

大科学与创新

Big Science and Innovation

保罗·西蒙兹 (Paul Simmonds)

埃丽卡·克雷默-姆布拉 (Erika Kraemer-Mbula)

安德烈·霍瓦特 (Andrej Horvath)

詹姆斯·斯特罗扬 (James Stroyan)

弗兰克·祖丹姆 (Frank Zuijdam) — 著

李泽霞 刘小平 冷伏海 等 — 译



科学出版社

大科学与创新

Big Science and Innovation

保罗·西蒙兹 (Paul Simmonds)

埃丽卡·克雷默-姆布拉 (Erika Kraemer-Mbula)

安德烈·霍瓦特 (Andrej Horvath)

詹姆斯·斯特罗扬 (James Stroyan)

弗兰克·祖丹姆 (Frank Zuijdam) — 著

李泽霞 刘小平 冷伏海 等 — 译

科学出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

大科学与创新/ (英) 西蒙兹 (Simmonds, P.) 等著; 李泽霞等译. —北京: 科学出版社, 2016.4

书名原文: Big Science and Innovation

ISBN 978-7-03-047769-9

I. ①大… II. ①西… ②李… III. ①科学研究-关系-技术革新
IV. ①G3②F062.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 053048 号

责任编辑: 邹 聪 郭亚会 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 黄华斌

联系电话: 010-64035853

电子邮箱: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 4 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2016 年 4 月第一次印刷 印张: 10

字数: 204 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

目 录

1. 概述	1
1.1 关于本报告	1
1.2 英国的科技投入与研究基础设施	1
1.3 “大科学”与创新	3
1.4 评估财务与经济成果	4
1.5 评估创新成果	4
1.6 评估集聚效应	5
1.7 关于进一步发展与未来研究的说明	6
2. 导论	8
2.1 关于本报告	8
2.2 研究目的	8
2.3 总体方法	8
2.4 报告的结构	9
3. 英国的科技投入与研究基础设施	10
3.1 “大科学设施”	10
3.2 研究基础设施建设投入综述	12
3.3 研究基础设施存量	16
4. “大科学”与创新	19
4.1 “大科学”与创新之间的关系	19
4.2 设施的生命周期与创新意义	22

4.3 对创新的实质性贡献	29
5. 评估财务与经济成果	31
5.1 简介	31
5.2 研究与评估的数据来源	31
5.3 经济成果	35
5.4 方法论	35
5.5 数据要求	41
5.6 优势和不足	41
5.7 结果和典型案例	43
5.8 未来对 BIS 评估研究基础设施的意义	44
6. 创新成果	46
6.1 简介	46
6.2 研究与评估的数据来源	46
6.3 创新成果	50
6.4 方法论	50
6.5 数据要求	53
6.6 优势和不足	54
6.7 结果和典型案例	56
6.8 未来对 BIS 评估研究基础设施的意义	56
6.9 发展需求	57
7. 集群与集聚效应	58
7.1 简介	58
7.2 研究与评估的数据来源	58
7.3 创新成果	58
7.4 方法论	59
7.5 数据要求	60
7.6 优势和不足	61
7.7 结果和典型案例	61

7.8 未来对 BIS 评估研究基础设施的意义62

7.9 发展需求63

8. 关于进一步发展与未来研究的说明 64

附录 67

附录 A 缩略语对照表67

附录 B 科学的资金资助概述.....71

附录 C 大型研究设施清单.....79

附录 D 文献综述和参考文献88

附录 E 案例研究.....95

附录 F 报告中涉及的方法141

1. 概 述

1.1 关于本报告

本报告是探讨大型研究基础设施和创新之间关系的一项研究。这是一份通过研究过去所做过的一些评估工作，从而对创新成果的评价方法提出建议的研究报告。

在撰写本报告的过程中，我们进行了文献综述和资料分析，开展了小部分定性研究并对主要利益相关方进行了访谈。

大型研究基础设施是基础设施的一个重要子范畴，不仅涉及对先进设备及相关基础设施的大规模投资，往往还涉及大规模、高技能的运营支持团队和相关服务。比较广泛的共识为大型研究基础设施是科学研究的重要“工具”，对于帮助我们探索未知世界非常关键。

人们往往认为大型研究基础设施就是位于某个固定场所的设施，如粒子加速器和望远镜，但是，研究基础设施的类型更加多样化：远远不止于大型集中式的设施，它的范围还包括从物理上分散的资源，如超高速通信网络、虚拟设施和具有国家或国际重要意义的文物藏品等。

我们所查阅的大部分文献都是评估单址设施的社会经济影响的，由于其多样性，我们在进行文献研究时将大型研究基础设施分为四个大的类别（单址设施、分布式设施、移动设施和虚拟设施）以帮助我们理解。

1.2 英国的科技投入与研究基础设施

为了使这项分析更切合实际，我们回顾了英国科学预算的整体发展，以及

在研究基础设施建设方面的投入所占的比例。

2011/2012~2014/2015 财年科学与研究经费分配 (ASRF) 表明, 虽然基础设施建设投资在科学预算总额中所占份额非常小却非常重要。2011/2012 年度, 研究基础设施建设投入预算约为 5.15 亿英镑, 约占科学预算总额的 12%。据估计, 其中约 1/3 的投资用于大型研究基础设施相关的项目, 但是无论从相对角度还是绝对角度而言, 对大型研究基础设施战略性支持的投入都在增长。自 2010 年开支审查 (SR10) 以来, 政府已经制定了多项重要措施, 这些措施有望使得 2013/2014 年度和 2014/2015 年度的年度支出大幅增长。

主要的预算项目包括七个研究理事会的独立预算与英国四家国家高等教育资助委员会的预算 (分别占 46% 和 27%), 英国航天局 (UKSA) 和大型研究基础设施投资基金 (LFCF) 将补足其中的差额 (26%)。

研究理事会的预算可用于资助该理事会自身研究机构的研究基础设施及大学的研究基础设施。高等教育机构 (HEI) 的投资基金则主要用于确保大学的研究场所、设备和基础设施的数量与质量足以开展卓越研究。LFCF 用于支持国家大型研究基础设施, 包括对现有的研究基础设施及正在积极筹备中的基础设施 [如钻石光源 (DLS)、英国散列中子源 (ISIS) 和平方公里阵列 (SKA)] 的支持。

我们对英国现有的各类大型研究基础设施非常感兴趣, 借此了解其规模和范围, 以及所属学科或设施类型等各方面显现出的趋势。

英国的全部研究基础设施并没有一个完整明确的清单, 于是我们通过欧洲研究基础设施前景图谱 (MERIL)^① 项目达到了这个目的, 该项目是欧盟资助的一个项目, 描绘了整个欧盟地区的研究基础设施的分布。

我们列出了一个大型研究基础设施的清单, 其中大量资料都取自 MERIL 数据库, 而且科学与技术设施委员会 (STFC) 和其他研究理事会也对该清单做了补充。该清单列于附录中, 包括研究基础设施的名称及其主要针对的学科领域。虽然该清单可能并不全面, 还有一部分英国研究基础设施并未包含其中, 但是该清单足以让我们开展一些简单的分析。

该分析清楚地表明, 英国拥有大量各个领域 (从自然和物理科学领域到艺

① Mapping of the European Research Infrastructure Landscape, <http://portal.meril.eu/converis-esf/publicweb/startpage?lang=1>。[译者注]

术领域)具有国际或国家意义的研究基础设施。这也再次印证了在四种设施分类中,英国的很多研究基础设施都具有国际或国家意义。研究基础设施的分布比例也显示出单址设施在所有设施中的重要地位,因为约有一半的设施都属于单址设施。

1.3 “大科学”与创新

这项研究的第二个目的是研究有关创新模式及成果的文献,并进一步探讨“大科学”设施对创新模式和成果的影响。

我们进行了大量的文献调研,首先分析研究了我们原有的 50 份文献,之后我们又投入了大量精力,设法将查阅的文献数量增加一倍。然而,其中约有 70 份文献具有参考价值,而这 70 份参考文献中,约 30 份专注理论研究,而其他 40 份则是实证研究。

“大科学”与创新之间的关系已在研究政策的文献中进行了讨论,但是此类文献并不像研究公共研究的社会利益的文献那么普遍。本研究中的大部分文献都属于实证研究类文献,详细介绍了单个设施所取得的成就,很少有文献系统地阐述相关的理论性问题。

从创新的角度来看,理论性文献中有两点特别重要,这意味着大型研究基础设施对科学创新的贡献与其他设施相比有着本质的不同。

(1)在建设下一代研究基础设施的过程中我们必须克服一些挑战,克服这些挑战也就意味着逐步扩展了当代仪器与设备的技术边界。设施的建设方可能会明确向承建方提出创新的解决方案,之后很多人就可将这些新的产品或服务转移到其他市场,应用到其他设施,甚至其他行业。

(2)国家和国际互联的研究基础设施的出现,以及大数据支持新研究的开展,此外,通过开放获取政策也可促使新的分析功能支持公共和私营部门的创新。

有迹象表明,研究机构无论在其设计和建设期间(如用户主导的创新),还是运营和使用期间(如服务创新和较为传统的以研究为基础的知识转移)都会产生工业知识溢出效应。

查阅实证文献发现,研究人员特别关注以下三类广泛的社会经济影响。

(1)在一个地点投入大量的公共资金所产生的直接和间接经济效益,既包

括施工阶段也包括运营阶段；

(2) 设计、建造及装配该设施的承建商，以及将专业技术服务回售至该研究设施（或其他相关设施）的孵化企业，都会出现产业知识溢出效应；

(3) 对当地经济影响和大型研究基础设施周围的高科技集群建设。

这三大类社会经济影响往往都可通过不同的方式方法进行评估。

1.4 评估财务与经济成果

绝大部分的经济影响评估都采用大致相同的方法，即评估者获取支出和就业数据，然后对这些历史数据进行投入-产出（IO）分析，来估计公共开支的直接和间接效益。IO 分析可使用国家或地区的正式 IO 表。

此类评估得出的经济系数通常介于 2 和 3 之间，也就是说，通过供应链和获得薪水的员工的个人消费，每 100 万英镑的公共开支，往往会在更广泛的经济领域产生额外的 200 万~300 万英镑的经济活动。

此类研究的广度和深度往往不同，但我们认为这只是反映了不同研究的研究思路的差异，而不是其研究方式存在问题。也有研究人员使用过其他新方法，如条件价值评估法，以实现用户价值的货币化或改善相关二手数据资料，如购买专利授权的植物新品种及相关商品的价格等。

这些研究的设计与其他政策领域内对各种经济影响评估的研究的设计相似。此类研究的主要缺陷在于，它们没有考虑资本增益、替代效应或机会成本，没有对它们进行调整，以确保最终的评估是对经济影响净值的公正评价。

1.5 评估创新成果

我们发现 20 篇文献介绍的是通过大型研究基础设施取得的创新。定性研究是所有此类研究的基石：大多数情况下都使用案例研究方法，以得出研究基础设施和具体创新行为之间的特定关系。通常情况下，案例研究可以通过调研承建商或现有的孵化企业或产品的数据库（spinoff databases）开展，然后利用半结构式访谈结合文献研究的方法加以详细的分析，因此此类研究不仅涉及所

有的利益相关方，还涉及合约用户。

广义上讲，虽然使用的研究方法可能类似，但研究范围却有所不同。只有少数研究采用的样本量非常大，足以代表整体，从而为总经济效应的评估奠定了基础[如欧洲核子研究组织（CERN）、美国国家航空航天局（NASA）]。

极少有研究对创新成果进行统计汇总，但是也有一些研究案例：如对大型强子对撞机（LHC）的高科技合同的一项调查得出的结论是，大约 40% 的供应商能够利用这些经验，并在市场中推出新的产品或服务。NASA 的“2012 孵化产品”年度报告估计，2000~2012 年报道的 500 项左右的孵化产品已经产生了 50 亿美元的额外收入，而且已经实现高达 62 亿美元的成本费用节约。

这里，我们的方法论面临双重的挑战。首先，我们用于分析的大多数报告中仅研究了少数的案例，而且仅是简单介绍了这些案例与相关设施之间的关系；其次，在少数使用大量案例的研究中，也只是使用常用的分析框架或模板对这些案例进行了简单综合，基本没有提供支持的证据和相关的佐证。因此，过度夸大其效益的可能性是显而易见的，无论是单一案例还是整体的综合研究都存在这种可能。

1.6 评估集聚效应

我们发现只有 9 篇文献试图介绍大型研究基础设施的区域效应和集聚效应，包括事前评估和事后评估。文献同样包含了经济影响评估和案例研究。然而，这些研究几乎全部都是针对位于一个或两个地点的大型研究基础设施的大规模投资。

大多数报告都结合了对（当地）经济影响的定量分析及对知识溢出效应的定性调查。

对当地经济影响进行定量分析的方法与对重大投资进行的经济分析的常用方法类似，也就是，研究者获得了公共开支的数据，并利用 IO 模型对这些数据进行分析。通过此类分析，研究者可以就此获得适用于不同的时间区段的全球公认的对当地直接、间接及引致的经济影响的估计值。在某些情况下，为了方便起见，作者可以选择简单地套用标准的 IO 系数，而不是通过一个国家或地区设置的 IO 表来追踪或为个人消费建模。

定性研究更加广泛地使用在捕捉协同定位的企业、孵化产品或外来投资的增长等方面。这些报告都使用了案例研究的方法。这些研究的深度可能不同，但大多数并不深入：描述相关业务，之后用几句话简要介绍相关业务与该设施之间的关系。

没有一份报告仔细研究过对更广泛的创新生态系统的影响，或对主要新技术或行业的贡献。我们所回顾的文献中对研究基础设施（RI）效益这方面并没有过多的描述，这表明一项明显的、潜在的、独特的社会经济贡献尚未进行充分的研究，而且公众对其的了解也非常有限。

1.7 关于进一步发展与未来研究的说明

总的来说，这一领域的研究和创新政策仍然是一项正在进行的工作，对于改进评估大型研究基础设施效益的方法的呼吁，我们还没看到正面的回应。

然而，最紧迫的挑战不是方法本身，而是执行影响力评估的分析人员必须熟悉评估研究基础设施的工具和技术。在实践中，最大的挑战来自文化层面。这些重大研究基础设施几乎从来没有被评估过，这或许就是需要开始改变的地方：要做更多的社会经济效益评估。我们对研究基础设施的调查表明，应该对基础设施进行更多的评估。相应地，在进行评估的时候，需要评估范围更大的规范，不能仅仅局限于对支出和地区系数的简单分析，并且对创新、新市场和地区集群的影响都需要更密切的调研。

接下来，我们将推荐几种做法让英国商业、创新与技能部（BIS）考虑，同时我们也承认，每一种做法都意味着额外的工作和成本，有些可能不是目前的财务状况能立即实现的。

（1）创建 BIS-STFC 联合工作组，来监督研究基础设施相关的评估实践的发展。

（2）改进大型研究基础设施的数据基础设施：①就英国重要的研究基础设施清单达成一致意见，并接触其各自的“所有者”，以鼓励这些组织改进他们的数据基础设施；②继续充实可获得的供应商和用户的元数据数量；③如果这些机构能够创建信息系统，识别知识溢出效应并获取影响更广泛的例子，那就更好了。

(3) 进行一系列的社会经济效益评估, 从而扩大参考资料存量, 并更普遍地发展评估实践: ①对已有 (运营 10 年以上) 的重大研究基础设施进行 (事后) 评估; ②详细调研主要研究基础设施对当地创新生态系统和地区集群所起的作用或所做的贡献; ③跟踪并详细记录主要研究基础设施对重要商业形态和新兴部门的出现所起的作用或所做的贡献; ④详细记录大科学和科技资金的投入对创新所做的贡献。

2. 导 论

2.1 关于本报告

本报告展示了一项探讨大型研究基础设施和创新之间关系的研究结果。这是一份供科学和创新分析人员及设施所有者使用的参考性文档，本报告针对创新成果的评价方法提出建议，同时介绍了之前的一些评价案例。

2.2 研究目的

本报告旨在详细记录大型研究基础设施与创新绩效之间关系的现状。它有三个目的，如下所示。

（1）总结英国对科学研究基础设施的投入力度，以及这些投资的性质或规模的变化趋势；

（2）回顾“大科学”设施对创新模式和成果有直接和间接影响的文献和证据；

（3）探索并分析将来可用于研究科学投资在创新和增长中所起作用的可能研究方向。

2.3 总体方法

经过大量的文献综述和文献研究，我们完成了这份报告，其中包括涉及访问关键利益相关者的小范围定性研究的半结构化方法。具体而言，我们进行了

下列工作。

(1) 进行了资料调研, 分析了英国对研究基础设施进行投资的时间序列数据, 并以对关键创始人和机构的访问资料作为补充, 以便于描述和解释英国建设投入的性质和强度;

(2) 利用最近的几个关于研究基础设施的研究项目来盘点英国主要研究基础设施, 虽然它还不是一份完整的清单, 但是可以由 BIS 或 STFC 进行进一步的补充、扩展;

(3) 研究文献, 确认并整合关于“大科学”设施创新模式和成果的学术文献和灰色文献^①中的重要信息。我们的元分析很认真地分析了现有的方法和评估措施, 并找出了关键差距和优缺点;

(4) 对单个评估报告中给出的案例分析进行研究, 解释了这些评估报告中使用的评估方法和与创新相关的发现。

2.4 报告的结构

报告分六个主要章节呈现。

- (1) 英国的科技投入与研究基础设施概述;
- (2) 关于大科学与创新的文献研究;
- (3) 关于经济影响的实证文献研究;
- (4) 关于创新成果的实证文献研究;
- (5) 关于集聚效应的实证文献研究;
- (6) 未来可能研究方向的概述。

我们在附录中列出了所有基础研究材料和相关分析。

① 灰色文献 (gray literature), 一般指非公开出版的文献。灰色文献品种繁多, 包括非公开出版的政府文献、学位论文, 不公开发行的会议文献、科技报告、技术档案, 不对外发行的企业文件、企业产品资料、贸易文件 (包括产品说明书、相关机构印发的动态信息资料) 和工作文件, 未刊登稿件及内部刊物、交换资料、赠阅资料等。

3. 英国的科技投入与研究基础设施

3.1 “大科学设施”

研究主要集中在大型研究基础设施的创新成果评估方法上，而不是更为普遍的研究设备上。

关于（大型）研究基础设施的定义有许多，它们通常都是围绕着一个核心，即对于我们从事前沿研究并提升对世界的理解，必不可少的、具有复杂技术的高成本设备和基础设施。^①在英国研究理事会的资本投资战略框架中，对这一概念进行了详细论述。^②

大型研究基础设施是研究设施或“科学工具”的重要类别，它们具有一流的先进设备和与基础设施相关的庞大的、技能熟练的支持团队和服务，且投资巨大。在这里，定语“大型”非常重要，因为这些“大型”研究基础设施通常被理解为规模大到即使是大型的科研机构，也只能承担 1~2 台（或者可能只能与其他科研机构合作），而且它们的规模或能力被认为是支持新一轮前沿研究所必需的，可能会推动我们对整个世界的理解。

大型研究基础设施通常会被认为是位于某个固定单一场所内的设施，如粒子加速器或望远镜等，然而人们逐渐认识到，大型研究基础设施的类型越发多样化。如果我们看一下越来越多的国家研究基础设施路线图^③，很明显可以看

① 例如，欧洲委员会的研究基础设施网页上声称，“研究基础设施”指的是科学团体在他们各自的领域内用于进行高水平研究的设施、资源和相关服务，这些领域从社会科学到天文学、基因组学和纳米技术都有。

② 参见 *Investing for Growth: Capital Infrastructure for the 21st Century*, RCUK Strategic Framework for Capital Investment (2012)。

③ 在欧洲研究基础设施战略论坛 (ESFRI) 的网站 (ec.europa.eu/research/infrastructures) 上可以找到欧洲和几个国家路线图的例子。英国的路线图是 2012 年 11 月份公布的，题目为“投资增长：21 世纪的重大基础设施”，它被广泛称为 RCUK 的资本投资战略框架，它替代了“大型研究基础设施路线图”（2010）。

到，大型研究基础设施的定义已经远远超越了固定在某一场所的大型设施，还包括许多实体上分散的研究资源，如超高速通信网络及大量的数据或实体对象。

尽管对研究基础设施进行完善分类已经超出了我们的研究范畴，但是，我们确实感觉到，与虚拟的研究设施相比，单址设施支持创新的方式会有所不同。表 3-1 将研究基础设施简单地分为四类。

表 3-1 研究设施的分类

设施的种类	描述
单址设施	单址设施指位于某个固定地点的研究基础设施或复杂相连的机器设备组合。例如，CERN ^① 的 LHC 就是一个单址设施的例子，但是它也是一个比较复杂的加速器的一部分，加速器还包括超质子同步加速器（SPS）和 ISOLDE 同位素分离器
分布式设施	分布式设施指的是一组分散于不同地点的工具或设备，它们作为一个整体设施进行操作，尽管单个组成部分不能构成大型研究基础设施，但其作为一个整体网络就构成大型研究基础设施。射电望远镜是其中的一个很好的例子，相互连接在一起的望远镜阵列，比任何一个单独的望远镜都能让天文学家获得更高的分辨率（如能够发现被观察对象的更多细节）。SKA 射电望远镜将这种分布式理念发展到一个新水平，该阵列中有近 3000 个连接在一起（在陆地上）的单个望远镜，其灵敏度将比世界上现有（截至 2012 年）的设备高出 50 倍。有时通信网络也会被认为是分布式设施。例如，GÉANT 是一种把各国的研究和教育网络（例如，英国的 JANET）连接在一起的泛欧洲通讯网络，以此提高不同国家研究人员之间的合作。GÉANT 可以让用户以高达 100 Gbps（网络核心为 500 Gbps）的速度传输数据。GÉANT 从一开始就大力参与未来的网络研究，像运营商级的网络技术、光交换、联合网络架构及虚拟化
移动设施	移动设施（如科考船、飞行器或卫星）包括一个或多个可以被移动或被运输的设备。也就是说，研究对象是非常大的（如地球），或者非常遥远（如南极），或可随意移动的（如人口）。欧洲航天局（ESA）的先进沿轨道扫描辐射计（AATSR）（与九个其他仪器一起）搭载环境卫星围绕地球运行，提供关于海表温度（SST）的精确数据，供环境科学家研究气候变化所用。英国环境研究理事会的研究船，James Cook 号和 Discovery 号皇家研究船，都是移动设施的例子，前者是于 2007 年 2 月开始使用，成本为 4000 万英镑，两种仪器都被多学科科学团队用于执行海洋科学考察
虚拟设施	虚拟设施可让科学家通过互联网或一些其他通讯网络远程访问研究仪器或大数据（如 JANET，高等教育部门的高速宽带通讯网络）。英国经济和社会数据服务（ESDS）正是这样一个例子，其中服务供应商可以为用户提供专属接口，来访问无数的定性和定量数据组合（如大量的政府调查和纵向研究），这些数据组合是由英国两所大学的四个独立的中心提供支持和维护。ESDS 设施集成了这些单个机构工具集和数据集，为用户提供统一的服务，资源存储对用户而言是透明的。 实体设施在某些方面也在逐渐变成虚拟设施。例如，国家历史博物馆有许多在一个地方或多个地方展示或存储的藏品，它们中的许多藏品都被数字化，帮助学者或感兴趣的公众实现远程访问，并可供多人同时使用。泰特美术馆（Tate Gallery）或大英博物馆（British Museum）就是以类似的方式运营，都提供实体和虚拟访问方式，公众均可通过它们进行全球独一无二藏品的观赏

资料来源：Technopolis

我们在文献回顾中使用了这种分类法，由于我们找到的大多数文献都是关于单址设施的社会经济效益，因此这种分类对于我们的研究而言收效甚微。但是从这里

① <http://public.web.cern.ch/public/Welcome.html>。