

基于 GIS 的北京市大型科研仪器空间聚集性分析

岳琦, 王晋

(国家科技基础条件平台中心, 北京 100038)

摘要: 为了解大型科研仪器空间配置的合理性, 该文使用莫兰指数分析了北京市仪器空间分布情况和自相关性。研究表明, 北京市仪器分布存在极显著 ($P<0.01$) 的空间自相关性, 近十年全局莫兰指数逐年增加, 仪器分布呈现越来越聚集的特点。物理、化学、生物、天文、地理等基础学科科研仪器具有高度的空间自相关性, 且向周边区域扩散的效应明显; 物理、化学、生物学科科研仪器集中在清华、北大至奥运村范围内, 主要向北扩散, 其中生物学科仪器扩散范围最广; 电子信息、新材料等领域科研仪器具有高度的空间自相关性, 仪器空间聚集与产业聚集区域基本一致, 呈现出仪器对产业发展具有带动作用。

关键词: 科研仪器; 地理信息系统; 空间聚集性; 科技资源

中图分类号: G311 **文献标识码:** A

Analysis of spatial aggregation of scientific research instruments in Beijing based on GIS

Yue Qi, Wang Jin

(National Science and Technology Infrastructure Center, Beijing 100038, China)

Abstract: In order to understand the rationality of the spatial allocation of scientific research instruments, this paper uses Moran index to analyze the spatial distribution and autocorrelation of instruments in Beijing. The research shows that there is a very significant ($P<0.01$) spatial autocorrelation in the distribution of scientific research instruments in Beijing. The global Moran index has increased year by year in the past decade, and the distribution of instruments has become increasingly clustered. Scientific research instruments of basic disciplines such as physics, chemistry, biology, astronomy and geography have high spatial autocorrelation, and the spread to surrounding areas is obvious. The scientific research instruments of physics, chemistry and biology are concentrated in the area from Tsinghua University, Peking University to the Olympic

收稿日期: 2022-06-10

作者简介: 岳琦 (1990—), 男, 山西清徐, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为科技资源管理、科研设施与仪器开放共享, yueqi0205@vip.qq.com。

通信作者: 王晋 (1981—), 男, 河北沧州, 学士, 处长, 主要研究方向为科技资源管理、科研设施与仪器开放共享, wangji@most.cn。

Village, mainly spreading northward, of which the instruments of biology are the most widely spread. Scientific research instruments in the fields of electronic information and new materials have a high degree of spatial autocorrelation, and the spatial aggregation of instruments is basically consistent with the industrial agglomeration area, showing an industry-driven effect.

Key words: scientific research instrument; geographic information system; spatial aggregation; scientific and technological resources

大型科研仪器是用于探索未知世界,发现自然规律,实现技术变革的复杂科学研究系统,是突破科学前沿,解决经济社会发展和国家安全重大科技问题的技术基础和重要手段^[1]。建设国家战略科技力量是党中央做出的重大战略部署,科技资源的布局关系到科技和经济社会长远发展^[2-3]。从世界范围看,科研资源集聚已经是一个非常普遍的现象,美国科技资源主要集中在旧金山湾区、纽约湾区,日本科技资源集中在东京湾区,欧洲科技资源主要集中在英格兰南部、德国慕尼黑-法兰克福、德国不莱梅-汉堡-柏林、法国巴黎周边^[4]。集聚科技资源,加强科技创新,已成为全球各国提升科技创新能力的重要举措。

我国的科技资源主要集中在北京、长三角、粤港澳大湾区等区域,主要分布在高校和科研院所^[5-7]。企业普遍缺乏科技资源^[8],尤其是中小企业因缺乏科研仪器造成技术升级困难,就要求这些企业要与该领域高校院所在空间上形成一定程度的聚集,在创新链和产业链上加强对接合作^[9-11]。因此,在有限的科技资源约束下,研究科技资源配置的重点方向和布局,有助于科技资源配置效率的提高,助推产业关键共性技术的攻关^[12]。

科研仪器的资源配置依赖高校和科研院所的年度财政预算,高校院所仪器购置论证主要考虑本单位相关学科发展,因此仪器购置和配置存在一定程度的重复和闲置浪费的情况^[13-14]。从整体上看,在数学、物理、化学等基础学科因从事相关研究单位较多且研究内容相近,造成仪器的重复购置现象突出;在人工智能、生物育种、空天科技等前沿领域的仪器则存在受限于国外厂商产能有限、高校院所仪器购置经费不足、仪器购置代理商水平差异较大等原因,造成部分尖端学科仪器缺乏,制约了相关的科研发展^[15]。

基于此,本文基于国家科技基础条件资源调查数据,利用 ArcGIS 软件对北京市行政区域内科研仪器空间分布特征进行统计分析,研究重点学科领域和前沿领域科研仪器配置情况,为大型仪器购置和配置提供依据。

1 分析方法

1.1 数据来源

大型科研仪器数据来源科技部、财政部组织的 2021 年国家科技基础条件资源调查工作，调查范围基本覆盖了国务院和地方部门所属的理工农医类高等学校和自然科学类科研院所，调查内容主要包括原值 50 万元及以上大型科研仪器、生物种质资源、科学数据库等科技资源。其中科研仪器学科分类采用《中华人民共和国学科分类与代码（GBT/13745-2009）》。

科研仪器存放位置，以财政部行政事业单位资产管理信息系统数据中地址信息为准，使用百度地图将仪器地址信息转化为空间坐标。北京市行政区划数据为 1:10 万乡镇行政区划，数据包括省级、地级、县级、乡级行政区。

1.2 空间聚集性分析方法

本文使用全局莫兰指数（Global Moran’s I, GMI）测算空间聚集性程度^[16]。GMI 检验的是整体数据空间自相关关系，计算公式如下。

$$GMI = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}}$$
 (1)

式中，n 为最小行政单元乡镇数量； x_i 和 x_j 分别为 i 空间区域和 j 空间区域的大型科研仪器总数量或总原值， $\bar{x}$ 为所有空间区域范围内大型科研仪器数量均值， W_{ij} 为 i 空间和 j 空间之间的空间权重矩阵，本文使用反距离法生成空间权重矩阵。

GMI 在-1~1 之间，绝对值越大，空间自相关性越强，表示仪器空间配置聚集性程度越高。正值表示空间正相关，负值表示空间负相关，数值越接近 0，则表示空间上呈随机分布。

分别用 Z 得分和 P 值检验 GMI 的显著性水平，Z 得分计算公式如下。

$$Z(GMI) = \frac{GMI - E(GMI)}{\sqrt{VAR(GMI)}} \tag{2}$$

式中，E(GMI)和 VAR(GMI)分别为 GMI 的期望值和方差。

表 1 Z 得分和 P 值对应置信度

Z 得分	P 值	置信度/%
<-1.65 或>1.65	<0.1	90
<-1.96 或>1.96	<0.05	95
<-2.58 或>2.58	<0.01	99

1.3 局部空间聚集性分析方法

GMI 主要针对整体区域范围内空间相关性，而局部莫兰指数（Local Moran's I, LMI）可以针对存在空间异质性的一定范围内的空间相关性，即计算分析区域内各个空间对象与其邻域对象间的空间相关程度，计算分析空间对象分布中所存在的局部特征差异，反映局部区域内的空间异质性与不稳定性^[16]。LMI 计算公式如下。

$$LMI = \frac{y_i}{S^2} \sum_{j \neq i}^n W_{ij} y_j \quad (3)$$

式中， $y_i = x_i - \bar{x}$, $y_j = x_j - \bar{x}$, $S^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2$, n 为最小行政单元乡镇数量， W_{ij} 为空间权重矩阵，LMI 为每个空间区域的局部莫兰指数。

LMI 的计算结果可分为 4 种类型。

（1）高值-高值区域。表示该区域仪器总数量或总原值较高，且周边区域仪器总数量或总原值也较高，聚集特点为高值区被高值区包围。

（2）低值-高值区域。表示该区域仪器总数量或总原值较低，而周边区域仪器总数量或总原值较高，聚集特点为低值区被高值区包围。

（3）高值-低值区域。表示该区域仪器总数量或总原值较高，而周边区域仪器总数量或总原值较低，聚集特点为高值区被低值区包围。

（4）低值-低值区域。表示仪器总数量或总原值较低，且周边区域仪器总数量或总原值也较低，聚集特点为低值区被低值区包围。

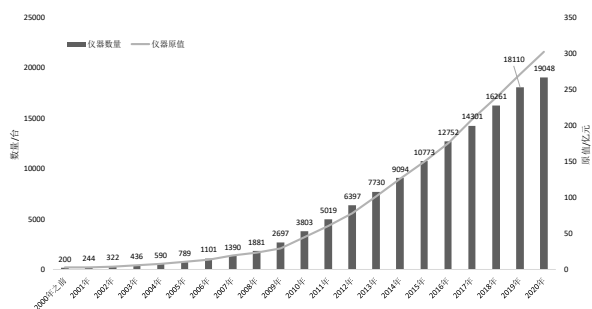
1.4 数据处理

使用百度地图获取高校院所等单位的空间坐标，并假设全部科研仪器均安放在该单位本部，即仪器位置空间坐标与单位坐标一致。以乡镇行政区为最小分析单元，分别统计各乡镇行政空间范围内仪器总数和仪器总原值，使用 ArcGIS 计算仪器的 GMI 和 LMI。

2 结果与讨论

2.1 科研仪器时空分布情况

北京市行政区域内大型科研仪器增长迅速，仪器数量由 2000 年的 200 台（套），增长至 2020 年的 19 048 台（套），年均增长率为 25.8%。截至 2020 年底，大型科研仪器涉及 264 个高校和科研院所，总原值超过 313 亿元（图 1）。



北京市超过一半科研仪器集中在海淀区,其中清华大学、北京大学的大型科研仪器数量均超过 1 000 台(套),中国计量科学研究院、中国检验检疫科学研究院、北京航空航天大学、北京理工大学的大型科研仪器数量超过 500 台(套)(图 2)。

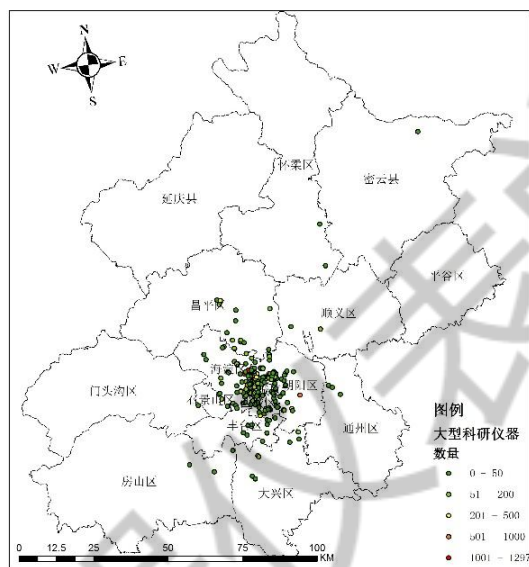


图 2 北京市大型科研仪器空间分布图

2.2 科研仪器聚集性分析

北京市科研仪器呈明显的空间聚集特点。由科研仪器数量和原值的 GMI 可知科研仪器数量、原值分布均呈现显著聚集的特征, 呈现明显的空间自相关性, 显著性检验值 Z 得分分别为 3.6 和 3.2, 均大于 2.58 ($P<0.01$), 相关结果具有统计学意义 (表 2)。

科研仪器数量或原值的 GMI 均表明科研仪器在空间分布上呈显著聚集的特征, 且显著性水平一致, 因此本文讨论的 LMI、不同年份 GMI、不同学科领域 GMI, 均使用仪器数量计算。

表 2 北京市大型科研仪器空间聚集性分析

	GMI	Z 得分	P 值
仪器数量	0.054 990	3.575 770	0.000 349
仪器原值	0.046 174	3.175 479	0.001 496

按照科研仪器建账日期整理分析 2010—2020 年北京市新购科研仪器的空间聚集情况，近 10 年新购科研仪器空间聚集程度越来越高。用仪器数量计算每年的 GMI，2010—2020 年，GMI 指数呈波动上升趋势，由 2010 年的 0.050 增长至 2020 年的 0.055，仅在 2013 年、2016 年、2019 年略有下降，表明随着年份的增加，每年新购仪器的空间聚集性越来越明显，仪器更加集中在少数区域。10 年间显著性检验值 Z 得分均大 2.58 ($P<0.01$)，表明仪器均高度聚集，相关结果具有统计学意义。

表 3 北京市大型科研仪器空间聚集性分析（2010-2020 年）

	GMI	Z 得分	P 值
2010 年	0.050676	3.216525	0.001298
2011 年	0.052155	3.274648	0.001058
2012 年	0.051709	3.265771	0.001092
2013 年	0.051185	3.275302	0.001055
2014 年	0.052541	3.375032	0.000738
2015 年	0.053326	3.408043	0.000654
2016 年	0.052407	3.373931	0.000741
2017 年	0.053401	3.447913	0.000565
2018 年	0.054722	3.54136	0.000398
2019 年	0.054334	3.531036	0.000414
2020 年	0.055398	3.584136	0.000338

北京市科研仪器空间聚集明显，每年新购仪器呈越来越聚集的情况。由 LMI 可知东城、西城、海淀、朝阳 4 个区为高值-高值区域，这 4 个区域的科研仪器高度聚集，也是北京市高校和科研院所最为集中的区域，是科技创新最活跃区域。低值-高值区域环绕高值-高值区域向四周扩散，包括顺义西南部、石景山区、丰台北部等区域，这些区域是科研仪器扩散区，是良好的产业辐射带动区域，呈现出明显区域扩散效应（图 3）。因此，在高值-高值区域适宜布局高新技术企业研发总部，在低值-高值区域适宜针对产业急需技术开展产学研合作，

设立大学科学园、科技企业孵化器。同时，随着科技资源的加速聚集，科技研发水平的持续提升，部分低值-高值区域会转化为高值-高值区域，部分低值-高值区域会进一步向周围区域扩散。

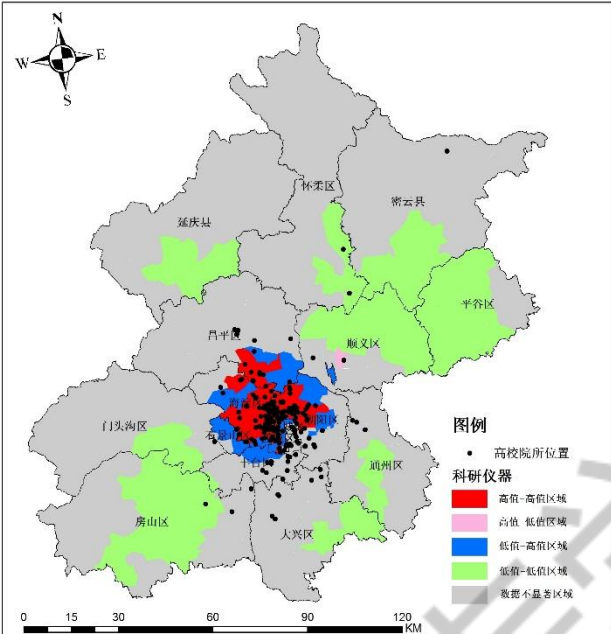


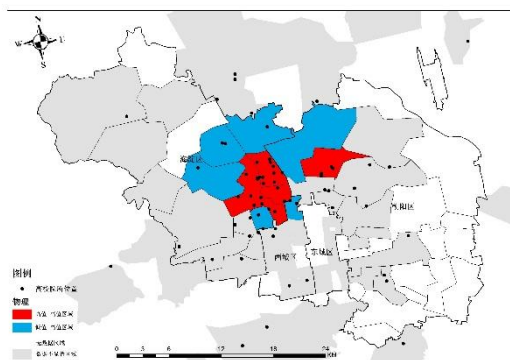
图 3 北京市科研仪器局部空间自相关分布图

2.3 不同学科仪器空间聚集性分析

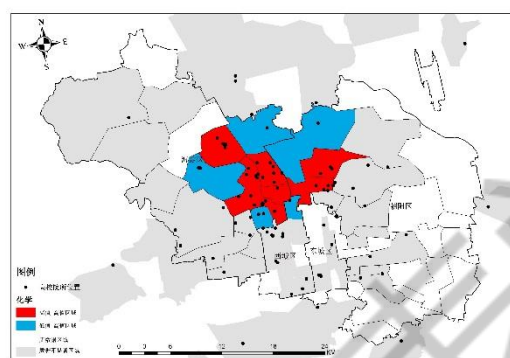
由数学、地理、化学、物理、天文、生物等 6 个基础研究学科的 GMI 可知，地理、化学、物理、天文、生物等 5 个学科科研仪器呈空间聚集的特点，数学学科科研仪器呈随机分布 ($P=0.96$)。地理、化学学科科研仪器空间聚集性最高 ($P<0.01$)，物理、天文学科科研仪器空间聚集性水平为中等 ($P<0.05$)，生物学科科研仪器空间聚集性水平为较低 ($P<0.1$)。

由物理、化学、生物 3 个学科科研仪器的 LMI 可知，物理学科研仪器高值-高值区域范围最小，集中在清华、北大至奥运村范围内，包括北京大学、清华大学、北京航空航天大学、中国科学院物理研究所、北京科技大学、中国科学院理化技术研究所和中国计量科学研究院、中国特种设备检测研究院、北京联合大学等高校院所（图 4（a））。化学学科科研仪器高值-高值区域稍大，覆盖了海淀区上地街道、马连洼街道区域（图 4（b））。生物学科科研仪器高值-高值区域向北扩散到昌平沙河地区，向西扩散到海淀香山街道，包括了北京生命科学研究所以、北京农学院、中国农科院、中国林科院、军事医科院等单位（图 4（c））。

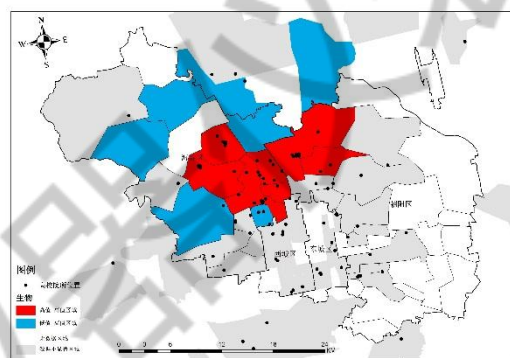
总体上物理、化学学科科研仪器低值-高值区域基本一致，主要是在高值-高值区域向北扩散。生物学科科研仪器低值-高值区域进一步向北、向西扩散，覆盖了昌平区中关村生命科学园。



(a) 物理学科



(b) 化学学科



(c) 生物学科

图 4 北京市、不同学科科研仪器局部空间自相关分布图

北京市物理、化学、生物 3 个学科科研仪器数量较多，仪器数量均超过 2 000 台（套），分别占全国同领域的 26%、17%和 21%。3 个学科仪器年平均运行机时分别为 1 218h、12 21h 和 1181h，仍有富余机时向社会开放共享。3 个学科仪器类型普遍以通用分析仪器为主，主要为显微镜、光谱、色谱、质谱等，这类型仪器操作相对标准和规范，大量用户熟悉相关方法和流程，因此可加强产学研合作，加强科研仪器向社会服务。

表 4 不同基础研究学科大型科研仪器空间聚集性分析

	仪器数量	GMI	Z 得分	P 值
数学	244	-0.013 284	0.046 448	0.962 953
物理	2 674	0.024 385	2.508 482	0.012 125
化学	2 849	0.036 541	2.593 378	0.009 504
天文	422	0.026776	2.158 364	0.030 900
地理	982	0.073657	4.065 600	0.000 048
生物	3 206	0.025471	1.876 085	0.060 644

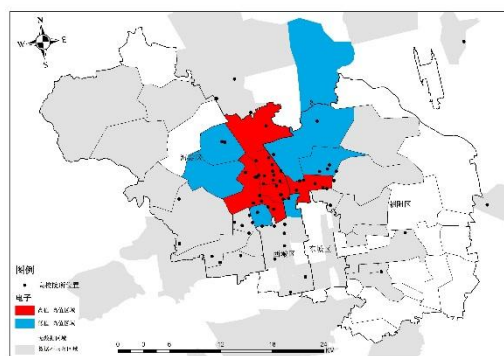
2.4 不同前沿领域仪器空间聚集性分析

不同前沿领域科研仪器分布存在较大差异。按照《中华人民共和国学科分类与代码》（GBT/13745-2009），结合学科和前沿领域对应关系，将科研仪器数据整理、，计算生命健康、电子信息等 5 个领域科研仪器的 GMI。电子信息领域（ $P<0.01$ ）和新材料领域（ $P<0.1$ ）领域科研仪器空间聚集明显，生物育种、空天科技、生命健康领域科研仪器空间聚集程度较低（表 5）。

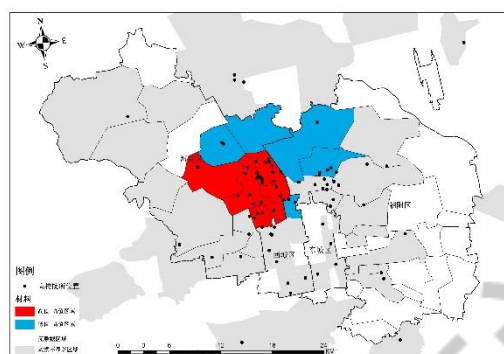
表 5 不同前沿领域大型科研仪器空间聚集性分析

	仪器数量	Moran's I 指数	Z 得分	P 值
生命健康	2 722	-0.003 987	0.437 130	0.662 017
电子信息	2 464	0.040 146	2.838 569	0.004 532
生物育种	1 032	0.014 687	1.425 565	0.153 994
新材料	2 043	0.021 802	2.253 717	0.024 214
空天科技	349	0.013 386	1.548 723	0.121 448

从空间分布上看，电子信息和新材料领域科研仪器的分布同产业发展关系密切，可以发挥对产业发展的支撑带动作用。电子信息领域大型科研仪器在中关村-知春路、五道口、上地-清河 3 个区域高度聚集区，并向望京、未来科学城等区域扩散，这些区域汇聚了电子信息领域绝大多数科技型企业（图 5（a））。新材料领域科研仪器聚集在清华大学、北京大学、北京科技大学、中科院物理所、北京钢铁研究总院、中国航发北京航空材料研究院等单位，并向北部和东部扩散（图 5（b））。



(a) 电子信息领域



(b) 新材料领域

图 5 北京市不同研究领域科研仪器局部空间自相关分布图

3 结论

(1) 北京市科研仪器分布呈现明显的空间聚集性特征，仪器主要集中在东城、西城、海淀、朝阳 4 个区，同时科研仪器向周围区域扩散。

(2) 北京市科研仪器近 20 年整体增长率超过 25%。近 10 年新购科研仪器空间聚集程度显著越来越强。北京市科研仪器布局呈现出强者愈强的特点，大院大所购置的科研仪器数量相比于其他高校院所等单位，呈显著增强趋势。

(3) 物理、化学、生命 3 个实验类基础学科科研仪器空间聚集具有较强相似性。这些学科科研仪器布局应有所区分，一是诸如 300KV 冷冻透射电子显微镜、二次离子探针质谱仪、球差矫正透射电子显微镜等原值在 2000 万以上的高端科研仪器应设立高水平仪器使用委员会，对每年仪器使用计划和相关实验需求进行充分论证，围绕国家重大科技创新需求开展针对性的研究。二是进一步发挥国家大型科学仪器中心、高校院所分析测试中心、中科院大型仪器区域中心、所级公共技术服务中心等集中集约化管理平台的作用，围绕显微镜、质谱仪、色谱仪等通用分析仪器，提升科研仪器专业化服务能力。

(4) 天文和地理两个基础研究学科科研仪器聚集性显著，但这两学科主要以观测、监

测数据共享为主。因此应通过加强国家科学数据中心建设,不断提升基础设施更新与数据汇交能力,加强数据分析挖掘和服务能力,围绕国家重大战略和区域发展紧迫需求,做好科技创新的支撑保障。

(5) 电子信息和新材料领域科研仪器的聚集同产业布局相匹配,较好发挥对产业发展的支撑带动作用。但生物育种等其他领域,科研仪器聚集性不够明显,尚未形成对相关产业有效带动。

(6) 科技创新是国际竞争力的源头,科研仪器又是科技创新的基础。科技创新的聚集、扩散和带动作用区域发展的原动力。由于我国科研仪器布局和配置主要以政府投入为主,且不同学科领域存在明显的空间聚集、扩散特征,政府应一方面强化科研仪器优化配置,另一方面应加强区域间科技创新协调发展。

参考文献 (References)

- [1] 国务院. 关于国家重大科研基础设施和大型科研仪器向社会开放的意见[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2015(4): 16-19.
- [2] 贺德方, 汤富强, 刘辉. 科技改革十年回顾与未来走向[J]. 中国科学院院刊, 2022,37(5): 578-588.
- [3] 徐示波, 贾敬敦, 仲伟俊. 国家战略科技力量体系化研究[J]. 中国科技论坛, 2022(3): 1-8.
- [4] 吴波尔, 孙坦, 吴鸣, 等. 国际科学仪器发展报告(2014-2015)[M]. 北京:电子工业出版社,2016.
- [5] 国家科技基础条件平台中心. 国家科技基础条件平台发展报告[M].北京: 科学技术文献出版社,2017.
- [6] 马玉林, 马运鹏. 中国科技资源配置效率的区域差异及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2021,38(8): 83-103.
- [7] 薛鹏飞, 李国景, 罗其友, 等. 中国农业科技资源水平区域差异及空间结构研究[J]. 农业技术经济, 2021(5): 108-120.
- [8] 徐迪威, 林珠, 马志平, 等. 科技平台建设与科技资源创新管理[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2021: 223.
- [9] 包献华.推进新时代科技资源开放共享[J].理论视野,2019(1):60-65.
- [10] 吴家喜. 我国科技资源开放共享公共服务体系的构建[J]. 社会科学家, 2011(12):

126-129.

[11] 陈亮, 李琼, 张嫻. 区域科技资源集聚、科技创新与经济增长协调发展研究——基于广东省 21 地市的面板数据 (2014—2019) [J]. 中国高校科技, 2022(3): 44-49.

[12] 孙福全. 关于科技资源配置重点方向的思考[J]. 科技中国, 2020(8): 41-43.

[13] 王朝晖, 普丽娜, 陈琪, 等. 试探大型科研仪器协同管理与开放共享的完善机制[J]. 中国科技资源导刊, 2020,52(3): 31-36.

[14] 王慧敏, 许敏, 董佳慧. 科技资源投入对高校基础研究绩效的影响——基于 64 所教育部直属高校的样本分析 (2014—2018) [J]. 中国高校科技, 2022(7): 35-41.

[15] 王杰, 王妮, 李盼, 等. 大型科研仪器设备开放共享的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2019,38(12): 297-303.

[16] 陈彦光. 基于 Moran 统计量的空间自相关理论发展和方法改进[J]. 地理研究, 2009,28(6): 1449-1463.