

doi: 10.3969/j.issn.1000-7695.2019.08.003

德国重大科技基础设施路线图制定与启示

樊潇潇^{1,2}, 李泽霞^{3,5}, 宋伟¹, 吕琨⁴

- (1. 中国科学技术大学, 安徽合肥 230026;
2. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049;
3. 中国科学院文献情报中心, 北京 100190;
4. 中国国际工程咨询有限公司, 北京 100048;
5. 中国科学院大学图书情报与档案管理系, 北京 100190)

摘要: 深入解读德国在制定本国重大科技基础设施发展路线图的研究方法以及管理要点, 并提出关于准确把握重大科技基础设施内涵、以及优化我国设施规划制定程序等问题的思考, 以期对国家制定重大科技基础设施发展战略和规划提供借鉴。

关键词: 重大科技基础设施; 路线图; 发展战略; 规划

中图分类号: G311

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2019) 08-0015-05

Development and Revelation of Germany Roadmap for Large Research Infrastructure

Fan Xiaoxiao^{1,2}, Li Zexia^{3,5}, Song Wei¹, Lü Kun⁴

- (1. University of Sciences and Technology of China, Anhui 230026, China;
2. Institute of High Energy Physics, Chinese of Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. National Science Library, Chinese of Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
4. China International Engineering Consulting Corporation (CIECC), Beijing 100048, China;
5. Department of Library, Information and Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: This article deeply interprets the research methods and management points of the development roadmap of large research infrastructures in Germany, and puts forward some ideas about how to accurately grasp the connotation of the large research infrastructures and optimize the establishment procedure of our country's infrastructures planning, in order to provide reference for the country to formulate strategies and plans for large research infrastructures development.

Key words: large research infrastructures; roadmap; development strategy; plan

1 研究背景

本世纪以来, 重大科技基础设施对于解决科学重大突破、驱动经济发展新引擎、满足国家重大安全及战略需求等方面的作用越来越突出, 引起世界各国的竞相追逐。越来越多的国家和地区采用路线图的方法规划重大科技基础设施的未来发展。美国能源部作为美国重大科技基础设施运行与发展的主要机构之一, 于 2003 年发布了重大科技基础设施建

设战略规划《未来的科学装置——二十年前瞻》, 部署了未来 20 年建设的 28 个重大设施。欧盟于 2006 年发布第一版泛欧洲的重大科技基础设施发展路线图^[1], 并多次更新, 最新版路线图于 2016 年发布, 近 10 年来共规划建设了 56 个重大科技基础设施^[2]。欧盟各国也结合泛欧洲设施发展战略, 同时结合本国科技发展重点和特点, 纷纷制定并推出了本国重大科技基础设施路线图, 目前, 在欧盟 32 个成员国中, 有 24 个国家制定了本国设施发展路线

收稿日期: 2018-06-19, 修回日期: 2018-08-16

基金项目: 中国科学院文献情报中心能力建设专项“支撑综合性国家科学中心建设的关键情报能力与服务体系”(Y17047); 中国科学院文献情报中心能力建设专项“重大科技基础设施领域战略情报研究与决策咨询体系建设”(Y18036)

图,有3个国家正在筹划发布。欧美之外的如澳大利亚、韩国等也制定了本国重大科技基础设施路线图,不断夯实本国研究基础,加强研究能力。作为一直将重大科技基础设施建设视为本国科技发展优势的德国来说,也将制定国家设施路线图作为推动本国设施发展的重要举措。

德国是欧洲科技发展的领头羊,其高质量、快速的经济增长得益于国家对于基础科学和高新技术发展的高度重视。德国尤其重视重大科技基础设施在科学研究中的作用,认为重大科技基础设施是开展卓越理论研究、实现重大技术进展和发展新研究领域的重要先决条件,是德国实现科技和经济快速、高质量发展的关键因素。

德国重大科技基础设施建设始于上世纪五六十年代,到目前约有运行、在建、规划设施约80余个,包括如欧洲X射线自由电子激光装置(E-XFEL)、电子同步辐射加速器(DESY)、欧洲极大望远镜(E-ELT)等具有全球影响力的重大科技基础设施,基本覆盖了能源科学、生命科学、地球与环境科学、材料科学、空间与天文科学、粒子物理与核物理科学、工程技术科学等主要学科领域,甚至包括人文与社会科学。这些设施为德国的科学进步和经济发展提供了重要的技术支撑,同时也是开展国际合作和培养青年科学家的重要平台。近年来,德国在重大科技基础设施方面的投入不断加强(如图1),也体现出德国政府对设施建设发展的高度重视。德国在重大科技基础设施的建设和管理方面有其特点和优势,王敬华^[3]、张虹冕等^[4]国内学者对德国在重大科技基础设施方面的运行、管理、评价和集群效应等做了深入详细的分析和研究。

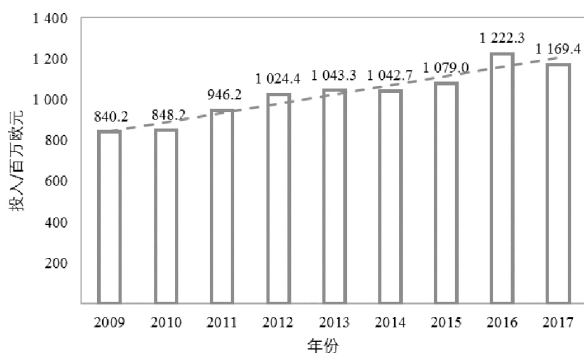


图1 2009—2017年德国重大科技基础设施的投入趋势^[5]

我国重大科技基础设施从“十二五”时期开始正式从国家层面对设施进行宏观设计和规划。“十二五”“十三五”期间是我国重大科技基础设施迅速发展期,共规划项目26项,这些重点项目的部署可以说影响了我国未来10~20年的重要科技力量布局。党的十

九大提出了新时代坚持和发展中国特色社会主义的战略任务,描绘了把我国建成社会主义现代化强国的宏伟蓝图,开启了实现中华民族伟大复兴的新征程^[6]。重大科技基础设施作为国家重要战略科技力量,其下一步建设和发展布局对稳步实现十九大提出的我国2035年、2050年两个总体目标具有重要意义。现在正值国家全面进入“十四五”科技发展规划的关键时期,我们对德国目前制定路线图的方法及管理要点进行深入剖析,以期能为我国在重大科技基础设施规划和发展战略研究方面提供一定参考。

2 德国重大科技基础设施路线图方法研制的过程

德国在提供和利用重大科技基础设施方面在欧洲发挥着主导作用,这源于德国一直非常重视重大科技基础设施的建设和发展,在重大科技基础设施的规划和路线图研究方面有较长时间的研究和实践。

2000年3月,主要负责制定和实施德国联邦研发政策与各种科研支撑计划的政府机构——德国联邦教育与研究部(BMBF)要求科学理事会就重大科技基础设施的未来发展和布局给出建议。9月,BMBF请包括亥姆霍兹联合会、莱布尼茨学会和马克斯普朗克学会等德国科研机构针对其基础研究的现实情况提出未来需要建设、与大学合作,或需参与国际合作的重大科技基础设施。10月,BMBF把投资额度超过为1500万欧元的设施清单交给科学理事会。2001年10月—2002年1月期间由科学理事会组织6组不同的专家委员会进行评估,其中包括57个外部专家,37个是国际专家。最终形成了针对9个设施未来发展的战略报告,2002年7月提交给德国教研部,并公开发布^[7]。

此外,为了尽最大可能高效地利用现有资源,并考虑未来长期发展,规划新的研究基础设施,2011年德国首次启动了对科技基础设施建议的全面评估过程。其核心内容是对科学内涵的评估,这是BMBF对研究基础设施建设建议优先的基础,同时也考虑与经济社会的相关性和财务可行性,同时兼顾学科之间的差异。经过两年的研究,于2013年发布其国家研究基础设施路线图,在试行两年之后,2015年正式实施^[8]。同时在这个过程中,深入研究了路线图制定的理论和方法,并将在2013年路线图中采用的评估方法和路线图制定流程固化为其国家路线图制定的标准方法体系^[9]。2017年,BMBF基于同样的方法流程,对12个研究基础设施进行了科学优先的研究和评价^[10]。

3 德国科技基础设施路线图制定

3.1 路线图中重大科技基础设施的范围

在德国联邦教育与研究部提出的国家路线图进

程中，对重大科技基础设施进行了明确的定义，是指惠及各个科学领域研究的综合的、长期的资源，包括：实验室、设备、仪器及材料、数据库及服务基础设施。需具备以下基本特征：对制定科技政策具有国家级的意义；有较长的使用周期，通常至少是10年；开放使用，并根据科学质量标准进行管理；建设和运行的成本高，须投入大量国家公共资金，因此需要一个全面的国家决策过程；必须有足以执行相关任务的全面管理系统，在设施不同地点执行互补任务的情况下，它们须形成标准统一、功能整合、可视为一个整体的研究基础设施。

随着社会和经济的发展变化，德国的重大科技基础设施也不仅仅局限于粒子加速器、天文望远镜等传统学科领域及形态，其涵义不断丰富：（1）支撑学科领域不断扩充。设施支撑的学科领域不再限于传统的自然科学、技术科学、生命科学，近几年，人文科学和社会科学对科技基础设施的需求不断涌现；（2）设施形态愈加丰富。传统的“集中式”设施越发成熟，同时位于不同地点的一系列仪器组成的“分布式”设施也逐渐发展；（3）新形式的设施不断出现。由于信息技术的迅猛发展，出现了包括电子信息基础设施等新形式设施，例如用于海量数据分析的高性能数据中心和信息网络平台。

目前，德国的科技基础设施主要分为四类：（1）直接用于开展研究项目的大型设施，如粒子加速器（FAIR）、切伦科夫望远镜阵列（CTA）；（2）为特定科研项目的采集、处理和提供数据的信息基础设施，如社会经济专家组（SOEP）；（3）信息技术基础设施，如用于气候研究的高性能计算平台（HLRE3）；（4）用于支撑人文科学和社会科学领域的社会研究基础设施，如高等可持续研究所和上沃尔法赫数学研究所。

3.2 路线图涵盖的设施发展阶段

德国设施路线图定义科技基础设施的全生命周期包括初始阶段、设计阶段、规划阶段、实施阶段、运行阶段以及终止退役等6个阶段。而路线图的关注点在于设施全生命周期中至关重要的早期阶段（如图2），这一阶段包括技术设计阶段的末期以及规划阶段的全部时期。这些阶段涵盖了从设施计划的最初制定到形成一个可供执行的具体提案的全过程。

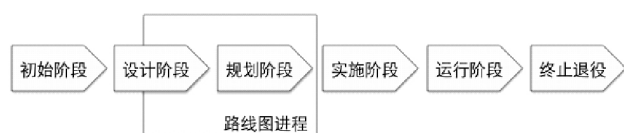


图2 设施全生命周期及路线图进程涵盖的设施发展阶段

3.3 设施路线图制定流程

为了确保重大科技基础设施在公开透明的工作机制下进行科学的战略规划和合理的优先排序，德国联邦教育与研究部研究制定了一套行之有效的路线图制定流程。

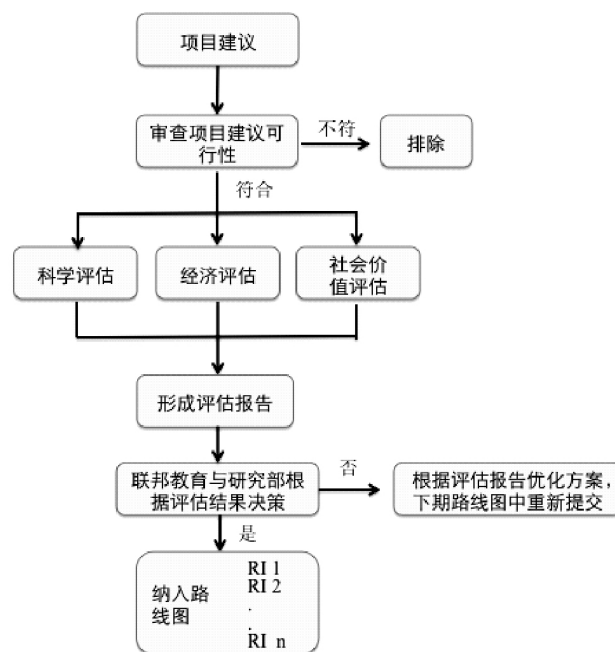


图3 路线图制定流程

路线图制定分为3个阶段：

（1）第一阶段：对提交的项目建议进行可行性审查。这一阶段，需要对两个必要条件进行审查：一方面是确保项目建议满足科技基础设施的特征，另一方面是提交的项目建议应进入了实际规划阶段，足以进行评估。这对设施需要进行的科学评估、经济评估和及时启动建设任务是非常必要的。

（2）第二阶段：对项目提案进行评估。评估阶段，德国联邦教育与研究部将邀请独立专家对项目建议进行科学评估和经济评估。其后，德国联邦教育与研究部将对项目建议进行社会价值的评估。其中科学评估是此次评估的核心，路线图的制定过程必须是科学驱动的。这三次评估均是独立进行，最终评估结果汇总后，将作为该项目是否纳入路线图的决策依据。

科学评估由德国科学和人文科学委员会任命的国际专家委员会负责，该委员会由来自各学科领域的国内外研究人员组成。科学评估分为项目建议评估和综合对比评估两部分。其中，综合对比评估是为了保障能够对不同学科领域的项目建议在同样的基准下被客观评价，而两次评估均采用统一的评价标准，包括四个方面，分别是科学意义、应用、可

行性以及德国科研地位的关系（具体含义见表1）。

表1 设施评估指标的含义

评估指标	含义
科学意义	指对开发创新研究领域或发展现有领域的重要科学意义，这一方面，不仅考量项目本身，还会考量该项目与其他项目的竞争和互补关系
应用	指从基础设施使用的角度来考量，包括用户规模、用户的来源和促进用户共享的机制等方面。数据概念、使用的质量保障措施、在处理研究数据方面的良好科学实践标准，以及科学论文产出的情况
可行性	指对负责机构可行性的维度考虑到负责机构的技术，人员和相关资质（包括治理概念和模式），以及相关风险。设施的实施状态也是重要考虑因素之一
与德国科研地位的关系	考虑设施与德国科研地位和科研利益的相关性，以及对德国研究显示度和影响力的影响

每个项目都有3个该领域的专家评审（通常是国际评审）。在第一部分的评估，3个评审专家独立对项目建议进行评价。随着过程的深入，设施项目的建议者与评审专家、德国科学与人文委员会的评审人员一起讨论项目建议，这个互动过程加深了评审专家对项目的理解，同时也加深了参与讨论的科学和人文委员会成员对项目的理解。这一阶段的评估结果是评审专家和参加评估的委员会成员联合做出的，所有的评估人员达成一致的意见是至关重要的。

第二部分的目标是对所有提案进行综合对比评估。为此，委员会在联合评估的基础上编制每一个设施提案的评估报告，其中也可能包含关于进一步改进设施提案的建议。这一阶段，评估人员会对所有领域的设施建议逐个指标进行评价。还需要有一个校准的过程，修正不同领域的评估差异。评估结果将以表格的形式展现（见表2）。

表2 综合对比评估的结果示例

Proposal	Scientific Potential	Utilisation	Feasibility	Relevance to Germany as a location of science and research
ACTRIS-D	*****	*****	*****	*****
AtmoSat	*****	*****	*****	*****
DCOLL	***	*****	*****	***
ER-C 2.0	*****	*****	*****	*****
EST	***	*****	*****	*****
GerBI-RI	***	*****	*****	*****

除了科学评估，还需要进行经济评估和社会价

值评估。

为了高效利用有效资本，德国联邦教育与研究部任命具有经济和设施学科领域相关的专业技术专家和项目建议进行经济评估。专家将会对项目建议的开发成本进行估算，对项目提出的成本估算进行完整性、可行性和合理性的评价。

社会价值评价是由相关资助机构组织进行的，其重点包括对社会经济的直接影响及中长期经济效应、科技基础设施在国家创新链的重要作用、解决国家某种重要需求的能力以及面向未来的研究领域或培养下一代研究人员等等。

(3) 第三阶段：联邦教育与研究部或其他决策部门根据第二阶段的评估结果进行决策。决策阶段，联邦教育与研究部会依据项目建议的科学、经济和社会价值三方面的评估结果，同时考虑包括国际义务、项目对创新科研领域或相关科技发展战略可能做出的贡献等其他重要因素，来进行是否纳入国家路线图的决策，并对入选项目进行优先排序。

评估程序结束时，所有参与路线图过程的项目都会得到一个评估结果。未能纳入国家路线图的项目也将根据此评估结果继续优化，在下期路线图进程中重新提交申请。

4 德国设施路线图管理要点及对我国设施规划制定和发展战略的启示

4.1 准确把握重大科技基础设施的涵义，科学界定范围，重视潜在需求

德国设施路线图中提出，现有设施涵义不断丰富，在“集中式”设施的基础上，“分布式”等多形态设施不断涌现。20世纪40年代，受二战时期的国家安全战略需求的驱动，产生的美国“曼哈顿计划”催生了一批如粒子加速器和核试验等装置，以及后来逐渐发展成熟的如同步辐射光源、中子源、天文望远镜等都属于传统的“集中式”大科学装置（large scale scientific facility）。其支撑了广泛的如粒子物理与核物理、天文、先进材料等学科领域的快速发展，如我国的北京正负电子对撞机、散裂中子源、上海光源、500m口径球面射电天文望远镜等等。随着科技和经济社会的不断发展变化，为解决如生态环境、生命科学、大空间尺度等重大科学问题，由分散的、鼓励的所谓小科学研究方式逐渐向大规模、集成的、系统的关联设备集合转变，由此出现了“分布式”“集成式”等多形态重大科技基础设施（large research infrastructure），如我国“十一五”期间重点建设的东半球空间环境地基综合检测子午链就是典型的分布式设施，蛋白质科学研究

设施则是一种集成式设施。

准确把握重大科技基础设施的涵义不仅仅是一个科学问题,也是一个重要的管理层面的问题。首先,重大科技基础设施不同于一般的基建项目,不同于中小型设备。它具有重大的科学和国家战略意义,具有国家赋予的明确使命;其次,就“分布式”“集成型”重大科技基础设施来说,也不等于单纯的设备集合,它应为了明确的科学目标,或者为了满足某项国家重大需求,是一个地域分散或者设备分散、目标统一的大规模关联设备系统集成。一方面,科学界定重大科技基础设施的范围,是与我国创新能力建设其他支撑计划的科学分工和配合协调,是提高资源利用效率的前提条件。另一方面,我们应认识到,随着科技的发展,新兴学科领域以及现有学科领域对于设施的新需求,都会使得设施形态不断发展变化。准确把握重大科技基础的内涵,对于分析我国设施发展的现有需求、新需求、潜在需求具有至关重要的意义。

4.2 进一步优化和完善我国重大研究基础设施规划的制定程序

目前,我国重大科技基础设施规划采用的是中长期规划结合5年规划的方式,这一方式在一定时期极大促进了我国重大科技基础设施的发展,并取得了很好的成效。但随着我国重大科技基础设施逐步进入稳定发展期,需要对每个设施的发展、使用和规划都进行通盘考虑,充分利用国家的资源投入,让重大科技基础设施能在科技发展、经济建设和国家需求方面发挥更大作用。科技发展的速度瞬息万变,科技管理的方式也应当适应科技发展的特点,因此,科学家呼吁“重大科技基础设施领域,改五年规划为中长期规划加年度(或每两年)征集和遴选……^[11]”,从而能够及时应对科技发展和国家需求的新变化。

路线图的规划方式既兼顾了全生命周期,又具有动态调整的特点。不同国家、不同领域都采用路线图方法作为确定未来投资优先顺序的工具,并在科技规划研究和实践中取得不错的效果^[12-13]。因此建议深入研究如何将路线图规划方法与我国重大科技基础设施的规划管理有机结合,并将研究成果及时应用到重大科技基础设施的规划管理过程当中。

参考文献:

- [1]陈娟,罗小安,樊潇潇,等.欧洲研究基础设施路线图的制定及启示[J].中国科学院院刊,2013(3):386-393.
- [2]程如烟.欧盟2016年研究基础设施路线图的组织管理及启示[J].世界科技研究与发展,2017(7):3-7.
- [3]王敬华.德国大科学装置运行服务及管理评价机制[J].全球科技经济瞭望,2016(10):23-28.
- [4]张虹霓,赵今明.德国亥姆霍兹联合研究会建设特点及其对我国的启示[J].世界科技研究与发展,2018(3):1-8.
- [5]BMBF. BMBF'S DATA PORTAL - Research and innovation [EB/OL] (2017-05-31) [2018-02-16]. <http://www.datenportal.bmbf.de/portal/en/K1.html>.
- [6]中国政府网.习近平:在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话(2018年5月28日) [EB/OL] (2018-05-28) [2018-06-01]. http://www.gov.cn/xinwen/2018-05/28/content_5294322.htm.
- [7]WISSENSCHAFTSRAT. Statement on nine large-scale facilities for basic scientific research and on the development of investment planning for large-scale facilities [EB/OL] (2002-07-12) [2010-05-13]. <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/5385-02.pdf>.
- [8]BMBF. Roadmap for research infrastructures [EB/OL] (2013-09-01) [2017-06-16]. <https://www.bmbf.de/publikationen/?E=30827Infrastructures>.
- [9]BMBF. The national roadmap process for research infrastructures [EB/OL] (2015-08-01) [2016-11-01]. https://www.bmbf.de/pub/The_National_Roadmap_Process_for_Research_.pdf.
- [10]WISSENSCHAFTSRAT. Report on the science-driven evaluation of large-scale research infrastructure projects for inclusion in a national roadmap [EB/OL] (2017-06-01) [2018-2-26]. https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/6410-17_engl.pdf.
- [11]科学网.吴季委员:加强政府主导的有组织的定向基础研究 [EB/OL] (2018-03-02) [2018-04-06]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2018/3/404237.shtm>.
- [12]NASA. 2015 NASA technology roadmaps [EB/OL] (2015-07-23) [2016-01-12]. <https://www.nasa.gov/offices/oct/home/roadmaps/index.html>.
- [13]CRESTO ALEINA, S., VIOLA, N., FUSARO, R. et al. Effective methodology to derive strategic decisions from ESA exploration technology roadmaps [J]. Acta Astronautica, 2016(126):316-324.

作者简介:樊潇潇(1982—),女,河北石家庄人,副研究员,中国科学技术大学公共管理学院在读博士,主要研究方向为重大科技基础设施管理;李泽霞(1977—),通信作者,女,甘肃兰州人,副研究员,博士,主要研究方向为学科信息及政策分析、重大科技基础设施战略情报研究;宋伟(1961—),男,安徽定远人,中国科学技术大学公共管理学院院长,博士生导师,主要研究方向为知识产权管理和科技政策;吕琨(1983—),男,山东济南人,副研究员,主要研究方向为重大科技基础设施的咨询评估。