

试论17世纪的中国科学革命

——以观念的转变为中心

刘皓垚

内蒙古师范大学科学技术史研究院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2023年5月3日; 录用日期: 2023年5月26日; 发布日期: 2023年6月5日

摘要

科学的发展模式有连续性和断裂性两种特征, 以后者为主的过程被称之为科学革命。17世纪中国科学也经历过一次断裂式的变革, 贯穿这一过程的是地球观念的传入、接受和应用。它对中国古代的天文学、地理学和计量学产生了深远的影响。但由于这一革命对当时的社会、文化和政治的触动是有限的, 使得科学的近代形态并没有在中国产生。

关键词

崇祯历书, 地球观念, 传教士, 科学革命

On The Chinese Revolution of Science in the 17th Century

—Centered on the Transformation of View

Haoyao Liu

Institute for the History of Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

Received: May 3rd, 2023; accepted: May 26th, 2023; published: Jun. 5th, 2023

Abstract

The development model of science has two characteristics: continuity and rupture. The process of the latter is called the scientific revolution. In the 17th century, Chinese science also experienced a break-up change, which was accompanied by the introduction, acceptance and application of the view of the earth. It had a profound impact on astronomy, geography and metrology in ancient

China. However, due to the limited social, cultural and political influence of this revolution, the modern form of science did not emerge in China.

Keywords

Chongzhen Lishu, Concept of Earth-Globe, Missionary, Scientific Revolution

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 科学革命是否在中国发生过

贝尔纳较早地提出过“中国科学革命”的论题，他说：“有史以来，在大部分期间，中国一直是世界三四个伟大文明中心之一，而且在这一期间的大部分时间中，它还是一个政治和技术都最为发达的中心。研究一下为什么后来的现代科学和技术革命不发生在中国而发生在西方，是饶有趣味的[1]。”李约瑟博士对中国有关科学和技术的丰富史料进行研究之后，提出了著名的“李约瑟难题”：为什么中国古代将自然科学知识应用于造福人类方面成绩显著，但是近代科学革命却发生于欧洲，而不是中国？可以发现，贝尔纳和李约瑟都认为“科学革命没有在中国发生过”。但是，他们都是基于“近代实证科学的产生”而言的。

很多学者误解了“近代科学革命没有在中国发生”的含义，进而提出了“中国古代有无科学”的论题。李约瑟博士对此有过评论，它被称之为“李约瑟第一悖论”：“如果科学仅仅被定义为近代科学，那么它的确仅仅起源于文艺复兴后期、伽利略时代的西欧。从科学整体而言，有大量无可争辩的事实证明，从公元前5世纪至15世纪中国科学技术成果辉煌，遥遥领先于欧洲。这样，中国科学近代落后的问题，既不是从来就落后，更不是从来就没有科学，而是中国没有产生近代科学，是近代科学落后[2]。”

李约瑟博士的回答是中肯的，中国古代的“科学”既不是近代实证科学意义上的科学，中国古代的“科学革命”也不是近代数理实验科学的产生意义上的“科学革命”。我们认为，中国古代有自己的科学传统，而这一传统在发展过程中经历过“断裂性”的变革。

“断裂性”或“跳跃性”是对科学发展模式的一种描述，与之相对的是“连续性”或“渐进性”。逻辑经验主义者认为科学的发展是一个实证的、渐进的过程，而波普尔则认为科学的发展是一个不断证伪的、革命的过程。拉卡托斯和库恩将二者结合起来，分别建立了“科学研究纲领”和“范式革命理论”的模型。虽然众说纷纭，但是人们逐渐取得共识，即科学的发展是一个连续性与断裂性并存的过程，并且，断裂性的变革对科学的发展更为至关重要。

在大约17世纪初，中国古代科学的发展也体现了连续性与断裂性并存的特征。以天文历法为例，随着《大统历》在预测天象变化中的误差越来越大，一部分人试图从《大统历》的前身即元初《授时历》处找到启发，从而在续接前人成就的基础上修改历法，代表人物有邢云路、魏文魁、冷守中等；另一部分人则试图从耶稣会士传来的西方历数知识处找到出路，从而在传统天文历法外建立一种新的理论机制，以应对中国传统天学的需要，代表人物有李之藻、徐光启、李天经等。

将这一事件的后续影响推到清朝钦天监的运行以及众多知名学者的应对上，我们发现，仅仅用连续性的科学发展模型缺少足够的解释力，将“断裂性的变革”特征引入其中是必要的。这一断裂性的变革，我们称之为17世纪中国的科学革命。

主张“17世纪中国发生过科学革命”的代表人物是席文。他说：“西方的数学和数理天文学被引进中国,开始于1630年左右,一些学者,包括梅文鼎(1633~1721),薛凤祚(1620~1680)和王锡阐(1628~1682),很快对此做出了反应,最终重塑了中国天文学的研究方式。他们从根本上彻底改变了人们对天体运动的理解,他们改变了人们对什么观念、工具和方法具有核心重要性的思想,从而使几何学和三角学在很大程度上取代了传统的算数或代数学式。行星自转的绝对方向,以及它和地球的相对距离等问题首次变得重要。中国天文学家第一次相信数学模型可以解释和预测现象。这些变化相当于天文学的概念革命[3]。”

有学者将席文的主张总结为“科学理论革命”[4],这是与“科学方法革命”、“科学建制革命”等并列的理解。但是,用“理论的革命”来理解“科学革命”是不够深入的,会暴露出很多弱点。例如,席泽宗就批评道:“中国传统的代数方法事实上也不失为一种数学模型,西方的几何体系引入以后,可以说绝大部分中国天文学家也将其视为一种计算方法。著名学者钱大昕的一段话很有代表性:‘本轮均轮,本是假象,今已置之不用,而别创椭圆之率。椭圆亦假象也。但使躔离交食,推算与测验相准,则言大小轮可,言椭圆亦可。’显然,几何体系只是一种计算方法。由于中国天文学家大部分都不认为几何体系是宇宙真实情况,其意义与欧洲的哥白尼革命就不可同日而语了[5]。”在西方科学革命的问题上,柯瓦雷也曾断言,作为方法和手段的实验,在科学革命中作用甚微,“它只是科学革命的结果而不是原因[6]。”

科学观念的变革才是科学革命的本质。对此,柯瓦雷说:“这一过程的结果是人在宇宙中失去了它的位置,或者更确切地说,人失去了那个他生活于其中,并对其进行思考的世界,人要转变和更迭的,不仅是他的基本概念和属性,甚至是他的思维框架本身[7]。”库恩在《科学革命的结构》中将“革命是世界观的改变”作为章节标题,他认为,科学革命的实质就是范式的革命,而范式的重要组成部分就是科学家的世界观,因此“在革命之后,科学家们所面对的是一个不同的世界[8]。”科恩将“思想革命”放在科学革命四阶段的起始点,它也是贯穿科学革命全过程的核心线索。这些科学史家和科学哲学家都把“观念的变革”置于理解科学革命的中枢。

因为观念的革命是“大写的”科学革命,同时也是哲学革命。它不同于“小写的”诸科学革命或不同科学学科内部的革命。“科恩把科学革命(Scientific Revolution)与科学中的革命(Revolution in Science)进行了区分。他所谓的科学革命(大写的科学革命),是指大规模的科学变革,用他的话来说,即指‘对所有科学知识均有影响的革命’[9]。”译者前言 VI 也有学者将古希腊自然哲学称作一次“大写的”科学革命,认为它“不是通过超自然的因素来认识自然,而是通过自然的因素来认识自然,而且还表现在它是哲学意义上的革命,即通过哲学的方式来认识世界,从‘神学式科学’走向‘哲学式科学’[10]。”

世界观的转变在中国17世纪科学革命中的地位更加重要,它为中国人提供了关于秩序、运动、表达等方面的新思想,开始触动了上千年未曾有过动摇的思维框架。

2. 十七世纪中国科学革命的世界观

大多数人都持有一种经验主义的立场,认为人们观察到的东西对人们的认识起决定性的作用,因而对观念的重要性不太重视。这对科学的发展是有影响的。吴国盛认为:“在埃及和巴比伦,无论天文观测有什么新的发现,都不会影响他们的神话宇宙观。在中国古代也是一样,对天体运动的观测没有对采纳哪种宇宙论有决定性的影响。中国古代的盖天说、浑天说和宣夜说,从未从天文观测中得到加强或削弱。但是,希腊人的天文学与宇宙论密切互动:一方面,天文学以宇宙论为基本框架;另一方面,宇宙论按照天文观测进行调整[11]。”这显示了希腊人“重视观念”形成的科学优势。

中国古代科学与之形成鲜明的对比。唐朝时期,僧一行的天文大地测量证伪了“千里差一寸”,否认了北极出地度数固定为36度;“仪器、盖图、实测记录、历法中的北极出地趋于多样,元郭守敬‘四

海测验’后更甚。”但是，“儒者在表述浑天说时，北极出地仍是三十六度。”因此，唐宋之后，“实际天文工作与儒家天文传统趋于分裂。前者为不同宗教背景的西来专家、本土僧人、司天监官员等专业圈子掌握；后者崇信的浑、盖理论，相比日益精密的天文实践皆过于粗糙而无法协调，只能泛泛论天[12]。”明朝《大统历》沿用《授时历》后误差不断，却一直没有能力建立一种新的模型，只能因循守旧地做一些技术性的工作。这表明，中国古代科学理论的发展已经陷入了停滞。

就在此时，“地球观念”为中国古代科学理论的发展注入了活力。它既不是从原来的宇宙观念中演绎出来的，也不是由中国人从其他地方构建起来的，而是通过耶稣会士传入中国的。中国人对它们的接受与应用表明了古代的世界图式发生了革命。

“天球-地球”的宇宙秩序是一种希腊式的世界图式，它认为，宇宙由圆形的地球和天球构成，地小天大，地球居于宇宙中心，天球分为若干层、包裹其外。这种世界图式中的“天球”观念很容易就被中国人接受了，因为传统宇宙论中的“天”与之形似。盖天说的天是半球，浑天说的天是一个正圆。传统文化中对天的层数也有许多想象。《四库全书总目》对《乾坤体义》的评价中说：“以七政恒星天为九重，与楚辞天问同[13]。”因此，相比之下，地球观念更具有革命性。

首先，地球说将海洋视为大地的一部分，会在理论上解决浑天说面对的“太阳如何从水中出入”的困难；其次，地球只是诸天星辰中的一颗，地与天不再是等大的。因此，这种观念可能会取消“天地”或“天地人”思想中“地”的合法性，并进而冲击阴阳平衡的观念；其次，大地是没有中心的，这会导致“地中”概念的瓦解，进而潜在地否认“中心-外围”的世界秩序，甚至在一定程度上会冲击“中华-四夷”的文化模型与政治模型；再次，天地对应被取消，天人感应的叙事可能就不再被视为是理性的，天人合一可能会失去哲学基础；最后，从《崇祯历书》开始，地球与太阳的相互关系成为天文学的重要议题，以北极为中心的天体秩序被废除，那么构建新的天上秩序与地球秩序就成为中国人的一件大事。这些可能的变化都包含在地球观念之中，只要相应的社会历史条件得到满足，就有可能转化为现实。

不过，观念转变的前提是接受。由明末耶稣会士传入的地球观念第一次被中国人接受，可它的传入并不是第一次。“在北齐(550~577)到唐玄宗开元年间(713~741)之间，西方地球观念就已经传入中国。”“到了元朝，西方的地球说再次传入我国[14]。”它可能对郭守敬的大地测量有过影响[15]。但是总的来说，这两次地球观念的传入对中国学术界和思想家没有产生太大的影响。

明末清初，地球观念被中国人纳入了正统的知识体系中，《明史》中说：“其言地圆也，曰地居天中，其体浑圆，与天度相应。中国当赤道之北，故北极常现，南极常隐。南行二百五十里则北极低一度，北行二百五十里则北极高一度。东西亦然。亦二百五十里差一度也。以周天度计之，知地之全周为九万里也。以周径密率求之，得地之全径为二万八千六百四十七里又九分里之八也。又以南北纬度定天下之纵[16] (P. 228)。”

随着利玛窦等人将西方宗教、科学、哲学等思想的传入，地球观念撼动了中国人的心灵，并促使中国人开始重新审视世界。《四库全书总目》评价《表度说》中所说：“是时地圆地小之说初入中土，骤闻而骇之者甚众。故先举其至易至明者，以示其可信焉[13]。”就具体的自然知识而言，受地球观念影响最大的中国古代科学是天文学、地理学和计量学。

其一，地球意味着诸天星辰不仅在“地上”有，而且在“地下”也有。因此，三垣二十八星宿的天文系统就不适用了。全天星图变更为以南极星和北极星为参照系的星象知识。利玛窦始作《赤道南极星图》与《赤道北极星图》，自此之后，“这种绘有赤道南北诸星的全天星图颇受青睐，流传较广。”如，“汤若望、徐光启、南怀仁等人均先后绘制过《赤道南北两总星图》，并收入明《崇祯历书》、清《钦定仪象考成》等官书之中。这类星图按照几何投影原理，将天球依赤道平分为两个半球，一以北极为圆

心，一以南极为圆心，皆以赤道为界，分别描绘出南北半球所见诸星，其中北极星图乃是‘中国所尝见者’，而南极星图则是‘中国未所见者’[17]。”星图的变更同时也终结了传统的天文分野学说。

其二，地球意味着客观上不存在一个大地中心，历史上的“北极之下为天地之中”、“落邑地中说”、“阳城地中说”等地中学说被彻底终结了，论证之前的地中理论和寻找新的地中位置没有了前途，人为的定义成为地理学的标准：“以京师子午线为中，而较各地所偏执度[16] (P. 244)。”“传统的地中说真正地寿终正寝。剩余的，只有纯粹的文化史意义了[18]。”同时，地球观念的引入导致地理经纬度概念的采用，从而使中国的地图绘制出现了崭新的面貌，例如康熙时期的《皇舆全览图》、乾隆时期的《乾隆内府舆图》都是在此基础上测绘的[15]。

其三，地球观念对中国古代计量学的影响体现的两个方面，分别是长度计量和时间计量。中国古代长度计量的尺度基准是建立乐律累黍说基础上的，但是，“律管发出的音律是否是黄钟律，是由人耳判断的，这就难免要带来主观性。”因此“用乐律累黍方法制定的度量衡基准，就不可避免会出现不确定性现象。”康熙皇帝把地球经纬弧长作为参照制定了新的长度基准，通过比例推算而不是实际测量来确定相应地点的地理位置。“他的这一主张，是在地球观念的影响下提出来的，这是不言而喻的[14]。”另一方面，地球观念也帮助中国人对“里差”现象做出合理的解释，从而促进了“地方时概念”的建立和计时仪器的改造。

总而言之，地球观念“得到较大面积的接受”。不仅“得到了大部分数学天文学者的认同，如王锡阐、梅文鼎、康熙等等。甚至在普通民众中也得到认可。夏敬渠，一个普通士人在其作品中这样描述西方宇宙观念：‘……指着璇姑的香脐道：这就算是地了，这脐周就是地面，这脐心就是地心。在这地的四周量至天的四周，与在这地心量至天的四周，分寸不是差了么？所以算法有这地平差一条，就是差着地心与地面的数儿。璇姑笑道：天地谓之两大，原来地在中不过这一点子，可见妻子比丈夫小着多哩[19]！’”

3. 十七世纪中国科学革命的结局

科学革命的视野有大、小两种。例如牛顿革命，以一种大视野看，它是继哥白尼、伽利略、开普勒等之后完成“综合”的一次科学革命；以一种小视野看，它是对当时教科书中具有权威地位的笛卡尔主义的科学理论的一次革命。同样的，中国17世纪的科学革命，以一种大视野看，它是从16世纪末利玛窦传入西学开始，一直到18世纪初上至皇帝下至民间学者都接受了地球观念为止的一次科学革命；以一种小视野看，它以崇祯改历中的历法之争为主要内容，以《崇祯历书》的编撰完成并成为官方权威为止，构成革命的主要过程。

总的来说，中国17世纪科学革命是成功完成了的。它使中国古代科学的发展露出了崭新的面貌。一方面是科学权力的转移。正如科恩所说：“虽然人们通常也许不会认为科学革命中包含着激烈的暴力活动，但是，科学中许多伟大的革命业已显示出了一种与武力推翻一个政府相类似的活动模式。在一场科学革命中，往往会有一系列这样的行动，通过这些行动，可以获取对科学出版界和教育体制等的控制，并控制住科学院、科学实验室以及那些负责政策制定、财力分配的重要的科学委员会中的权力宝座[9] (P. 30)。”

自清廷顺治一朝开始，基督教徒大多数时间都把控着钦天监监正、监副的位置，如汤若望、南怀仁、闵明我、徐日升、安多、索德超、福文高、南弥德、高守谦等[20]。而钦天监就相当于中国古代天文历法的“科学院”、“科学实验室”和“科学委员会”。这意味着，主导天文历法领域的研究方式的是一群绝对信奉地球观念的“科学家”。当然他们不仅仅有基督教徒，还有一些曾经是崇祯改历时期历局中的人，如朱光大、贾良奇、刘友庆、刘友泰等。他们与科学革命之前“不信奉地球观念”的科学家生活在两个世界。科恩称这种变化为“改宗现象”。这与一些士人从“尊朱明为天下正朔”到“尊满清为天下正朔”是相似的。

另一方面是理论范式的重塑。《四库全书总目》对《新法算书》评价道：“《御制数理精蕴》、《历象考成》诸编，益复推阐微茫，穷就正变，……推步之密，垂范万年。又岂非光启等所能企及。然授时改宪之所自，其源流实本于是编[12]。”也就是说，后续的历法天文学著作都是基于徐光启等人编的《崇祯历书》而成的，不论是对其中内容的批评还是发挥，都是在新的研究框架下进行的。而《崇祯历书》的框架是以对地球观念的接受和应用为前提才成立的。

如《崇祯历书·历引》第一章的“寰宇序次”中所说：“寰宇者，括天地万物之总名也。水附地以成一球，凝莫于中，天为大寰包其外，地之周则气充溢之……于是因处地球者视日景之不同有五，所以分为五带……为暖带……为温带……为冷带……古有谓月天之上为辰星，为太白，为太阳、荧惑、岁星、填星、列宿、宗动诸天。其外尚有三层，共十二层，如葱白之层相包裹也[21]。”

虽然有这些新的变化，但是中国的科学革命相较欧洲近代的科学革命而言，却是不能令人满意的。人们最大的不满，就是中国没有产生近代科学。17世纪的中国科学仍旧是追求实用性，而不是追求理论性，仍旧是服务于皇权政治，而不是独立自主。中国科学自身之特性或许要为此负责。然而科学的这种外在表现受社会条件的影响更大。席文曾反问道：“科学革命形成以后，很快就蔓延到几个文化先进的国家。法国是其中一个。中国是另一个。……中法两国内发展过程的差别，原因不在科学本身，而在于社会条件。明末政府僵化，清代社会矛盾十分尖锐，帝国主义侵略，民国政府腐败的情况下，科学技术怎么能够发达呢？从鸦片战争一直到解放，一百多年常常打仗，那算什么条件呢[22]？”

当然，更多的学者并不愿意用“社会条件”这种说辞来为中国科学的落后开脱，他们将其归结于“中学西源”的人为判断。正是这种自大的民族心理和错误的政治决策，使得17世纪中国科学的跃迁失去了宝贵的机会。例如，“在《历学疑问》(1693年)中，梅文鼎专设‘地圆可信’一节，指出地圆说无疑是正确的。在《历学疑问补》(1705年)中，他则认为中国居于地球之正面，而其他国家处于地球之背面，在承认地圆说的前提下，处心积虑地拔高中国的地位。他还全力论证‘《周髀算经》虽未言明地圆，而其理其算，已具其中矣。’并认为地圆说‘窃疑为周髀遗术，流入西方者’[23]。”这类“西学中源”的观点得到了当时大多数学者的认同，影响甚广。

但是客观地讲，“归咎于古人”的认识是不明智的。因为历史之中的人是不可能摆脱历史的局限性的。且不提佛学传入中国时，尚有“老子化胡”、“佛法是道法之分支”之类的解释，而这种误解需要数个世纪的深入了解才能解开。即使在欧洲也有类似的情况。“在现代科学最初的100年左右的时间里，许多伟大的富有创造性的科学家们，更愿意把他们自己看作是古代知识的复兴者或重新发现者(与他们同时代的人甚至也这样看)，他们甚至认为自己是改善和扩展知识的革新者，但不认为他们自己是我们今天通常所说的那种革命性人物[9](P. 23)。”也就是说，在深刻地了解新事物之前，借助传统进行理解反而是正常的。那种脱离历史条件的“正确认识”反而是不可思议的。

4. 结论

托勒密体系、第谷体系等天文学理论虽然在今时来看是落后的，但在当时却是世界上最先进的科学理论。更为重要的是，其中所蕴含的地球观念，虽然对欧洲人而言已经“司空见惯”，但对古代中国人而言，是一次观念上的冲击。这一冲击借助崇祯改历一事促成了17世纪中国科学革命的发生和完成。

这场革命对中国古代天文学、地理学和计量学产生了深远的影响。基于地球观念，中国人放弃了“天有分星，地有分野”的学说，天文和地理真正开始成为两门相对独立的学科。天文学开始绘制和运用以赤道为分界的南极星图与北极星图；“地中”随着“天极”一并被刨除出地理学，“地球经纬”概念被运用于康熙时期和乾隆时期的地图绘测。计量学也从“黄钟律吕之学”中独立出来，地球的周长成为确定长度标准的参考，地方时成为可理解的科学概念。

以《崇祯历书》为框架的传教士科学虽然位于 17 世纪中国的科学权力中心,但是由于它对政治秩序和社会文化的影响是微弱的,并没有让中国科学突破当时的社会历史条件,蜕变为近代科学的形态,以至于逐渐落后于西方。因此,这是一场有限的科学革命。不过,将这种结果归咎于“西学中源”之古代人的不智,是有失偏颇的。

参考文献

- [1] J.D. 贝尔纳. 科学的社会功能[M]. 陈体芳, 译. 张今, 校. 北京: 商务印书馆, 1982: 297.
- [2] 刘则渊. “李约瑟悖论”的理论内涵与经济背景[J]. 科学文化评论, 2017, 14(4): 49-61.
- [3] 李国豪, 张孟闻, 曹天钦. 中国科技史探索[M]. 上海: 上海古籍出版社, 1982: 101-102.
- [4] 张祖林. 从“李约瑟难题”到席文的中国 17 世纪科学革命说[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2003(3): 436-440.
- [5] 席泽宗. 十七、十八世纪西方天文学对中国的影响[J]. 自然科学史研究, 1988(3): 237-241.
- [6] 黄河云. 柯瓦雷的科学革命观研究[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湘潭大学, 2019: 58-59.
- [7] 亚历山大·柯瓦雷. 从封闭世界到无限宇宙[M]. 张卜天, 译. 北京: 商务印书馆, 2016: 2.
- [8] 托马斯·库恩. 科学革命的结构[M]. 金吾伦, 胡新和, 译. 北京: 北京大学出版社, 2003: 101.
- [9] 伯纳德·科恩. 科学中的革命: 新译本[M]. 鲁旭东, 赵培杰, 译. 北京: 商务印书馆, 2017.
- [10] 肖显静. 古希腊自然哲学之科学革命论[J]. 长沙理工大学学报(社会科学版), 2020, 35(5): 8-23.
- [11] 吴国盛. 希腊天文学的起源[J]. 中国科技史杂志, 2020, 41(3): 397-405.
- [12] 毛丹. 两汉魏晋“天论”分析: 中西交通大背景下的源流考察[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2016: 112.
- [13] 吴伯娅. 《四库全书总目》对西学的评价[J]. 首都博物馆丛刊, 2002: 121-129.
- [14] 关增建. 地球观念的传入及其对中国计量发展的影响[J]. 上海交通大学学报(哲学社会科学版), 2005(6): 52-57.
- [15] 关增建. 中国天文大地测量的历史演变[J]. 自然科学史研究, 2018, 37(4): 424-437.
- [16] 张廷玉. 明史[M]. 北京: 中华书局, 2000.
- [17] 邱靖嘉. 天文分野说之终结——基于传统政治文化嬗变及西学东渐思潮的考察[J]. 历史研究, 2016(6): 34-51+189-190.
- [18] 关增建. 中国天文学史上的地中概念[J]. 自然科学史研究, 2000(3): 251-263.
- [19] 宋芝业. 明末清初中西数学会通与中国传统数学的嬗变[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2010: 311-312.
- [20] 屈春海. 清代钦天监暨时宪科职官年表[J]. 中国科技史料, 1997(3): 45-66.
- [21] 石云里, 褚龙飞. 崇祯历书: 合校[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2017: 174.
- [22] 席文. 席文教授的一封来信[J]. 自然辩证法通讯, 1987(1): 69.
- [23] 陈美东, 陈晖. 明末清初西方地圆说在中国的传播与反响[J]. 中国科技史料, 2000(1): 6-12.