然没有先前的显著,但是“三部曲”及其角色并没有变:其中“第谷-开普勒型”的工作体现为:1、发现水星近日点进动的天文实测结果与经典力学的预测不符,要求新的力学理论来解释;2、爱丁顿利用日食测量的光线引力弯曲“主动寻找到了”大自然在天文世界里演示的一次“引力理论实验”。当然,随着这许多年里物理学分支的多元化以及天体物理学的诞生和发展,力学已经远不是物理学和天文学研究中唯一关心的基本理论,这里举以为例主要



● 剑桥大学的牛顿雕像

是借为典型来说明在今日科学发展的形势下，理论研究的“主动性”更加突出，两门科学合奏的

“三部曲”，顺序和节奏都应当有新的表述，并应当由此重估天文学的地位。下面是我们对这样的表述的尝试：

天文学和物理学合奏的“三部曲”仍然有效，但其顺序可以表述为：1、一头从物理学理论出发，首先依靠天文知识寻求天文世界中有利于演示亦即“进行实验验证”的环境和条件，例如演示力学运动的太阳系空间；2、另一头，天文实测发现了这种环境和条件里大自然正在进行的“实验”，例如水星在进行轨道运动；3、物理学理论上推测这种“实验”应有的结果，例如近日点进动计算，天文实测上据以设计针对性的观测来检验理论结果。事实上，发现水星近日点进动“异常”的实测早于广义相对论的提出，但并不影响这里理想化的表述。这种实测挑战了经典力

学的权威性，当视为增加了天文学在“三部曲”中的份量。

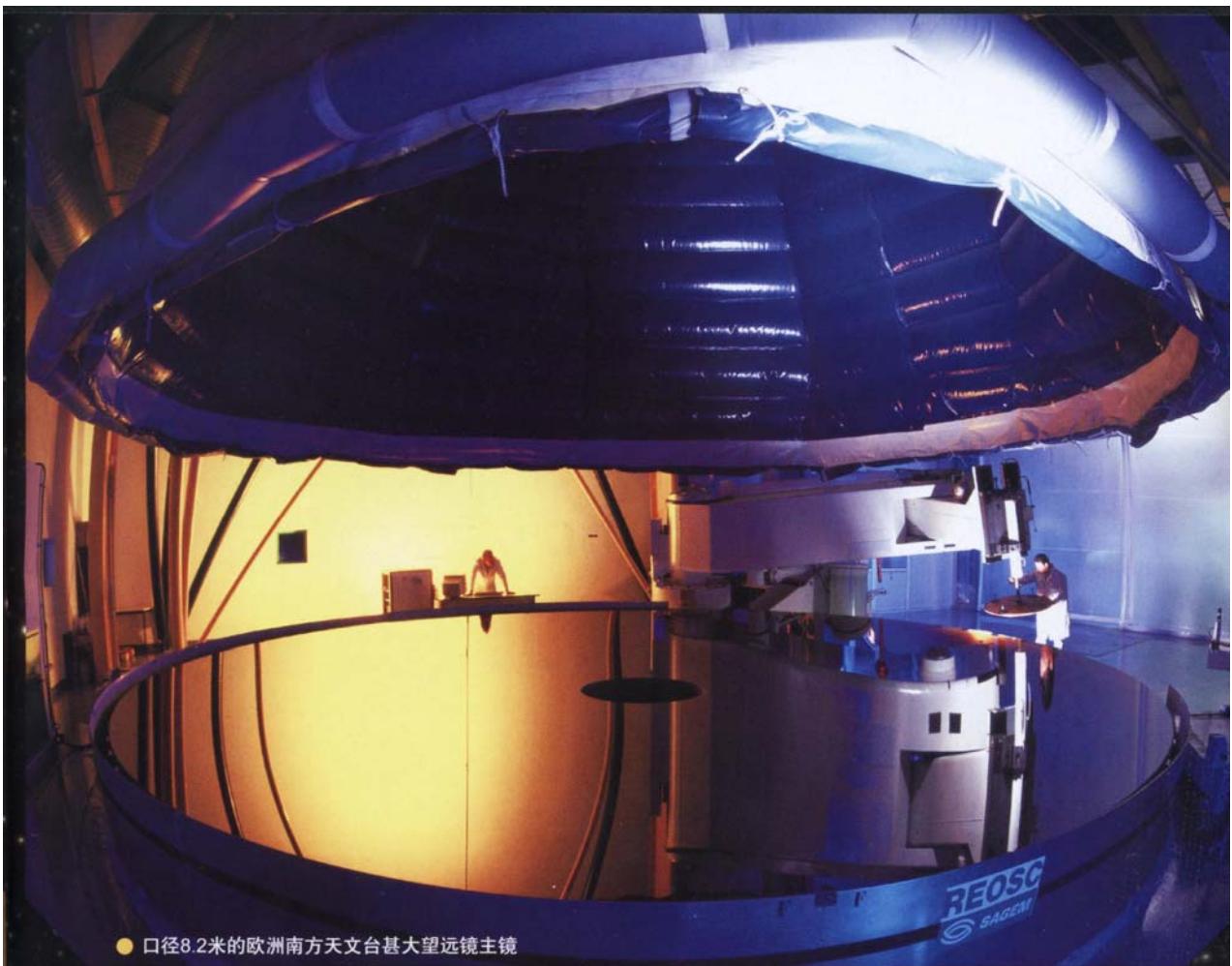
这种表述的适用当然不限于力学的进展。而天文学的作用也不仅仅是结合物理学的理论突破。但这种突破的影响是历史性的，理应得到最大的关注。我们注意到，今天物理学的前沿研究愈来愈多地需要只有天文世界里才能找到的极端的物理条件（如超高温度、超高密度、超真空、超磁场强度……），而这种极端情况通常都正处在天文学研究的前沿。于是在物理学理论的探索中，就存在着天文实测能够提供、而且往往是只有天文实测才能提供的实测验证。

当前物理学和天文学两大学科前沿在宇宙诞生的一刹那处的交叉，正吸引着人们强烈的关注。其格局使人联想到300多年前的划时代事件，而科学意义则可能有过之而无不及。

最后，还应当附带提一句：这些天文学与物



● 口径8.3米的日本昴星团望远镜主镜



● 口径8.2米的欧洲南方天文台甚大望远镜主镜

理学交叉的盛事，日后是否可能同样在天文学与生物学的关系中出现？姑当拭目以待。

### 学科背景三： “大设备战略”在天文学发展中的角色

天文学是一门“观测的科学”，这个“观”是远远地看，“测”是远远地测量，对象是天体发出的电磁波。望远镜的任务首先是看见这种电磁波。只有看见了的才能进行测量，只有经过测量才能进行研究。所以“观”的能力是第一位的。

望远镜做得愈大，聚光能力就愈强，就能看见原先看不见的范围。但是天文世界里看不见的范围太大了！举一个众所周知的情况为例：我们有理由相信银河系中存在着数以亿计的行星系统。但是迄今认识到的这种系统仅有一个完整的样本，即我们的太阳系。经过几代天文

学家的努力，最近开始测到了若干个恒星周围行星的存在。但如果要对太阳系以外的像地球这样大小的行星做到有效的直接测量，则至早也要等到下一代空间望远镜的问世。当然，即使做到了这一步，那也只是在太阳系外的众多行星系统的研究上，迈出极小的一步。这个例子并不孤立，事实上宇宙空间中的天体不可胜计，而今天我们就已经测到的只是其中最亮的、极小的一部分。不论是行星层次、恒星层次、还是星系层次，历来对更暗弱的样本、更精微的细节的追求，对更深入、更广泛的领域的开拓，对更多、更新的机遇的搜索，即使是望远镜的能力成百上千倍地增加也不会嫌过分。相反，这样做一旦满足了一个时期的要求和期望，“水涨船高”，立即就会出现学科的新的要求，引发出更多更高的新挑战。这是一种螺旋上升型的良性循环，而望远镜能力的超越是循环的枢纽。这使得历代天文学家总是作为一种“战略选择”，尽其所能把望远镜的口径

做大。于是提高望远镜的功能，首先是把口径做大，成为自有望远镜的400年来天文学的一道“永远迫切的课题”。我们姑且把这个论点称做天文学的“大设备战略”。

天文学的这种“大设备战略”贯彻在整个历史过程中。下面我们举三个历史人物的事迹为例。它们分别是三个不同历史时期的里程碑。

第一位是伽利略本人。当时他以口径仅及几厘米的头一代望远镜迎接一片新天地的开拓。“循环上升”的周期很快。在不到两年的时间里他就磨制了不下五架望远镜，陆续发现了月面上的结构、银河带上的恒星、日面上的黑子、木星的卫星……历史上至今还没有任何人能在这么短的时间里开辟出这么多的研究领域！

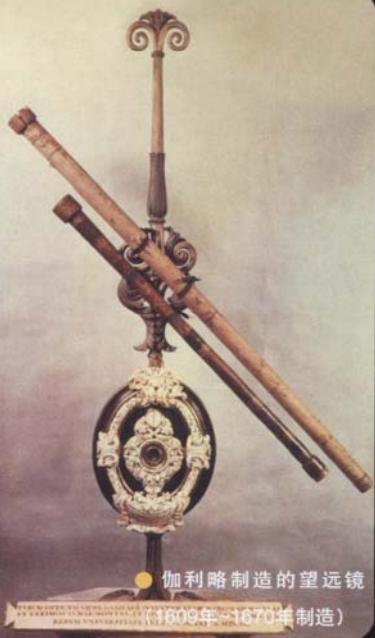
第二位是威廉·赫歇尔。18世

纪后叶，天文实测进入到太阳系天体的探索测量和恒星世界的大规模观测。赫歇尔兄妹于1773年启动了他们长寿的一生的星空探测行程。他们开始磨制反射望远镜，口径十几厘米到30厘米。这些望远镜的质量在当时首屈一指，从而得到了更清晰的星象，并做出更精确的测量。1781年天王星的发现使赫歇尔声名鹊起，同时也鼓舞了他制造大望远镜的雄心。他们先是克服了种种困难制成了口径91厘米的反射望远镜，随后在1786年，得到英王乔治三世的资助，着手建设一台口径122厘米、镜身长12米的望远镜，于1789年完成。这具望远镜体现了当年在口径上的大幅度超越，可以认为是现代意义上的一台国家级的“天文大设备”。赫歇尔的工作使天文学的视野伸展到了恒

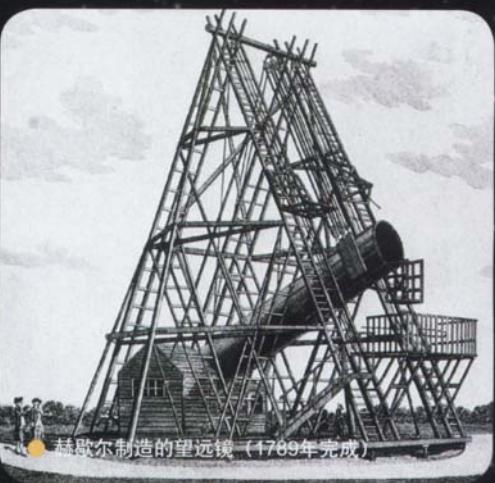
星世界的各个方面。发现了800多对双星，3000多个星团、星云；用10万多个恒星的“数目统计”建构了一种银河系结构模型；利用恒星自行的测量推测出了太阳在银河系中的运动方向……经过“赫歇尔时代”，银河系整体研究和星系世界的探测已经呼之欲出。

第三位是活跃在20世纪上半叶的G.E.海耳。海耳以他对天文科学的远见和出众的活动能力，成为现代实施“天文大设备战略”的典范。

当时天文学上对于“银河系就是我们的宇宙还是银河系依然天外有天”的争议广受关注，与此同时，天文学和物理学联手促进的光谱学的进步，加上量子力学的横空出世，使得天体光谱测量成为天文实测的首要利器。这两者从不同方向呼唤大型精密望远镜。正是在这个时期，大块玻璃的浇铸技术和镜面镀银技术进入成熟。海耳所见及此，继1897年完成了叶凯士100厘米折射望远镜之后，他决定向精密反射望远镜的大型化发起攻坚。他选定了威尔逊山台址，于1908年建成150厘米反射望远镜。1917年又建成了2.5米望远镜。这在当时的天文设备中是很大的超越。接着他开始了一项在那时堪称惊世骇俗的计划：在帕洛玛山建一台5米反射望远镜。1929年他筹到了经费，启动建设，1948年5米望远镜投入使用（在这之前经历了第二次世界大战，而海耳这时已经去世十年），并命名为“海耳望远镜”。这一望远镜代表了当时最高的天文光学和精密机械水平，带动了



● 伽利略制造的望远镜  
(1609年~1670年制造)



● 赫歇尔制造的望远镜(1789年完成)



20世纪下半叶一批“5米级”望远镜的建设，独领风骚三十年。其间实现了把天文实测的开拓延伸到星系世界、宇宙整体，导致了哈雷定律等重大科学发现，帮助了天体物理学及其各个分支进入现代科学发展的主流……成为这一时期实测天文学的主导。

### 社会背景： “社会技术储备”与天文技术发展的互动

在人类历史的长卷中，技术发展显示为文明发展的一大支柱。从远古的石器时代到今天的信息时代，人们一直很自然地用技术发展的阶梯来标志文明的升级。

这种文明的不断提升，核心动力是科学的研究，主要是“自然科学和技术科学的研究的联手”。用今天的概念，自然科学旨在认识自然——发现自然现象，探索自然规律；技术科学旨在技

术创新——发明新的工具、新的方法，创造新的品种、新的材料。在一个社会的技术发展中，技术科学是直接推动力，是主体。但是在现代科学登上历史舞台之后，自然科学的成果成为技术科学赖以发生和发展的主要资源。下面我们将分别举例说明自然科学在三个不同层次上对技术发展的推动作用。

首先，在宏观层次或战略层次上，我们看到，历史上自然科学基础理论的每一项突破（早期的如力学定律、电磁理论，等等；现代的如物质基本结构、遗传信息结构，等等），都会催生一系列技术门类

的重大变革和创新。这种作用被认为是自然科学在其本身的人文价值之外的“实用”价值，影响重大，素已家喻户晓。由于这种突破是科学上长期积累的效果，所以对于技术进步来说，属一种长期的效应。仍以“第谷—开普勒—牛顿三部曲”为例，力学诞生之后陆续派生出了许多技术门类，其影响几乎无处不在。今天，小到日常生活中一些小玩具，大到世界级的宇宙飞船工程，都能联系到力学智慧的发挥。当然，发生在力学发展中的这种“故事”，只是“新时代”科学技术“新发展”的一则序幕。

第二，在学科层次上，有的自然科学设备或技术项目与一些技术门类或技术科学分支“同出一源”，在各自发展的过程中随时可以互相借鉴，一些成果可能互相移植。而一门科学发展得愈好，追求愈深，涉及的技术就愈见特色，能被借鉴和移植出去的就愈有新意，效益愈高。天文学正是这样的一门科学。

这种“同源异途”的故事涉及到天文学的屡有发生，大小不一。这里举两个著名的事例：1、历史上第一台天文望远镜和用在军事和观景上的望远镜基本上同时问世，然后按自己的追求目标“各奔前程”，但是因为“同源”，天文望远镜的发展对“旧时伙伴”的影响仍然时时可见。20世纪施密特望远镜的发明惠及军用和民用就是一个突出的例子。2、草创时期的射电望远镜与雷达定位以及超音频通讯设施“同出一源”，随后在各自的发展中密切联系。一些重大突破，如射电天文综合孔径系统和定位系统中的相控阵，思路相通，在技术上别开生面，影响重大。

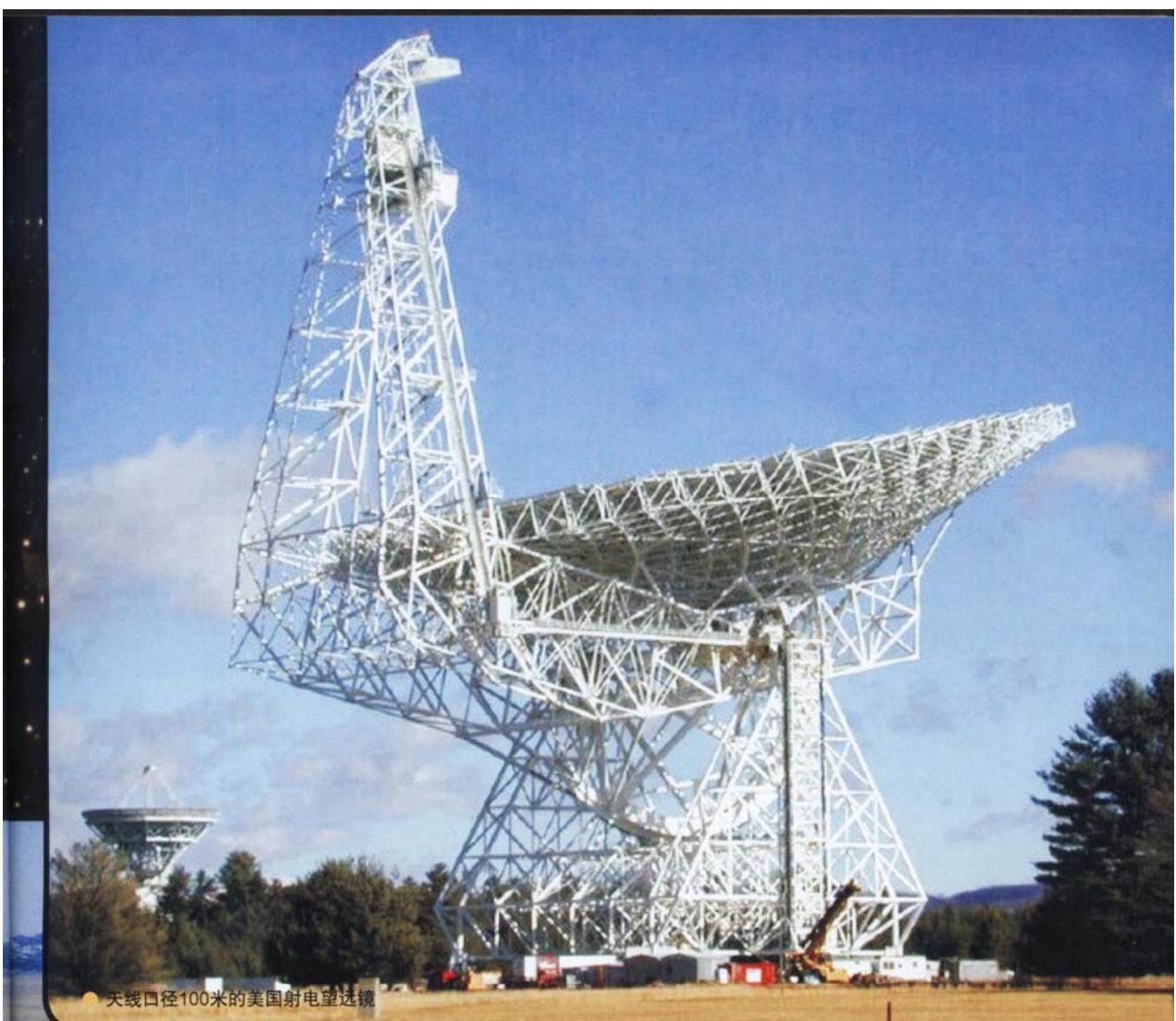
这一层次互动的节奏随着学科，可以看做属于“中期的效应”。

第三，对于技术发展，自然科学还有一种相对“短期的效应”，几乎每日都在发生，可以称为一种“微观效应”。这种效应体现为一种巨大的、综合的、全社会科技力量的运转，不甚显露，但很重要。简述如下：

我们通常可以把技术理解为制造“工具及材料”和运用“工具及材料”的知识。知识可以共享、可以传承，因而整个社会各行各业所拥有的技术可以汇总起来视为共有的“资源”而为全社会所共享。这个“资源”的充实与提高代表了一个社会整体技术能力的发展。任何一个行业在自身发展中需要创造新的“工具”时（例如：天文学要发展X射线望远镜时），必然都从这共有的“技术资源”中选取所需的技术以助研究，而研究出来的“新工具”所完成的“技术创新”（例如X射线成像技术），则会同时“反馈”到“公共技术资源”而为之增添新的“储备”。在这种行业和“公共资源”之间的良性互动机制中，自然科学的地位一向十分突出。这是因为它的研究领域处于挑战人类智慧的前沿，相应的探索手段（工具、材料、方法）通常要求高层次的创新，而由此产生并“反馈”到公共“技术资源”的成份

● 美国甚大阵射电望远镜





天线口径100米的美国射电望远镜

往往属于“高、精”之列。

这种“微观效应”表现在天文学专业出版物刊载的论文上。其中不同份量的“天文技术方法”的创新都会（至少绝大多数会）通过刊物的流通而为社会所共享并从而成为“公共技术资源”。当然这里面同时会包含“宏观层次”和“学科层次”的内容。但是它们占的比例很少，都是令人瞩目的成果，应当区别考虑。

写到这里觉得言不尽意。伽利略以镜观天之举的意义远不是一篇短文所能概括。只要想象一下没有望远镜时的世界，一个由日、月、五星加上六七千颗恒星做成的天穹笼罩下的世界中，科技、人文都将如何发展？一切尽在不言中。

我们希望这篇短文中对两种背景的勾勒大致上能够说明400年里天文望远镜作为一门“观测的科学”的观测工具的历史功效。它的发展，一方面与学科——天文学互动，成为学科发展全局中“永远迫切的”一个追求目标；另一方面与“全社会技术资源”互动，贡献于社会的技术进步。<sup>⑥</sup>

（责任编辑：温学诗）



王绶琯：  
国家天文台名誉台长  
中国科学院资深院士