

美国能源部国家实验室培养科技人才的做法与经验

陈宝明¹, 谢 昱²

1. 科学技术部科技人才交流开发服务中心, 北京 100045;
2. 北京市商业学校 (北京祥龙资产经营有限责任公司党校), 北京 100053

摘要: 美国能源部国家实验室是世界上先进的科学研究系统之一, 在探索前沿科学方面发挥引领作用, 在培养科学人才方面也发挥了重要作用。数十年以来, 美国能源部国家实验室广泛参与科学人才培养工作, 形成了覆盖美国基础教育(K-12)至大学本科、研究生、博士后全阶段的科学人才培养体系, 通过提供独特的资源和实践训练, 对教育体系中的科学教育形成了有力补充。美国国家实验室实施了丰富多彩、对接前沿科学的各类教育项目, 为中国提供了有益的借鉴。

关键词: 美国能源部国家实验室; 科学教育; 科技人才培养

中图分类号: G520 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2023.11-12.010

美国能源部所属的 17 家国家实验室 (以下简称“美国国家实验室”), 是世界上先进的科学研究系统之一, 在探索科学前沿、保障国家安全以及通过科技创新促进经济繁荣方面发挥重要的作用。美国国家实验室不仅是强大的科研机构, 也是美国培养科技人才的重要机构。数十年以来, 美国国家实验室在美国能源部的统一领导下开展科技人才培养工作, 目前已形成系统化、覆盖多个层级的科学人才培养项目, 构建出覆盖美国基础教育(K-12)至大学本科、研究生、博士后全阶段的科学人才培养体系。美国国家实验室不仅参与专业科技人才培养工作, 也承担大众科普教育的使命。

1 美国国家实验室全方位、多层次培养科技人才的做法

美国国家实验室作为美国乃至全球最强大的科研网络, 与美国教育系统一起担负培养科学人才的责任, 以专业方式参与各层级、各群体科学人才的培养工作, 为美国源源不断地培养下一代

科学人才做出贡献。

1.1 K-12 科学教育重在激发兴趣, 培养探索能力

美国非常重视在 K-12 阶段激发学生对科学的好奇心和热情, 因为“培养下一代科学家始于大学之前”^[1]。美国国家实验室广泛参与 K-12 阶段科学教育, 为学生设计了丰富多彩的科学教育项目。这些科学教育项目的特点是生动有趣、吸引力强, 注重培养学生的动手能力和基本科学思维。

常见的 K-12 科学教育项目包括: 参观美国国家实验室、大科学家进 K-12 课堂、线上科学教育与交流互动、为中小学开发科学课程、举办科学夏令营和冬令营、组织科学研讨会、高中生实习项目、组织或支持“全国科学碗”(National Science Bowl, NSB) 竞赛等, 这些项目都通过不同角度的教育实践活动培养学生的动手能力和科学思维。

实验室参观是最基本、最普及的 K-12 阶段科学教育项目之一, 为学生提供近距离了解科研活动以及动手参与科研项目的机会, 也使他们能够亲身感受科研环境, 为提升科研兴趣创造条件。几乎

第一作者简介: 陈宝明 (1972—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为科技创新战略与政策。

通信作者简介: 谢昱 (1976—), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向创新教育、科技人才培养。电子邮箱: xieyu@bjxs.com.cn

收稿日期: 2023-09-13

每个美国国家实验室都提供预约参观的机会, 并为学生开放最先进的研究设施。如劳伦斯利弗莫尔国家实验室为参观者开放点火设施和国家大气研究设施^[2]; 阿贡国家实验室为参观者开放先进光子源设施、粒子加速器和科学展厅的参观^[3]。一些美国国家实验室的参观项目中还嵌入了科学实验活动, 如费米实验室为中小学教师提供的“学科领域参观”(Field Trips)活动, 学生在参观莱德曼(Lederman, LSC)科学中心时会做该实验室专门为他们设计的、对接学校科学课程的实验^[4]。参观先进科学研究设施、与科学家现场交流互动、置身于世界一流的科学研究环境, 在激发青少年的科学好奇心、萌生探索科学的愿望方面发挥了重要作用。

美国国家实验室广泛参与设计 K-12 阶段的科学课程, 使中小学科学教育更加接近科学发展前沿。美国科学课程的设计系统性很强, 很多课程重在启发学生构建科学问题, 像科学家一样思考, 以此训练学生的科学思维。例如, 费米国家实验室为中小學生设计了丰富的科学探索课程, 这些课程不仅内容有趣, 也注重对接科学前沿领域, 如 2022 年物理课的主题有: “你能弯曲光线吗” “你能延长时空吗” “中微子违反对称性吗” “质量从何而来” 等等^[5]。为发挥科学家的影响力, 美国国家实验室的课程基本都由科学家亲自授课, 诺贝尔奖获得者也会参与 K-12 阶段的现场教学, 如劳伦斯伯克利国家实验室为高中教师和学生开办的“宇宙学中的物理学”(Physics in and Through Cosmology)讲习班^[6]。阿贡实验室与芝加哥大学合作, 为高中生推出了主题为“关于能源的一切”(About All Energy)的为期六周的新课程, 培养学生的数据分析技能以及使用科学、技术、工程和数学(STEM)技能解决实际问题的能力^[7]。一些实验室甚至对 K-12 课程做了精细分层, 如费米国家实验室和劳伦斯伯克利国家实验室。劳伦斯伯克利国家实验室为小学生设计的课程强调“热情”, 重在激发低年级学生对科学的兴趣; 为初中生设计的课程强调“探索”, 鼓励学生通过实验发现科学原理与规律, 建立对 STEM 学科和相关职业的理解; 为高中生开发的课程则强调提供“经验”, 帮助学生掌握专业技能、建立资源网络, 为进入大学做准备^[8]。

美国国家实验室还通过组织丰富多彩的课

外科学活动, 吸引 K-12 学生关注科学研究。例如, 劳伦斯伯克利国家实验室的 K-12 课外科学活动: “让我们一起讨论 STEM”(Let's Talk About STEM)项目定期举办, 让科学家与学生畅谈科学工作经历^[9]; “课后科学时间”(After School Science Hour)项目则在课后组织学生参与科学活动, 内容涉及劳伦斯伯克利国家实验室正在进行的有趣的科学研究, 让学生在科学家的指导下完成科学实验(如制作混凝土尿布), 或组织学生讨论科学问题, 如“我们用互联网做什么”^[10]; 在“科学直播”(Live Science)节目中, 大科学家通过直播分享前沿科学研究, 如地球上的碳流动、用超级计算机模拟亚马逊生态系统等^[11]。劳伦斯伯克利国家实验室甚至为学生设计了有趣的科学电子游戏。几乎每个美国国家实验室都会为学生设计可实施的实验, 促进学生以动手和探索的方式学习科学。

组织科学竞赛是美国国家实验室参与科学教育的重要方式。部分国家实验室还参与组织重大的 K-12 科学竞赛, 如美国阿贡、阿姆斯以及布鲁克海文国家实验室参与组织全美知名科学竞赛——“国家科学碗”竞赛^[12]。2021 年“国家科学碗”竞赛共提出了 4 850 个科学问题, 其中 810 个与美国国家实验室的科学知识有关^[13]。布鲁克海文国家实验室每年都在长岛地区举办磁悬浮列车大赛和桥梁建造比赛(全国性比赛), 以及小学科学博览会^[14]。2021 年参加小学科学博览会的 500 名萨福克县儿童(从幼儿园到小学 6 年级)创建了 470 个项目进行比赛^[14]。

为学生提供参加科学实践的机会, 是提升科学认识的重要途径。一些美国国家实验室还为 K-12 高年级学生设计了深度参与科学实践的项目, 如组织研讨会、夏令营和实验室实习。劳伦斯利弗莫尔国家实验室在暑期为对 STEM 学科感兴趣的学生开设了“智能手机中的 STEM 科学”(STEM with Smartphones)暑期研讨会以及生物技术夏季体验营^[15], 并开设了鼓励女生参与 STEM 职业的 SAGE 项目^[16]; 费米国家实验室为对科学和数学有浓厚兴趣的高中生开设了为期 7 周的 QuarkNet 夏季研究项目, 参与该项目的学生将与科学家一起从事科学研究^[17]。类似的项目还有布鲁克海文国家实验室为高中生开设的为期 6 周的“高中研究计划”(High School Research Programme, HSRP)。在这

类项目中,学生研究的都是真实世界中存在的问题,例如,在新冠肺炎病毒研究项目中,学生通过计算机分析,寻找破坏蛋白质抑制剂的药物,帮助感染颗粒脱离细胞^[18]。

1.2 为本科以上青年科学人才提供关键能力训练

实习项目是美国国家实验室培养并吸引下一代优秀科学人才的重要方式。爱达荷国家实验室的劳动力需求预测表明,美国国家实验室对尖端人才的需求将持续增长,而实验室与企业对顶尖劳动力的竞争正处于历史最高水平。自2014年以来,该实验室17%的实习生最终成为了正式员工,2014—2022年,73%的博士后完成研究任务后转为正式聘用,2021—2022年,135名正在实习的博士后中已有48人转为正式员工^[19]。实习项目不仅是美国国家实验室培养科学人才的方式,也是获取尖端科学人才最直接有效的措施之一。

美国国家实验室在美国能源和科学家劳动力发展办公室(Office of Workforce Development for Teachers and Scientists, WDTS)的统一规划下,为本科以上的STEM学科学生提供实习和实践机会,主要项目有:理科本科生实验室实习(Science Undergraduate Laboratory Internships, SULI)计划、社区学院实习计划(Community College Internships, CI)和科学研究生研究项目(Office of Science Graduate Student Research, SCGSR)^[11]。这些项目在关键时期为年轻人提供高质量的STEM专业技能培训。

理科本科生实验室实习计划由美国能源部科学办公室、教师和科学家劳动力发展办公室以及美国能源部国家实验室共同赞助实施^[20]。2021年,该项目预算为1380万美元,共支持了1208名本科生参加实习,覆盖了444个高等教育机构^[13]。在实习中,学生大部分时间在科学家和工程师的指导下完成工作,学习操作先进的设备和仪器;此外,学生还可以参加研讨会、学习相关课程以补充研究经验。这类实习项目与大学教育互通,学生参加实习可以获得大学认可的学分,例如,布鲁克海文国家实验室给完成实习的学生6个学分^[21],阿贡国家实验室会随时向实习生所在的大学通报学生的研究进展^[22],一些国家实验室还与大学联合培养STEM专业的学生。

理科本科生实验室实习计划和社区学院实习

计划一年举办3期,夏季(5~8月)为10周,秋季(8~12月)和春季(1~5月)各为16周,各实验室开放的实习项目和实习期有所不同。

科学研究生研究项目主要支持研究生(硕士和博士)通过实验室实习完成论文,为他们提供高水平的STEM技能培训,帮助他们成长为下一代STEM领导者。2021年,科学研究生研究项目的预算为500万美元,共支持了145人在17个美国国家实验室和1个研究站点进行实习;自2014年以来,共有875人参与了该项目,与超过560名科学家进行了合作研究。2021年的调查数据显示,超过98%的科学研究生研究项目实习者认为该项目让他们发现了新的学术职业机会,所有的实习生认为该项目帮助他们完成了论文,99%的实习生认为该项目让他们接受了在大学所无法获得的培训,至少有50%的实习生使用了科学设施进行实验^[13]。科学研究生研究项目为获奖的研究生提供资助,在约定的期限内(3~12个月)他们可以与科学家合作研究,完成论文。

美国国家实验室的实习项目十分受欢迎,如爱达荷国家实验室,不仅让学生参与大量前沿科学研究项目,实习活动也设计得丰富多彩,受到学生好评。爱达荷国家实验室在权威机构的实习评价榜上连续5年排名靠前,2022年在工程领域排名第3位,在能源和可再生能源领域排名第14位,是唯一进入该榜单的国家实验室^[19]。美国橡树岭国家实验室的研究生实习项目25年以来不断创新,成为其他国家实验室竞相学习效仿的项目^[23]。

除了美国能源部统一规划的实习项目,一些美国国家实验室也与其他机构合作提供实习机会,例如,13家美国国家实验室与美国工程与科学少数民族研究生学位学会(National Consortium for Graduate Degrees for Minorities in Engineering and Science, GEM)合作,为少数族裔学生提供获得STEM学科高级学位的实习机会^[24]。

美国国家实验室的实习项目对申请者的身份要求较严格,通常要求申请者具有美国公民身份或拥有美国永久居留权,特别是研究生实习项目,仅有极少数机会向有限的国家开放,如费米国家实验室的国际生项目,仅向法国、西班牙或墨西哥等个别国家开放。

但是,美国国家实验室对实习生的学业成绩要

求并不高, 平均学分绩点 (GPA) 达到 3.0 即可, 但申请竞争十分激烈, 美国国家实验室都会对申请者进行严格的评价和面试。实习生也会获得美国国家实验室发放的津贴, 本科生每周 650 美元^[25], 研究生每月 3 600 美元^[26]。居住在实验室 80 km 以外的学生还可以获得交通补助、住房或者住房津贴。

除了实习项目, 美国国家实验室培养本科生和研究生科学人才的方式还包括: 为大学开发科学专业课题、与大学联合培养研究生、为研究生提供奖学金、举办科学研讨会和讲座、为研究生提供使用科学研究设施的培训、提供研究助理岗位等。

1.3 为博士后提供研究资金和独立的科研机会

美国国家实验室对博士后的培养不同于本科生和研究生, 本科生和研究生主要是在科学家和工程师团队的指导下完成工作, 而博士后被视为具有独立研究能力并可以产出研究成果的高端人才, 因此, 美国国家实验室培养博士后的主要方式是让他们以研究者身份独立承担或参与项目, 并以各种方式吸引并激励博士后人才。劳伦斯利弗莫尔国家实验室拥有超过 280 名博士后, 这些博士后除参与、承担研究项目外, 还被允许将 25% 的时间用于研究个人感兴趣的问题^[27]。

为了吸引优秀的博士后, 很多美国国家实验室提供研究基金, 例如, 桑迪亚国家实验室为博士后提供“杰出研究基金”, 以及针对某些前沿科学领域的基金会研究金。该实验室还为博士后提供设立于 1949 年的著名的杜鲁门奖学金。杜鲁门奖学金不仅包括 3 年全额工资和福利, 每年还为获奖者提供 10 万美元的研究津贴, 支持他们自行选择课题进行开创性的研究^[28]。

实验室自主研发 (Laboratory Directed Research and Development, LDRD) 项目是美国国家实验室吸引、支持博士后研究人员的重要项目, 它体现了“以人为本”“鼓励自由探索”的资助理念^[29]。该项目设立于 1991 年, 由美国能源部管理。其资助的研究不在实验室既定的研究任务内, 是否能取得成果具有高度的不确定性。由于美国许多重大科学发现都是由 LDRD 项目支持实现的, 因此美国能源部每年都会将实验室总预算的一定比例用于支持 LDRD 项目, 近几年通常在 4% ~ 5%, 该项目对于博士后研究员具有较大的吸引力^[30]。例如, 劳伦斯利弗莫尔国家实验室的 LDRD 项目通常会为

50% 的博士后研究人员提供研究支持和专业培训, 高于其他项目给予的支持, 对吸引博士后加入该实验室发挥了较大作用^[31]。

除了提供研究基金, 美国国家实验室也纷纷为博士后提供奖学金。劳伦斯利弗莫尔实验室的劳伦斯奖学金每年对几个职位提供奖励, 并对所有技术学科开放; 该实验室的费恩巴赫博士后奖学金授予在计算数学、计算机科学、数据科学或科学计算方面具有卓越天赋、过去取得突出成果或具有重要潜力的候选人; 高能密度科学 (HEDS) 奖学金对所有高能物理研究领域的博士后研究员开放; 福斯特和布朗博士后奖学金 (由美国武器和综合设施局设立) 奖励从事国防安全研究的人员^[32]。桑迪亚国家实验室为博士后提供包括著名的杜鲁门奖学金、约翰·冯·诺伊曼奖学金在内的多个奖学金^[33]。

博士后在美国国家实验室工作期间, 可以参加国际学术交流会议, 在国际学术活动中展示研究成果, 完成学业后可以取得相应的学分, 未来去往其他科学研究机构时还能获得有力的推荐。

美国国家实验室参照美国能源部的标准为博士后提供薪资福利, 博士后年薪约在 96 000 美元^[32]至 116 800 美元^[34], 可灵活支配工作时间, 享受带薪假期。国家实验室也为他们提供健康保险和 401 (K) 储蓄计划。

1.4 为 STEM 教师提供更新知识和技能的进修机会

高素质的 STEM 学科教师是持续、高质量培养科学人才的关键, 美国能源部设立了“访问教员项目” (Visiting Faculty Programme, VFP), 每年投入约 200 万美元, 通过国家实验室的培训提升 K-12 及大学 STEM 学科教师的科学能力。该项目通常为 10 周, 入选的教师将与美国国家实验室的科学家或工程师一起工作, 开展与美国能源部使命有关的研究。参与该项目的教师不仅能在实验室接触到世界上先进的科学理论、参加科学研讨会开阔视野, 也能在具体科学实验中使用先进设备、提升实验操作和设计能力。2021 年“访问教员项目”支持了 63 名教员进入美国国家实验室深造^[33]。在选择教师时, 该项目更倾向于代表性不足的群体, 如少数民族裔及女性, 它为美国均衡发展各类人群的 STEM 技能发挥了重要作用。

除了访问教员计划, 一些美国国家实验室也

为 STEM 学科教师提供其他科学能力发展项目，如费米国家实验室为 K-12 教师开发了培训课程，帮助教师将科学方法和工程设计的过程融入教学中；定期开办在线研讨会，帮助教师拓展 STEM 学科的知识，并根据教师授课的学员层级开发了不同主题的在线研讨内容；为大学教师提供暑期研究助理岗位，提高大学教师对尖端科学技术的认识和理解，帮助他们将前沿科学知识融入课堂教学^[35]。劳伦斯伯克利国家实验室为美国高中物理老师举办远程研讨会，让实验室的科学家和博士后参与线上分享，帮助教师了解粒子物理学和宇宙学的前沿研究。2022 年劳伦斯伯克利国家实验室组织的研讨会讨论主题涉及希格斯玻色子、欧洲核子研究中心 ATLAS 实验的研究、中微子物理学、暗物质搜索、宇宙地图绘制、超新星暗能量测量以及机器学习等前沿领域^[36]。洛斯阿拉莫斯国家实验室通过基金会，为所在地区的校长和教师设立了全年运作的专业发展项目^[37]。

1.5 面向大众进行科普教育，提高国民科学素养

面向公众的科普活动，既是大众科学教育手段，也是宣传国家实验的一种方式。美国能源部国家实验室广泛参与大众科学教育，影响公众对科学的认知。

洛斯阿拉莫斯国家实验室、爱达荷国家实验室等通过在社区举办科普教育活动，引导公众关注前沿科技^[37-38]。费米实验室、劳伦斯利弗莫尔国家实验室等向公众开放参观活动^[39-40]。劳伦斯伯克利国家实验室每年夏季都举办“STEM Career Talks”活动，邀请实验室工作人员、海湾区的专业人士和客座专家介绍如何开展科学研究，并将访谈视频发布到 Youtube 上，帮助公众了解科学研究。2023 年夏季的“STEM 职业交流”（STEM Career Talks）节目讨论的话题有“怎样获得暑期实习机会”“机器学习”“环境科学”“科学政策职业”等，内容既涉及美国国家实验室的工作场景和科研职业，又涉及科学研究内容，有效地向公众介绍了国家实验室^[41]。阿贡和费米国家实验室每年也举办类似的活动，如更聚焦于吸引年轻人选择 STEM 职业的科学博览会^[42-43]。

美国国家实验室也积极利用新媒体向公众介绍科研进展和前沿科学知识，如劳伦斯伯克利国家实验室开设了线上播客，每周向大众介绍不同的科学主题，甚至邀请诺贝尔奖获得者为大众做科

普^[44]，并且在各类新媒体上发布科普内容^[45]。费米国家实验室持续在 Youtube 上发布由大科学家录制的科普视频，2023 年 10 月 16 日发布的视频“揭开海森堡不确定性原理的神秘面纱”（Demystifying the Heisenberg Uncertainty Principle）在短时间内获得 16 万次观看，美国国家实验室参与大众科普发挥的影响力可见一斑。

2 启示与建议

党的二十大报告提出，教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑，并对教育、科技、人才进行一体化部署。在科技实践活动中加强科技人才培养，是促进教育、科技、人才一体化的重要途径。美国能源部国家实验室培养科技人才的做法和经验，为中国发挥科技创新基地以及科研机构的作用，培养科技人才提供了有益的启示。

（1）发挥科技创新基地和科研机构优势培养科技人才。

在国家创新体系中，不同类型的主体发挥的作用不同。例如，学校是开展教育的重要机构，而国家实验室作为一类重要的科研机构，本身具有科研资源密集、引领科技发展前沿的优势，在培养科技人才方面，学校和国家实验室等科技创新基地、科研机构是相辅相成、各有所长的。美国国家实验室能够提供科研实践机会、使学生了解科技发展前沿等，这是其他创新主体不可比拟的优势，对于激发青少年科学研究的兴趣、培养科学思维具有不可替代的作用。从长远来看，科技创新发展的成效取决于是否形成具有较强创新能力和竞争力的人才队伍。中国也应重视国家实验室及相关科技创新基地和科研机构在培养科技人才上的作用，与教育培养相互补充、相互协同，从基础入手，打造具有国际竞争优势的人才队伍。

（2）应把全方位加强人才培养作为国家实验室等科技创新基地和科研机构的重要职能。

国家实验室等科技创新基地和科研机构在发挥自身科技创新实践优势培养科技人才上具有不可替代的作用，是科技人才培养的重要力量。长期以来，中国国家实验室等科技创新基地和科研机构在培养科技人才上的责任和义务有待明确，培养人才没有纳入科技创新基地和科研机构的职能之中。一

方面, 教育和实践需求存在一定程度的脱节, 另一方面, 导致相关科研机构的优势不能得到充分发挥。为此, 应通过立法或政策制定等方式, 把全方位加强人才培养作为国家实验室, 以及以国家实验室为代表的国家科技创新基地和科研机构的重要职能, 通过法律法规明确其人才培养义务, 加强对其人才培养作用的考核, 促使科技创新基地和科研机构在做好科研工作的同时, 培养符合科技强国建设需要的科技人才。

(3) 根据人才成长的不同阶段采取有针对性的培养措施。

美国能源部国家实验室为 K-12 不同阶段的学生设计了有针对性的培养方式, 如对幼儿园和小学生主要以激发科学兴趣为主, 对中学生以培养科学思维和动手探索能力为主, 而对本科生、研究生、博士和博士后等主要以参加科研实践、掌握科学研究方法为主。有针对性的人才培养提升了科技人才的培养效果, 为提升全社会科研能力打了坚实的基础。而增加科学实践活动是其采取的基本方式之一, 这也是国家实验室具有的优势。与之相比, 中国的科技人才培养方式比较单一, 尤其是早期科技人才培养缺乏科研实践, 不利于培养科学兴趣、提升科学意识等。因此, 应着力提高中小学科学教育项目的专业性、趣味性和前沿性, 改进科研实践条件, 在科研实践中培养科技人才。

(4) 培养科技人才的前提是重视培养教师。

教师的质量直接关系到人才培养的质量。美国国家实验室充分发挥自身优势积极培养教师, 对科技人才培养发挥了重要作用。近年来, 中国对科学教育更加重视, 采取多种方式推进科学教育, 但是科学教育的任务不仅在于将科学知识引入学校、传授给学生, 更重要的是将科学思维、科学精神渗透于学校各门学科的教育之中, 因此, 应根据科技发展的需要不断提升教师的科学素养与科学意识。中国应重视教师的科学素养、科学精神和科学思维的培养, 实施教师能力提升工程, 发挥国家实验室等科技创新基地和科研机构的科研实践优势, 加强在教师培养上的协同, 真正地把科学教育融入学校教育中。■

参考文献:

[1] Office of Science. Office of workforce development for

teachers and scientists annual report (fiscal year 2020)[EB/OL]. [2023-08-11]. https://science.osti.gov/wdts/-/media/wdts/pdf/WDTS_Annual-Report_FY2020.pdf.

[2] Lawrence Livermore National Laboratory. Science education program[EB/OL]. [2023-08-10]. <https://st.llnl.gov/sci-ed>.

[3] Argonne National Laboratory. Tour the lab[EB/OL]. [2023-08-25]. <https://www.anl.gov/tour-the-lab>.

[4] Fermilab. About the filed trip[EB/OL]. [2023-08-10]. <https://ed.fnal.gov/programs/workshops/phriendly-physics.shtml>.

[5] Fermilab. Lederman science center: fermilab science for kids and educators[EB/OL]. [2023-08-02]. <https://ed.fnal.gov/lsc/index.shtml>.

[6] Lawrence Berkeley National Laboratory, QuarkNet Workshop. Physics in and through cosmology 2023 workshop[EB/OL]. [2023-08-28]. <https://physicsciences.lbl.gov/2023/07/31/berkeley-lab-hosts-cosmology-workshop-for-high-school-teachers-and-students/>.

[7] Argonne National Laboratory. All about energy[EB/OL]. [2023-08-05]. <https://www.anl.gov/education/all-about-energy>.

[8] Lawrence Berkeley National Laboratory. K-12 STEM education and outreach[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://k12education.lbl.gov/home>.

[9] Lawrence Berkeley National Laboratory. Let's talk about science[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://k12education.lbl.gov/programs/virtual/lets-talk-about-stem>.

[10] Lawrence Berkeley National Laboratory. After school science hour[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://k12education.lbl.gov/programs/virtual/after-school-science-hour>.

[11] Lawrence Berkeley National Laboratory. Live science[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://k12education.lbl.gov/programs/virtual/live-science>.

[12] Argonne National Laboratory. Middle school regional science bowl competition[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://www.anl.gov/education/middle-school-regional-science-bowl-competition>.

[13] Office of Science. Office of workforce development for teachers and scientists annual report (fiscal year 2021)[EB/OL]. [2023-08-11]. <https://science.osti.gov/-/media/wdts/pdf/FY-2021-Office-of-Workforce-Development-for>

- Teachers-and-Scientists-Annual-Report.pdf.
- [14] Brookhaven National Laboratory. Programs for students-contest-elementary science fair[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://www.bnl.gov/education/k-12.php>.
- [15] Lawrence Livermore National Laboratory. Students workshops[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://st.llnl.gov/sci-ed/student-workshops>.
- [16] Lawrence Livermore National Laboratory. SAGE[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://st.llnl.gov/sci-ed/SAGE>.
- [17] Fermilab. QuarkNet summer research program[EB/OL]. [2023-08-11]. <https://internships.fnal.gov/quarknet-summer-research-program/>.
- [18] Brookhaven National Laboratory. High school research program (HSRP)[EB/OL]. [2023-08-11]. <https://www.bnl.gov/education/programs/program.php?q=219>.
- [19] Idaho National Laboratory. National university programs 2022 annual report[EB/OL]. [2023-08-02]. https://inl.gov/content/uploads/2023/07/23-50181_NUP-annual-report_R6.pdf.
- [20] U.S. Department of Energy, Office of Science. SULI program overview[EB/OL]. [2023-08-13]. <https://science.osti.gov/wdts/SULI>.
- [21] Brookhaven National Laboratory. Nuclear and radiochemistry[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://www.bnl.gov/ncss/>.
- [22] Argonne National Laboratory. Graduate research program[EB/OL]. [2023-08-07]. <https://www.anl.gov/education/graduate-research-program>.
- [23] Oak Ridge National Laboratory. ORNL program celebrates 25 years of science education[EB/OL]. [2023-08-03]. <https://www.ornl.gov/news/ornl-program-celebrates-25-years-science-education>.
- [24] Argonne National Laboratory. Argonne National laboratory and the GEM fellowship program help minority students pursue advanced STEM degrees[EB/OL]. [2023-08-07]. <https://www.anl.gov/article/argonne-national-laboratory-and-the-gem-fellowship-program-help-minority-students-pursue-advanced>.
- [25] U.S. Department of Energy. Benefits of Science Undergraduate Laboratory Internships(SULI)[EB/OL]. [2023-08-12]. <https://science.osti.gov/wdts/suli/Benefits>.
- [26] U.S. Department of Energy. Living of Stipend of Office of Science Graduate Student Research (SCGSR) Program[EB/OL]. [2023-08-12]. <https://science.osti.gov/wdts/scgsr/Benefits>.
- [27] Lawrence Livermore National Laboratory. The Postdoc program[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://st.llnl.gov/opportunities/postdocs/postdoc-program>.
- [28] Sandia National Laboratories. Truman fellowship[EB/OL]. [2023-08-12]. <https://www.sandia.gov/careers/career-possibilities/students-and-postdocs/fellowships/truman-fellowship/>.
- [29] 张翼燕, 郭铁成, 孙浩林. 基于国际实践的以人为核心的资助模式研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2023, 38(3): 46-52.
- [30] Department of Energy. Fiscal year 2021 report to congress: laboratory directed research and development at doe national laboratories[EB/OL]. [2023-08-25]. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-01/fy-2021-doe-ldrd-report-to-congress.pdf>.
- [31] Lawrence Livermore National Laboratory. Lab directed research and development[EB/OL]. [2023-08-12]. <https://st.llnl.gov/research/internal-investments/ldrd>.
- [32] Lawrence Livermore National Laboratory. The postdoc program[EB/OL]. [2023-08-18]. <https://st.llnl.gov/opportunities/postdocs/postdoc-program>.
- [33] Sandia National Laboratories. Fellowship[EB/OL]. [2023-08-14]. <https://www.sandia.gov/careers/career-possibilities/students-and-postdocs/fellowships/>.
- [34] Sandia National Laboratories. Jillhruby fellowship[EB/OL]. [2023-08-14]. <https://www.sandia.gov/careers/career-possibilities/students-and-postdocs/fellowships/jill-hruby-fellowship/>.
- [35] Fermilab. Fermilab offers numerous internships for students, teachers and professionals[EB/OL]. [2023-08-20]. <https://internships.fnal.gov/>.
- [36] Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley lab programs: physics in and through cosmology[EB/OL]. [2023-08-06]. <https://k12education.lbl.gov/programs/virtual>.
- [37] Los Alamos National Laboratory. Recent highlights[EB/OL]. [2023-08-01]. <https://community.lanl.gov/education/>.
- [38] Idaho National Laboratory. Energy days for the community[EB/OL]. [2023-08-01]. <https://inl.gov/events/energy-days-for-the-community/>.

- [39] Fermilab. Fermilab's Batavia site is open to the public[EB/OL]. [2023-08-01]. <https://www.fnal.gov/pub/visiting/>.
- [40] Lawrence Livermore National Laboratory. Visit us[EB/OL]. [2023-08-31]. <https://lasers.llnl.gov/about/visit-us>.
- [41] Lawrence Berkeley National Laboratory. Summer 2023 recordings[EB/OL]. [2023-08-31]. <https://k12education.lbl.gov/programs/virtual/career-talks>.
- [42] Argonne National Laboratory. Stem fest[EB/OL]. [2023-08-02]. <https://www.anl.gov/education/stem-fests>.
- [43] Fermilab. STEM - science, technology, engineering, & mathematics career export[EB/OL]. [2023-08-31]. <https://ed.fnal.gov/programs/careerfair/>.
- [44] Lawrence Berkeley National Laboratory. Listen to previous episodes: dark energy[EB/OL]. [2023-08-31]. <https://newscenter.lbl.gov/a-day-in-the-half-life/>.
- [45] Lawrence Berkeley National Laboratory. Social media[EB/OL]. [2023-08-31]. <https://newscenter.lbl.gov/social-media/>.

Practice and Inspiration of U.S. DOE National Laboratories in Cultivating Science and Technology Talents

CHEN Baoming¹, XIE Yu²

1. Exchange, Development and Service Center for Science and Technology Talents, Beijing 100045;
2. Beijing Business School (Party School of Beijing Xiang Long Asset Management Co., Ltd.), Beijing 100053

Abstract: The U.S. DOE National Laboratories are one of the leading scientific R&D facilities in the world, which not only play a leading role in exploring frontier science, but also play an important role in developing scientific talents for the nation. For decades, DOE National Laboratories have been deeply and widely involved in developing scientific talents. Under the management of DOE, these labs have developed systematic ways for cultivating scientific talents covering the whole stages of K-12, undergraduate, graduate, and postdoctoral students. By providing unique resources and training for scientific experiments, DOE National Laboratories powerfully support the science education of the United States. The diverse and cutting-edge educational projects designed by the DOE National Laboratories have provided valuable reference for China.

Keywords: the U.S. DOE National Laboratories; scientific education; science and technology talents development