

# 意大利文艺复兴艺术家与近代科学革命<sup>\*</sup>

——以达芬奇和布鲁内勒斯基为中心

何 平

欧洲近代科学在方法论、理论形式和宇宙观上区别于欧洲古典科学和其他文明的前现代科学。库恩曾用范式革命来概括欧洲近代科学变革。为什么这种以实验和数学方法而著称的范式在 17 世纪欧洲出现？这个问题从科学史在 20 世纪初成为一门学科时就受到关注，几乎每一部科学史都要触及。研究中世纪科学史的著名学者皮埃尔·杜海姆认为：“笛卡尔、伽利略和牛顿科学的许多基本原理可以在 13、14 世纪找到渊源……近代科学不是 17 世纪的特产，而是起源于中世纪思想家的哲学思辨。”<sup>①</sup> 鲍威尔等学者也认为伽利略、开普勒和牛顿的科学成就得益于 14 世纪巴黎大学所产生的那些宇宙论和物理学思想的发展。<sup>②</sup> 另一位学者克罗比在深入研究了牛津大学莫顿学院在 13 世纪的科学研究活动后，认为近代科学是源于古典科学传统的复兴和发展。<sup>③</sup> 英国科学史家李约瑟和加拿大科学史家席文在与中国科学史相比较的情况下，则更多强调欧洲在社会制度、生产方式、人口、文化形态和学术传统上与其他社会的差异。<sup>④</sup> 在此层面上，默顿的《17 世纪英格兰的科学、技术与社会》一书对英国科学革命的背景进行了深入分析。<sup>⑤</sup> 20 世纪 70 年代巴斯拉出版的论文集《近代欧洲科学的兴起：内因还是外因》汇集了在此问题上的各种有代表性的观点和论述，其中桑迪拉纳关于艺术对欧洲科学发展影响的文章认为那一时期出现了两项划时代的思想变化：一是“近代自然法观念”，二是用数学而不是中世纪的玄学观念来解释自然。<sup>⑥</sup>

\* 本文的研究与写作受到教育部 2008 年“文明的互动和共生”项目以及国家社科基金项目（06BSS014）资助，特此感谢。

① George Basalla, ed., *The Rise of Modern Science: Internal or External Raytors*, London: Raytheon Education Company, 1968, pp. VIII-IX.

② James M. Powell, *Medieval Studies: An Introduction*, New York: Syracuse University Press, 1995, pp. 353-354.

③ “（近代）西方科学史是一个始于古典科学典籍的发现而（重生的）思想传统（发展）史，以及由此而诞生新观念和具有独特生命力的探索”。参见 A. Crombie, *Oxford's Contribution to the Origins of Modern Science*, Oxford: Basil Blackwell, 1954, p. 11.

④ 参见 J. Needham, *The Grand Titration: Science and Society in East and West*, London: George Allen & Unwin, 1969.

⑤ 罗伯特·金·默顿：《17 世纪英格兰的科学、技术与社会》，范岱年译，北京：商务印书馆，2007 年。

⑥ Giorgio De Santillana, “The Role of Art in the Scientific Renaissance,” in George Basalla, ed., *The Rise of Modern Science: Internal or External Factors*, p. 76.

爱因斯坦 20 世纪 50 年代的一封信表达了被大多数内因论者认同的观点,他认为至关重要的科学实验方法是在文艺复兴时期发现的。<sup>①</sup>桑迪拉纳称文艺复兴时期的艺术家为“掌握数学的艺术家”(mathematical artists)。<sup>②</sup>

实际上,意大利文艺复兴艺术实践对欧洲近代科学的贡献在国外也是一个正在开展的研究课题,<sup>③</sup>其中关于透视法的科学哲学意义尤其是一个前沿研究课题。笔者最近在意大利访问,注意到意大利学者使用“数学透视法”这个词,笔者认为在“透视法”前加上“数学”两字,深刻地体现了这一视觉观念的科学基础和对科学认识论的潜在影响,而且预示了一个解释近代科学革命的新角度。可以说,透视法体现了人们观看被观察对象的一种心理模式和再现模式的转变。西方艺术史家潘诺夫斯基就把透视法看作一个象征形式,贡布里奇也把艺术史看作“知觉”演进的历史。其实,一般意义上的“知觉”也包括科学家对自然界的认知,这就使艺术进步和科学发展具有关联性了。

在研究透视法对科学观念和一般视觉的影响方面,潘诺夫斯基的著述受到很大关注。<sup>④</sup>潘诺夫斯基对欧洲的视觉文化进行了解码,即借助文艺复兴时期透视法的发现,试图写出西方关于空间、视觉知识以及图像构建的综合史,他认为透视法是“从心理生理空间的结构……做出的系统化抽象”。<sup>⑤</sup>

绘画对现象世界的重构和其中体现出的视觉心理模式是当代图像学研究的重要问题。在潘诺夫斯基研究的基础上,米歇尔等学者着手对图像学进行“后语言、后符号学的再发现”。米歇尔认为对图像的观看与观看者的角度和观看行为、观看对象的“视觉性特征”、流行的话语和隐喻形式有关,换句话说,图像是对现象世界的一种符号学上的解码。<sup>⑥</sup>这些观点无疑有助于我们更深刻地理解文艺复兴时期的艺术实践与欧洲近代科学发展之间的关联。

国内最近对文艺复兴时期的科学艺术进行了专门研究,其中值得注意的是刘景华、张功耀的《欧洲文艺复兴史·科学技术卷》以及郑慧溶的《中世纪文艺复兴时期——科学与技术结合》。<sup>⑦</sup>前书较为系统地描述了文艺复兴到 17 世纪欧洲科学技术的发展情况,但并未就本文的论题展开深入的探讨。郑慧溶的书谈到科学与技术的结合情况,认为这是对中世纪大多数学者以思辨方法研究自然科学问题的突破,但该书关于艺术对科学的影响也并未详述。倒是 20 世纪 80

① 爱因斯坦在回答为什么近代科学首先在欧洲出现时阐述道:“西方科学发展依据的是两项伟大的成就:一是希腊人发明的形式逻辑体系(见欧几里德的几何学),二是(文艺复兴时期)发现通过系统实验有可能找出因果关系。”参见阿尔伯特·爱因斯坦:《致 J. E. 斯维泽的信,1953 年 4 月 23 日》,转引自罗伯特·C. 拉姆:《西方人文史》,张月、王宪生译,天津:百花文艺出版社,2005 年,第 3 页。

② Giorgio De Santillana, “The Role of Art in the Scientific Renaissance,” in George Basalla, ed., *The Rise of Modern Science: Internal or External Factors*, p. 80.

③ 20 世纪 90 年代笔者曾就近代欧洲科学发展问题在牛津大学和导师伊懋可(Mark Elvin)教授讨论,2008 年又在剑桥大学与哲学和科学史系主任里普特教授讨论。伊懋可和里普特都认为欧洲近代科学的很多观念和方法论可以溯源到文艺复兴时期的艺术。萨顿:《文艺复兴时期的科学观》(郑诚、郑方磊、袁媛译,上海:上海交通大学出版社,2007 年)值得特别注意。

④ 参见 Michael Ann Holly, *Panofsky and the Foundations of Art History*, Ithaca, New York: Cornell University Press, 1984.

⑤ 潘诺夫斯基:《作为象征形式的透视》,第 3 页,转引自 W. S. T. 米歇尔:《图像转向》,范静晔译,《文化研究》第 3 辑,天津:天津社会科学院出版社,2002 年,第 14 页。

⑥ W. S. T. 米歇尔:《图像转向》,第 13 页。

⑦ 刘景华、张功耀:《欧洲文艺复兴史·科学技术卷》,北京:人民出版社,2008 年;郑慧溶:《中世纪文艺复兴时期——科学与技术结合》,南昌:21 世纪出版社,2006 年。

年代金观涛编辑的会议论文集集中的一篇文章简略谈到文艺复兴时期学者和工匠合为一身有利于科学研究活动的发展。<sup>①</sup> 上海“科学与艺术网”近年也特别关注科学与艺术的关系，登载不少文章，但大都是简要评论。

曹意强教授不仅翻译了潘诺夫斯基的著作，而且精辟地总结了潘氏的观点：即17世纪科学革命可以溯源至15世纪的“视觉革命”，透视作为从心理上对物理世界空间结构的系统化想象推动了后来伽利略等学者的科学发现。<sup>②</sup>

本文通过对布鲁内勒斯基（Filippo Brunelleschi, 1377-1446）和达芬奇两位著名艺术家的艺术和科技实践活动的审视，力图阐明近代科学发展初期的这一关键性转变的诸多过程，分析当时艺术实践活动对近代科学研究方法和理论观念的影响，尤其是探讨透视法对科学观念的影响，以及工程师和艺术家合为一身的传统对近代科学实验方法形成的意义。本文不追求对近代科学在西方出现的原因做宏大叙事性的解释，目的仅在于抛砖引玉，并希望能借此引起新一轮的讨论，笔者相信这种讨论在当前有很大现实意义，将有助于当代中国的科技创新。

本文的基本观点是：科学试验方法在文艺复兴时期的形成有某种偶然性，与那个时代艺术家的审美倾向和技艺实践的多样性相关。艺术家为更准确地描摹自然场景，对人类的视觉、光影变幻的特征以及三维空间在一维画面上呈现的模式进行了大量“实验”。这些艺术家同时又身兼多重身份，首先被称为工程师的他们既画画，也做雕塑，同时又制作各种机械设备，设计市政建设项目，监造各种公共设施。这使他们把实验、绘图和解决复杂工程力学和机械学的问题结合在一起。试验的习惯或者说探讨自然奥秘的新方法就这样被带入了科学技术研究活动中。实际上，布鲁内勒斯基和达芬奇，尤其是后者也被视为最早的近代科学家，主要是因为他们在与艺术和建筑相关的光学、解剖学和力学等领域所作的研究已初步具有近代科学研究活动的属性。

意大利艺术家/工程师的这些观念和实践方式极可能影响了近代初期欧洲的科学先驱。在推动近代科学革命的三位伟大科学家中，伽利略主要就是借助实验来探讨物理运动规律，开普勒与牛顿则更多是从数学角度对所观察到的天文资料进行总结并提出理论。而伽利略生活在离布鲁内勒斯基与达芬奇工作过的佛罗伦萨和米兰不远的比萨。本文首先以达芬奇为例探讨文艺复兴时期艺术活动中科学实验方法的形成过程。

## 一、从绘画技巧的探讨到科学研究：达芬奇的例子

文艺复兴时期的意大利形成了罕见的艺术与科技活动相联系的境况，艺术和科学相互影响，两者都试图重构自然世界，只不过前者以形象、后者以理论和公式的形式进行。艺术家为了求真写实，以科学的方法来探讨自然界的空间关系、光影特征以及再现的秘密，如蔡元培所评：“中国之画，与书法为缘，而多含文学之趣味。西人之画，与建筑、雕刻为缘，而佐以科学之观察，哲学之思想。故中国之画，以气韵胜，善画者多工书而能诗。西人之画，以技能及义蕴胜，善画者或兼建筑、图画二术。而图画之发达，常与科学及哲学相随焉。”<sup>③</sup> 艺术探讨的成功及其

① 参见《自然辩证法通讯》杂志社编：《科学传统与文化》，西安：陕西科学技术出版社，1983年。

② 曹意强：《艺术与科学革命》，《中华读书报》2004年4月28日；曹意强、麦克尔·皮德罗编：《艺术史的视野——图像研究的理论、方法和意义》，杭州：中国美术学院出版社，2007年。

③ 蔡元培：《华工学校讲义》，中国蔡元培研究会编：《蔡元培全集》第2卷，杭州：浙江教育出版社，1997年，第419页。

方法反过来又促进科学研究的进步。这种相互促进在达芬奇身上表现得最为突出。达芬奇一方面把艺术看作 art (技艺) 之(皇)后, 另一方面很早就意识到基础科学研究——人体解剖、光学等对绘画艺术的促进作用。<sup>①</sup> 在《论绘画》中, 达芬奇阐述说画家需要了解眼睛对外界景物感知的方式, 并在艺术创作中运用这些规则, 然后才能在画布上构建一个似真的场景。达芬奇于是开始探究光学现象和视觉特征。他虽然“是作为一个艺术家来看待这些问题的”……“关心如何在画布上运用光和影”,<sup>②</sup> 但他也从抽象的角度来思考光影问题。他设想了一些公式和假设来解释所观察到的结果, 并试图发现可以用来制造光学器具的原理。这就使他步入科学研究的领域。在《论绘画》中, 他讨论绘画涉及视觉的十种功能, 包括颜色、光线、物体、形状、远点、近点、运动、静止以及黑暗。<sup>③</sup>

达芬奇在从艺术走向科学探究的过程中开始反思古希腊和中世纪关于视觉的解释, 并首先考察柏拉图的理论。柏拉图认为人类能够感知世界是由于眼睛发射出微小粒子被反射回眼睛的缘故, 达芬奇发现柏拉图的理论不合逻辑, 因为由于从眼睛射出的粒子到达不同的目标并反射回眼睛所需的时间不同, 人就不能在同一时间看到所有的物体。达芬奇于是放弃了粒子说, 而提出一种光波说, 并转而用实验和观察来研究视力机制。在 1491 年开始使用的《手稿 C》笔记中, 达芬奇制定了研究光和影的计划。他着手解剖眼睛, 发现在大多数情况下, 被割开的眼睛摊成一堆胶质, 他又把眼睛放在水里煮。<sup>④</sup> 他可能已懂得晶体具有透视作用, 并试图解释人的眼睛如何透视外界场景以及阴影的产生。达芬奇发现人的双眼形成的视觉具有一条中心线, 中心线外的事物清晰度渐低。1508—1509 年达芬奇的被称为《手稿 D》的笔记中, 他画下了其所制作的一个人眼的模型以及一个研究者头伸入模型观察外界景物的情形。<sup>⑤</sup>

中世纪的思想家认为映在视网膜上的物体形象就是那个物体的准确反映。达芬奇发现光线从一个物体到达眼睛有一个复杂过程。在一个实验中, 他在眼睛前方约 6 英寸的地方竖起一个带有小孔的纸板, 然后在纸板和眼睛之间上下平行移动针, 结果发现针似乎向相反的方向移动, 他于是明白了这种效果是由于光线穿过小洞时被反转了。后来, 他利用这个原理制作了一个倒影成像装置。从实验中, 达芬奇了解到眼睛里有一个接收面, 而且从物体反射到眼睛中的光线是以颠倒的形式进入的, 物体呈现的色彩也受周边其他物体的影响。<sup>⑥</sup> 后来, 他用玻璃制作了一个类似角膜的东西, 把眼睛的功能与暗箱作用联系起来考察, 试图用玻璃仪器复制眼睛的功能。

达芬奇也通过所制作的光学仪器来研究光的反射和折射。他似乎搞清楚了影像如何被反射所扭曲, 通过镜片被放大, 以及三原色相互结合的原理。他用棱镜或装满水的杯子将白光的组成部分分解, 他报告说阳光穿过杯子, 在窗前的阴影里形成彩色, 由于这里没有使用眼睛, 因

① 瓦萨里记载说达芬奇几乎每天都在制作实验模型, 探讨绘画原理。参见 Claudio Pescio, ed. *Leonardo, Art and Science*, Florence: Giunti Editore S.P.A., 2005, Preface.

② 迈克尔·怀特:《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》, 阚小宁译, 北京: 三联书店, 2001 年, 第 191 页。

③ 达芬奇那个时代, 许多画家都借助器具研究景物在平面上的映像, 德国画家丢勒曾借用一方格玻璃板研究如何合比例地在画板上描画人体。早在 13 世纪时, 英国学者罗吉尔·培根就认为光学(他称之为透视学)是学术基础, 并且对光学实验特别感兴趣。他在著作中谈到光的反射定律、折射现象, 似乎懂得反射镜、透镜, 还谈到望远镜。

④ 达芬奇的解剖学笔记中有一幅他对脑部神经、眼球视觉神经走向的解剖图。Claudio Pescio, ed., *Leonardo, Art and Science*, p. 117.

⑤ Claudio Pescio, ed., *Leonardo, Art and Science*, p. 116.

⑥ 现代视觉理论认为光线透过晶状体, 在视网膜上形成一个颠倒的图像, 然后是大脑又将其再颠倒过来。

此,这些色彩不会产生自眼睛。在这里,达芬奇表现出一种可贵的经验论和严谨的推理习惯。在研究光的折射现象时,达芬奇让阳光穿过两个一大一小的半圆玻璃球体,以便观察光线是如何弯曲的。他在笔记中写道:“通过这种方法你可以做无数的实验。并且得出你的定理。”<sup>①</sup>“我们所有的知识都发自我们的感受”。<sup>②</sup>达芬奇的这些观念和实践与我们现在称之为科学研究的方法是一致的。

伊懋可曾指出,近代科学能够在欧洲产生的一个重要思想背景是欧洲人能够看到机械和自然现象背后的几何结构。<sup>③</sup>这似乎在很大程度上是由于欧几里德和阿基米德的影响。在以几何学的方法来研究光影并推动光学发展上,发现了“数学透视法”的文艺复兴艺术家起到了承上启下的作用。看看达芬奇笔记中用几何方法对视觉原理的图解就明白了。<sup>④</sup>达芬奇之前的阿拉伯学者阿尔哈珍(Alhazen),欧洲学者培根、马格努斯(Magnus)和约翰·贝查姆(John Pecham)等人都把光学和几何学的研究联系起来。但在达芬奇这里,对光学的研究开始具有近现代科学方法论特征。值得一提的是,达芬奇所表现出的这种从艺术实践向科学探讨的转变并不是他所独有的。

## 二、“透视法”的发现及其图像学意义

“透视法”又被称为“数学透视法”,它的发现不仅引起欧洲绘画的一场革命,而且影响了后来的宇宙观念。从图像学的意义上讲,它标识了欧洲人知觉中空间的数学化。“透视法”作为一种追求逼真再现自然场景的方法,它的发现受惠于当时审美观念的影响。文艺复兴时期绘画审美虽然受到宗教精神的制约,但极为重要的是,它追求“比例均衡”,“画面颜色清晰”,<sup>⑤</sup>描摹自然真实场景。那时的画家很乐意被称为自然的模仿者,他们把自己的画或浮雕看作选取的“自然”的一部分,或是编辑过的“现实”场景。<sup>⑥</sup>当时的人们往往评论一幅好画:“堪比或超越自然或真实场景”。<sup>⑦</sup>画家因而千方百计追求逼真再现自然场景的方法、技巧,他们不是去借鉴传统的画法或模式,而是去仔细观察自然场景。达芬奇的话就展示了这种审美趣味如何使画家“科学”地探讨绘画规律:

作画迫使画家的心思转向大自然的心灵深处;在自然和艺术之间转译,用自然,被自然规律调节的自然现象的原因,去阐明靠近眼睛的物体的本相怎么汇聚为瞳孔中的景象;同样大小的物体中哪些在人的眼中显得大些;同样色彩的(物体中)哪些显得暗淡些,或者亮些;低矮的(物体中)哪些显得更低些;同样高的(物体中)哪些显得高些;为什么

① 迈克尔·怀特:《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》,第210页。

② 列奥那多·达芬奇:《特里乌卡奇亚努斯手稿》,转引自迈克尔·怀特:《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》,第55页。

③ Mark Elvin, “Skills and Resources in Late Traditional China,” in Dwight Perkins, *China's Modern Economy in Historical Perspective*, Stanford: Stanford University Press, 1975, p. 111.

④ 达芬奇把眼睛看作“一种几何仪器”。参见亚里山德鲁·韦佐西:《达芬奇——宇宙的艺术和科学》,朱燕译,上海:上海译文出版社,2004年,第107页。

⑤ Michael Baxandall, *Painting and Experience in Fifteenth Century Italy*, Oxford: Oxford University Press, 1972, p. 108.

⑥ Michael Baxandall, *Painting and Experience in Fifteenth Century Italy*, p. 121.

⑦ Michael Baxandall, *Painting and Experience in Fifteenth Century Italy*, p. 119.

处于不同距离的两个物体中,其中的一个显得更清晰些?<sup>①</sup>

这个后来被发现的绘画原理和技法就是安东尼奥·曼勒蒂(Antonio Manetti, 1396-1495)所称的“透视科学”。从中世纪后期起,“透视学”就是一个受到很大关注、有时又称“光学”的研究领域。但丁曾经评论说:“依据一门称为透视学、算数和几何学的科学,人们能看得更为细致和合理。”<sup>②</sup>到15世纪,透视学俨然成为一门大科学,涉及建筑设计、雕塑装饰的制作,绘画中各种物体、建筑、人物、山水等的大小、远近和布局以及“整体和局部的比例”。<sup>③</sup>

布鲁内勒斯基在15世纪初做了一个著名的实验,以了解三维空间场景在平面上的显现模式,他以佛罗伦萨大教堂前的广场为场景,在大教堂大门内三英尺处地方竖立一木板,约半埃尔(量布单位)面积大,正中的位置钻一人眼大小的洞,再在后面不远的地方平行竖立一木板,上面铺上油浸过的纸(创造镜面)。当广场上的场景光影通过前面木板的小洞,映射到后面木板的油纸上时,他用笔将之描摹下来。这样,布鲁内勒斯基经过仔细观察便把握了自然场景在一维平面上的空间关系的表现方法。在那个著名的实验中,布鲁内勒斯基还用油画笔精心在画纸上还原了广场场景的色彩和自然光影特征;天空部分,他用铮亮的银板填充,使天空的景色能够映射到银板上,形成动感的景象。<sup>④</sup>

布鲁内勒斯基又把画好的图画重新竖立在离教堂大门三英尺的地方,并在画的正面约一英尺的地方立一面镜子,当观者从画板背后通过画板正中(没影点)的小洞往外观看镜子,他看到的是映照到镜面中的图画。布鲁内勒斯基还把此镜中映出的画境与真实场景相比较,以检查画法正确与否。就这样,“布鲁内勒斯基通过实验发明了透视法理论”。<sup>⑤</sup>布鲁内勒斯基后来将此法传授给马萨乔和多纳泰罗,在绘画与浮雕创作上掀起了划时代的技法革命。

透视画法的简单原则是:与画中地面平行逐渐伸展到远方的线交汇在地平面上的某一点,它们同与之垂直的线条构成越往画的深处越小的棋格,阿尔贝蒂称之为“人行道铺道砖块”。画家就在这些事先画好的递次缩小的格子中根据远近安排场景中各物体的位置、大小和相关线条的走向。达芬奇《最后的晚餐》的草图就是用几何学线条和图形勾勒的。耶稣处于投影点——透视画中平行线条的会聚点,以此为中心形成一个圆,再画出八角形,分别安排各个人物和房间里的物件。1480年达芬奇米兰时期的一页笔记描绘了一个画家通过透视仪画浑天仪的场景。浑天仪实物通过画板中间的小孔投影到后面的玻璃上,描下后,再依样画在纸上,<sup>⑥</sup>这与布鲁内勒斯基的实验画法相仿。<sup>⑦</sup>

透视法被认清后,就成为意大利画室中学徒首先学习的内容。从1467年帕多瓦画家斯卡西

① 转引自 Michael Baxandall, *Painting and Experience in Fifteenth Century Italy*, pp. 119-121.

② 转引自 Michael Baxandall, *Painting and Experience in Fifteenth Century Italy*, p. 124.

③ 转引自 Gene Adam Brucker, *Florence, 1138-1737*, London: Sidgwick & Jackson Limited, 1998, p. 218.

④ 布鲁内勒斯基的传记作者记述说,布鲁内勒斯基还以一个八角形洗礼池和维基奥宫殿为对象做透视法实验。参见 Gene Adam Brucker, *Florence, 1138-1737*, p. 206.

⑤ Giorgio De Santillana, "The Role of Art in the Scientific Renaissance," in George Basalla, ed., *The Rise of Modern Science: Internal or External Factors*, p. 77.

⑥ Carlo Pedretti, ed., *Leonardo da Vinci, Artist, Scientist, Inventor*, Florence: Giunti Editore, S. P. A., 2005, p. 354.

⑦ 达芬奇在1490年的笔记中谈到两种透视法。前一种类似布鲁内勒斯基的做法,即在竖起的玻璃上的一张透明纸上描下所看到形状的线条;另一做法是在竖起的透明玻璃上画好方格,然后在放在桌上的画好方格的纸上的相应位置描下形状。德国画家丢勒(Albrecht Dürer)在1525年,用两幅画图示了这两种方法。参见 Claudio Pescio, ed., *Leonardo, Art and Science*, p. 78.

尼 (Squarcione) 与一位学徒签订的合约中可以看出其重要性。合约规定: 师傅首先教会学徒按照透视法打好画面方格, 在“这里或那里的位置上画上人物, 放上物体——椅子、凳子和房屋等; ……学会怎样在特定的格子中画这些东西; ……怎样用短缩法画人的头部……; ……画裸体人像, 前后都要尺度合适; 以及怎样合乎尺度地把眼睛、鼻子、嘴巴和耳朵放在该放的位置”。<sup>①</sup>

人类第一次用“透视法”成功地逼真再现自然场景, 其意义是重大的。达芬奇称研究自然场景的光影特征、反射和再现的活动是研究“可见光的科学”。<sup>②</sup>透视法后来被广泛借喻为合理反映自然场景的方法。萨迪南纳认为这是一门真正意义上的科学的开始, 伽利略后来说他发明天文望远镜就是受到了透视法的启示。他称他所发明的望远镜为“透视器具”, 这一词的拉丁文“perspicillum”, 有透视“perspective”一词的前缀“persp”。其后的哥白尼也坦承, 他的日心说是按“透视法”合理构建的宇宙空间结构, 他反问并解释说, “如果(太阳)不处于中央, 宇宙的明灯又放在何处?”在透视法则下, 人及地球显得小了, 这没有错误。<sup>③</sup>

阿尔贝蒂就透视法所带来的影响评论说, “透视科学”不仅是在视觉世界追求正确的对比、比例和投影, 它也让学生以几何学的方法处理对象、实体(substance)和建筑本身。在文艺复兴时期的科学和艺术观念中, “实体”已不是柏拉图眼中的那个哲学概念, 而是对其质量、特性严格地思量过, 并从几何学和物理学、功用和美学、甚至象征角度去认知的平面和体积。就是在这种新柏拉图主义的话语下, 形成了观察客观世界的新思维模式和整理空间秩序的新方式。“透视学”帮助科学家把自然空间看作几何学意义上的空间, 其中每一个特定物体都有确定的位置、大小和比例。空间的几何化无疑有助于物理学试验和物理学理论的陈述。

达芬奇的话可谓画龙点睛, 他认为绘画所反映的也是“关于自然界及其事物的(存在)形式或观念”。<sup>④</sup>“透视法”的发现因而对欧洲人的自然观和科学思维产生重要影响也就不足为奇了。“15世纪的绘画把人放在一个真实的世界中。这种严格按照物理学规律来绘画, 肯定自然主义, 反对中世纪的象征主义, 为(近代)科学创造了一个自然主义的理论前提。”<sup>⑤</sup>更为重要的是, 透视法不仅展示了一个观察世界和再现世界的新方法, 而且它还是用实验方法获得的。这种艺术上的实验方法对科学研究产生了一个示范作用。

为什么意大利画家能发明透视画法? 布鲁克认为这是因为意大利人不具有中国和荷兰画家那种对空间距离的直感本能和表现技巧。例如中国画家用浅墨或单色的浓淡来表现远近, 而“其他人则正如发生在文艺复兴时期那样, 只好依赖合理的理论”。<sup>⑥</sup>此种说法值得讨论, 但被称为“数学透视法”的文艺复兴画法的确是采用几何学的方法来量化景物空间关系的, 阿尔贝蒂在1436年出版的一本书中曾对此有所阐述。<sup>⑦</sup>

① 转引自 Michael Baxandall, *Painting and Experience in Fifteenth Century Italy*, p. 127.

② Giorgio De Santillana, “The Role of Art in the Scientific Renaissance,” in George Basalla, ed., *The Rise of Modern Science: Internal or External Factors*, p. 77.

③ 转引自 Giorgio De Santillana, “The Role of Art in the Scientific Renaissance,” in George Basalla, ed., *The Rise of Modern Science: Internal or External Factors*, p. 77.

④ W. Lefevre and U. Schoepflin, eds., *The Power of Images in the Early Modern Science*, Basel: Birkhauser Verlag, 2003, p. 64.

⑤ Giorgio De Santillana, “The Role of Art in the Scientific Renaissance,” in George Basalla, ed., *The Rise of Modern Science: Internal or External Factors*, p. 78.

⑥ 参见 Gene Adam Brucker, *Florence, 1138-1737*, p. 206.

⑦ 参见 Gene Adam Brucker, *Florence, 1138-1737*, p. 207.

### 三、科学研究范式的发展：达芬奇的贡献

达芬奇身后留下约 13000 页的笔记手稿，含 1500 幅精致的图画和一些科技模型。笔记记载了达芬奇从事的科学实验及其发现和心得。<sup>①</sup>达芬奇在笔记中不仅前所未有地强调观察和实验，以及对前人的概念进行验证，还把探索推进到形而上学（理论）领域。那时流行的关于物体及其运动的观念是一种柏拉图和亚里士多德思想的混合物。达芬奇通过观察帆船在风中的疾驶，几乎提出了作用力和反作用力相等的看法，“物体对空气施加的巨大压力就像空气对身体施加的压力一样”。这比“牛顿第三运动定律”早了 200 年。<sup>②</sup>

达芬奇试图建立新的光学理论，他认为光的速度是有限的，而从古希腊学者直到笛卡尔和克里斯蒂安·惠更斯（Christian Huygens）都相信光的传播没有间隔。达芬奇认为自然界中物体的所有行为实际上都以最简单的方式发生，他试图提出关于光和声这类自然现象的统一理论，认为光和声音通过一种振动方式传播，同水的波动没有多大区别。“宇宙中所有事物都是以波的形式传播。”<sup>③</sup>直到一个世纪以后，克里斯蒂安·惠更斯在《论光》（1690）一书中才阐述了类似的光波理论，此书同牛顿 1704 年发表的《光学》一起为近代光学奠定了理论基础。

近代科学研究往往需制造仪器以有助于实验并记录观察数据。达芬奇对天体的研究就大体遵循这一路数。他认为月亮不会发光，只是像一面球形的镜子，地球很像是月亮那样的星体，而最巨大的太阳，其光芒照亮了宇宙所有天体。<sup>④</sup>达芬奇做过抛物柱面镜和从太阳获取能量的实验。在 1508 年至 1510 年的笔记中，他谈到了有可能找到使远处的影像看得更清楚的方法，然后进一步描述了类似装在可伸缩的圆筒中的凸透镜的装置。其《手稿 F》中有一幅似乎是望远镜的画。在笔记中，他谈到“制作可以放大月亮的镜片”。<sup>⑤</sup>这些可能表明他了解制作望远镜的一些原理，但或许最终没能制造出来。一个世纪以后，伽利略借助改进了的望远镜观察天体，用观察到的事实证明了哥白尼体系的正确性，成为科学革命的标志性事件。

达芬奇也使用“自然规律”（the law of nature）一词，认为自然场景的表象是被自然规律所制约的，画家应当去研究和揭示这些法则。难能可贵的是达芬奇还以这种观念和思维方式思考其他领域的物体及其表象，例如一般意义上的光学或力学对象，这就使他踏入了建构近代科学理论之路。达芬奇在从哲学的角度探讨运动和力时，阅读了亚里士多德的《物理学》和《天文学》，他在笔记中写道：“运动的原因是什么；运动本身是什么；……推力是什么；……直线运动变为曲线运动的原因是什么？”<sup>⑥</sup>达芬奇界定了四种能，即运动、重量、力和打击力。达芬奇显然不仅深知试验的重要性，多次通过精确的观察和测量来验证自己的假想，而且还从发现中、

① 达芬奇进行了 30 余次人体解剖，他的笔记中有约 600 幅描画人体主要器官、骨骼、肌肉和血管的草图。这些奠定了他之为绘画大师的技能，也使他成为近代医学和生理学的先驱。这些草图现保存在温莎城堡皇家图书馆，其中的一些草图复制在卡洛·培蒂提编著的《利奥纳多·达芬奇，艺术家、科学家和发明家》第 398—427 页中。

② 麦克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，第 344 页。

③ 麦克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，第 197 页。

④ 麦克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，第 336—337 页。达芬奇研究光和阴影的手稿被称为“手稿 C”，现存法兰西学院图书馆。参见 Carlo Pedretti, ed., *Leonardo da Vinci, Artist, Scientist, Inventor*, pp. 532-541.

⑤ 麦克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，第 339 页。

⑥ 参见麦克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，第 215 页。



从那些被记录下来的现象的变化和联系的方式中总结一般性原理。

科学史家丹皮尔评论说，在伽利略之前一个多世纪，达芬奇就有效地使用科学实验方法。从历史的角度来看，达芬奇等文艺复兴艺术家/工程师的实验论哲学路数的形成并不是简单继承前人的结果，而是具有突变性。文艺复兴前夕，综合了古代希腊科学哲学知识的亚里士多德著述被悉数翻译后，引起自然哲学探讨方式的变化。亚里士多德坚持唯名论，承认个体，即感官对象的实在性，认为共相或观念是第二性的实在，这种观念有助于观察和实验科学的发展。亚里士多德也强调依据理性在观察所得的证据的基础上辨伪各种说法，<sup>①</sup>但他本人并不是一个系统地做实验的科学家，也没有强调其重要性。13世纪初，少数学者如牛津大学的罗杰尔·培根等认识到观察和实验对于验证科学假设的重要性，<sup>②</sup>培根使用了“实验科学”一词，认为实验的作用远在科学推理之上。<sup>③</sup>但是，还没有史料显示对近代科学实验方法形成有重要贡献的文艺复兴艺术家的实践受到了培根的影响。

达芬奇极为强调数学在科学研究活动中的重要性，<sup>④</sup>他在笔记本上写下“不是数学家的人不允许读我的书”。<sup>⑤</sup>达芬奇不仅是用图像表达科学思想的先驱，也是实验数量化的先驱。他在笔记中写道：“当一个人不能运用数学或建立在数学基础上的（方法）时，是不可能确证（任何事物）的”。“假如不能用数学加以演示，人类的任何探究都不能算是真正的科学。”<sup>⑥</sup>可以看出近代科学范式的两大方法论基础都在达芬奇的学术探讨活动中表现出来了。

科学作为一种知识体系，是对自然现象奥秘的理论性解释。近代科学区别于古代及中世纪科学的特征是它严格依赖实验的倾向和概括推理的形式，<sup>⑦</sup>换句话说，其理论主要是建立在对实验数据的分析、<sup>⑧</sup>概括和抽象推理上。<sup>⑨</sup>如果说近代科学是“通过实验和推理理解宇宙的一种方式”，那么，达芬奇显然在这么做了。<sup>⑩</sup>如前所述，1490年以后，达芬奇已经系统地对古代和中

① 参见 Jonathan Barnes, ed., *The Cambridge Companion to Aristotle*, Cambridge: Cambridge University Press, 1999, p. 136.

② 培根坚信要证明一种科学理论必须运用实验科学。“实验科学胜过各种依靠论证的科学，因为无论推理如何有力，……都不可能提供确定性，除非有实验证明它们的结论。……正如逻辑可以用来验证的论证一样。”参见 W. C. 丹皮尔：《科学史及其与哲学和宗教的关系》，李珣译，张今校，桂林：广西师范大学出版社，2001年第1次印刷，第80页。

③ 到了伽利略那里，实验在验证科学推理和发展科学定理上的重要性才被充分认识到。

④ 柏拉图在其学院门上注明“不相信几何学的人不许进入”，达芬奇对阿基米德的著作也特别感兴趣。

⑤ 达芬奇写道：“对自然的原因和规律的研究中，光线的研究最使人愉悦；在数学的所有伟大分支学科中，显示的确定性首先鼓舞调查者。透视表现法因此应成为所有人类学问之首。在透视学中，可见光线被借助于依赖数学和物理学之光耀的方法（分解）演示。”Martin Kemp, *The Science of Art: Optical Themes in Western Art from Brunelleschi to Seurat*, New Haven: Yale University Press, 1990, p. 5.

⑥ Carlo Pedretti, *Leonardo, the Machines*, Florence: Giunti Editore, S. P. A., 1999, p. 34.

⑦ David Goodman and Colin A. Russell, eds., *The Rise of Scientific Europe*, Sevenoaks: Hodder & Stoughton, 1991, p. ix.

⑧ 达芬奇的经验主义路线十分明显，他在笔记中写道：“我从不试图就那些人类精神所无法理解、自然也不能以事实证明的事物进行写作或发表意见。”麦克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，第297页。

⑨ 达芬奇写道：“自然界的不可思议的翻译者是经验。经验决不会欺骗人，只是人们的解释往往欺骗自己。我们在种种场合和种种情况下谈论经验，由此才能够引出一般的规律。自然界始于原因，终于经验，我们必须反其道而行之。即人必须从经验开始，以实验探究其原因。”转引自汤浅光朝：《科学文化史年表解说》，张利华、樊洪业译，北京：科学普及出版社，1984年，第38页。

⑩ 麦克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，第220页。

世纪的自然科学知识,尤其是光学进行反思,并在实验和数学的基础上提出新的理论。余下的问题是,既然如此,那么为什么近代科学未能在达芬奇的时代,而是在17世纪才诞生?大卫·古德曼认为这在很大程度上与达芬奇的个性有关,达芬奇并不致力于传播他的科学发现,也从未寻求出版自己的研究心得,尽管当时他离欧洲出版中心——威尼斯很近。另一个原因是虽然当时意大利北部有好几所大学,米兰大公斯福查也曾组织科学沙龙,讨论科学和技艺,但那个时代,米兰、威尼斯和佛罗伦萨仍未能形成一批学者和科学家在各专门领域从事研究的情况。<sup>①</sup>换句话说,科学家这一群体还未能形成,这是稍后即伽利略和牛顿那个时代才出现的。那时,伽利略的研究在罗马、牛顿的科学研究成果在英国皇家学会引起了相当的反响。达芬奇的科学札记是在他去世200年以后才得以出版并受到很大关注的。

#### 四、恰逢“bottega”时代

科学探讨活动在文艺复兴时期的意大利得以如此罕见地展开,与那时意大利的经济发展和从业习惯分不开。“15世纪的意大利是‘bottega’时代,‘bottega’是一个以画家的工作间/手工工场为核心的小公司,由画室的师傅和他的助手组成。”<sup>②</sup>他们接手各种订单:绘画、雕塑、市政建设设计、指导施工,甚至直接铸造金属器物,如达芬奇做学徒的画室就曾接受铸造大型青铜地球仪的订单。在那个时代,发展迅速的经济对技术有巨大需求。从10世纪到14世纪,意大利北部和中部的人口增加两倍,<sup>③</sup>闲置土地的开发需要大量的工匠和机械师指导参与排干沼泽、修筑运河和灌溉渠等。15世纪中期,意大利成为欧洲工商业和金融最发达的地区。佛罗伦萨约1/3的人口从事毛纺业,<sup>④</sup>其银行和贸易网络遍布欧洲。印刷术传入欧洲后,威尼斯又成为欧洲的出版印刷业中心。整个意大利北部的航海、建筑、采矿、毛纺、军火和机具制造等产业都发展起来了,需要大量技术人员。从佛罗伦萨的教育发展状况也可见对人才的需求。1340年,该城人口约9万,其1/9的人口约一万名男生就读于各种私立学校,学习算术、文法之类的实用科目。<sup>⑤</sup>

社会需求影响了人才的培养,多面手应运而生。达芬奇笔记中所包含的大量与当时工业、建筑、交通和运输相关的机械装置设计图,如吊车、绞车、齿轮传输装置、复杂的机床和水泵等就说明了此种情况。<sup>⑥</sup>于是在意大利便形成了一个特殊的工程师/艺术家群体,布鲁内勒斯基、曼勒蒂、吉贝尔蒂(Ghiberti, 1380-1455)、多纳泰纳(Donatello, 1386-1466)、马萨丘(Masaccio, 1401-1428)、乌切罗(Uccello, 1397-1475)、罗比亚(Luca della Robbia, 1400-1482)和达芬奇等是其代表。欧洲城市化进程的起步,各城邦与正在形成中的国家出于相互竞争和战争的需要也都欢迎艺术家/工程师为之服务。艺术家/工程师犹如中国春秋战国时期的

① “由于当时缺少一个有自我意识的科学家群体,达芬奇的成就没有得到更广泛的认可、传播和模仿”。参见 H. T. Pledge, *Science Since 1500: A Short History of Mathematics, Physics, Chemistry, and Biology*, New York: Harper & Brothers Publishers, 1959, p. 14.

② Gene Adam Brucker, *Florence, 1138-1737*, p. 216.

③ Daniel Waley, *The Italian City-Republic*, London: Longman, 1988, p. 4.

④ Gene Adam Brucker, *Florence, 1138-1737*, p. 84.

⑤ David Goodman and Colin A. Russell, eds., *The Rise of Scientific Europe, 1500-1800*, Kent: Hodder & Stoughton, 1991, p. 92.

⑥ Carlo Pedretti, *Leonardo da Vinci, Artist, Scientist, Inventor*, pp. 352-397.

“策士”和“纵横家”一样游走各国，用他们的艺术作品为所到地区增加荣耀和文化魅力，并以工程师的技能指导城防修固、军火制造和市政水利设施的修建。<sup>①</sup>

实际上，从古罗马以来就有建筑师、工匠和艺术家合为一身的传统。恺撒时代的建筑师维特努威在他的书中就要求建筑师成为多面手。这种传统在经济高涨的文艺复兴时期更为突出。建筑师不仅需要设计制图，而且还亲手制造运送和提吊沉重建筑材料的机械等，玩齿轮和螺丝是建筑师的常事。那个时代，“机器”和“建筑物”这两个词差不多可以互换使用。<sup>②</sup>画家的画室和手工作坊也是同一个词。“art”（技艺）这个词本身就涵盖艺术和技术两个含义，艺术与技术并不像现代这样相分离。

学徒工匠们从小在画室中被培养成这样的全才，并以此为生。以佛罗伦萨科技界的领袖布鲁内勒斯基为例，他精通建筑、雕刻和绘画，设计了包括佛罗伦萨大教堂在内的意大利多座著名大教堂，并在数学、几何、冶金、工程、解剖、透视等方面都有深入研究。他设计制作了精美的钟表、起重机、齿轮、车床和运河闸门，在实践中“创造了力学奇迹并奠定了现代建筑学及结构力学的基础”。<sup>③</sup>

弗朗切斯科·迪·乔尔乔·马尔蒂尼亚也是一位全才，马尔蒂尼亚从小接受绘画和雕塑方面的培训，后来被聘为乌尔比诺的军事工程总监，主持建造要塞、设计制造各种民用和军用器械，包括火炮、传送装置、压力泵、船、自动车甚至潜水服，也修建民用建筑、宫殿和教堂，甚至还主持家乡锡耶纳的下水道、喷泉和引水渠工程。著名画家列奥·阿尔贝蒂也是一位工程师和建筑家。他在其论文中主张“画家应该掌握所有对他艺术有用的知识”。<sup>④</sup>阿尔贝蒂同保罗·托斯卡奈利和达芬奇一样也做实验，并把结果记录下来。达芬奇深受阿尔贝蒂的影响，佛罗伦萨大学的诗歌和修辞学讲师克利斯朵夫洛·兰丁诺赞扬阿尔贝蒂首先是一位“自然科学家”。<sup>⑤</sup>托斯卡奈利跟踪并计算过数颗彗星的轨道，还为哥伦布指出前往美洲的海路。

达芬奇更是如此，他在给米兰大公斯福查的自荐信中声称自己能够建造攻城和护城的设备，带防护的车辆、云梯、防护墙、桥梁和地下通道；制造火炮、投石炮、火焰投掷器、船用水力机械；也可以制作青铜和大理石雕塑，并用透视法画人体素描、肖像画和花卉写生。<sup>⑥</sup>达芬奇担任米兰“首席工程师”后，他的工作除制作雕塑和绘画，还包括编导宫廷音乐会、设计城市庆典以及监管各地城防要塞的建造。达芬奇曾对米兰的街道和供排水系统进行规划，设计了一个使用水轮系统自动冲洗街道的装置。

达芬奇的杰出之处在于他不仅把大量时间用于研究和设计各种机械装备，也探讨其技艺的理论基础，尤其是从光学的角度研究绘画。<sup>⑦</sup>为了能有时间和经济能力做科学实验，他请求除每次完成作品得到报酬之外，还能获得月薪。<sup>⑧</sup>他的笔记画满为剧院演出设计的布景、几何图案、数学运算，各种机具，包括钟表齿轮、织布机、“机关枪”、“坦克”、“镰车”、水下呼吸器、轮船、<sup>⑨</sup>

① David Goodman and Colin A. Russell, eds, *The Rise of Scientific Europe, 1500-1800*, p. 91.

② 塞尔日·布朗利：《达·芬奇大传》，林珍妮译，上海：上海书店出版社，2007年，第196—197页。

③ 参见迈克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，“前言”，第6页。

④ 迈克尔·怀特：《列奥那多·达·芬奇——第一个科学家》，第52页。

⑤ Michael Baxandall, *Painting and Experience in Fifteenth Century Italy*, p. 114.

⑥ 参见温青编著：《达芬奇画传》，北京：中国广播出版社，2005年，第55页。

⑦ 这些机械制图和设计集中在收藏于米兰的被称为“Codex Atlanticus”笔记中。参见 Carlo Pedretti, *Leonardo da Vinci, Artist, Scientist, Inventor*, pp. 352-397.

⑧ 参见亚里山德鲁·韦佐西：《达芬奇——宇宙的艺术和科学》，第53页。

⑨ 《马德里手稿》中有风力驱动的轮船，参见 Carlo Pedretti *Leonardo, the Machines*, p. 76.

带螺旋装置的“直升飞机”以及降落伞。<sup>①</sup>他的手稿中还有一个由水力驱动的轮子带动一个类似活塞的圆筒装置的上下往返移动,与瓦特蒸汽机的原理刚好倒置。<sup>②</sup>达芬奇手稿中的机械制图,复杂而构形准确,给人的印象宛如现代机械工程师的机械设备蓝图。<sup>③</sup>这就是为什么达芬奇被称为“第一个科学家”的原因。达芬奇发现了艺术与科学之间深刻的内在联系,并使之完美地结合起来。

以布鲁内勒斯基和达芬奇为代表的“高级工匠”显然是一个与中世纪的工匠或建筑师不同的群体,他们理解自己的技艺活动的哲学意义和审美价值,并具有强烈的经验主义倾向,还热衷于理论创新。在许多方面,他们都同近代科学家相似,或者说他们是近代科学家的先驱,近现代科学家群体是以既能从事试验、制造和操纵技术装备,又能从理论(哲学)的角度分析、概括实验结果和技术问题为特征的。<sup>④</sup>文艺复兴艺术家的实践对近代欧洲科学的发展有多重意义。

## 结 语

乔治·莫兰德曾评论说:16世纪科学进步“部分要归因于像莱昂纳多·达芬奇这样的高级工匠,他们着眼于其技艺(arts)的理论基础”,部分要归因于对技术和工艺进行概括评述的学者。<sup>⑤</sup>文艺复兴艺术家对近代科学的贡献在于他们示范了如何从观察和实验入手去发现自然现象的奥秘,而且,他们还通过所收集的经验证据去挑战语词的权威,并用几何学的方法图示其发现,并试图建立一般原理。<sup>⑥</sup>文艺复兴艺术力图逼真描摹物象世界的光影特征和空间关系,在一维平面上重构三维空间世界;科学则用语言、定理和公式来说明这个物象世界的内在结构和变化的规则,两者都试图真实地重构世界,只不过手段和媒介不同。如托马斯·库恩所评论:“我们越仔细地区分艺术家和科学家,我们的任务就变得越艰难。”<sup>⑦</sup>文艺复兴盛期艺术家在进一步探讨各种场景和形象显现的内在结构性原理时,既是偶然地,也是十分自然地进入了科学研究的领域。

15世纪发轫的“视觉艺术革命”及其最重要成就——透视学——赋予了艺术家和科学家有序地观察杂乱的物象世界的一个支点,并且强有力地促进了用逼真的场景和几何学方法来图示

① 达芬奇着迷于使人飞翔的机具。参见洛伦佐编:《达芬奇的飞行装置》(Domenico Laurenza, ed., *Leonardo on Flight*, Florence-Milan: Giunti, 2004),第44、45页。

② Carlo Pedretti, *Leonardo, the Machines*, p.73. 在第69页的笔记插图中,绘有蒸汽驱动的风扇和重锤。

③ Carlo Pedretti, *Leonardo, the Machines*, pp.73-74.

④ 许多工匠如达芬奇并没有受过大学教育,他们是博学成才。达芬奇从1497年到1505年就阅读了其私人图书馆里的170多本书(印刷术传入欧洲时,全欧仅有一万余种书),包括亚里士多德的《物理学》、普林尼的《自然史》、阿尔贝蒂的《建筑学》以及外科学和数学等方面的著作。到米兰5年后,达芬奇开始像学者一样总结自己的艺术和技术实践经验,他整理自己多年写下的笔记,计划撰写论文。这标志着达芬奇从艺术家向探讨科学奥秘的学者的转换。参见亚里山德鲁·韦佐西:《达芬奇——宇宙的艺术和科学》,第60页。

⑤ 参见G. 帕金森编:《文艺复兴和17世纪理性主义》,田平等译,北京:中国人民大学出版社,2009年,第127页。

⑥ 希腊人善于从直观或常识所显示的规则或观念进行演绎推理,个别科学家如阿基米德也善于通过简单实验来得出科学发现,但“希腊人在物理学的实验科学方面没有产生重大影响”。参见H. T. Pledge, *Science Since 1500: A Short History of Mathematics, Physics, Chemistry, and Biology*, p.11.

⑦ Thomas Kuhn, “The New Reality in Art and Science,” *Comparative Studies in Society and History*, vol. 11, no. 4 (Oct. 1969), p.403.

和看待物理力学问题。文艺复兴绘画的审美观也对近代科学理论的形成有帮助。“数学透视法”用几何学的方法来显示自然场景的空间关系和光影特征，他们还推崇结构的均衡和几何式对称。在这种审美观影响下，近代初期的科学家不仅把宇宙视为结构匀称的世界，而且得以使用圆形以外的多种几何图形来显示天体轨迹。库恩就指出，文艺复兴艺术家的审美观念出现后，椭圆形的轨迹才能进入天体理论中，它更准确地反映天体运行的真实状况。开普勒接受了哥白尼的学说，并用椭圆轨迹成功解释天象，推动近代天文学又大大前进了一步。<sup>①</sup>这被视为近代科学的划时代成就。

如果说科学革命的核心是范式革命，那么文艺复兴时期则是欧洲近代科学范式诸多要素的形成期，这些要素包括对宇宙的几何透视观念、<sup>②</sup>认识到可通过试验发现宇宙奥秘；出现从事实际技术活动和科学理论探讨合为一身的新型社会群体等。<sup>③</sup>在中国，直到 19 世纪，这些要素都还未能形成，追寻其中的原因及其更深广的文化背景是营造有利于中国当代科技创新背景的重要任务。

〔作者何平，首都师范大学历史学院教授。北京 100083〕

（责任编辑：舒建军）

① Thomas Kuhn, “The New Reality in Art and Science,” p. 405.

② 伊懋可曾指出缺乏对机器的一种几何透视观影响了中国的技术进步。对西方人而言，“机器是运动状态中的几何体”。“17 世纪以后，正是这种能在机械中看到几何学的影子，看到机械背后的那些抽象的线条框架和角度，并日益在技术书籍中以机械绘图的形式加以表现的能力，使近代欧洲人与中国人相区别”。参见 Mark Elvin, “Skills and Resources in late Traditional China,” in Dwight Perkins, ed., *China's Modern Economy in Historical Perspective*, p. 111.

③ 从明末清初来华传教的耶稣会士身上也可看出中欧学者在知识和技能结构上的不同。耶稣会士既作画，也制作天文仪器，并传播科学知识，中国学者中却很少有这样的人。