

高端科研成果科普化的路径

——基于对中国科学院上海光学精密机械研究所原子钟科普的案例分析

钱逸涛¹ 杨 凯¹ 王金媛² 徐 震²

(江苏科技大学科学技术史研究所, 镇江 212003)¹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)²

[摘 要] 高精尖科学装置是高端科研成果的重要组成部分, 原子钟作为应用于航空航天领域的关键核心装置, 近年来逐渐被大众熟知, 本文以中国科学院上海光学精密机械研究所(以下简称“上海光机所”)原子钟研究成果的科普实践为案例, 综合考察了上海光机所原子钟科普的主体、形式、内容及其基本特点。研究发现, 科学家团队是推动高端科研成果科普化的重要力量, 沉浸式科普是重要方式, 而国家重大科技战略则是重要契机。基于研究发现, 本文认为大科学装置等高端科研成果科普化工作可以从切实提高科研人员科普技能、健全高端科研成果科普化联动机制、培育高端科研成果科普化品牌3个方面着手, 研究成果为科研机构有效利用高端科研成果开展科普活动提供了有益借鉴和思考。

[关键词] 高端科研成果 大科学装置 原子钟 科普化

[中图分类号] N4 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2024.06.007

2015年, 中国科学院联合科技部发布的《关于加强中国科学院科普工作的若干意见》指出, “实施‘高端科研资源科普化’计划, 促进中国科学院丰富的科研资源转化为科普设施、科普产品、科普人才”^[1]。2021年, 《全民科学素质行动规划纲要(2021—2035年)》进一步提出实施“科技资源科普化工程”, 并将其列为“十四五”时期需落实的五大重点工程之一^[2], 科技资源科普化成为新时代科普工作和科普研究的热点问题。学界关于科技

资源科普化的研究主要集中在以下几个方面: 一是关于科技资源科普化的概念界定, 如任福君认为科技资源科普化是将科技资源转化为科普资源的过程, 此过程是科技资源功能和作用的拓展和延伸, 并不影响科技资源本质属性的发挥^[3]。二是关于科技资源科普化的现状分析及对策研究, 例如, 范春萍认为科技资源科普化的瓶颈在于科普人才匮乏^[4], 同时邱成利^[5]、张九庆^[6]、任红松^[7]、贺向东^[8]等基于国家、省(自治区、直辖市)、市等层

收稿日期: 2024-07-04

基金项目: 中国科协—王育竹院士学术成长资料采集工程项目(CJGC2022-K-Z-SH02); 江苏省研究生科研与实践创新计划项目“红色科学家精神传承研究: 以王育竹院士为中心”(项目编号: KYCX23-3808)。

作者: 钱逸涛, 江苏科技大学科学技术史硕士研究生, 研究方向: 科学文化传播, E-mail: cat0107@126.com。王金媛为通讯作者, E-mail: wangjinyuan@siom.ac.cn。

面科技资源科普化的现状，提出了一系列政策建议。近年来，也有许多对国家重点实验室、国家科研机构科技资源科普化的经验分析^[9-11]，这些研究为本文提供了坚实的基础，但多偏向工作总结性质，缺少研究视角。

高精尖科学装置是高端科研成果的核心部分，以原子钟为代表的国家重大技术装备，不仅具有服务国家重大战略工程、推动科技现代化的重要功能，同时也具有推动公众理解科学、提升科技工作者荣誉感的巨大科普价值。加快推进原子钟等高端科研成果的科普化进程，不仅是提升高端科研成果利用效率的客观需要，更是新时代推动科普事业高质量发展的重要举措。为此，本文采用案例研究法，对以原子钟为代表的高精尖科学装置科普化的情况进行系统研究，以期为高端科技资源科普化工作提供可资借鉴的经验。

1 国内外原子钟科普发展的现状及特点

1.1 国内原子钟科普现状

为准确了解原子钟科普现状，本文采用中国科协科普部、百度指数、中国科普研究所联合发布的《中国网民科普需求搜索行为报告》中的百度指数^①作为样本来源。该指数于2015年7月被首次披露，因此本文选择2015年—2023年百度所有关于原子钟的搜索量作为初始样本之一。除了百度指数以外，近年来抖音等短视频平台也日益成为科普的重要来源，因此本文还增加了巨量指数（抖音、头条官方平台的数据库）作为初始样本。该平台上线于2020年10月，因此，数据采集

时间段为2020年10月—2023年10月。为避免信息冗余，并排除无关信息干扰，课题组对初始样本做了如下处理：（1）剔除具有营销性质的商业广告。（2）剔除重复度高的词汇（只选择具有代表性的词汇）。（3）重点筛选出与科普内容相关的重大事件或人物。经过以上数据清洗后，整理出与原子钟相关的热点事件表（见表1）。

表1 原子钟科普热点事件表

关键词	热点搜索	热点机构/人物
铯原子钟	国内芯片原子钟投产	王义遒
铷原子钟	原子钟原理是什么	中国科学院上海光机所
冷原子钟	印度原子钟什么水平	北京大学
北斗卫星	芯片原子钟是什么	刘亮
秒的定义	世界原子钟精度排名	中国科学院上海天文台
国产芯片	原子钟都用在什么地方	成都天奥电子股份有限公司
氢原子钟	原子钟时间校准	韩沁松
梦天实验舱	真实的原子钟图片	孙家栋
北斗卫星	原子钟是什么样子的	王育竹
全球定位导航系统光纤通信	原子钟受什么影响	沈志强

从表1所披露的信息来看，目前网络上的原子钟科普现状有如下特点：（1）与社会热点事件结合紧密，如北斗卫星上天、解决“卡脖子”技术问题等是公众关注原子钟的重要事件来源，爱国热情是公众了解原子钟的内在驱动力。（2）对于原子钟原理的知识性需求仍是公众关注的重点，原子钟的型号、性能、特点各异，对于不同场景下的应用要求也不尽相同，其前沿知识需要传播至更广泛的群体当中，实现知识共享。（3）原子钟研制千头万绪，涉及的科研机构、科技企业、科学家、工程师众多，需要有更多的科普主体参与。

目前，国内原子钟科普主体有上海光机所、北京大学等国家级科研机构，李天初、王育竹、王义遒、张首刚、刘亮等专家学者曾在各类文章、讲座、公开访谈中普及过原子钟的功能、用途等，《新华日报》《科技日

①百度指数，<https://index.baidu.com>。

报》《科普中国》等官方媒体也曾以专题形式报道过空间冷原子钟、光钟、铯原子喷泉钟等新型原子钟。从科普方式来看，主要以科普图文、新闻报道、科技展览等传统手段为主，科普内容包括原子钟的基本原理、国内原子钟发展、原子钟与时间基准的关系等。国内原子钟科普的形式、内容已经较为丰富，但在科普内容效度、科普深度、传播手段、技术运用等方面仍需进一步更新和优化。

1.2 国外原子钟科普现状

相比于国内而言，国外原子钟科普起步早，传播渠道更加广泛、科普主体更加多元，科普内容也会考虑到公众需求以及注重提升公众体验感。国外原子钟科普机构的主要代表有美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration, NASA）、英国国家物理实验室（National Physical Laboratory, NPL）等知名科研机构。以 NASA 为列，从 2019 年起，NASA 在其官方网站上推出深空原子钟系列科普，向公众解释了在太空中没有 GPS 的情况下原子钟如何让航天员确定航天器位置，深空原子钟可以完成哪些探测任务，原子钟如何帮助人类抵达火星等问题，并辅以大量的技术演示超高清图片、媒体视频^①。在图书出版方面，NASA 与美国国家地理杂志合作出版了《国家地理太空探索全书》《阿波罗：一部看得见的航天史》等书籍。深空原子钟目前由 NASA 下属的喷气推进实验室管理，喷气推进实验室在每年的 5 月、6 月或 10 月的周末都有一次开放参观日，届时便会邀请公众参观实验室设备。在科普作家方面，艾米丽·康诺弗（Emily Conover）致力于追踪报道新型原子钟动态，其中包括新型光钟、核钟等。此外，美国作

家詹姆斯·伦道夫撰写了《从日晷到原子钟：时间计量的奥秘》一书，介绍了时间的度量原理和发展历史，以及各类原子钟的工作原理，该书的国内译本目前已由浙江教育出版社出版。除上述传统渠道外，原子钟在国外还有着十分广泛的新媒体传播渠道，如 Youtube、TikTok、BBC 等社交媒体平台，美国国家标准与技术研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）也时常发布各类原子钟前沿科技研究的报道等^②。

2 研究思路和方法

2.1 案例选择

案例研究包括描述性、理论验证性、解释性等类型^[12]，本文以上海光机所原子钟研制团队开展的原子钟科普实践为案例进行描述性研究，并对其进行深入调研分析。以上海光机所原子钟研究团队作为高端科研成果科普化的研究对象，主要是基于其先进的科普理念和丰富的科普实践活动。

作为中国科学院下属研究所，上海光机所历来重视科普工作。上海光机所不仅拥有近 60 年的原子钟相关技术研究积累，在开展原子钟科普工作、推动高端科研成果科普化利用方面也进行了积极探索。团队首席科学家王育竹院士在 20 世纪 70 年代曾担任中国电子学会科普编委会成员，其多年来都保持着阅读科普读物的习惯。对于科普，王育竹院士（见图 1）有自己独到的看法。他认为：“在宣传、介绍科学活动时应实事求是，尤其在报道重大科学发现等方面的内容时一定要严谨。科学技术本身不应被过度包装，应该让人们多认识科学的本来面目；科学发展到什么程度，就应该介绍到什么程度，不应违背背

^①美国国家航空航天局官方网站 . <https://www.nasa.gov/>。

^②美国国家标准与技术研究院官方网站 . <https://www.nist.gov/>。

科学精神而刻意追求轰动效应。在引介国外先进科学技术成果的同时，应该适当增加中国科学技术的内容。中国科学同世界科学不是割裂的两个板块，世界科学包括中国科学，中国科学是世界科学的重要组成部分。”^[13]在王育竹院士的影响下，上海光机所原子钟研究团队积极开展科普工作，取得了良好成效，团队牵头创作的梦天“冷”科学系列微视频，成功获评“上海市优秀科普微视频”。



图1 王育竹院士在科普专题节目《我是科学人》中接受专访

2.2 资料获取

研究的数据来源包括一手资料和二手资料两种。一手资料获得方式包括：(1) 课题组与上海光机所原子钟研究团队多位不同年龄段的科研人员进行了深度访谈。(2) 课题组与团队中参与科普的多位职能部门人员、科研人员开展了集中座谈会，座谈主题集中在原子钟科普的传播形式和内容创新，课题组对访谈全程进行了记录。(3) 实地参观了上海光机所的原子钟科普展厅，对一些涉及原子钟科普的档案文件进行了查阅。

二手资料包括：(1) 团队所有成员发表过的有关原子钟科普的文章、公开访谈以及从行业、专题材料中筛选出的文章。(2) 直接从上海光机所获得的材料，包括王育竹院士本人撰写的回忆性文章、演讲文稿，内部编纂的文集、报告等。(3) 各类关于上海光机所原子钟研究团队的报道。

课题组通过多渠道收集资料，这些多渠

道来源资料可以相互补充与验证^[14]，同时课题组与上海光机所团队成员对资料进行了三角验证，增强了研究资料的可信度。课题组从2023年10月开始对团队科研人员进行访谈，每次访谈时长不低于1小时，并全程录音录像。访谈过程中至少有采访者、被采访者、记录者等3人参与，保证了访谈效度。为了避免理解偏差，课题组将数据、初步结论反馈至上海光机所办公室，得到了研究所科学传播主管及相关部门的确认。

3 研究发现

本文通过对上海光机所原子钟团队开展的科普实践进行深入分析发现，科学家团队参与、沉浸式科普方式、国家重大科技战略契机是推进原子钟等高端科研成果科普化工作的重要支撑。

3.1 科学家团队是推动高端科研成果科普化的关键力量

习近平总书记在给“科学与中国”院士专家代表的回信中再次强调，要“带动更多科技工作者支持和参与科普事业，促进全民科学素质的提高”^[15]。上海光机所原子钟研究团队形成了从院士、教授再到研究生的结构合理的科普团队，这是其持续开展原子钟科普工作并取得积极成果的关键所在。在原子钟科普团队中，王育竹院士更多从战略性、全局性角度开展原子钟科普，可以帮助公众更好理解国家为什么发展原子钟以及原子钟可以服务国家哪些重大战略等宏观问题，而博士、硕士研究生更懂年轻人的审美和阅读习惯，因此可以创作出更优质、更接地气的科普内容，更好地普及与原子钟相关的物理知识。同时，科学家团队直接参与重大科技资源的科普化工作，还可以亲自讲述自身科研经历，将科学家故事、科学家精神融入科

普实践之中，使得科普内容的质感更加丰富。上海光机所的科学家精神主题园区内，展出了王育竹院士的入党志愿书、科研档案以及铷原子钟展品等表征科学家精神的实物。依托于上海光机所丰富的两院院士资源，建设科学家精神教育基地，开展以科学家精神为

主题的活动，一方面可以利用公众对院士的高度崇敬之情，进一步将公众兴趣引导至与院士相关的大科学装置上。另一方面，也有利于充分利用原子钟这样的高精尖科学装置，构建以大科学装置为核心的全方位科普资源库（见表2）。

表2 上海光机所原子钟科研院所开展的科普讲座活动

事件	时间	具体内容
“天宫二号”空间冷原子钟入选国家100件新时代见证物	2023.07.26	“天宫二号”空间冷原子钟获得“军队科学技术进步奖一等奖”，“天宫二号”空间冷原子钟研究集体获“中国科学院杰出科技成就奖”
梦天“冷”科学	2023.07.06	上海光机所追逐梦第四季系列科普微视频之梦天“冷”科学一集获评“2023年上海市优秀科普微视频”
2023年留学生“和光·知华”系列活动之“远望启航”	2023.04.27	留学生们在“远望1号”测量船上了解王育竹先生牵头研制的铷原子钟，为“远望号”实现高精度测控提供了时频基准
量子光学党支部开展“学远望精神，聚奋斗力量”主题党日	2022.12.08	回顾了王育竹院士从苏联莫斯科科学院回国后率先开展钠原子钟研究，此后又率领团队联合国荣灯具厂研制成功了我国第一台铷原子钟的艰苦历程
上海光机所开展“科学家精神主题园”揭幕活动	2022.09.30	在“科学家精神教育基地”所在的“远望阁”中，“远望”二字来自当年上海光机所频标组研制的铷原子钟装备“远望号”测量船
九三学社普陀区委调研上海光机所科普工作	2021.10.11	屈求智研究员展示了空间冷原子钟的工作原理，特别解释了为什么越“冷”的原子钟越精准以及中国的空间冷原子钟目前能达到的测量精度
上海光机所举办第六个中国航天日主题科普活动	2021.04.24	上海光机所科普志愿者介绍了原子钟在全球定位导航系统中的作用，科普了空间冷原子钟等新型原子钟在工作机理、性能指标上的差异，用通俗的语言解释了上海光机所在研制新型原子钟上的独特优势

3.2 沉浸式科普是推动高端科研成果科普化的重要方式

科研人员一般难以了解公众对科普内容的具体诉求，这导致即使有科学家愿意参与到科普工作中来，也未必符合公众期待。因此，要切实提升科研人员的科普技能，鼓励科研人员更多采取沉浸式科普方式开展科普。上海光机所作为国家科研科普基地，有着非常丰富的科普资源，在每年的各类科学节、科技周等活动中都会组织公众来实地参观，用于“远望号”测量的铷原子钟、空间冷原子钟等都是公众参观上海光机所的重要展品；除了这些静态的展品之外，还可动态扫描二维码了解王育竹院士与三代铷原子钟的故事。在实地参观以外，近年来随着“互联网+”科

普模式的兴起，上海光机所原子钟研究团队也通过各类社交、直播平台“云科普”空间冷原子钟等一批科学装置（见图2）。



图2 上海光机所刘乾博士向公众在线介绍空间冷原子钟

目前国内大科学装置向公众开放存在一

定困难，比如不少大科学装置深埋深山之中，部分高精尖设备由于其复杂和精密的构造，不能过多进行搬运、移动，如何让大科学装置“动起来、会说话”是当前需要解决的难题。2019年，上海光机所空间冷原子钟等科普展品参加第六届上海国际科普产品博览会（见图3），此次博览会采用了现代化的多媒体交互展示方式，让公众得以一窥大科学装置的奥秘。



图3 上海国际科普产品博览会中的上海光机所展位

“冷”科学”一词并不为公众所熟知，为增进公众对空间站冷原子微波钟、空间站超冷原子物理实验柜等科学装置的了解，上海光机所原子钟研究团队通过3D打印技术一比一还原了空间站冷原子微波钟，并利用原创三维动画模拟利用激光冷却的超低速原子和微波腔相互作用。这解释了为什么空间冷原子钟能这么精确，什么是“冷”科学等问题。将科普模型与配套视频结合起来在科技馆、地铁站这样人流量大的场合进行科普，让公众近距离接触航天科技，成功让“冷”科学热起来，恰好匹配了公众对于原子钟的潜在科普需求，诸如“真实的原子钟是什么样子”“原子钟的工作机理是什么”等。

3.3 国家重大科技战略是推动高端科研成果科普化的重要契机

基于高精尖科学装置的科技攻关往往与

国家重大科技战略相关，而公众往往又对航空航天、国防军事等领域持有较高的关注度，因此，将大科学装置的形象宣传与国家重大科技战略相结合往往能产生加成效果。太空领域已日益成为大国未来竞争的重点，高精度冷原子钟在空间科学、暗物质探测、全球导航定位系统中具有重大科学研究价值，欧洲各国、美国、中国等大国相继推出太空原子钟研发计划。表1关于原子钟的搜索数据表明，公众对于世界原子钟精度排名、中国原子钟目前发展水平如何、解决卡脖子问题等话题给予了高度关注，这符合公众对大科学装置的期待，对国家战略科技力量建设的关注。

在上海光机所冷原子钟专题中，出现频率较多的关键词有“国家队”“国家人”“国家战略”“上光尖刀连”“战斗堡垒”“卡脖子问题”等，这表明上海光机所原子钟科普团队始终秉持着以服务国家重大科技战略作为首要任务的科普理念。褚君浩院士指出：“国家实验室、国家科研机构、高水平研究型大学、科技领军企业等国家战备科技力量要主动做科普……大型科学装置、备受瞩目的航天工程设施主动向公众开放。”^[16]总的来说，上海光机所原子钟研究团队充分利用已有的大科学装置资源，扩大资源开放度，将大科学装置与国家科技战略有机结合，在科普过程中传递了科学家精神，激发了公众对国家重大科技战略的持续关注。

4 启示与建议

上海光机所是充分利用自身大科学装置资源成果开展科普工作的典型案例，作为国家建立最早、规模最大的激光科学技术专业研究所，其不仅在推动高端科研成果科普化中拥有特殊优势，同时也结合自身特点进行

了积极的探索和实践。从上海光机所原子钟科普团队开展科普工作的具体实践和典型经验来看，其在充分发挥科学家团队的科普作用、更多采用沉浸式科普方式、更好结合国家战略开展科普实践等方面的做法都值得借鉴和参考。结合上海光机所原子钟科普团队推进高端科研成果科普化的探索和实践经验，未来进一步推动大科学设施等高端科研成果的科普化，需要把握以下3个关键点。

第一，切实提升科研人员的科普技能。从上海光机所的科普实践来看，科研人员是推动高端科研成果科普化的主力军，因此，持续推动高端科研成果科普化，要加强面向科研人员的科普技能培训，切实提升科研人员的科普能力。要建立健全鼓励科研人员开展科普工作的激励奖励机制，如将科研人员的科普业绩纳入职称评定范围等，引导更多科研人员投身科普事业。

第二，健全高端科研成果科普化的联动机制。在开展科普工作中，上海光机所充分依托原子钟大科学设施资源优势，联合专业科普机构和媒体开展科普宣传，取得了积极效果。借鉴上海光机所的经验，高端科研成果依托机构应加强与科技媒体、科技馆、科技企业、中小学的合作与联动，共同开展科普宣传。通过制作高端科研资源的科普模型及其配套科普视频，与科技馆等单位联合举办展览，与中小学合作，让一线科研人员走进中小学的科学课堂，构建全方位、资源充裕的综合性科普平台等方式，有效拉近公众与科学家、高精尖科学装置的距离。

第三，着力培育基于高端科研成果的科普品牌。科普效能提升，离不开顶层设计、精心策划以及高效运营。推动高端科研成果的科普化，要善于塑造大科学装置的公众形象，让大科学装置“火出圈”，以精品科普

赢得“大流量”。高端科研成果所依托的高校、科研机构等可通过品牌科普场馆建设，品牌科普专题、品牌科学课程设计，拓展科普空间，让科普“活”起来、“动”起来，利用新技术、新媒体让科普摆脱场地限制，将优质科技资源、不同群体需求等“链接”到同一个科普空间中来，构建有科学、有品质、有体验、有个性的多元化科普场景。

5 结语

高精尖科学装置是国家重要战略科技资源，如何发挥好高精尖科学装置的科普功能，推动高精尖科学装置走向大众，充分发挥科学家“发球手”和“元科普”作用^[17]，是目前亟待解决的问题。本文基于上海光机所多年来围绕原子钟开展的丰富科普实践经验，通过具体案例对于各种应用场景下科学家团队参与科普实践的类型与方式进行分析，总结出以原子钟为代表的高精尖科学装置实现科普化的有效路径，即把握好国家重大科技战略的“风口”和契机。结合高精尖科学装置本身具有的科学特性，打造沉浸式科普全新体验，推动研究生、技术人员、工程师等不同类型的科研主体广泛参与到科普实践中来，培养年龄层次合理、类型丰富的专业科普人才队伍，促进科研科普两翼协调发展。近年来，随着生成式人工智能等新技术的普及，传统科普方式面临挑战，特别是AI技术在生成更多优质科普内容方面有着天然优势，有望在科普实践中发挥巨大作用^[18-19]。在后续研究中，应该进一步加强对高精尖科学装置的实证调查与研究。一方面，利用新技术拓展高精尖科学装置发挥科普功能的维度，从公众体验角度出发，提升公众对于科普内容的满意度。另一方面，在科普实践的开展过程中，了解和掌握科学家团队参与科普活

动面临的挑战和机遇，充分考虑科普中存在的
信息差、职业差异等因素，优化科学家团

队参与科普实践方案，推动不同类型的科普
主体参与到科普实践活动中来。

参考文献

- [1] 中国科学院 科学技术部关于加强中国科学院科普工作的若干意见 [EB/OL]. (2015-03-19) [2024-10-01]. https://www.cas.cn/tz/201503/t20150319_4324125.shtml.
- [2] 全民科学素质行动规划纲要 (2021—2035 年) [M]. 北京: 人民出版社, 2021.
- [3] 任福君. 关于科技资源科普化的思考 [J]. 科普研究, 2009, 4(3): 60-65.
- [4] 范春萍. 科技资源科普化: 人才是瓶颈 [J]. 科普研究, 2010, 5(5): 34-38.
- [5] 邱成利. 如何充分利用我国科技资源开展科普工作 [J]. 中国科技奖励, 2015(12): 75-76.
- [6] 张九庆. 关于科技资源科普化的思考 [J]. 山东理工大学学报 (社会科学版), 2011, 27(1): 38-40.
- [7] 任红松, 朱光辉, 南田地, 等. 新疆科技资源科普化问题的思考 [J]. 科技管理研究, 2012, 32(9): 64-67.
- [8] 贺向东, 余莉莉, 吴智辉. 厦门市科技资源科普化的现状与对策研究 [J]. 厦门科技, 2013(1): 51-56.
- [9] 敖妮花, 龙华东, 迟妍玮, 等. 科研机构推动科技资源科普化的思考——以中国科学院“高端科研资源科普化”计划为例 [J]. 科普研究, 2022, 17(3): 100-104.
- [10] 郭贝妮, 朱赞. 基于5W传播模式的科技成果科普化实践与思考——以浙江省科协“科技成果科普发布”项目为例 [J]. 科普研究, 2023, 18(3): 97-103.
- [11] 敖妮花, 龚惠玲, 鞠思婷, 等. 高端科研资源科普化面临的机遇与挑战——以科普展览为例 [J]. 科学管理研究, 2016, 34(3): 1-4.
- [12] 王金红. 安全研究法及其相关学术规范 [J]. 同济大学学报 (社会科学版), 2007(3): 87-95.
- [13] 朱泽民, 江世亮. 弘扬科学精神 传播科学知识 ——《世界科学》创刊 20 周年专家座谈会部分发言摘录 [J]. 世界科学, 2000(3): 3-7.
- [14] 毛基业, 张霞. 案例研究方法的规范性及现状评估——中国企业管理案例论坛 (2007) 综述 [J]. 管理世界, 2008(4): 115-121.
- [15] 习近平. 给“科学与中国”院士专家代表的回信 [EB/OL]. (2023-07-21) [2023-10-23]. https://www.gov.cn/govweb/yaowen/liebiao/202307/content_6893394.htm.
- [16] 颜燕, 王懿超, 李莹. 高层次科普人才对科普高质量发展至关重要——专访褚君浩院士 [J]. 科普研究, 2021, 16(6): 5-8.
- [17] 央视网. 习近平为何重视提高全民科学素质 [EB/OL]. (2018-09-18) [2023-05-30]. https://www.sohu.com/a/254622635_407301.
- [18] 王硕, 阎妍, 李正风. 生成式人工智能赋能科学普及: 技术机遇、伦理风险与应对策略 [J]. 科普研究, 2024, 19(4): 5-13.
- [19] 周慎, 陶美丽, 刘湘. 人工智能生成科普内容的底层逻辑与参与主体功能分析 [J]. 科普研究, 2024, 19(4): 14-22.

(编辑 颜 燕 和树美)

(China Science and Technology Museum, Beijing 100101)¹
(University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)²

Abstract: This research takes the China Science and Technology Museum as the research object, and deeply studies how to use customer journey maps to enhance the audience's visiting experience. By analyzing the characteristics and behaviors of the audience, audience portraits were drawn. And then customer journey maps were created, covering the entire process of typical audiences visiting the China Science and Technology Museum. Results reveal that the customer journey map reveals the emotional fluctuations of the audience at key moments, especially dissatisfaction during ticket purchasing, dining, and leaving the museum. In response to these pain points, measures such as optimizing the ticket refund process, increasing dining space, and opening cultural and creative shops earlier were taken, and practice has proven that these measures effectively enhance the audience's visiting experience. Using customer journey maps to enhance audience experience is universal in the research of audience services in science and technology museums, and continuously iterated customer journey maps can provide support for improving the quality of audience services.

Keywords: science and technology museum; customer journey mapping; visitor experience; service design

CLC Numbers: N4; G261 **Document Code:** A **DOI:** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2024.06.006

The Path of Popularization of High-End Scientific Research Achievements: A Case Study on Popularization of Atomic Clocks at the Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences

Qian Yitao¹ Yang Kai¹ Wang Jinyuan² Xu Zhen²

(Institute of History of Science and Technology, Jiangsu University of Science and Technology,
Zhenjiang 212003)¹

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)²

Abstract: High-precision scientific devices are an important part of high-end scientific research achievements, atomic clocks, as a key core device applied in the aerospace field, have been gradually known by the public in recent years, this paper takes the science popularization practice of atomic clocks research in Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences (hereinafter referred to as SIOM) as a case study, and comprehensively examines the subject, form, content and basic features of the science popularisation of atomic clocks in SIOM. It is found that the team of scientists is an important force in promoting the popularisation of high-end scientific research results, immersive popularization is an important way, and national major scientific and technological strategies are an important opportunity. Based on the research findings, this paper proposes that the popularization of high-end scientific research results, such as large scientific devices, can be carried out in three aspects: enhancing the scientific popularization skills of researchers, improving the mechanism of popularization of high-end scientific research results, and cultivating a brand of popularization of high-end scientific research results. The research results provide useful references and thinking for scientific research institutions to make effective use of high-end scientific research results to carry out science popularization activities.

Keywords: high-end scientific research achievements; big science devices; atomic clocks; popularization of science

CLC Numbers: N4 **Document Code:** A **DOI:** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2024.06.007