上海发起或参与国际大科学计划和大科学工程的路径和运作方式

常旭华¹

(同济大学 上海 200092)

【摘要】:从提升科技创新策源能力的视角考虑,上海要尽快制定大科学计划和大科学工程的中长期发展规划;结合未来科技发展趋势、优势科技领域及事关国家安全的战略性新兴产业发展需要,培育和遴选若干具备发起潜力的科学领域;积极摸索大科学计划和大科学工程的运行规律,总结形成成熟的管理机制、制度规范;充分发挥上海国际交流窗口优势,积极吸引海内外顶尖科学家来沪交流,或长期从事科研工作。

【关键词】:大科学计划 大科学工程 科技创新

【中图分类号】:F127.51 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1005-1309(2021)07-0005-012

“大科学”是指规模庞大、参与人数众多、投资巨大,并有相当大社会影响的综合性科学研究,主要表现为多学科交叉、需要昂贵且复杂的实验设备、研究目标宏大等显著特征。当前,全球科研范式、科研模式、科研手段正在发生巨大变革,面对事关全人类共同利益的重大前沿问题,通过国际大科学计划和大科学工程,开展以高通量、大规模为基础的集中式科研已成为全球共识。2018年3月,国务院印发《积极牵头组织国际大科学计划和大科学工程方案的通知》,首次制定2020年、2035年、2050年3个重要时间节点所对应的近期、中期、远期目标,并对未来我国牵头组织国际大科学计划和大科学工程提出具体要求。上海作为全国科研重镇之一,牵头发起或参与国际大科学计划和大科学工程,是发挥自身科研资源富集、国际化水平高等优势,建设具有全球影响力的科技创新中心的必然举措。

一、上海发起或参与国际大科学计划和大科学工程现状概述

(一)准确把握历史新方位

当前国际形势正处于百年未有之大变局。与2018年国家提出积极牵头组织国际大科学计划和大科学工程要求相比,上海当前所处的环境背景已发生较大变化,具体表现为:一是国际环境发生深刻变化。中美贸易争端引发的逆全球化以及新冠肺炎疫情导致的国门封闭,已深刻影响到国际科技合作,上海此时发起或参与国际大科学计划和大科学工程与2018年的国际环境完全不同。因此,在当前这个特殊的时间节点,上海必须基于实际情况和必要的前瞻性作出合理判断。二是更加重要的区域定位。国际大科学计划和大科学工程是撬动国家科研实力整体提升的重要支点,必须从国家战略层面加以考量。目前,最具潜力发起或参与国际大科学计划和大科学工程的地区是粤港澳大湾区、长三角、京津冀三大区域。从区位分布看,长三角是目前最可能在国际大科学计划和大科学工程方面取得突破的区域。上海是长三角的首位城市,可通过大科学计划和大科学工程打造具有全球影响力的科技创新中心,进一步强化长三角科技实力布局。三是更加独特的属性定位。上海发起或参与国际大科学计划和大

¹作者简介:常旭华,管理学博士,同济大学上海国际知识产权学院副教授。

基金项目:上海市决策咨询研究重点课题(编号2020-A-010)

科学工程，应坚持“有所为，有所不为”，分类评级、统一管理，充分发挥现有大科学工程的优势，协调推进国际大科学计划。

(二)上海已初步培育具备发起潜力的部分大科学计划

1. 人类表型组计划

人类表型组是继基因组之后生命科学研究的又一战略制高点。人类表型组研究将为生命与健康科学持续提供创新动力，发挥“点石成金”的关键作用。上海拟发起的人类表型组计划，将建立国际领先的人类表型组研究平台，全面制定我国人群健康表型组标准化技术体系，构建中国首例健康人群表型图谱及数据库。该计划由复旦大学牵头，中科院上海生命科学研究院、上海交通大学、上海市计量测试技术研究院的专家共同承担，“国际人类表型组计划(一期)”标志性成果将是绘制第一张中国人全表型组参比图谱，为制定中国人健康标准提供依据。2019年，上海国际人类表型组研究院正式获批成立，这标志着上海初步建成国际首个跨尺度、多维度的人类表型组精密测量平台。

2. 人类全脑介观神经联接图谱计划

人类大脑是极其复杂的巨系统，脑内神经元、胶质细胞、血管等结构与功能信息的时空跨度可达十几个数量级。在全脑尺度上解析结构和功能神经联接图谱是揭示脑工作原理的关键，也是全面理解认知功能神经基础的必由之路。2018年5月，我国科学家提出启动“全脑介观神经联接图谱”国际合作计划。该计划由中科院神经科学研究所牵头，初步规划耗时12年左右，2025年完成小鼠全脑介观图谱，2030年完成猕猴全脑介观图谱。

3. 国际大洋发现计划

国际大洋发现计划始于1957年，至今已开展60余年。1998年，同济大学海洋学院加入该计划，并于1999年、2014年、2017年3次主导该计划在中国南海地区的钻探任务，分别取得了西太平洋海区最佳长期沉积记录，首次获得南海形成年龄直接证据，揭示了边缘海不同于大洋的大陆边缘破裂模式。中国参与国际大洋发现计划的战略路径是：第一步，实现2~3个以我国为主的匹配性项目建议书航次；第二步，仿效欧洲成为IODP平台提供者；第三步，建造大洋钻探船。目前，中国已基本完成第一步目标。

(三)上海已建成全球最新一代、全国密度最高的大科学设施集群

目前，上海建成和在建的国家重大科技基础设施有14座，约占全国1/3，投资总规模超过200亿元。设施数量、投资金额等均领先全国，体现了上海在大科学领域的长期积累与雄厚实力。2016年2月，国家发改委、科技部批复同意建设上海张江综合性国家科学中心，作为上海加快建设具有全球影响力科技创新中心的关键举措和核心任务，构建代表世界先进水平的重大科技基础设施群，代表国家在最高层次上参与全球科技竞争与合作。

表1 上海已建成大科学基础设施

序号	设施	建设情况	设备类别	学科领域	专管部门	依托单位
1	上海光源	建成	公共实验设施	物理学、化学、生物学、材料学	中国科学院	中国科学院上海高等研究院
	上海光源线站工程	建成	公共实	—	—	—

2			验设施			
3	上海软X射线自由电子激光实验装置	建成	专用研究设施	物理学、化学、材料学、能源科学	中国科学院	中国科学院上海应用物理研究所
4	上海软X射线自由电子激光用户装置	在建	—	—	—	—
5	神光 I 高功率激光物理实验装置	建成	—	—	—	—
6	神光 II 高功率激光物理实验装置	建成	专用研究设施	物理学、天文学	中国科学院	中国科学院上海光学精密机械研究所
7	硬 X 射线自由电子激光装置	在建	—	—	—	—
8	上海超强超短激光实验装置	在建	—	—	—	—
9	肝癌科学中心	建成	—	—	—	—
10	国家蛋白质科学中心(上海)	在建	公共实验设施	化学、生物学、药学、材料学	中国科学院	中国科学院上海高等研究院
11	转化医学国家重大科技基础设施	在建	—	—	—	上海交通大学
12	活细胞结构与功能成像等线站工程	在建	—	—	—	—
13	国家海底科学观测网	在建	—	—	—	—
14	高效低碳燃气轮机实验装置	在建	—	—	—	—

二、上海发起或参与国际大科学计划和大科学工程面临的问题与难点

(一)严峻的外部挑战

1. 以美国为首的西方发达国家对华国际科技合作有中断趋势

近年来，中美/中欧贸易争端、科技博弈持续升温，美国对华全面转向科技遏制，双边科技合作渠道已基本关闭。在此背景下，上海发起国际大科学计划和大科学工程，能够调动和利用的国际资源被极大压缩，具体表现为：一是以美国为首的 G7 集团正在调整外交与科技政策，从“为科学技术服务的外交”重新转向前克林顿时代的“为外交服务的科学技术”战略，国际科技合作让位于国际政治。二是国际顶尖科学家(尤其华裔科学家)可能迫于美国政府以“国家安全”为由开展的无端搜捕与打压，取消与国内科研机构的正常合作，不再参与大科学计划和大科学工程相关的专家评审、科学交流活动等。三是美国和欧洲国家

作为《瓦森纳协定》的成员国，可能会扩大对华禁运清单，导致我国缺乏实现大科学计划和大科学工程所需要的高精尖、非标准科研仪器设备和相关材料。

2. 新冠肺炎疫情常态化导致全球科技合作规模和频度急剧萎缩

随着新冠病毒变种增多和阶段性恶化，各国的出入境防疫管制短期内不可能取消。防疫标准差异、疫苗护照不互认等将冲击传统的国际人员交流与互访；而大科学计划和大科学工程中的实验环境搭建、联合实验等环节依然无法完全摆脱面对面的实地合作。在此背景下，上海未来发起或参与国际大科学计划和大科学工程，将不得不为克服防疫挑战做好充足准备，拓展新的国际科技合作模式、平台及渠道。

3. 经济增速下滑导致中央财政资助减少

因全球经济下行、新冠肺炎疫情叠加影响，2020年以来，中央开始提倡过“紧日子”，财政科研经费支持出现了一定程度的下滑。国家自然科学基金委2020年部门预算相比2019年下降7.1%；科技部2020年部门预算相比2019年下降1.92%。国际大科学计划和大科学工程以中央投入为主，地方投入为辅。在中央财政投入收缩的前提下，上海发起或参与国际大科学计划和大科学工程将面临比较大的财政投入压力。

(二) 上海自身存在的不足

1. 人才方面：具有国际影响力的领军型科学家偏少，人才总体规模偏小

国际大科学计划和大科学工程在发起过程中，发起人的国际学术地位与国际影响力至关重要。回顾既有国际大科学计划和大科学工程，无一不是由诺贝尔奖获得者或领域内学术成就相当的顶尖科学家发起。目前，上海既缺乏具有国际影响力和号召力的顶尖科学家，同时在相关领域的普通科研人才也储备不足。

表2 上海大科学工程与国际典型大科学设施的人员规模对比

	设施	依托单位	人员规模/人
国内	上海光源	中国科学院上海高等研究院	1015
	上海软X射线自由电子激光装置	中国科学院上海应用物理研究所	609
	神光II高功率激光物理实验装置	中国科学院上海光学精密机械研究所	958
	上海65米射电望远镜(天马望远镜)	中国科学院上海天文台	375
	国家蛋白质科学中心(上海)	中国科学院上海高等研究院	1015
	转化医学国家重大科技基础设施	上海交大及其医学院附属医院	—
国外	大型强子对撞机	欧洲核子研究组织	2500
	先进光源	劳伦斯伯克利国家实验室	4200
	国家同步辐射光源II	布鲁克海文国家实验室	3000

	斯坦福同步辐射光源	SLAC 国家加速器实验室	1500
	散裂中子源	橡树岭国家实验室	4600
	国家强磁场实验室	洛斯阿拉莫斯国家实验室	10402

2. 竞争优势方面：吸引境外参与国际大科学计划和工程的能力不足

上海发起国际大科学计划和大科学工程的优势在于资金充裕、数据资源丰富、设施设备较新、国际合作意愿强烈，但除此之外，上海缺乏独特的竞争优势，吸引国际顶尖科研团队主动来沪开展合作的能力偏弱。具体表现为：一是上海科学家提出吸引各国政府和顶尖科学家加入的科学议题的能力有待提高，目前难以提出“探索宇宙、解密地球、研究人类”的终极科学问题。二是上海的大科学设施以公共实验设施为主，承担了大量应用研究任务，专用研究设施偏少，对前沿基础研究的支持能力有待提高。

3. 载体建设方面：缺乏成熟的国际大科学计划和工程管理模式

除涉及核技术、国防安全等领域外，美欧日等发达国家和地区大部分专用研究装置、公共实验平台均以“政府所有，合同管理”（GOCO）模式进行管理，明确大科学工程设施归国家所有，但运营方享有充分的独立决策权力（周洲、赵宇刚，2008）。上海在国际大科学计划和大科学工程载体建设方面，仍以传统的事业单位为主，即“政府所有，政府管理，政府兜底”。这造成以下后果：一是单位独立性不强，政府决策可能会干扰科学决策；二是单位活力不足，事业编制人员开支挤占日常运营经费，难以组织实施灵活的用人机制和科学的薪酬制度。

4. 体制机制方面：缺乏符合国际大科学计划和工程运行规律的制度框架

上海尚未构建一套符合国际大科学计划和大科学工程运行的体制机制。一是在运行制度方面，整体处于“摸着石头过河”阶段，决策机制、运行程序、绩效评价等制度体系尚不健全。二是财政资助条块分割。大科学工程的规划、审议、建设、验收等前期环节审批以国家发改委为主，建成投入运行后国拨运行经费主要由财政部审批，建设经费与运行经费管理分离、缺乏衔接。三是对“科学发现权”重视程度不高，对敏感科学数据、特定数据资源、技术秘密等缺乏有效保护，导致发达国家屡屡廉价、甚至无成本获取我国科技成果，损害了我国国家安全与国家利益。

（三）难点分析

1. 国际大科学计划和大科学工程方面的共性难点

（1）领域选择和标准设定。

发起国际大科学计划和大科学工程，必须符合科学规律和未来科技发展整体走向，并基于自身实力判断，作出最有利于自身发展的选择。因此，如何在众多科学构想中遴选出同时符合全人类共同利益、发起国国家利益、未来科技发展方向的领域至关重要。

（2）实质性国际合作偏少。

长期以来，我国科技基础相对薄弱，国际科技合作以一般性交流互访为主，有组织的科研合作偏少，更缺少实质性的经费

投入与人员参与。上海邀请国际专家参加项目论证与评审难度不大，但对国际大科学计划和大科学工程设施建设而言，发起阶段就需要相关国家投入资金和人员，短期内可能很难做到。

(3) 制度缺失。

战略规划方面：目前明确提出的是国家关于积极牵头组织国际大科学计划和大科学工程的要求，上海没有明确的规划指标，也没有明确对大科学计划和大科学工程给予的投入保障、人才保障等内容。制度建设方面：无论大科学计划或大科学工程，主管部门均缺乏一套符合科学规律和未来科技发展趋势的成熟遴选标准，导致具备发起潜力的大科学计划和大科学工程科研团队之间竞争激烈；政府相关部门仍习惯于按照“小科学”思维管理“大科学”，在管理方式、单个项目经费支持力度、执行时间等方面严重不适应大科学计划和大科学工程的需要。组织架构方面：关于大科学计划或大科学工程的组织身份定位(事业单位、新型研发机构、独立法人)、运行机制等均不明朗，尤其是大科学工程，因权责不明易导致设施实质上被部分单位独占，不利于共用共享，影响了设施的运行效率(陈光、王艳芬，2014;刘贺等，2019)。

(4) 中央—地方、地方—地方之间的关系协调。

国际大科学计划和大科学工程的事权在国家，相应的规划布局由中央主管部委负责。对此，中央—地方之间，可能存在出资比例、土地划拨、人员编制、设施选址、与地方经济产业匹配等方面的问题；在地方之间，可能出现重复建设、设施与数据不共享、成果贡献划分不清、人才不能正常流动等方面的问题。上海在推进大科学计划与大科学工程时需要妥善处理与主管部委、与长三角其他省市的关系，加强协同创新，淡化区域竞争。

2. 国际大科学计划方面的个性难点

(1) 科学目标定位难。

国际大科学计划的首要难点是确定一个非常明确、清晰、可达的目标。我国科技长期处在“跟跑”阶段，跟踪学习和模仿欧美研究较多，普遍缺乏对解决世界一流科学问题的追求和领跑的勇气，因此，完全由我国科学家主导，提出恰当的科学目标比较困难。可能的应对策略：坚持对外开放，在大科学计划的酝酿期充分征集全球顶尖科学家的意见，委托专业机构提供决策咨询报告。

(2) 国际大科学计划的吸引力不足。

针对我国牵头发起的大科学计划，如何最大范围地吸纳相关国家、国际组织、科技人才加入是一个关键问题。目前，包括上海在内的省市在这方面的号召力还不够强。可能的应对策略：采取分步推进策略，先对国内可能发起大科学计划的若干研究方向进行培育，然后再推向国际舞台；同时借鉴美国经验，采取“围绕科技的外交”战略，通过“一带一路”合作倡议扩大参与国家规模。

3. 国际大科学工程方面的个性难点

(1) “窗口期”控制与重复建设。

国际大科学工程需要确保在较长一段“窗口期”内实现“唯一性”(即性能最好)，以吸引国内外科学用户和商业用户开展科研活动。上海在论证国际大科学工程时须预判“窗口期”长度，避免与国外、国内省份的在建、将建设设施发生直接冲突，造成重复建设与资源浪费。

(2) 组织管理与跨部门协调难，不符合大科学工程管理规律。

我国大科学工程普遍存在建设与运行分离管理现象。工程建设立项阶段主要由国家发改委组织专家审核，建成后则从国家发改委转至具体主管部门和科研单位管理。这种管理方式有以下缺陷：一是管理体制不固定，中央和地方权责不清晰；二是承建单位所在主管部门除中科院系统外，普遍不设立单独的财政支持序列，运行经费短缺带来配套专业实验室建设困难、科技人员薪酬待遇落差较大等问题，影响设施的高效运用。

(3) 未从全生命周期角度配置经费。

从全生命周期考虑，大科学工程的经费包括预制经费(占比约 10%)、工程建设经费、科研经费、运行经费、不可预见经费(占比约 10%)。然而，我国及上海在经费投入上普遍存在以下难题：一是预制研究经费和不可预见经费没有得到足够重视，部分项目未单独列支；二是没有主资助部门，科研团队缺乏稳定的财政支持处理大量科学数据，甚至需要与从事“小科学”研究的团队一同申请竞争性科研项目，使得大科学工程的实际绩效大打折扣。

(4) 人才体系化管理能力不足。

大科学工程的人才队伍成分复杂、种类繁多，管理难度高(郝君超、李哲，2018)。一是大科学工程预制研究队伍。若预制研究完成后就解散队伍，等项目正式开工时再去重组队伍，会极大制约工程进度；若预制研究完成后继续保留队伍，则需要考虑科研项目支持、工资待遇等基本保障。二是设施维护和管理人才队伍。参与大科学工程的设施维护人才和管理人才是保障大科学工程稳定运行的骨干力量，但这支队伍不太可能获得科研项目资助，晋升通道不明朗，且面临外部企业给予的高薪诱惑，大科学工程管理单位需要加强这支队伍的职业认同感，给予其稳定的、具有一定竞争力的薪酬待遇。三是固定和流动研究人员。国际大科学工程需要维持一支固定研究人员队伍，服从国家战略需要从事基础性研究工作；同时，需要吸纳来自不同国家、领域、部门的流动研究人员，丰富研究多样性。为此，管理部门须处理好固定研究人员与流动研究人员的比例、薪酬待遇、机时分配、设施使用权限等问题。

三、现有国际大科学计划和大科学工程的经验借鉴

(一) 运作模式

1. 两类组织管理模式

现有国际大科学计划和大科学工程的组织管理可分为集权式、分权式、混合式 3 种。针对不同科技领域、发起国偏好，选取匹配的管理模式。判断集权和分权的标准：一是研究经费和任务是否由总协调机构统一划拨和管理；二是研究成果是否由总协调机构统一对外发布。从现有情况看，集权式相对更普遍。

2. 两类资金管理模式

国际大科学计划和大科学工程通常要求所有参与国自筹资金，共担风险(寇明婷等，2020)。实际操作过程中，资金筹措有两种形式：一种形式是参与国自筹资金资助本国科研团队参与大科学计划，发起国配套部分资金或技术。另一种形式是参与国以入会费的方式缴纳自筹资金，再由集权式领导机构统一划拨和使用，例如早期的国际大洋钻探计划和联合国组织的多数大科学计划均如此安排(陈力等，2017)。

表 3 国际大科学计划的组织架构

国际大科学计划	整体组织架构	总协调机构
人类基因组计划	松散的组织模式→集权式组织管理	六国研究联盟→NIH 主导的 G-5 中心
气候变化计划	集权式组织管理	NOAA、NASA、NSF 共同组织的跨部门管理委员会
纳米计划	集权式组织管理	纳米科学工程和技术工作小组
大洋钻探计划	集权式组织管理→后期分权式组织管理	中央管理办公室→美欧日三方独立管理
国际生物多样性计划	集权式组织管理	顾问委员会、创始组织、科学委员会、秘书处共同负责
人与生物圈计划	分权式组织管理	由 30 个理事国组成的人与生物圈国际协调理事会
人类脑计划	分权式组织管理	以美国为首的神经信息学工作组
国际大陆钻探计划	集权式组织管理	政府机构执行
国际 ARGO 计划	分权式组织管理	各国政府均成立了 ARGO 浮标管理机构

(二) 成功要素

1. 明确的科学问题与科学目标

国际大科学计划和大科学工程要有一个基础前沿性、颠覆性、事关全人类的重大科学问题，且围绕科学问题设定清晰、明确、特定、有限的科学目标 (Lambright, 2009; 常旭华、仲东亭, 2021)。对发起国和参与国决策者而言，项目投资越大，目标的确定及沟通就越重要。明确的目标能够起到长期指导的作用，并以此衡量、指导、区分科研活动先后次序，及时纠正参与组织和个人的行为 (王婷等, 2020)。具体体现为：一是终极目标或所要解决的根本问题在酝酿期已获得科学家群体的认可和政府部门的背书，之后不得变更。二是为实现终极目标，可在整个研究周期内灵活划分若干关键节点，设置相应的过渡性目标。

2. 高超的领导能力

国际大科学计划在发起过程、执行过程中都需要高超的领导能力。这主要体现在两个方面：一是有能够统筹全局的发起机构。发起机构可以是发起国政府部门，也可以是国际组织 (如联合国下属的教科文组织或国际科学理事会)。二是有广泛影响力的发起人，对其在学术影响力、政治影响力、个人威信等方面均有严格要求 (危怀安、胡艳辉, 2013)。在国际大科学工程中，同样需要具有全球影响力的战略科学家提出建设想法，并领导工程团队开展建设工作。例如，关于北京正负电子对撞机的建造，诺贝尔物理学奖得主李政道和丁肇中在中美两国政府间做了大量协调工作，除了力主中国发展高能物理，还说服美国对华出口属于禁运清单的高性能计算机。

3. 强力的政治支持

国际大科学计划和大科学工程需要中央财政支持，发起与参与决策都属于国家事权，离不开强有力的政治支持。这主要表现为：一是国家领导人直接宣布发起国际大科学计划或大科学工程。二是政府对科研项目的具体细节虽然不够了解，但对进度控制和资金管理则比较擅长，可以协助科学家做好管理和后勤工作。三是政府替大科学计划和大科学工程的执行者承受着纳税人的合理质疑，也会不断督促科研人员及时展示其成果，以维持社会公众持续支持的信心。

4. 适度的竞争

国际大科学计划的任务分工模式包括机构式分工协作与基于同行评议的竞争申请。在此过程中，必须始终强调效率第一，充分平衡科学自由性和任务导向性，可适当运用竞争机制增加组织活力。适度竞争主要体现为：一是通过项目申请方面的竞争，引导参与机构围绕大科学计划的终极目标，精心设计具体的、可执行的小目标。二是通过同行评议式的管理竞争，明确参与机构必须向评委证明自身出色地完成了科研任务(何宏等，2019)。三是通过与外部机构的竞争，促使大科学计划的管理团队始终保持一定压力，按时按质实现既定目标。国际大科学工程的竞争则主要体现在装置性能上。各国建设世界一流的高性能装置“筑巢引凤”，已成为吸引全球一流科技人才的重要路径。例如，北京正负电子对撞机建成后，国际上同一能区的加速器逐渐关闭，相关研究工作均转移到北京来开展。

5. 完善的国际协调与部门协调机制

国际大科学计划需要联合多个国家共同参与，包括投入资金和人力。因此，在发起国和参与国之间合理分配规则制定权至关重要。首先，针对联合国发起的大科学计划，领导机构成员通常考虑到国别、性别、地域等客观因素，成员分布相对广泛，保证规则制定权分配的公平性。尤其是某些事关全人类重大利益和国家发展前途的大科学计划，各国必须确保在领导机构中有委员代表本国利益。其次，由某一国发起的国际大科学计划，其领导机构的成员分布则主要依据科学家群体的认可度和参与国的出资规模。由于国际大科学工程投资数额巨大，完成项目论证后需要组建一支跨部门、高层级的建设领导小组，统筹协调整个工程建设进度，同时组建若干国际科研团队，参与完成关键核心部件的研制任务。

四、上海发起或参与国际大科学计划和大科学工程的总体思路

(一) 以提升科技创新策源能力为总体目标

上海要建设具有全球影响力的科技创新中心，有必要吸纳全球顶尖科学家齐聚上海，聚焦重大科学前沿做出重大发现，这是核心目标。在此基础上，科学界和政府部门整体的判断标准：一是科学价值。发起或参与国际大科学计划、大科学工程是否符合未来科技发展总体趋势，是否有利于推进第4次科技革命?是否能解决别人解决不了的科学问题?二是时间收益。发起或参与国际大科学计划、大科学工程是否一定比分散投资、自由探索式的科研资助模式效率更高、时间更短?三是政治收益。发起或参与国际大科学计划、大科学工程是否产生相当的政治收益?包括应对全人类面临的共同挑战(如新冠疫苗)、为全球提供基础研究公共产品。四是经济收益。发起或参与国际大科学计划、大科学工程是否带来潜在经济收益?

在以上判断标准基础上，科学界和政府部门需要对照自身经济能力、科技实力，判断能否发起或参与国际大科学计划或大科学工程。按照国务院《积极牵头国际大科学计划和大科学工程方案》的“中方主导，合作共赢”原则，地方政府需要进一步考虑自身研究基础，以确保具备主导能力(徐晓丹、柳卸林，2019)。

(二) 面向前沿基本科学问题、面向国家重大战略需求布局

国际大科学计划和大科学工程必须面向世界科技前沿、面向国家重大战略需求。在布局上要充分考虑国际科技发展态势，跟踪追赶和前瞻布局并重，识别并确保战略竞争领域。

国际大科学计划和大科学工程的发起需要科学共同体的前期推动。从1993—2019年我国香山科学会议的议题设置看，医学、生物、物理、环境始终是最热门的研究领域，国际大科学计划和大科学工程的布局也应聚焦这四大领域。进一步地，上海发起或参与国际大科学计划和大科学工程，在科学共同体层面需要关注两个重要问题：一是借助世界顶尖科学家论坛、香山科学会议等平台，最大限度凝聚本领域科学家的共识；二是科技资源的有限性决定了资源投入结构优化的重要性，国际大科学计划和

工程耗资巨大，通常会挤占其他学科的资源投入，因此需要最大限度凝聚不同学科科学家之间的共识。

(三)关注科学竞争，布局一流的大科学设施集群

全球各国对本国大型科研基础设施聚焦领域有统一的规划布局，地球系统与环境科学、材料科学、空间与天文科学、粒子物理与核物理是全球大科学工程主要布局的领域。得益于改革开放以来的大量资源投入，我国在主要科学领域均有所布局，但在数量、质量上还有一定差距。上海在开展大科学工程建设中，首先应建设公共科研设施与公益科研设施，实现“一机多用，基础应用兼顾”，不过度追求装置的极端性能，以较小的成本、最大限度地满足各类社会需求；其次，选择少数真正具有国际竞争力的专用研究设施，以我为主，吸引相关国家共同投资建设，追求极端性能世界领先。

表 4 全球大科学工程设施领域划分

科学领域	美国	欧盟	英国	德国	法国	中国	上海
能源科学	2	6	2	6	—	6	1(神光装置 I/II)
生命科学	2	16	9	10	22	8	2(蛋白质中心、转化医学设施)
地球系统与环境科学	12	11	15	12	21	10	1(海底观测网)
材料科学	15	5	12	24	10	8	3(上海光源/X 射线/硬 X 射线)
空间与天文科学	12	9	5	4	7	4	—
粒子物理与核物理	15	4	5	10	8	6	—
工程技术科学	5	1	3	4	7	7	—
社会人文科学	—	7	10	6	8	—	—

(四)以国家实验室为核心，完善大科学计划和大科学工程的载体建设

围绕大科学工程设施，主要发达国家通常建立综合性国家实验室，如著名的费米国家实验室、洛斯阿拉莫斯实验室等。这些综合性国家实验室通常具有以下特点：科研力量集中、科研任务集中、研发投入集中、学科多元交叉等(钟少颖、聂晓伟, 2017)。大科学工程提供的“极端化”环境决定了国家实验室的先进程度，国家实验室的管理水平决定了大科学工程的效能发挥(周岱等, 2008)。我国尽管在大科学工程设施方面已步入全球领先行列，但在机构设置、组织机构建设上与国外相比仍有一定差距。例如与美国、欧洲著名的国家实验室相比，上海的大科学工程管理机构在人才规模、国际影响力等方面仍有相当大差距。因此，上海在建设国际大科学工程硬件的同时，应当积极推进体制机制、组织架构、运维程序等软件建设。

(五)引进与培养并举，提升基础学科领域的人才培养质量与规模

从历史经验看，人才培养与布局要远远早于大科学计划和大科学工程的发起或参与时间，以满足人才规模要求。上海应尽早未来可能发起大科学计划和大科学工程的领域，通过外部引进和自我培养打造合理的梯度人才体系。一是实施战略科学家引进与培养计划。根据国际大科学计划发展蓝图，提前 5~10 年面向关系国家根本和全局的领域实施“战略科学家引进计划”。同时，加大对外籍科技人才的“中国绿卡”签发规模和速度，吸引优秀的外籍人才加入中国科研队伍。二是提升基础学科的人才培养质量和规模。改革基础学科考核评价体系，提升在沪高校基础学科综合实力，扩大基础学科招生改革试点覆盖面，调整

强基计划招生专业，优化基础学科的本科生培养体系。聚集大科学计划，以真正的科学问题为导向，开展个性化、高质量、议题驱动式的研究生教育。三是针对中美之间因人才柔性流动在知识产权、兼职兼薪等方面形成的巨大分歧，调整柔性引才政策，形成“为我所有，为我所用”的新局面。

五、上海发起或参与国际大科学计划和大科学工程的对策建议

(一)顶层设计：尊重科学规律，契合国家、长三角和上海发展实际

1. 尊重科学规律，实事求是制定科学目标

当前世界正处在第4次科技革命的前夜，全球主要大国都在生物技术、人工智能、纳米技术、3D打印等若干前沿领域加强基础研究与创新布局(黄卫, 2017)。我国开展国际大科学计划和大科学工程论证时，必须尊重科学规律，围绕未来可能主导新科技革命的技术领域，结合自身科研与资源优势，实事求是地制定科学目标，建设大科学工程设施，发起或参与国际大科学计划。我国还是发展中国家，科研资源并不丰富，发起或参与国际大科学计划或大科学工程比美国和欧盟更需要严密的、长期的科学论证，切忌为了大国形象、少数科学家的宏伟梦想而草率发起国际大科学计划或大科学工程。

2. 根据国际形势调整发起或参与策略

当前，中美科技竞争的对抗性日趋显著。我国此时发起国际大科学计划或大科学工程，可能会强化西方发达国家“中国在抢夺其传统科技优势”的担忧，继而作出零和博弈策略，消极参与甚至抵制中国主导的国际大科学计划或大科学工程。面对新形势，上海宜采取步步为营策略：一是采取“先国内后国际”“先预制后建设”的两阶段实施方案，先在国内搭建科研团队和平台，作出具有国际影响力的成果，对外输出基础研究公共产品。二是梳理大科学计划与大科学工程领域的全球知识产权分布、重大科研仪器对外依存度等情况，尤其对被列入美国对华技术输出“黑名单”的高校院所、企业提前做好规避措施，以防美国利用“长臂管辖权”阻碍上海发起或参与国际大科学计划或大科学工程。

3. 打造国际大科学计划的酝酿与发起平台

上海应紧扣大科学时代的“大科学问题”，参考香山科学会议模式，联合国际组织，举办小规模、高水平的世界顶尖科学家论坛。围绕重大理论前沿的大科学问题，邀请中外科学家分享最新研究进展，凝聚科学共同体的共识，并适时发起中国牵头的国际大科学计划；同时，利用会议论证大科学设施的配套建设，吸引相关国家出资加入。

4. 推进长三角科技一体化发展

长三角是我国科研基础设施最为密集的区域之一，三省一市在大型仪器设备共享方面已经取得不俗成绩。上海发起国际大科学计划和大科学工程要充分考虑对长三角科技一体化的带动作用，立足长三角三省一市的科技发展中长期规划(2020—2035年)，发挥大型科研基础设施之间的协调集聚效应，避免重复建设。

(二)资源配置：稳定财政支持，优化资源配置方式，加强预制研究

1. 确保稳定的中央财政支持，推动地方资源投入

国际大科学计划和大科学工程属于基础研究的范畴，经费预算主要来源于中央财政。由于国际大科学计划和大科学工程涉及金额巨大，投资周期长，中央财政应将大科学计划和大科学工程的费用单列出来，单独核算，既打消挤占其他领域科研投入

的担忧，也能确保投资稳定性。除争取中央财政投入外，上海应加大对大科学计划和大科学工程的资源投入力度，包括土地资源、场地划拨、编制名额、配套基础设施、研发资金等，促成国际大科学计划或大科学工程的总部、核心装备、数据库等落户上海。

2. 优化资源配置方式

国际大科学工程的建设不同于一般的基建工程，不可预见性、风险性较高。如果项目经费管理过于强调规范就会限制创新，不必要的管理程序也会造成对工艺创新的约束；但太过灵活也可能造成资金浪费和滋生腐败。上海在建设国际大科学工程过程中，在确保规范的前提下，应明确设置专项的“不可预见”费用，给工艺创新、工程技术供给留有空间。针对以往运行阶段不如建设阶段得到重视的缺点，上海要从全过程、全生命周期管理国际大科学计划和大科学工程，从项目一开始就避免科研投入中常见的“重固定资产投资、轻人力资本投入”倾向。

3. 加强预制研究的资源投入力度

国际大科学工程兼具基建、科学、技术和工艺特点，不同种类之间差别很大，没有规范和先例可循，开工建设前必须做好预制研究。预制研究重点解决以下问题：一是对技术创新程度高、失败风险大，属于关键核心部件但暂不适合立项批复的技术开展试制研究，了解技术难点和风险；二是比较不同技术路线，确定最优工艺方案；三是通过预制研究编制项目建设方案，明确质量控制程序、鉴定与检测方案，提前研制满足特殊运输与安装需求的工装设备等。须特别注意的是，当前国际形势变化尚不明朗，我国开展国际科技合作受到一定限制，一些关键核心部件可能无法通过国际采购解决。必须做好自力更生的准备，尽快设立预制研究专项经费，组织科研部门和企业集中开展关键核心部件的试制研究。

(三) 组织管理：加强宏观管理，优化组织架构，组建专业型企业联盟

1. 加强国际大科学计划和大科学工程宏观管理

国际大科学计划和大科学工程的发起决策事权在中央，地方政府可在财政投入、资源供给上积极配合。对此，建议通过宏观管理切实避免地方政府之间的重复建设与过度竞争。上海也应当设立国际大科学计划和大科学工程专项管理办公室，协调地方国土资源、发改委、财政、科技、教育等部门，共同推进计划或工程建设。央一地两级专项管理办公室应建立一套运行良好的协调机制，在各参与主体之间起到桥梁作用。

2. 推行项目法人制度，提高大科学计划和大科学工程的管理效率

在央一地两级政府指导下，国际大科学计划和大科学工程的执行单位、承建单位应严格落实项目法人制度，全权处理工程建设、项目运行管理工作。对此，可借鉴美国“GOGO”或“GOCO”的管理经验(蒋玉宏等，2015)，提高大科学计划和大科学工程的管理效率。

3. 构建复合式组织架构，提高大科学计划和大科学工程的执行效率

针对国际大科学计划，应建立复合式项目执行结构，将职能部门整体作为一个分项目组，项目组的项目行为转化为职能部门的日常职能行为，使项目组的工作更加卓有成效。针对国际大科学工程，组织结构相对更加复杂。在工程建设阶段，按照工程建设管理规律组建预制研究团队、基建团队，预制研究任务可以配给现有高校院所，也可直接组建大科学工程专项预制研究小组。在工程运行阶段，需要明确固定研究团队和流动研究团队；针对固定研究团队，划分研究方向，在组织内部实行有一定竞争性的项目制管理；针对流动研究团队，则实行科研外包式管理。

4. 组建专业型大科学计划和大科学工程企业联盟

国际大科学计划和大科学工程需要大量精密、尖端科研仪器。目前，我国高端科研仪器(如高端光学显微镜、冷冻电镜等)主要依赖进口，且基本被日本、美国公司垄断。上海应充分利用大科学计划和大科学工程需要大规模、高精度仪器的时机，组建专业型大科学工程企业联盟，重点发展高端科研仪器仪表产业。通过专项资金支持联盟企业研制非标准设备，保护其研制过程中形成的知识产权，逐步将非标准设备转变为常规设备批量生产。培育专业型大科学工程企业联盟，一方面可解决预制研究人员的出路问题(大科学工程可能最终未被立项)，为上海保留一支完整的专业化科学工程施工队伍；另一方面也可实现联盟企业与大科学计划的共同成长，逐步实现高端科研仪器设备的国产化替代，甚至开展大科学计划和大科学工程的技术“出口”。

(四)运营管理：加强进度与风险控制，完善知识产权与科研伦理管理

1. 进度控制

国际大科学计划围绕特定目标，始终强调效率第一，在计划执行阶段必须控制进度。对此，上海在执行国际大科学计划过程中，应充分利用矩阵式项目管理结构、集权式管理优势，并引入竞争机制，平衡任务式分工与竞争性申请的比例。在特殊情况下必须强调“以我为主”，加大对本国科研团队的资助力度，以确保其成为计划实施主力。国际大科学工程的进度控制更多体现在工程建设阶段，以防止项目超支。对此，应严格遵守工程项目管理规律，充分运用建筑信息模型(BIM)、甘特图等工具予以控制。同时，也要考虑大科学工程的技术风险性与不可预见因素，实现进度控制刚柔相济。

2. 科技成果与知识产权管理

针对国际大科学计划，根据国际惯例建立分级的科技成果与知识产权管理制度：原始实验数据全球公开；基于实验数据发表的科学论文应充分体现各国学者贡献，尊重科学发现权；为实现国际大科学计划而研发的实验设备、装置，以及基于大科学计划衍生出的新材料、新物种等应实施严格的知识产权保护。针对国际大科学工程，预制阶段开发的实验设施设备、工装设备、关键核心部件等均予以严格的知识产权保护；工程运行阶段形成的实验数据实行分类管理，专用科研设施数据全球共享，公共科研设施和公益科研设施数据有条件共享，用户享有自主权。对于我国财政资助的科技成果与知识产权，按照我国相关法律法规执行；对于相关国家科研团队来沪做科研实验形成的专利、技术秘密等具有商业价值的工业产权，按照我国相关法律法规执行。

3. 风险控制与安全管理

国际大科学工程创造出的实验环境通常涉及极端高温、极端低温、强烈核辐射、烈性病毒等情况，需要实施严格的风险控制与安全管理。历史上，美国、日本的大科学工程装置均出现过不同程度的安全事故(章欣，2016)。上海的大科学工程装置主要集中在张江科学城等人口密集区域，安全管理关系到人民群众的生命健康与财产安全。一要严格执行实验室操作手册，加强安全操作与培训，定期开展实验室全员安全教育，并设立严格的安全监管管理机制和问责机制，不定期开展飞行检查。二要注重设施设备的维护与更新，确保设施始终处于可用、能用的状态。三要切实提高设施运行维护人员待遇，稳定运行维护和技术研发队伍。

4. 科研伦理管理

国际大科学计划和大科学工程在运行过程中，道德与伦理委员会应坚定履行职责，确保所有科研活动完全符合科研伦理规范。生命探索、临床试验等活动应完全符合人类基本伦理，确保受试者的安全、健康、权益。在人工智能等领域，应充分保护用户隐私。

(五)制度保障：全力保障国际大科学计划和工程稳定运行

为确保国际大科学计划和大科学工程的顺利实施，中央和上海应形成一套完整的保障体系。一是资金保障。通过立法，明确国家发改委、财政部、科技部等部委对国际大科学计划和大科学工程的资源投入责任，逐一明确主资助部门，充分保障建设经费与运行经费。二是任务保障。国际大科学计划和大科学工程团队有明确、清晰的组织目标与任务，不得与其他科研机构竞争科研项目，未经主资助部门同意，不得承担其他部委的科研项目。三是组织保障。明确国际大科学计划和大科学工程执行单位的独立法人地位，建议明确单位性质为新型研发机构，完全拥有人事、项目设立和划拨等自主权。

参考文献：

- [1]Lambright W.H. 重大科学计划实施的关键管理与协调[M].王小宁,译.北京:科学出版社,2009.
- [2]陈光,王艳芬.关于中国大型科研仪器共享问题的分析[J].科学学研究,2014,(10):1546-1551.
- [3]陈力,刘笑,陈强.社会资本参与重大公共科技基础设施建设面临的问题及对策——来自国外科技领域公私合作的经验与启示[J].中国软科学,2017(6):14-20.
- [4]常旭华,仲东亭.国家实验室及其重大科技基础设施管理体系分析[J].中国软科学,2021(6):13-22.
- [5]郝君超,李哲.国家实验室人员管理的国际经验及启示[J].科技中国,2018(4):86-88.
- [6]黄卫.加强我国面向世界科技强国的基础研究基本布局和若干思考[J].中国软科学,2017(8):1-8.
- [7]蒋玉宏,王俊明,徐鹏辉.美国部分国家实验室大型科研基础设施运行管理模式及启示[J].全球科技经济瞭望,2015(6):16-20.
- [8]刘贺,胡颖,王冬梅.国家大型科研仪器现状及其开放共享分析研究[J].科研管理,2019(9):282-288.
- [9]王贻芳,白云翔.发展国家重大科技基础设施,引领国际科技创新[J].管理世界,2020(5):172-188.
- [10]徐晓丹,柳卸林.北京市建设国家实验室的基础与对策研究[J].科技进步与对策,2019(10):41-50.
- [11]钟少颖,聂晓伟.美国联邦国家实验室研究[M].北京:科学出版社,2017.
- [12]周岱,刘红玉,赵加强,等.国家实验室的管理体制和运行机制分析与建构[J].科研管理,2008,29(2):1154-1165.
- [13]章欣.生物安全4级实验室建设关键问题及发展策略研究[D].中国人民解放军军事医学科学院,2016.
- [14]周洲,赵宇刚.大科学基础设施管理国际经验借鉴——以巴特尔纪念研究所为例[J].科学发展,2018(4):15-20.