

德国大科学装置运行服务及管理评价机制

王敬华

(中国农村技术开发中心, 北京 100045)

摘要: 德国将大科学装置视为基础研究的重要组成部分和创新的原动力。德国的大科学装置是开展跨机构、跨学科研究和培养青年科学家的良好平台。经过几十年的发展, 德国在大科学装置的建设开发和管理运行方面积累了一些成功经验。本文对德国大科学装置的建设开发、管理运行、开放共享服务以及评估评价机制等进行分析, 以期对我国大科学装置建设提供借鉴。

关键词: 德国; 大科学装置; 大型研究基础设施; 大型研究基础设施路线图; 评估评价机制

中图分类号: G327.516 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2016.10.005

德国重视大科学装置在科学研究中的作用, 将大科学装置视为基础研究的重要组成部分和创新的原动力, 以及开展跨机构、跨学科研究和培养青年科学家的良好平台。德国的大科学装置起步于 20 世纪 50 年代中期, 经过几十年的建设发展, 德国现已拥有一批技术先进、国际化程度高、影响力大的世界级大科学装置, 并在建设开发、管理运行、开放共享服务以及评估评价机制等方面积累了一些成功经验。

1 总体建设情况

1.1 德国大科学装置建设现状

德国有一大批大科学装置, 包括: 加速器系统、实验设施、科考船或超级计算机等, 它们在天体物理学和基本粒子物理学、凝聚态、地球科学、气候科学、新材料以及生物科学等领域发挥着全球性的作用。德国大科学装置的建设、开发和运营主要由国家大研究中心承担^[1]。在德国亥姆霍兹国家研究中心联合会 18 个大研究中心中, 有多个大科学装置运营中心, 如: 电子同步加速器 (DESY)、重离子研究中心 (GSI)、柏林材料和能源研究所 (HZB)、马克斯普朗克等离子体

物理研究所 (IPP) 等。大科学装置也是亥姆霍兹联合会吸引国际优秀研究人才的核心优势, 2013 年共有 8 534 位外国科学家使用亥姆霍兹联合会各中心的研究设施。2010 年以来, 德国在基础研究大型设施方面的投入比例稳定、总量逐年增加, 2015 年达到了 12 亿欧元。

DESY 是德国具有代表性的大科学装置运营中心^[2], 其年度基本预算为 2.2 亿欧元, 工作人员超过 2 400 人, 每年有来自 40 多个国家的 3 000 多名访问学者在此开展研究。从最小基本粒子的交替变化, 到新型纳米材料的情况, 以及生物细胞中每一项重要的活动过程, 均可用 DESY 的大科学装置来研究。DESY 的大科学装置群包括电子同步加速器 (DESY)、正负电子双储存环对撞机 (DORIS)、正负电子储存环 (PETRA)、强子电子环加速器 (HERA)、TeV 能级超导直线加速器 (TESLA)、自由电子激光器装置 (FLASH)、欧洲 X 射线自由电子激光装置 (XFEL) 等十几个大科学装置 (如图 1)。

在众多大科学装置中, 欧洲 X 射线自由电子激光装置 (XFEL) 具有代表性。欧洲 XFEL 属于第四代光源, 是世界上最先进、效率最高的 X 射

作者简介: 王敬华 (1976—), 男, 副研究员, 主要研究方向为科技政策与管理。

收稿日期: 2016-10-03

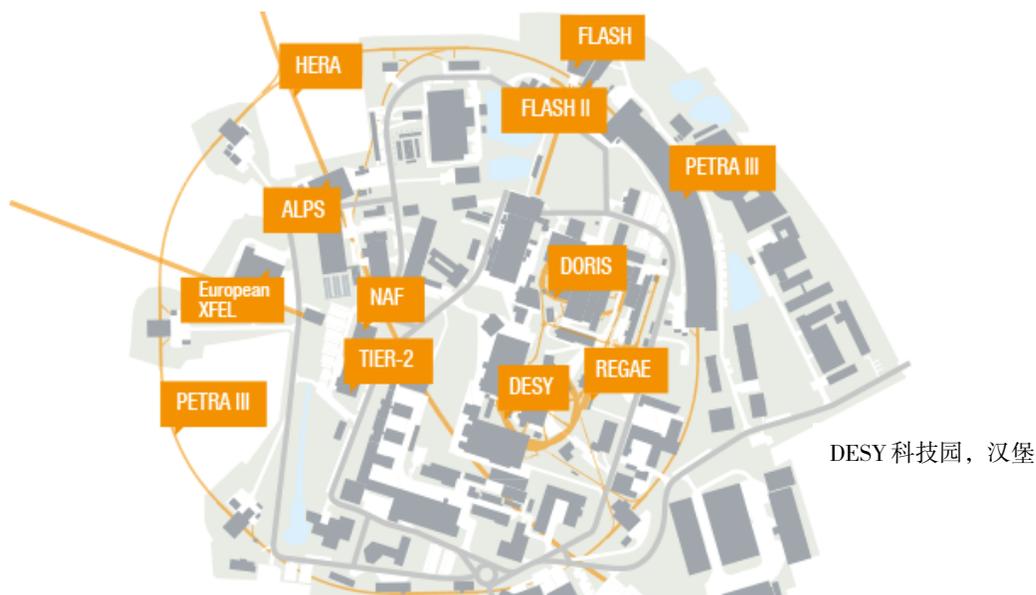


图 1 德国电子同步加速器 (DESY) 大科学装置群

资料来源：德国电子同步加速器 (DESY) 网站 http://www.desy.de/forschung/anlagen__projekte/index_ger.html。

线系统，每秒脉冲数为 27 000 次 / 秒，显著高于国际上其他在建的自由电子激光装置，同时亮度是传统激光的几十亿倍，从浓缩物质和材料物理学到纳米科学，从等离子物理到化学再到结构生物学，顶级亮度的 X 射线脉冲可实现潜在的革命性试验，使科学家将来自微观世界的东西记录下来，甚至可以将化学和生物反应拍成影像；在科学研究和工业领域将得到广泛应用，可用于生物、医学、药物、化学、材料科学、天文物理、能源、电子技术、纳米技术、光学和环保等领域的研究，将为探索微观世界拓展新视野。

1.2 大型研究基础设施路线图

大科学装置是大型研究基础设施的重要组成部分。在欧盟发布《2010 年研究基础设施路线图》后，2013 年德国联邦教研部也发布了新的大型科研基础设施建设路线图^[3]。新的路线图是根据德国科学委员会的建议，在综合权衡大型科研基础设施的总体需求、科学潜力及其对德国科技强国地位的意义等情况的基础上制定的，明确了建设重点和方向，是对大型研究基础设施建设作出的长远政策决策。大型研究基础设施建设路线图确定了 27 个重点项目，涉及深海科考船、大气研究基础设施、医学研究装备和计算机模拟以及人文和社科等领域的研究平台，其中一半以上为大科学装置（见表 1）。

该路线图新纳入了切伦柯夫望远镜 (CTA)、欧洲化学生物学开放筛选平台 (EU-Openscreen)、商用飞机全球观测系统 (IAGOS) 等三个项目。德国将在 2020 年底前资助建造太阳号 (SONNE)、北极星号 (POLARSTERN)、海神号 (POSEIDON) 和流星号 (Meteor) 科学考察船，为此，联邦政府将投入 6.5 亿欧元。

2 建设方式

德国的大科学装置运营中心属于国立科研机构，其建设主要由德国亥姆霍兹国家研究中心联合会负责^[4]。

建设方式主要有德国独立建设和多国合作建设两种，其中德国独立建设的装置一般由联邦和装置所在州按照 9 : 1 的比例共同出资。由于这些大科学装置的建设 and 运行均由国家投入巨额经费、巨大人力，因此，大科学装置具有明确而长远的科学目标，负责管理运行装置的组织机构也被赋予了明确的使命。随着大科学装置研究的科学问题越来越深入，建设规模越来越大，建设和运行费用越来越高，单独一个国家无论是财力还是技术都难以承担。联邦教研部认为，在国家层面、欧盟层面甚至全球层面统筹规划、运行和使用这些基础设施十分必要。因此，通过国际合作共同出资建设和共同管理大科

表 1 2013 年德国大型研究基础设施建设路线图所支持的大科学装置表^[3] (单位: 百万欧元)

序号	科研基础设施名称	总预算	德国承担	联邦教研部 出资	开始运营时间 (年)	建设方
1	柏林能量回收直线加速器项目 (BERLinPro)	36.5	36.5	*	2018	德国
2	切伦科夫辐射望远镜阵列 (CTA)	191.2	58	58	2018	多国合作
3	欧洲超大天文望远镜 (E-ELT)	1 083	88	88	2022	多国合作
4	超强激光装置 (ELI)	825	—	13	2016	多国合作
5	欧洲散裂中子源 ESS-Social	每年 2.2	每年 0.4	**	2013	多国合作
6	欧洲散裂中子源 ESS-Spallation	1 800	202	202	2019	多国合作
7	反质子与离子研究装置 (FAIR)	1 594	1 158.4	*** 980	2018	多国合作
8	自由电子激光装置 (FLASH II)	33	33	*	2014	德国
9	北极星号科考船 (POLARSTERN)	450	450	450	2018	德国
10	海神号科考船 (POSEIDON)	113	113	113	2017	德国
11	太阳号科考船 (SONNE)	124	124	118	2015	德国
12	高斯超级计算中心 (GCS)	400	400	200	2017	德国
13	气候超级计算机 (Klima höchstleistungsrechner HLRE 3)	41	41	26	2014	德国
14	核聚变实验装置 (W 7-X)	1 100	—	*	2019	多国合作
15	欧洲 X 射线自由电子机关装置 (XFEL)	1 276.5	705.9	*** 642.9	2015	多国合作

备注: * 为亥姆霍兹联合会研究基础设施经费; ** 为莱布尼茨社会科学研究预算, 只包括协调成本; *** 为项目资金和机构资金。

学装置, 已经成为普遍采取的方式。在新的大型研究基础设施建设路线图确定的 15 个大科学装置中, 只有 7 个由德国独立建设, 其余都将与其它国家共同建设。

德国大科学装置的建设一般先由有关研究中心提出, 经联合会理事会研究同意并报联邦教研部决定后, 列入“大型研究基础设施建设路线图”实施。在大科学装置项目规划和启动阶段, 组建公益性的股份有限公司 (GmbH) 或协会游说其他国家参加。以欧洲 XFEL 为例, 该装置大部分设施在地下隧道系统中运行, 由 4 500 平方米的地下实验大厅、地下技术厅以及实验楼和办公楼等组成, 总长 3.4 公里, 包含一个长 1.7 公里的直线加速器。建设费包

括试运行费用, 考虑膨胀因素, 2016 年实际成本为 16.24 亿欧元。德国作为东道国出资 58%, 俄罗斯出资 27%, 其他国际伙伴出资比例在 1%~3% 之间。2009 年成立非盈利性质的欧洲 X 射线自由电子激光器股份有限公司, 成员有 11 个欧洲国家。2016 年该装置的各类实验大厅和实验室逐步进入设备安装、调试阶段, 年底进行试运行, 2017 年将正式投入使用。

3 运行管理和开放共享服务

3.1 组织机构及管理制度

为保证大科学装置的正常运行, 满足用户的科研需求, 各大科学装置的运营中心成立了相应的管

理机构，并制订了相应的管理制度。

以欧洲 XFEL 为例，在管理上按照德国公益性有限责任公司的法律规定，公司设立了理事会和董事会。理事会是公司的最高决策机构，由股东代表组成，每年至少召开两次会议。其职能是对公司重大事项进行决策，保障公司的正常运转，并与科学委员会合作，确保研究设施得到最佳利用。董事会是具体执行和管理协调部门。此外，还设有行政和财务委员会（AFC）、机械咨询委员会（MAC）、科学咨询委员会（SAC）、实物审查委员会（IKRC）、检测咨询委员会（DAC）和激光咨询委员会（LAC）6 个委员会，共同参与管理。

欧洲 XFEL 的管理制度主要包括：《欧洲自由电子激光装置建设和运营协议》^[5]《欧洲自由电子激光装置射线时间分配政策》《股东运行成本重新分配方案》等。

2009 年由大股东德国牵头联合其他欧洲 10 国签署了 XFEL 建设和运营协议，规定了各签约国在建设费用中所占比例（股份）及应缴纳使用费的义务；并签署公司合同，规定股东所享有的权利，包括在公司运营、财产、知识产权、设备使用等方面所享有的权益。XFEL 时间分配政策则规定了非股东用户使用该设施的义务和权益，保证这个投资巨大的设施能按期建成并投入正常使用，使该设施能充分发挥效益。

3.2 运行管理机制

通常情况下，大科学装置建设和运营的各个环节都是公开透明的，同时伴随着严格的监管和审核程序^[6]。在设施使用上，包括使用时间、设备的购置及后期处置等都需预先提交申请，说明使用目的，得到理事会的批准后方可使用，以维护科研设施的科研属性。

在大科学装置使用方面，欧洲 XFEL 的相关要求规定用户必须通过参加以某种专业方向研究为目的的用户协会（User Consortia）来使用。为组织和协调该装置的使用，2013 年在欧洲 XFEL 成立了 7 个用户协会，如高能激光用户协会 HIBEF，主要瞄准高能密度射线（HED）的研究课题。该协会由来自 60 个国家的 60 多个研究所的 80 个小组组成，包括 350 多位科学家和 300 多位博士研究生。用户协会的目的是协调各研究小组共同的研究活动。在

HED 射线使用时间分配上，扣除 20% 维护和内部研究的时间外，其余 80% 的时间可以进行分配。其中大约 30% 的时间提供给 HIBEF 用户协会成员用于自己的试验，主要满足新的研究方案、战略性的研究课题、新研究人员团队和较大试验等需求；50% 的射线时间用于满足普通外部客户的需要。专家组成成熟的实验申请主要通过公开的申请系统进行提交。

3.3 开放共享服务

大科学装置主要用于科学实验，特别是要对外部用户开放共享服务。欧洲 XFEL 的开放共享服务遵循以下主要原则：一是射线范围原则，根据光源射线的不同范围进行分配，一般情况下其结果是公开的；二是同行评审原则，由相关领域专家组成的评审委员会对项目进行评审，专家主要来自会员国及相关伙伴关系国家；三是灵活性原则，一般情况下，射线时间分配的总体框架是六个月为一个周期，但也具有充分的灵活性，允许具有高优先级工作的快速访问。在特殊情况下，项目申请可绕过常规射线时间分配方案，并在应急管理时间内进行，但事后提交理由。通过采取相应措施，优先保障优秀项目的长期使用。以欧洲 XFEL 为例，包括大学和研究机构以及工业企业在内的各个用户均可通过用户协会提交使用申请。评审委员会对申请的科学合理性、技术可行性、人员、进度和财务，以及试验的先进性和意义等方面进行评审，并最终由理事会确定使用时间。一般情况下评审委员会由内部专家组成，特殊情况下可聘请外部专家。审查专家数量应涵盖装置的各主要领域，同时也要足够灵活和高效。

3.4 知识产权管理

各大科学装置都会以协议的形式对知识产权的所有和使用进行规定。合作成员在开展合作研究之前都必须达成协议，明晰各方责任和义务，以避免出现知识产权纠纷。欧洲 XFEL 有限责任公司的协议规定，公司对知识产权具有优先权，即实验过程中如果有该公司派出的雇员参与，则公司对该实验所形成的知识产权具有优先权。也就是说，公司是所有由其员工创造出来的知识产权的拥有者。

4 评估评价机制

大科学装置由于投资巨大、建设周期长、系统

维护复杂,其立项建设以及运行服务必须通过严格的评估评价,包括立项建设前的评估以及建成后运行管理的评价。

4.1 立项建设前评估

德国大科学装置的选择是基于严密的审查过程,以确保德国使用的大科学装置是绝对顶级的。立项前评估过程主要包括两个方面:以科学为主导的科学评估和以经济为导向的经济评估。一般情况下,科学为导向的评估由科学理事会进行。经济为导向的评估由德国航空航天中心(DLR)的项目管理机构进行。评估方法一般包括定性评估和比较评估,评价内容包括科学潜力、应用领域、可行性和对德国研究的重要性等几个方面。

科学评估主要是对新领域的开发以及现有领域发展的评估,同时要考虑研究大科学装置的竞争性和互补性。经济评估主要是对建设成本和融资计划的评估,包括建设阶段的建设成本和运行成本,以及使用和调试阶段的运行维护成本、经济风险评估等。此外,实施方案和可行性、用户使用以及数据应用和保护等方面也是经济评估的重要内容,其中用户使用指标包括需求和目标客户群分析、内部和外边用户的使用管理,特别是要对外部用户的使用率进行估算。

4.2 建成后对运行及服务的评价

(1) 大科学装置运营中心内部的自我评估

德国每个大科学装置运营中心都有一个评审委员会,对装置管理的透明度和使用效率进行审查。欧洲XFEL每年6月份的股东大会都会对装置运营情况进行评估。

(2) 亥姆霍兹联合会对大科学装置运营中心进行定期考核评价

主要是对大科学装置的用户群体规模和来源、获取大科学装置使用的相关规章制度、数据管理和质量保障、科研成果及未来规划等进行评价。大科学装置的管理机构根据考核评价意见和建议,提高服务质量,完善相关管理。

(3) 联邦教研部和科学委员会对大科学装置的综合评价

联邦教研部和科学委员会定期对大科学装置的建设开发、管理运行和开放共享服务等进行综合评价,其评价结果作为后续支持和扩大投资的重要依据。

5 启示及建议

20世纪80年代以来,我国已运行和在建的大科学装置达20多个。世界最大单口径射电望远镜——500米口径球面射电天文望远镜(FAST)的落成启用,标志着我国大科学装置进入了新的发展阶段。近年来,我国陆续参与了一些国际大科学计划与工程,培养了一批高水平的科研和工程技术队伍,提升了我国科技的国际影响力。德国在大科学装置的建设管理方面积累了一些先进经验,对我国大科学装置的建设管理具有一定的借鉴和参考意义^[7,8]。

(1) 统筹规划,加快推进大科学装置的开发建设

国务院印发《“十三五”国家科技创新规划》提出了要“积极提出并牵头组织国际大科学计划和大科学工程”的目标。一方面要继续积极参与国际大科学装置项目,如自由电子激光器装置(FLASH)、欧洲X射线自由电子激光装置(XFEL)等,参与国际前沿科技竞争。另一方面,要敢于发起新的大科学计划,设计新的大科学装置,探索新领域和吸引全球的优秀人才。

(2) 优化布局,逐步形成大科学装置的集群效应

随着大科学装置增多,应注意进行优化布局,借鉴DESY的做法和经验,在某些领域逐步形成大科学装置的集群效应。一方面促进学科交叉、降低管理成本;另一方面与大学、研究机构相联合更好地服务于基础科学研究目标,提升多学科原始创新能力,形成协同效益和综合优势^[9]。

(3) 加强管理,提高大科学装置的开放共享和运行服务水平

对于大科学装置,建好仅仅是开始,用好才是关键。借鉴国际先进管理经验,细化管理制度和流程,强化事前评估和事后评价体系建设,并利用好评价结果,逐步提高开放共享程度,切实提高大装置的运行服务效率和成果产生率。■

参考文献:

- [1] 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[J]. 中国基础科学, 2001(6):52-58.
- [2] 刘静, 舒挺, 张军. 欧洲自由电子激光研究进展[J]. 激

- 光与光电子学进展, 2007, 44 (6) :43-48.
- [3] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Roadmap für Forschungsinfrastrukturen Bundesministerium für Bildung und Forschung [EB/OL]. [2016-11-24]. https://www.bmbf.de/pub/Roadmap_Forschungsinfrastrukturen.pdf.
- [4] 何宏. 德国亥姆霍兹国家研究中心联合会介绍 [J]. 中国基础科学, 2004, 6 (5) :55-59.
- [5] Übereinkommen über den Bau und Betrieb einer Europäischen Freie-Elektronen-Röntgenlaseranlage[EB/OL]. [2016-11-24]. http://www.xfel.eu/sites/site_xfel-gmbh/content/e63617/e79992/e68648/convention_german_eng.pdf.
- [6] 陈套, 冯锋. 大科学装置集群效应及管理启示 [J]. 西北工业大学学报: 社会科学版, 2015, 35 (1) :61-66.
- [7] 董佳敏, 刘人境, 张光军. 大科学工程组织管理模式对比分析及对我国的启示 [J]. 科技管理研究, 2016, 36(16):183-188.
- [8] 高凌云 (译). 中国参加 X 射线自由电子激光项目 [J]. 现代物理知识, 2006 (2) :63-63.
- [9] 徐旭东. 以大科学装置建设推动原始创新 [N/OL]. 人民政协报, (2016-08-23) [2016-11-24]. http://www.china.com.cn/cppcc/2016-08/23/content_39146993.htm.

Operational Service and Management Evaluation Mechanism of Large Scientific Facilities in Germany

WANG Jing-hua

(China Rural Technology Development Center, Beijing 100045)

Abstract: The large scientific facilities are regarded as an important component of basic research and the driving force behind innovation in German, as well as a good platform for cross-organization, interdisciplinary research and training of young scientists. After several decades of development, Germany has accumulated many typical practices and successful experiences in the construction, management and operation of large scientific facilities. This paper analyzes the construction, management, operation and evaluation of the large scientific facilities in Germany, with a view to providing reference for the construction of large scientific facilities in China.

Key words: Germany; large scientific facilities; large research infrastructure; road map of large research infrastructure; evaluation mechanism