

国家材料环境腐蚀平台共享服务实践探析

李晓刚

(北京科技大学, 北京 100083)

摘要: 国家材料环境腐蚀野外科学观测研究平台是我国自然环境中材料(制品)腐蚀数据长期积累和实施基础性试验研究的基地,是国家科技基础条件平台的重要组成部分。该平台通过持续开展黑色金属、有色金属、建筑材料、涂层材料、高分子材料等典型材料及构件的环境试验研究及数据积累,为钢铁、机械、航空、航天、船舶、石油、电力、交通等行业领域上千家单位提供了持续的科技支撑服务,显著提高了科技资源使用效率和共享服务能力。文章首先阐述了该平台的实践及其取得的成效,然后分析平台在开展共享服务实践中存在的问题,最后针对问题提出了相关的建议。

关键词: 科技平台; 材料腐蚀; 野外试验站; 数据积累; 共享服务

中图分类号: T19

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2018.06.014

Practice Analysis about the Sharing Service of National Materials Environmental Corrosion Platform

LI Xiaogang

(University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083)

Abstract: National Materials Environmental Corrosion Platform is the base of corrosion data long-time accumulation and basic experiment research for our country's nature environment material (products), and is important constituent part of national science and technology basic platform. The platform provides environment experiment research and data accumulation in continuation for typical material and component of ferrous metals, nonferrous metals, building materials, coating materials and polymer materials et al., and constant science and technology supporting service, including steel, machinery, aviation, aerospace, ships, oil and gas, electric power and transportation, and heightens markedly science and technology resource apply efficiency and sharing service capability. In this paper, it firstly elaborates the platform practice and its effect, then analyzes existent problems of sharing service in it, and finally puts out relevant suggestions of aiming at problem.

Keywords: science and technology platform, materials corrosion, field test stations, data accumulation, share services

作者简介: 李晓刚(1963—),男,北京科技大学教授,研究方向:材料腐蚀与防护。

基金项目: 国家科技基础条件平台建设项目“国家材料自然环境腐蚀实验台网建设”(2005DKA10400);国家重点基础研究发展计划项目“海洋工程装备材料腐蚀与防护关键技术基础研究”(2014CB643300)。

收稿时间: 2018年9月17日。

0 引言

装备及材料服役过程的失效主要有3种形式：腐蚀（老化）、断裂、磨损，尤其以腐蚀为代表的环境失效破坏非常广泛^[1]，甚至会造成严重的安全事故和环境污染。据统计，因材料腐蚀造成的损失，发达国家占其GDP的3%~5%，我国占GDP的3.34%，达2.13万亿元^[2]。材料服役行为研究贯穿于材料全生命周期活动过程中。不论是传统材料的技术提升，还是新材料的研制，都必须以服役性能为标准，这是决定国家基础设施建设、重大工程建设和国防建设质量的关键，已引起国内外政府的高度重视。

美国建立了全球最大的自然环境试验基准站，来自世界各地的试验样品超过100万件，数据库系统十分完善，主导建立了全球材料自然环境试验网络，共有来自世界各地的20余个试验站形成了全球化的观测试验网络，支撑美国装备的全球化应用。在瑞典腐蚀研究所的主导下，28个国家参与建立了欧洲自然环境试验网络，通过联网观测试验，支撑了欧洲相关标准制定，为生产制造业通行全球提供了有力的技术支撑与保障^[3-4]。日本在其本土以及东南亚和非洲等地长期开展了系统的材料环境适应性试验及数据积累，野外试验特别重视环境和腐蚀数据的实时监测，为高速铁路、海洋工程建设及装备输出提供服务。

我国疆域辽阔，自然环境复杂，南北分布在7个气候带上，有农村、城市、工业、海洋、高原、沙漠、热带雨林7种典型大气环境，黄河、长江、珠江、松花江和淮河五大水系，渤海、黄海、东海和南海4个海域和西部盐湖以及40多种土壤类型。因此，材料及装备的环境服役行为十分复杂，环境试验性研究往往具有多样性、跨区域和不可引进的特征。只有通过长期数据积累和试验研究，才能掌握我国自然环境条件下材料的腐蚀数据和规律^[5-6]。上世纪50年代末，“全国大气、海水、土壤腐蚀试验站网”建立，开始了材料自然环境腐蚀试验工作。此后，以国家材料环境腐蚀试验站网牵头，长期开展典型环

境下材料腐蚀试验与数据积累工作。2005年科技部大力支持国家材料腐蚀试验站网作为国家科技基础条件平台的建设项目，经过3年的建设，于2009年“国家材料自然环境腐蚀实验台网建设”项目通过了科技部的验收，顺利进入边共享、边建设的新阶段，持续开展了科技资源整合与共享服务工作，并正式命名为“国家材料环境腐蚀野外科学观测研究平台”（以下简称“国家材料环境腐蚀平台”），成为我国自然环境中材料（制品）腐蚀数据长期积累和实施基础性试验研究的基地。2011年被科技部和财政部认定为国家科技基础条件平台。“十二五”和“十三五”期间，按照“整合、共享、服务、创新”的建设方针，开放共享平台的资源，持续为社会各界提供科技支撑服务^[7-9]，取得了显著的成效。本文将重点介绍该平台的实践及其取得的成效，并分析其存在的问题，提出今后发展的建议。

1 发展现状

1.1 野外试验站网络建设

参照国外同类平台的建设水平，根据我国的基础条件和规划，遴选、整合建成了32个国家级野外试验站，其中大气环境腐蚀试验站16个，水环境腐蚀试验站7个，土壤环境腐蚀试验站9个，基本涵盖了我国典型的大气、水和土壤环境特征。部分国家材料环境腐蚀野外试验网络分布见图1。各野外试验站共建成户外试验场地设施约34万平方米，1600多台套的试验设施及仪器设备，整合了国内90%以上的优质野外试验条件资源。目前，建立了试验观测研究的标准化框架体系和系列化试验标准规程，各站现场试验设施及仪器设备在标准化、规范化方面都得到了显著提升，可开展大气、海水、土壤等自然环境的长期野外试验及数据积累，可进行包括各种材料试样、构件、整机、整车、装备等环境腐蚀试验，基本上可以满足我国材料和装备在典型自然环境的腐蚀评价需求。

1.2 数据共享服务

国家材料环境腐蚀平台持续开展了黑色金

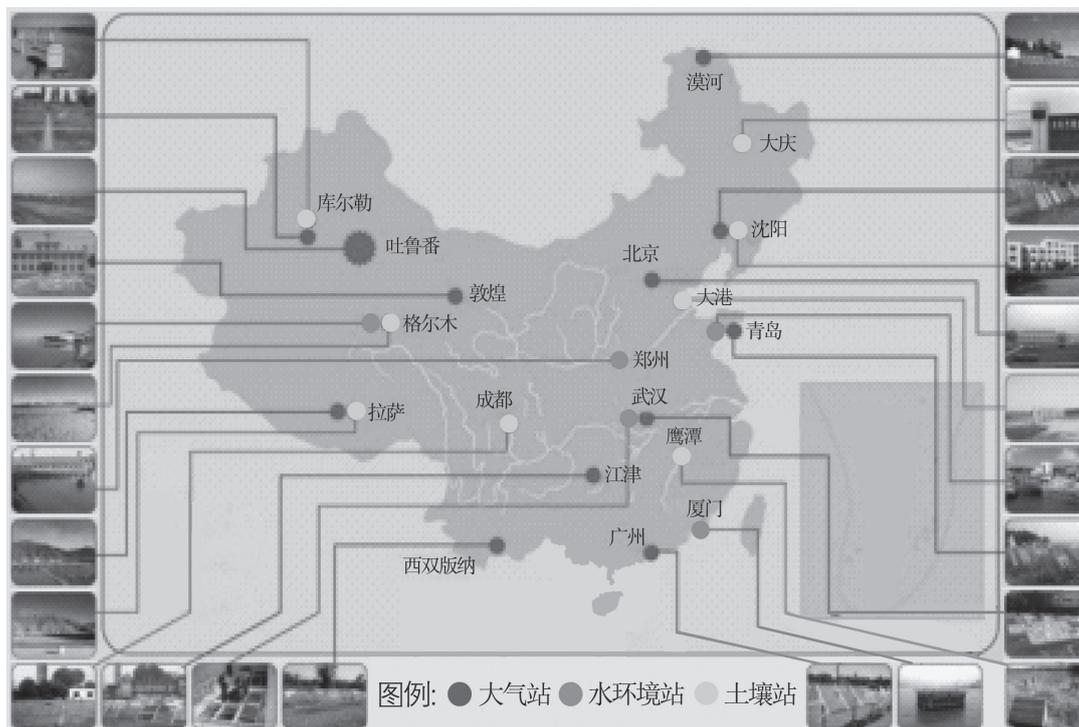


图 1 部分国家材料环境腐蚀野外试验站网络分布

属、有色金属、建筑材料、涂镀层材料及高分子材料等 5 大类，600 余种材料，最长达 35 年的野外试验数据和连续观测数据，总数据量超过 1800 万条，已成为我国乃至世界上最大的腐蚀数据资源拥有者。为充分提高资源利用效率，实现科学数据资源的广泛共享，建成了我国数据量最大、内容最丰富的材料腐蚀数据库和数据共享平台“中国腐蚀与防护网”（www.ecorr.org）。该平台整合了国家材料环境腐蚀平台 50 余年积累的材料腐蚀数据及优势试验条件，汇聚了腐蚀知识、防护技术等方面大量的科技资源，建成了包括试验站基本信息数据库、环境数据测试数据库、材料检测数据库、材料腐蚀数据测试数据库、腐蚀图谱数据库等五大类 43 种类型数据表的自然环境腐蚀数据库和 13 个专题腐蚀数据库。平台数据信息共享网站加入了“国家科技基础条件平台门户”，持续为门户网站提供超过 2.2 万条核心元数据。目前，用户可以通过国家材料腐蚀数据共享系统，方便查询、浏览、下载使用其中的数据资源。该网站从 2005 年上线以来，一直是材

料腐蚀与防护领域最重要的专业数据共享平台门户，尤其从 2013 年 7 月改版（V 2.0）后，访问量逐渐提升，目前年访问量已经突破 50 万人次。基于平台在腐蚀数据信息资源整合与共享研究工作的基础上，出版了国内外首部《材料腐蚀信息学》专著^[10]，并以“share corrosion data”为主题在《nature》期刊发表了评述性研究论文，系统提出了“腐蚀大数据”概念及其理论框架与技术模式^[11]，产生了国际性的示范作用和重要的影响力。

2 取得成效

2.1 为重大工程等建设运行提供了技术和安全保障

国家材料环境腐蚀平台通过长期系统的材料土壤环境腐蚀试验与数据积累，为“三峡工程”“西气东输”“南水北调”等国家重大工程建设及运行维护提供重要支撑。以“三峡工程”为例，上世纪 50 年代末期基于腐蚀站网，在三斗坪地区开展钢板、钢管、混凝土等典型材料长达 33 年的土壤腐蚀试验，以及在姊归、八河口、宣

昌等大气站和长江水试验站长达6年的腐蚀暴露试验,系统获得了三峡地区材料大气、水及土壤环境下的大量腐蚀数据及规律。这些数据在三峡工程建设及后期运行维护工程中发挥了不可替代的作用。材料大气环境腐蚀数据还在“天宫一号”“天宫二号”“高速铁路”“国家电网”等领域关键材料选材及寿命评价作出了重大贡献,产生了重大的经济效益和社会效益,相关研究成果分别获得了2009年度和2016年度国家科技进步二等奖。

2.2 促进了材料腐蚀基础研究及学科发展

国家材料环境腐蚀平台承担了大量的涉及材料及装备自然环境腐蚀研究相关课题的野外试验及数据获取任务,持续为国家重大专项、科技计划项目和省部级及其他项目提供了包括腐蚀现场试验、腐蚀模拟试验、腐蚀挂片、腐蚀数据等科技支撑。野外站多次组织大规模的真实环境下材料全周期的腐蚀规律研究,为解决复杂环境、复合载荷下材料腐蚀寿命预测、高性能耐蚀结构材料集成计算与基因工程等重大科学问题奠定了坚实的基础。

平台建设、试验资源、数据共享等方面不断开拓创新,对材料腐蚀研究提供了全面的支撑。2015年,我国的腐蚀学科论文数已经超过美国,位列第一。腐蚀科学研究的发展已经进入了一个全新的阶段。特别是,经过近20年的快速发展,国家材料环境腐蚀站网已成为促进我国乃至世界材料腐蚀与防护学科发展的重要推动力。2011—2015年,国家材料环境腐蚀站网单位共发表腐蚀领域SCI论文1207篇,占全国总发文数的17.5%,占全球总发文数的3.8%,位列全球第一。近5年来,培养博士100多名,硕士500多名。这些青年科技人员已经成为腐蚀学科重要的后备力量。

2.3 推动了一系列跨区域科技问题的解决

国家材料环境腐蚀站网在跨区域多点系统野外观测试验方面开展了大量的研究工作,全面系统理清了典型环境腐蚀性分级分类及常用材料在我国典型区域的腐蚀规律和机理。西气东输、西

电东送、青藏铁路以及南水北调等超大型工程都具有跨区域和环境多样性的特征,必须加强研究在工程沿线跨区域环境中材料的腐蚀行为和机理,为合理选用材料和加强防护提供可靠依据。比如,为了配合“西气东输”工程建设,国家材料环境腐蚀试验站网在“西气东输”管线沿线土壤腐蚀试验站(点)系统开展了管线钢跨区域多样性土壤环境腐蚀试验,所积累的土壤腐蚀数据在工程管道选材、安全评估及寿命预测等方面提供了重要支撑。

我国海域辽阔,各大海域环境特征各异,每年因海洋腐蚀造成的经济损失超过1.5万亿元。国家材料环境腐蚀台站充分考虑四大海域的环境特征,整合建成了以青岛海水站等8个试验站组成的海洋环境野外试验平台体系,通过四大海域的长周期、大规模、大范围联合观测试验研究,系统阐明了海洋环境腐蚀规律及其主要影响因素,研究确定了新时期典型海域大气腐蚀等级,对海洋微生物腐蚀规律及主要影响因素有了新的认识,为未来金属材料防护技术的开发提供了新的思路。长期联网观测研究成果为发展新型腐蚀防护技术提供了科学基础,有助于实现提高海洋工程材料及装备设施的安全性和寿命,相关研究成果在海洋工程、石油开采、航空航天等领域获得广泛的应用。

2.4 对提升国际影响力和促进科技外交作出贡献

国家材料环境腐蚀站网参与单位不但负责制修订了上百项国家和行业标准,还积极参与国际标准的制修订,是国际标准化组织(ISO)TC 156的成员,为推动我国材料腐蚀领域在国际标准体系中发挥作用奠定了基础。

因材料环境腐蚀试验研究和数据积累的贡献,国家材料环境腐蚀平台于2015年获得美国国际腐蚀工程师协会(NACE INTERNATIONAL)颁发的杰出机构奖,这是表彰世界腐蚀研究团队的最高国际大奖。2016年,该平台负责人李晓刚教授又获得了美国国际腐蚀工程师协会颁发的杰出技术贡献奖。2016年,Nature出版集团与北京科技大学国家材料环境腐蚀平台和中

国腐蚀与防护学会共同主办的Nature子刊《npj Materials Degradation》正式创刊，这也是由我国创立的世界上第一本全面关注材料腐蚀、老化、降解失效等方面的专业性期刊。该平台负责人李晓刚教授担任期刊副主编。2018年，该平台研究骨干张达威教授受国际刊物、腐蚀领域唯一的一区TOP期刊《corrosion science》杂志社邀请，担任该刊物的副主编，这是该期刊创刊57年来第一次由华人学者担任期刊副主编职务。

国家材料环境腐蚀平台负责完成的“中国材料腐蚀现状及材料腐蚀对自然环境污染情况调查”，积极参与了美国腐蚀工程师协会（NACE）主导全球腐蚀成本调研大型公益项目，对全面了解全球腐蚀成本提供了重要依据。

“中马友谊大桥”作为“一带一路”海上丝绸之路的牛鼻子工程，是2014年习近平主席对马尔代夫进行国事访问期间商定援建的大型基础建设项目。由于我国尚无在如此严酷的环境下开展桥梁建设防腐设计经验和数据积累，国家材料环境腐蚀平台基于现场腐蚀试验和多传感物联网监测技术所采集的腐蚀大数据对现场施工质量进行了系统评估勘察，排查解决了混凝土封装前防腐施工中的安全隐患，为确保大桥的长期安全服役提供了重要的数据支撑。

2.5 为企业技术创新和产业发展提供了支撑

近3年来，国家材料环境腐蚀平台为我国大型央企和知名民企等170余家国家创新型企业提供了包括野外试验、腐蚀数据及技术研发等方面的服务，为企业产品开发和科技创新提供了重要的科技支撑。例如，基于材料腐蚀网站在碳钢、不锈钢等金属材料方面积累的大量腐蚀数据和长期的野外试验研究，为国内外大型钢铁企业在新钢种开发和改善产品质量等方面提供了强有力的技术支撑。

基于国家材料环境腐蚀平台长达16年海洋环境长期腐蚀试验，摸清了合金元素种类和含量对低合金钢腐蚀行为的宏观影响规律和微观电化学机制，并在此基础上形成了夹杂物控制、板型控制及耐蚀性能评价等关键生产工艺控制技术，

发明了具有自主知识产权的系列新型海洋工程用钢，解决了严酷海洋环境中海洋工程用钢焊接组织腐蚀的难题。相关成果通过钢厂转化生产的新型系列耐腐蚀结构钢广泛应用在琼州海峡跨海大桥、滨海建筑等国家重点项目工程中，部分品种还成功出口到海外，从而打破了国外钢厂的垄断，产生了重大的经济效益和社会效益。

广州等湿热环境大气腐蚀试验站、吐鲁干热大气环境老化试验站等材料腐蚀野外试验站网长期承担汽车厂商的户外暴露观测试验，联合为国内外汽车企业开展了整车暴晒、场地动态试验以及市内加速模拟腐蚀试验等方面的服务，为提高汽车产品质量、确保车辆安全使用提供了科学依据。持续为多家大型家电企业获得节能认证的分体式房间空气调节器开展长效评价，同时为提高电子产品的可靠性和使用寿命等方面提供了大量环境腐蚀数据，对企业提高产品质量、制定产品标准和规格提供了直接的科技支撑服务。

2.6 为传承野外科学精神和培养专业人才发挥了重要作用

通过几代科技工作者的不懈努力，国家材料环境腐蚀平台已经建设成为集公益性、基础性、创新性为一体的重要的试验研究平台和人才培养基地。目前，材料腐蚀台站已建立了一支由400余名科技骨干组成的从事材料环境腐蚀试验研究、数据积累与共享服务的稳定队伍。整个腐蚀站网体系的科研人员已经顺利完成了新老交替，人才结构体系更加合理。实际工作人员平均年龄在40岁以下，45岁以下中青年骨干工作人员所占比率达到70%，大部分人员学历达到本科或本科以上，所占比率达到了70%，其中具有博士学位的研究人员达到了9%，硕士学位的研究人员达到了25%；通过近5年的运行，已经培养了一批学科带头人，包括973首席、重点研发计划首席、国家优秀青年基金获得者等一批中青年人才，每年依托材料腐蚀平台培养博士和硕士研究生200余名，成为了材料环境腐蚀学科领域最大的人才培养基地。

3 问题与建议

3.1 围绕国家重大需求进一步提升材料腐蚀试验资源整合和研究能力

新时期,随着我国“一带一路”建设等国家重大战略的推进实施,工程装备材料先行是关键,也是必然。面对海洋、湿热、干热、沙漠、寒冷、高原等多样化的全球环境,由于缺乏针对性设计和正确选材选型,汽车、光伏、海洋工程装备、轨道交通、电力装备、纺织机械、工程机械等各类装备的环境失效问题十分突出,从而造成严重的经济损失,影响了中国装备的声誉。多年来,我国材料环境适应性研究及数据积累主要针对国内典型环境开展的。要走向全球、参与全球竞争,中国工程装备必须具备优良的全球化环境适应性能。因此,十分迫切在更广范围内开展全球化联网观测试验及数据积累,加强在热带海洋、极端干热环境、超严酷土壤环境和极地环境等开展持续的材料投试与数据积累工作,推动在“一带一路”沿线及海外整合试验站点开展专题材料试验研究及数据积累,努力提升我国材料质量和装备制造水平。

3.2 大力推进腐蚀大数据资源整合与材料腐蚀基因组工程研究

在“大数据”和“材料基因组工程”等科技发展大背景下,材料腐蚀学科发展必须依赖于以“腐蚀大数据”为核心的材料腐蚀基因组工程,通过开展基于高通量在线监测技术的材料大气腐蚀数据积累,建立“腐蚀大数据中心”,借助计算机技术,构建具有“大数据”挖掘与分析功能的数据共享平台。基于在线监测技术的手段,结合传统的材料腐蚀研究方法,运用高通量的数据进行材料大气腐蚀规律与机理的分析研究,实现大气腐蚀的建模与应用,支撑我国“材料基因组工程”的实施。国家材料环境腐蚀平台下一步将重点通过研究发展高通量在线腐蚀监测装置,在已建国家站和若干工程前线站点中开展腐蚀大数据采集,形成可实时获取海量腐蚀及环境数据的新型大气腐蚀网络共享服务平台。对腐蚀共享数据

库资源进行整合、更新,使得在线监测获得的腐蚀及环境数据能够通过智能分类处理后实现实时共享,形成具有“大数据”特质的腐蚀数据共享网资源,为各行业提供材料腐蚀科学数据支撑。

3.3 加强材料环境腐蚀试验与数据信息资源标准化及质量体系建设

材料腐蚀试验研究及数据积累和信息资源共享是科学性、公益性服务事业,因此,试验过程、数据加工、信息共享的每一个环节都需要按照严格的规范和科学的制度去操作执行。在材料试验方面,无论是试验方法,还是分析检测、数据加工都应建立相应的标准和规范。但随着环境的变化和材料的升级发展,部分试验标准、操作规范需要进行不断的更新和完善,急需加强材料腐蚀环境试验方面的标准规范制修订进程。近年来,尽管在野外站建设与运行过程中,制修订了一批试验和技术标准,有效提升了试验站的技术服务水平,但从全球来看,我国材料腐蚀试验和防护技术方面的标准仍然偏少,与发达国家相比还存在有较大的差距。另外,随着“腐蚀大数据”和“材料基因组工程”的发展实施,海量腐蚀科学数据的采集、传输、存储、融合、加工、挖掘及共享等都需要建立完善的数据信息标准体系和技术规范或标准。

3.4 加强平台组织管理与运行机制建设

进一步加强平台运行组织机制建设,实现平台运行管理工作模式的规范化和常态化。在科技部的领导和推动下,科技平台的运行组织机制无论在国家层面上还是各平台内部都得到了很好的完善和提高,基本上形成了能够适应于平台特点的运行管理模式。但由于科技平台建设是一项全新的科技工作,平台的组织管理及运行模式也是科技体制改革的重要探索。国家材料环境腐蚀平台在组织管理和运行机制方面还需要进一步完善与提高:一是平台组织形式需加强制度化建设,包括依托单位需要加强平台的实体化、制度化运行管理,同时还需要国家层面上的顶层设计和相关政策落实;二是平台工作是一项长期的科技事业,平台运行过程中的各项工作制度和模式需要

规范化和常态化;三是平台是一项全新的科技事业,关于平台的功能、定位、理念需要进一步加强宣传,让更多的人了解平台,让更多的用户认可平台,提高平台运行服务水平,这是平台发展的根本。

3.5 加强平台可持续发展和人才队伍建设

国家材料环境腐蚀平台经过多年的建设及运行服务,形成了一支稳定的人才队伍。但受到体制机制的限制以及观念的影响,仍存在重基础、轻应用,重研究、轻服务的思想,与科技平台的内涵、功能特征及运行服务相适应的管理机制和考评体系还没有完全建立起来,仍按照传统的考评体系对科研项目或科研人员进行考评,造成了平台技术支撑、服务、管理人才短缺,技术支撑和服务人员的编制、职称、待遇无法解决,不利于调动平台技术支撑、服务和管理人员的积极性和创造性,从而直接影响了科技平台支撑服务功能的发挥,不利于平台的良性发展。科技平台的可持续发展,必须重视人才队伍的建设。

4 结语

作为国家科技基础条件平台的重要组成部分,国家材料环境腐蚀平台经过多年的持续建设运行,整合建成了基本上覆盖我国典型环境特征的材料腐蚀野外试验条件平台,发展了先进的环境腐蚀试验与评价技术新体系,建立了较完善的材料环境腐蚀试验标准规范体系,具备了长期持续开展材料及装备环境试验研究及数据积累的能力,已成为我国材料腐蚀与防护领域的基础性、公益性科技资源共享服务平台,产生了重要的服务成效。实践表明,科技平台是一种可持续、高效的科技活动形式,其不同于一般的科研基地和科研项目,具备了以下方面的特征和功能:持续

的科技资源整合功能,持续的科技创新研究功能,持续的科技资源共享功能,持续的促进学科发展功能,持续的提供科技服务功能,持续的开展国际合作功能,持续的人才培养功能。可以预期,作为国家科技创新体系的重要组成部分,科技平台在促进国家科技创新及经济建设方面将发挥更大作用。

参考文献

- [1] 李晓刚. 材料腐蚀与防护概论[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2017: 1-20.
- [2] HOU Baorong, LI Xiaogang, MA Xiumin, et al. The cost of corrosion in China[J/OL]. [2018-07-30]. NPI Materials Degradation, 2017,4. <https://www.nature.com/articles/s41529-017-0005-2>.
- [3] 朱玉琴, 陈源, 张燕, 等. 国内外动态自然环境试验技术发展现状[J]. 装备环境工程, 2015, 12(6): 93-99.
- [4] 闫杰, 刘丽红, 纪春阳, 等. 国内外自然大气环境试验的发展[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2009, 29(1): 69-75.
- [5] 曹楚南. 中国材料的自然环境腐蚀[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 1-18.
- [6] 李晓刚. 我国材料自然环境腐蚀研究进展与展望[J]. 中国科学基金, 2012(5): 257-263.
- [7] 国家科技基础条件平台建设战略研究组. 国家科技基础条件平台建设战略研究报告[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2006: 5-72.
- [8] 王晓方, 赵路, 徐建国, 等. 国家科技基础条件平台建设及展望[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2009: 120-127.
- [9] 国家科技基础条件平台中心. 国家科技基础条件平台发展报告[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2013: 70-81.
- [10] 李晓刚. 材料腐蚀信息学: 材料腐蚀基因组工程技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 1-4.
- [11] LI Xiaogang, ZHANG Dawei, LIU Zhiyong, et al. Materials science: Share corrosion data[J]. Nature, 2015, 527(7579): 441-442.