

· 科学论坛 ·

国家重大科技基础设施的学术产出评价研究： 以德国亥姆霍兹联合会科技基础设施为例

李宜展¹ 刘细文^{1,2*}

(1. 中国科学院文献情报中心, 北京 100190; 2. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京 100009)

[摘要] 国家重大科技基础设施是国家科技创新能力的象征,其运行绩效评价是一个普遍性难题,缺乏有效评价框架。本文以德国亥姆霍兹联合会为例,从投入和产出角度入手,采用科学计量方法和可视化方法,从财政投入、人力资源投入,科技产出的总体规模、前沿突破、影响力、学科交叉与融合、科技传播与交流、对产业技术的支撑等方面,评估德国重大科技基础设施的学术成果产出和运行绩效。

[关键词] 重大科技基础设施;投入产出绩效评价;科学计量绩效评价;德国亥姆霍兹联合会

重大科技基础设施是现代科学研究的必要工具,是科学技术深度发展的产物,也代表了国家科学研究实力,是科技强国建设的保障与基石。重大科技基础设施可以分为三类^[1]:第一类是专用于某些科技前沿领域或前沿研究方向的设施,如正负电子对撞机、大型重离子加速器、大型天文望远镜、磁约束聚变装置等。第二类是为多学科领域的科学研究提供强大支持的大型公共实验设施,例如同步辐射光源、自由电子激光、散裂中子源等。第三类是用于公益性科学研究的设施,主要服务于针对经济社会发展和国家安全中的重大科技问题的研究,如海洋科学考察船、种质资源库、授时台、地壳运动监测网、遥感卫星地面站等。

作为国家基础设施的重要组成部分,重大科技基础设施是国家为在科学技术前沿取得重大突破,解决经济社会发展和国家安全中的战略性、基础性和前瞻性科技问题而投资建设,具有技术难度大、系统复杂性高、投资大、风险高^[2]的特点。进入21世纪,知识经济—科技竞争力—创新能力成为世界主要国家创新发展所考虑的核心问题。重大科技基础设施被视为抢夺科技制高点、提升国家科技水平和创新能力的重要着眼点,越来越多的国家斥资建设和升级^[3],国际竞争日益加剧。在这一背景下,探讨

重大科技基础设施在科技活动中发挥着何种、何程度的影响以及如何发挥这些影响等一系列问题,成为决策者和设施管理机构开展设施科研绩效评价、优先计划遴选与科学资本投资的基础和前提。

随着建设科技强国战略、深化科技体制改革、建设国家实验室、建设科技创新中心等一系列战略与措施的推进,我国已经部署和建设了诸多的重大科技基础设施。美国能源部对其管理的重大科技设施做了十年的评价回顾^[4]。国内相关管理机构和专家对重大科技设施的管理问题进行了探讨,还没有涉及科技设施的绩效评价和学术产出的框架设计^[5-7]。重大科技基础设施的运行管理和绩效评价问题,是社会广泛关注的重大问题,直接影响着国家科技强国战略的实施。重大科技基础设施的学术产出和绩效评价也是当前科研管理与评价的一个空白点。

亥姆霍兹联合会(HGF)是德国最大的科研组织,由德国联邦政府及州政府资助,以德国科学中长期研究规划为指导,围绕重大科技基础设施开展“大科学”研究^[6]。当前联合会下设18个研究中心,负责多个重大科技基础设施的运营和管理工作,建设有能源、地球与环境、健康、航空航天与运输、物质和

关键技术六大研究的观测、考察、光源、风洞、卫星、计算、强磁场、显微、加速器、聚变等设施。本文以德国亥姆霍兹联合会为例,选择8个科技基础设施管理中心,从投入和产出角度入手,采用科学计量方法与可视化工具包,分析重大科技基础设施的学术产出和绩效。

1 经费科技投入

科技投入是国家科技创新能力建设和重要影响因素与保障。对于投资大、工期长、难度高的重大科技基础设施来说,不同强度、结构、途径的资金、人员投入^[7]都会对设施发展和其支撑的科研领域创新产生深远的影响。德国联邦政府对亥姆霍兹联合会保持了持续的高强度投入,保障了这些科技基础设施的稳定运行;同时,建立了第三方科技投入的运行机制。

1.1 经费投入

1) 政府经费投入

亥姆霍兹联合会的经费约有70%来源于政府投入。德国联邦政府公布的科研发展投资数据显示,20世纪90年代到21世纪初,德国联邦政府对亥姆霍兹联合会的年投入在16—17亿欧元之间,其中超过90%的经费用于R&D活动,占全部德国联邦R&D支出的近20%。随后资金投入稳步上升,从2006年的20.3亿欧元增长到2015年的32.6亿欧元,涨幅达到60.1%,年均增长率为5.7%,联邦R&D支出占比也在2014年突破20%。2018年亥姆霍兹联合会的预算总额达45亿欧元^[8]。

除联邦政府资助外,州政府也为亥姆霍兹联合会下属机构提供资金支持,州政府和联邦政府的投入比例约为1:9。从各研究所获得经费额度来看,德国宇航中心(DLR)、于利希研究中心(FZJ)、卡尔斯鲁厄研究中心(KIT)、德国电子同步加速器研究所(DESY)获得的资助总额名列前茅,近年有明显的上升趋势。它们运行着卫星星座、光源、离子源、超算平台、显微成像装置等,涉及众多研究领域,是亥姆霍兹联合会中大型科研基础设施较为集中的机构。

联邦政府和州政府的持续资助为确保重大科技基础设施的健康运行、积极开展前沿科学研究和探索、催化高水平的成果提供保障。目前约有19%的经费用于研究基础设施和用户平台运行与维护(不含第三方经费)。这一份额在过去十年间一直保持相对稳定,2017—2018年欧洲X射线自由电子激光

设施(European XFEL)和FAIR加速器设施建设和运营陆续提上日程,这一比例有望得到提升^[9]。

2) 第三方机构投入

第三方机构投资主要为通过竞争获取的工业界出资单位项目经费、公共出资单位项目经费(如科研促进机构项目、联邦或州部委项目、欧盟项目、行业学会项目等)^[10]。该类经费约占亥姆霍兹联合会经费总额的30%,是机构经费来源的重要组成部分。2010年,共获得第三方经费10.31亿欧元,随后的5年持续上升,2015年达到近15亿欧元,2016年亥姆霍兹联合会的第三方经费为12.4亿欧元(包括2.35亿欧元的项目资助)。从各研究机构来看,德国宇航中心(DLR)、于利希研究中心(FZJ)、卡尔斯鲁厄研究中心(KIT)、德国电子同步加速器研究所(DESY)获得的第三方资助金额最高。可见重大科技基础设施资源也有助于其在第三方经费的竞争中脱颖而出,是彰显竞争力和创新能力的重要因素。

1.2 人力资源投入

近年来,亥姆霍兹联合会的员工数量稳步增长,从2010年的30995人上升到2018年的39193人,增长26.3%。从员工结构来看,2016年在职工工共计38733人,其中负责设施运营的员工接近40%,包括博士研究生、学员、科学家在内的科研工作者都是这些设施的用户。

2 科研产出分析

本文采用科学计量方法,从论文、专利和重大科技奖项等维度,定量分析亥姆霍兹联合会重大科技基础设施在德国科技强国建设中发挥的作用和运行绩效。为便于分析,笔者遴选联合会中8个以设施为核心或与设施密切相关的研究所(表1),以机构名构建检索式,获得亥姆霍兹重大科技基础设施产出成果数据集。8个研究所分别是阿尔弗里德-韦格纳极地与海洋研究所(AWI)、德国电子同步加速器研究所(DESY)、德国宇航中心(DLR)、于利希研究中心(FZJ)、重离子研究中心(GSI)、柏林能源与材料研究中心(HZB)、累斯顿罗森多夫研究中心(HZDR)、马克斯-普朗克等粒子物理研究所(IPP)。需要指出的是,通过这种方法检索出的科技文献,不仅包括直接利用重大科技基础设施开展实验成果,同时也包括与重大科技基础设施的研发、建设、升级和维护相关的原理、技术与方法研究,以及与这些研究相关的其他衍生成果。

表1 八个德国亥姆霍兹联合会研究机构与重大科技基础设施列表

机构	主要研究领域	装置设施
阿尔弗里德-韦格纳极地与海洋研究所 (AWI)	地球与环境、航空航天与运输	科考船(Polarstern、Heincke、Poseidon)、极地观测台站
德国电子同步加速器研究所(DESY)	物质研究	光源(PETRA III、DESY、European XFEL、FLASH)
德国宇航中心(DLR)	能源、交通	风洞(ETW)、飞机(HALO、Airbus A320-232“D-ATRA”、Dassault Falcon 20E-D-CMET)； 航空航天计算机应用中心、航空航天复杂医学研究中心中心； 卫星星座(TerraSAR-X、TanDEM-X、ZKI)
于利希研究中心(FZJ)	能源、地球与环境、物质、关键技术	离子源(COSY)、中子源(JCNS)、超算平台(JUQUEEN、JURECA)、显微成像装置(ER-C)
卡尔斯鲁厄研究中心(KIT)	能源、地球与环境、物质、关键技术	显微成像装置(KNMF)
波茨坦地球研究中心(GFZ)	能源、地球与环境	观测台站(MESI)
重离子研究中心(GSI)	健康研究、物质	离子源(UNILAC、FAIR、SIS-18、ESR、CRYRING、FRS)、高能磁场和加速器(PHELIX)、高能磁场和加速器(Polaris)
柏林能源与材料研究中心(HZB)	能源、物质	光源(BESSY II)、中子源(BER II)、高能磁场和加速器(HFM)
马克斯-普朗克等粒子物理研究所(IPP)	能源	聚变反应堆(Wendelstein 7-X、ASDEX)
累斯顿罗森多夫研究中心(HZDR)	能源、健康、物质、	离子源(IBC)、高能磁场和加速器(HLD)、高能磁场和加速器(ELBE)
海洋研究中心(GEOMAR)	地球与环境	科考船(Poseidon、ALKOR)

2.1 论文产出和特点

1991年至2017年,8个以重大科技基础设施为核心的亥姆霍兹联合会研究所共产出论文93804篇,占德国科研论文产出总量的4.60%(基于在Web of Science SCI-EXPANDED数据库中检索的结果,在InCites数据库中检索,得到1991—2017年德国共发表论文2039342篇。)。从发展趋势来看,论文产出数量和占比总体呈上升趋势,自1991年的1486篇增长到5798篇,增长近3倍,占比也从3.42%上升至5.23%,表现出其对科研活动的支撑力度与日俱增。重大科技基础设施机构的论文年均增长率(3.85%)为德国论文年均增长率(2.63%)的1.46倍,为德国科技产出的快速增长起到积极影响(图1)。

亥姆霍兹联合会的重大科技基础设施支撑了近200个学科领域的研究活动。从表2中可以看出,其运营的一系列同步加速器、中子源、离子源和聚变反应堆设施,为粒子物理、核能与核科技、凝聚态物质研究提供科研平台和工具,支撑德国在核能、核科技领域近1/3、粒子物理领域超过1/4的论文产出。同步加速器、中子源和离子源设施还支撑了材料科

学、物理化学、生物化学与分子生物学、纳米科技、天文学和天体物理学等学科的探索。卫星星座、遥感飞机、系列科考船、极地观测站等设施为地球科学、气象学和大气科学、海洋学研究提供一手基础数据,其中,25.03%海洋学研究、16.55%的气象学和大气科学研究以及11.83%的地球科学研究与亥姆霍兹联合会有关。重大科技基础设施本身具有创新和超前的特点,为满足其研发、建设和维护的理论与技术需求,科研工作者在设备和仪器、电气电子工程、光学等学科的探索带动了德国在这些领域的发展和科研产出。

2.2 支撑世界顶级研究能力

重大科技基础设施为科研活动提供极限研究手段,是催生重大科学发现和科技前沿突破的重要因素之一,也是抢占未来科技发展制高点的重要基础和保障。21世纪以来,依托重大科技基础设施,亥姆霍兹联合会的科学家和国际用户获得诺贝尔化学奖2项,物理学奖1项,生理学/医学奖1项,以及诺贝尔和平奖1项(表3),成为德国科技实力的有力证明。

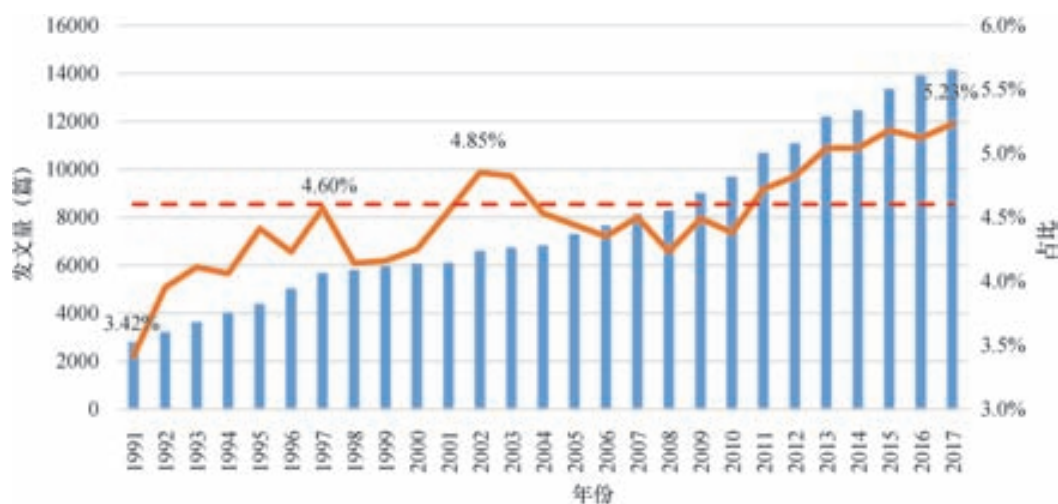


图1 重大科研产出规模变化趋势

表2 亥姆霍兹联合会重大科研基础设施对各学科领域的支撑

序号	Web of Science 数据库中的学科分类	HGF 重大科研基础设施发文章量(篇)	占德国在该领域研究产出的比例	占比排名	该学科在德国各学科产出中的排名
1	物理学,粒子和场	11 120	25.86%	3	16
2	材料科学,跨学科	11 015	11.12%	12	2
3	物理学,核能	10 551	32.71%	1	30
4	物理学,应用	10 375	12.37%	9	4
5	物理学,凝聚态物质	9 515	11.70%	11	5
6	核科技	8 100	31.29%	2	38
7	化学,物理	6 888	7.34%	16	3
8	物理学,跨学科	6 623	13.19%	8	11
9	天文学和天体物理学	6 236	9.34%	14	7
10	设备和仪器	5 387	21.06%	6	39
11	物理学,原子能、分子能和化学	4 645	9.77%	13	13
12	物理学,液体和等离子体	4 334	23.28%	5	56
13	地球科学,跨学科	3 526	11.83%	10	33
14	气象学和大气科学	3 492	16.55%	7	49
15	工程,电气和电子	2 800	6.76%	18	18
16	光学	2 652	7.10%	17	22
17	化学,跨学科	2 557	3.62%	19	6
18	生物化学与分子生物学	2 416	2.43%	20	1
19	纳米科技	2 317	8.00%	15	35
20	海洋学	2 243	25.03%	4	100

表3 亥姆霍兹联合会所获诺贝尔奖

时间	奖项	获奖人	成果/贡献	与 HGF 的关系
2007	诺贝尔物理学奖	Peter Grünberg(德国)	发现巨磁阻效应 GMR	于利希研究中心教授
2008	诺贝尔生理学/医学奖	Harald zur Hausen(德国)	发现导致宫颈癌的人类乳头状瘤病毒	德国癌症研究中心(DKFZ)科学主任
2009	诺贝尔化学奖	Ada Yonath(以色列)	破译核糖体结构和功能	利用 DESY 开展研究
2014	诺贝尔化学奖	Stefan Hell(德国)	开发超分辨荧光显微镜	德国癌症研究中心(DKFZ)教授

其中,以色列的 Ada E. Yonath 利用 X 射线结晶学技术标绘构成核糖体的原子所在的位置,在原子水平上显示了核糖体的形态和功能,破译核糖体将 DNA 信息“翻译”成生命的过程,获得 2009 年诺贝尔化学奖。她在早期开展了 DESY X 射线源 DORIS III 的预研工作,2016 年 DESY X 射线源 PETRA III 的实验大厅以 Ada Yonath 的名字命名^[11]。Stefan Hell 教授发展超高分辨率荧光显微镜,打破了光学显微技术的“阿贝尔极限”,将光学显微技术提升到纳米尺度,其工作本身就对设施装置的发展。

2007 年,政府间气候变化专门委员会(IPCC)因在“建立和传播气候变化知识,研究抵制这种变化所需措施”方面的成就获得诺贝尔和平奖。阿尔弗里德-韦格纳极地与海洋研究所(AWI)的 Peter Lemke 教授是海冰领域研究的先驱,他利用科考船、观测站等极地观测设备获取海洋、生境、气候观测数据开展大量基础研究,在编写 IPCC 报告方面发挥了重要作用,同时获得了 2010 年的拜耳气候奖^[12]。

2.3 科研论文影响力分析

(1) 论文引用。统计分析期间,亥姆霍兹重大科技基础设施产出论文的被引频次为 2 305 609,占德国论文被引频次的 4.80%,被引用的论文数量为 87 218 篇,占同期德国被引用论文总量的 4.91%。被引用的论文数量占比(92.98%)高出德国平均水平(87.07%)5.91 个百分点,且 2008 年后被引频次占比呈现明显上升趋势(图 2)。

(计算方法:被引频次占比=八个机构论文被引频次/德国论文被引频次;相对篇均被引=八个机构论文篇均被引/德国论文篇均被引;相对被引论文比例=八个机构论文被引比例/德国论文被引比例)

(2) 高水平期刊产出。1991—2017 年,在 *Science*、*Nature*、*PNAS* 高水平学术期刊上,亥姆霍兹重大科技基础设施分别发文 234、225 和 197 篇,分别占德国在上述三刊发文量的 8.63%、6.65% 和 2.68%,可以发现在 *Science*、*Nature* 高水平期刊产出的占比高于 8 个研究所的总产出在德国科研产出中的占比(4.6%)。同时,重大科技基础设施支撑的高水平论文产出数量和比例随着时间的推移而明显提升。这些论文往往成为各领域科学家密切追踪的热点,引发广泛的关注,也成为德国科学研究引领世

界科技发展的佐证。

2.4 研究主题演化与学科交叉融合

(1) 学科领域交叉规模快速增长。德国基于重大科技基础设施开展的多学科交叉研究规模越来越大^①。以多学科交叉材料科学、多学科交叉物理学、多学科交叉地球科学、多学科交叉化学、多学科交叉科学为代表的交叉学科研究数量不断增长。以多学科交叉材料科学为例,发文量从 1991 年的 184 篇提高到 2017 年的 634 篇,平均增长率达到 7.5% (图 3)。多学科交叉科学在 2010 年起呈现快速增长。1991—2017 年,涉及 3 个及 3 个以上学科的论文数量从 246 篇提高到 1 088 篇,翻了超过两番。

(2) 研究主题不断深入和融合。重大科技基础设施的性能不断提高,实验技术日益精进,基础研究和应用研究在层层深入的同时也逐步拓展和交叉。相对于 1991—2000 年,2010 年以后主题关键词的数量、种类显著增加,表现出研究内容的多样性和丰富程度的变化。例如支撑粒子物理领域量子色动力学、超对称结构、超越标准模型的相关研究不断深入,天体物理、天体生物学以及各类物质探测装置相关主题词数量明显增多。在利用卫星星座、科考船开展的地学和环境科学研究中,早期关注极地生态生产力、植被光合作用和季节性变化、海冰等主题,2011 年后利用合成孔径雷达、干涉雷达等新兴、多源数据开展大尺度、复杂生态过程研究成为热点。晶体学、物质结构研究在新兴能源材料的开发(太阳能电池、燃料电池、光诱捕等)、新型药物的研制(针对帕金森、认知退化、衰老、神经分裂、阿兹海默症的靶向药物等)中发挥重要的作用,展现了从基础研究到应对人类社会发展的关键问题和挑战的研究主题拓展过程。

采用作者关键词共现关系聚类的方式识别各设施运营机构的研究主题,并根据各主题的关键词词频比例的变化揭示不同时期研究内容的发展和演化(技术方法参见 Sun L 等的研究成果^[13])。以德国宇航中心(DLR)为例,20 世纪 90 年代,新型耐高温涂层材料、高性能复合材料、燃烧科学与推进技术等研究主题占据相当大的比重。经过十余年的技术研发和积累之后,依托先进探测装置与手段,对地观测

^① 多学科交叉的分类是基于科睿唯安 WOK 的学科领域交叉分类体系。



图2 亥姆霍兹联合会论文影响力

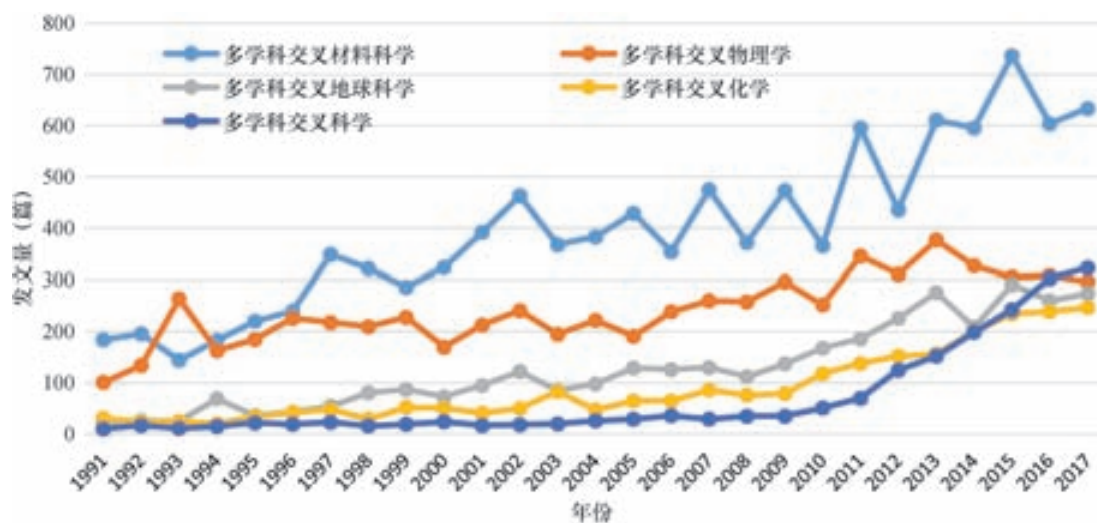


图3 跨领域研究规模发展趋势

的研究数量明显上升。太阳系行星探测研究也积累了大量的成果,但近年来的热度逐渐转移到彗星、小行星探测和空间环境研究中。燃烧科学与推进技术、能源的存储和利用作为基础技术一直保持较平稳的研究热度。研究人员在以国际空间站为代表的研究设施上开展空间生命科学实验,以研究生命的起源演化以及空间环境对人类的影响,也受到了持续的关注。德国电子同步加速器研究所(DESY)在20世纪90年代开展了大量的新材料结构与性能、生物大分子与生命过程的研究,世纪之交,在对撞机、自由电子激光主题相关的论文产出迎来一个高峰,理论物理、粒子物理领域相关的研究比重明显上升。

2.5 科研国际合作分析

依托重大科技基础设施,亥姆霍兹联合会与150余个国家开展科研合作,国际合著论文比例占

58.3%。在1991—2000、2001—2010和2011—2017三个时间段内,参与合作的国家数量从93个、116个提高到153个,合作范围越来越广。合著论文比例从38.6%、60.7%增长到68.1%,合作程度也越来越深入。累计合著比例达到80%的国家个数从前16位增长到前35位,表明重大科研基础设施的国际合作面越来越宽。

1991—2000年,美国、法国、俄罗斯、英国、意大利、瑞士、波兰是主要合作国家;2001—2010年,日本也加入核心合作网络;2011—2017年,西班牙、中国加入其中。进入合作网络核心的国家数量逐渐上升,与此同时美国、法国、俄罗斯、英国四个主要合作者的产出占比下降,其他国家与其差距逐渐缩小,也说明合作关系趋于平衡。

来自世界各地的访问学者和研究人员有机会利用先进的、甚至是世界上唯一的设施开展研究,仅



图4 亥姆霍兹联合会的专利申请趋势

2014年接待了约7500名外国科学家。亥姆霍兹联合会还为年轻科学家、研究生提供进一步提高和深造的机会，成为凝聚、吸引、培养科技人才，促进国际交流的重要平台。

2.6 基于PCT专利申请数量

亥姆霍兹联合会积极推进科学知识向创新成果的转化。1991—2017年，亥姆霍兹联合会申请专利9102项，其中PCT专利3531项，占专利申请总量的38.8%，年度占比在20.53%（1991年）—53.30%（2008年）间浮动（图4）。同期，德国申请专利890527项^①，其中PCT专利61467项。亥姆霍兹联合会的专利申请仅占德国申请总量的1.00%，但PCT专利占德国的5.74%。

在PCT专利中，专利强度不低于7的有10项，在4—7之间的占7.00%。内容涉及基因编辑、肿瘤治疗、热声层析成像、平行光刻、太阳能发电、可生物降解的形状记忆聚合物、抗癌药物。

3 总结与启示

德国亥姆霍兹学会的重大科技基础设施是德国科技力量的重要组成部分，德国联邦政府、州政府和第三方机构等共同提供了稳定的经费支持。亥姆霍兹学会下属机构在德国科研体系中发挥着核心作用，其重大科技基础设施支撑了近200个学科领域的研究活动。1991年至2017年，8个以重大科技基础设施为核心的亥姆霍兹联合会各研究所共产出论文93804篇，占德国科研论文产出总量的4.60%。基于亥姆霍兹联合会管理运行的重大科技基础设施的论文影响力明显高于德国科研论文的平均值，且在高水平国际期刊发文的比例突出。从亥姆霍兹联

合会重大科技基础设施的授权专利，可以看出其国际授权专利（PCT专利）所占比例明显高于德国科研机构的整体水平。

德国亥姆霍兹联合会管理的重大科技基础设施在推动学科交叉、跨学科研究中发挥着越来越重要的作用。通过对德国基于重大科技基础设施的研究主题聚类分析后发现，基于重大科技基础设施的多学科交叉研究规模不断扩大，交叉领域和学科数量也不断增多，科学研究内容的多样性和丰富程度显著增加。亥姆霍兹联合会依托重大科技基础设施与150多个国家开展科研合作，在本文分析的3个时间段内，参与合作的国家数量增加，合作范围越来越广；国际科研合作程度也越来越深入。

重大科技基础设施的建设和运行，代表着一个国家的科技创新能力和综合实力，是科技强国建设的重要标志。科技基础设施需要巨大的经费投入和人员投入，需要稳定的经费和人员支撑运行，需要设立相应的管理机构，制订明确的管理机制。毋庸置疑，重大科技基础设施在支撑国家科技创新能力，拓展新兴研究领域发挥着至关重要的作用。有些重大基础设施的建设，本身就是一项重大的科技突破。我国在加强重大科技基础设施建设的同时，也需要及时制订管理运行办法，提高设施运行效率，支撑国家科技创新能力建设。

参 考 文 献

- [1] 王贻芳. 建设国际领先的大科学装置，奠定科技强国的基础. 中国科学院院刊, 2017, 32(5): 483—487.

^① AC=(DE) and DPR > =(19910101) AND DPR < =(20171231); TI数据库DWPI专利同族。

- [2] 陈套, 冯锋. 大科学装置集群效应及管理启示. 西北工业大学学报(社会科学版), 2015, 35(1): 61—66.
- [3] Department for Business, Energy & Industrial Strategy. International Comparative Study: Appraisal and Evaluation Practices of Science Capital Spending on Research Infrastructures. 2017-07. <https://www.gov.uk/government/publications/science-capital-spending-on-research-infrastructures-appraisal-and-evaluation-practices>
- [4] Office of science of DOE. Facilities for the future of science a twenty-year outlook. <http://science.energy.gov/news/science-headlines>. 2018-12-20
- [5] 陈娟, 周华杰, 樊潇潇, 等. 重大科技基础设施的开放管理. 中国科技资源导刊, 2016, 48(4): 6—13.
- [6] 刘梦菡, 张楠, 白蓓, 等. 转化医学国家重大科技基础设施的开放式创新初探. 华西医学, 2018, 33(12): 1530—1534.
- [7] 吴思多, 辛胜昌, 涂欢, 等. 浅析各国大科学装置管理机制对我国的启示. 科技资讯, 2018, (10): 137.
- [6] 朱星. 德国最大的科研组织—德国亥姆霍兹国家研究中心联合会. 中国基础科学, 2001, (6): 54—60.
- [7] 张治河, 冯陈澄, 李斌, 等. 科技投入对国家创新能力的提升机制研究. 科研管理, 2014, 35(4): 149—160.
- [8] Helmholtz Association. About Us Facts and Figures. https://www.helmholtz.de/en/about_us/the_association/facts_and_figures. (2018-01-01) [2018-08-19].
- [9] Helmholtz Associations. The Helmholtz Association of German Research Centers Annual Report 2017. https://www.helmholtz.de/en/current_topics/press_and_media/media_centre/helmholtz_annual_report/. (2017-09) [2018-06-11].
- [10] 吴建国. 德国国立科研机构经费配置管理模式研究. 科研管理, 2009, 30(5): 117—123.
- [11] DESY. DESY to strengthen cooperation with Israeli partners. http://www.desy.de/news/news_search/index_eng.html?openDirectAnchor=1392&two_columns=0. (2018-05-02) [2018-06-11].
- [12] AWI. Bayer Climate Award 2010 for Professor Peter Lemke. <https://www.awi.de/nc/en/about-us/service/press/press-release/bayer-climate-award-2010-for-professor-peter-lemke.html>. (2010-03-25) [2018-06-11].
- [13] Sun L, Yin Y. Discovering themes and trends in transportation research using topic modeling. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017, 77: 49—66.

Output evaluation of large research infrastructures: case study on Helmholtz Association

Li Yizhan¹ Liu Xiwen^{1,2}

(1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences; 2. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences)

Abstract Large research infrastructure is the symbol of the country's science and technology innovation abilities, and its performance evaluation is a general problem owing to lacking of an effective evaluation tools or models. In this study, eight institutions of Helmholtz Association were selected to analyze their performance of input and output with scientometrics and visualization methods, including financial input, human resources input, scale of scientific and technological output, cutting-edge breakthroughs, academic influences, multidisciplinary cross and fusion, knowledge exchange and contributions to industry.

Key words large research infrastructure; input and output performance; scientometric performance evaluation; Helmholtz Association