

·学科进展与展望·

“九五”基金重大项目“材料在我国自然环境中 腐蚀数据积累及规律性研究”取得重要进展

曹楚南^{*†} 靳达申[‡] 车成卫[‡] 王光雍[‡] 李晓刚[‡]

(†中国科学院金属研究所,沈阳110016;‡国家自然科学基金委员会工程与材料科学部,北京100085)

[摘要] 持续积累材料在我国典型自然环境中腐蚀数据8.6万多个。开发了海水腐蚀形貌诊断系统;建立了腐蚀电化学现场原位检测新方法;发展了腐蚀数据处理方法,建立了腐蚀性的评价模型;完善了我国材料环境腐蚀数据总库;完成了西部地区腐蚀调查。材料环境腐蚀数据和研究成果在国家重大工程建设中得到应用。

[关键词] 材料,自然环境,腐蚀

国家自然科学基金“九五”重大项目“材料在我国自然环境中腐蚀数据积累及规律性研究”于近期通过验收。该项目是为适应国家建设的需求,持续积累常用材料在我国自然环境中的腐蚀基础数据而开展的典型材料在我国典型自然环境(大气、海水、土壤)中腐蚀行为规律的研究,它既是“七五”、“八五”试验研究工作的继续,又是在以往工作基础上的深化与发展。专家验收组对5年来项目组所取得的成绩和进展给予了充分肯定,一致认为:该项目全面完成了预期的研究任务;研究成果具有我国特色,有较强的创新性。项目组在国内外学术刊物上发表学术论文262篇,并撰写专著1部,总结和反映了20年来我国材料自然环境腐蚀试验研究的成果,有的数据和研究成果已在工程中获得实际应用,对国家经济建设、国防建设和学科发展具有重要意义。

1 取得的重要进展

1.1 持续积累材料自然环境腐蚀数据

通过材料在我国典型自然环境(大气、海水、土壤)中长期的腐蚀试验,“九五”期间继续积累材料腐蚀数据8.6万多个。其中有在我国中碱性土壤中材料长达40年以上的腐蚀数据,金属及涂层材料在大气、海水中腐蚀16年的数据,不锈钢与有色金属在土壤中8年的腐蚀数据;积累了金属材料在城市污

染大气、湿热海洋大气及含泥沙海水中专项研究的数据。通过对数据的质量分析和审查、复核的规范程序,保证了数据的可靠性。全部数据输入材料腐蚀数据总库,为数据共享和扩大应用建立了基础。

1.2 典型材料在不同自然环境中长期腐蚀行为规律研究

通过材料在我国典型自然环境中长期的腐蚀试验,证明我国碳钢和低合金钢在我国大气环境中、绝大部分土壤中、以及各海域的海水飞溅区和潮差区的腐蚀量(C)随时间(t)的变化可以用幂函数规律表述: $C = At^n$;锌和喷锌镀层在污染大气中的长期腐蚀行为规律为线性函数模型;碳钢和低合金钢在海水全浸区的腐蚀破坏形式主要是局部腐蚀,平均腐蚀量随时间变化的规律一般符合线性函数模型。研究发现,低合金钢中残余元素P、Cu含量的控制对提高钢的耐大气腐蚀性有很大作用,相关研究论文已被美国材料试验协会(ASTM)和国内出版的专著收集和引用,该成果促进了我国经济型耐候钢的研究开发获得成功,已投入批量生产。大气腐蚀试验表明:在大气污染较轻地区,经济耐候钢与普碳钢耐蚀性相差较小,但对含氯离子的海洋大气环境耐候钢的耐蚀性能提高50%,在酸雨地区经济耐候钢的耐蚀性比碳钢高约1倍,在湿热和含氯离子的海南万宁海滨,耐蚀性高约2倍。研究发现,含铬钢在海

* 中国科学院院士。

本文于2003年9月18日收到。

水中的腐蚀速率从初期小于碳钢到4年后大于碳钢“逆转”现象的原因是局部腐蚀快速发展导致金属颗粒从基体脱落,类似工作国际上还未见报导。上述这两项研究成果对改进钢的生产工艺、提高钢的耐蚀性、发展耐蚀金属材料以及在国家建设中的选材有重要指导意义。

1.3 自然环境腐蚀性及其主要因素对材料腐蚀的影响研究

研究发现,在大气腐蚀初期 SO_2 等污染物对金属腐蚀的影响较大,随着暴露腐蚀时间的延长,气象因素(温度、湿度等)对腐蚀的影响逐渐显著;通过在北京5个地点5种金属材料两年大气腐蚀试验的研究表明,目前北京大气环境对金属材料的腐蚀性不强;研究证明,我国海南省东南部沿海海滨地区湿热海洋大气环境中碳钢的腐蚀速率是氯离子沉降量的线性函数,腐蚀产物膜对碳钢腐蚀过程有加速作用;试验研究发现影响不同海域海水腐蚀性差异的主要因素是海洋生物附着、海水温度、流速和泥沙含量;海水流速和泥沙含量对铜合金腐蚀影响明显;海水被淡水稀释后会加剧防锈铝合金的点蚀;海南榆林海域海水温度高,海洋生物附着严重,海水的腐蚀性比东海、黄海强;研究发现,我国不同土壤对碳钢腐蚀的最主要因素是含水量,不同类型土壤有其腐蚀速率峰值的不同含水量范围;对不同土壤在一定的含水量区间内,土壤的土质(风化程度、颗粒大小和分布、粘土含量等)是影响土壤腐蚀性的重要环境因素;此外含盐量、温度、PH值和硫酸还原菌(SRB)含量等对碳钢腐蚀也有重要影响。

1.4 自然环境腐蚀性的评价、分类分级与预测研究

在以往按标准材料的大气腐蚀速率和大气环境主要腐蚀因子进行评价分类的基础上,运用模糊模式识别技术和贴适度分析方法编制了一套应用已知典型地区大气腐蚀性,预测和评价未知地区大气腐蚀性的应用程序系统;对我国各海域海水的腐蚀性的评价,引入灰色关联分析方法,建立了典型金属材料在4个海区的局部腐蚀深度与海水环境因素之间的关系,提出以海水主要环境因素与局部腐蚀深度之间的关联度的乘积之和为评价因子来评价海水腐蚀性的新方法,并对我国4个海水腐蚀试验站所在区域的海水腐蚀性的等级进行了划分;完成了我国土壤对碳钢腐蚀性的分类分级,西部地区的戈壁荒漠土和盐渍土腐蚀性最强,多为IV-V级,东南部的酸性土壤腐蚀性在III-IV级,中碱性土壤的腐蚀性一般较弱,多在II-III级。并获得了土壤中碳钢的腐蚀

速率随季节的变化规律。

1.5 材料自然环境腐蚀试验、检测、评价新技术与新方法研究

采用图像识别技术开发了金属材料海水腐蚀形貌诊断系统;建立了金属海水腐蚀电化学测试新方法和土壤腐蚀多功能现场原位测试新技术;发展了研究金属材料大气腐蚀早期行为、海洋生物附着对金属腐蚀行为的模拟、喷锌层大气与海水腐蚀的加速试验和黑色金属在海水中耐蚀性评价等新方法。

1.6 材料自然环境腐蚀数据处理方法研究

以往对材料在多因素相互关系比较复杂的自然环境中的腐蚀数据处理,大部分采用数理统计方法,很难获得规律。运用模糊数学、灰色系统理论、模式识别技术和人工神经网络技术后,发展了材料腐蚀数据处理方法,获得了规律,建立了碳钢和低合金钢的大气腐蚀模型、海水和土壤腐蚀性的评价模型、典型金属材料海洋环境腐蚀性评价和预测模型等。完善并扩展了材料在大气、海水、土壤中的腐蚀数据总库,建立了包括传统知识库模块和神经网络知识库模块的材料大气腐蚀知识库,为材料在大气环境中的腐蚀与防护咨询决策系统的构建提供了基础。

1.7 材料腐蚀数据与成果应用

应用于长江三峡工程建设,如在大坝主体段锚杆、船闸、闸门、安全门、专用公路桥等的防腐蚀设计,大量应用了项目组提供的数据和成果;为海洋石油开发、滨海电厂及连岛大桥工程的防腐设计提供了涂层体系的腐蚀数据;为西气东输工程安全性预评价、油田管道的防腐设计、电缆光缆护套的选材与结构改进提供了科学依据;为国防科技工业重点型号的设计与选材、为海军装备的防腐与维修、为国家防腐蚀标准的制订提供了科学数据。使材料腐蚀数据和研究成果为国家经济建设和国防建设服务。

1.8 西部地区材料腐蚀情况调查

项目组进行了西部地区典型自然环境腐蚀性及其材料腐蚀(老化)情况调查。我国西部地区自然环境(大气、水、土壤)与东部有很大差别。海拔3000米以上的高原地区占50%左右,沙漠戈壁占26%,西南部还有热带雨林及酸雨污染区,地形复杂,气候多变。大气中的沙尘及盐份含量高,青藏高原紫外光的辐射能量是上海的2—3倍;河水及湖水中的含盐量高,是东部的数倍至几十倍;新疆、甘肃地区荒漠土、盐渍土对碳钢的腐蚀性很强;金属混凝土、涂镀层及高分子材料的腐蚀与老化快,特征明显,在东部很少见到,以往没有这方面试验研究工作的积累。

目前西部开发建设迫切需要了解与掌握材料在我国西部典型自然环境中的腐蚀、老化与防护规律,尽快为西部基础设施建设及重大工程建设提供正确设计与合理选材的科学依据。

2 主要体会

回顾 1987 年以来对此项目的组织、实施和取得的成果,有下列体会:

2.1 材料腐蚀试验与研究紧密结合、促进基础性试验研究工作不断深入与发展

本项目“六五”立项时侧重于通过材料的大气、海水、土壤腐蚀试验为国家建设提供材料的腐蚀数据为主。随着试验的发展,又进一步提出要研究总结材料的腐蚀规律、对试验中出现的特异现象开展专项研究的要求,加强了现场的验证试验和实验室的模拟加速试验,以及自然环境中主要因素对材料腐蚀影响和作用规律及机制研究。从“八五”开始,发表研究论文的数量与水平不断提高,使项目的试验研究成果不仅服务于国家建设,而且促进了我国材料的自然环境腐蚀科学发展,并形成了我国材料自然环境试验与研究相结合的特色。

2.2 结合我国国情不断加强基础与创新研究

世界各国材料的自然环境腐蚀试验研究虽有共性,但各国自然环境条件有很大差别,材料在我国自然环境条件下的腐蚀数据无处引进,借鉴别国的试验研究成果也不切合我国国情。“九五”期间我们强调结合国情,加强基础与创新研究。验收组专家一致反映:项目“九五”研究成果有较强的创新性,如低

合金钢残余元素 P、Cu 对钢的耐蚀性的影响研究;含 Cr 钢在海水中腐蚀速率的“逆转”现象研究;碳钢在湿热海洋大气环境中腐蚀速率持续上升的特异现象研究等。运用模糊数学、灰色理论、模式识别与人工神经网络技术,研究与发展材料自然环境腐蚀数据处理方法,目前在国际上处于领先地位。

2.3 坚持边试验研究,边推广应用,及时为国家建设服务

本项目进行过程中,对积累的数据和试验研究成果坚持边试验研究,边推广应用的原则,及时为国家建设服务。对阶段性试验研究成果,通过专家评审,及时提供给工程建设部门如长江水利委员会设计院、三峡水电枢纽工程、西气东输工程、秦山核电站二期工程、武汉钢铁公司、东北轻合金加工厂、长沙铜合金加工厂、海军装备论证中心、成都电缆公司、广州市电信局、青海省电信局等单位,为工程的防腐设计、施工与选材、为国家标准的制定和修订、为改进生产工艺、提高产品质量等提供科学依据,及时为国家建设服务。

2.4 稳定队伍,搞好组织协调与分工协作,是坚持长期基础性试验研究工作的保证

由于国家科技部与国家自然科学基金委员会的共同组织,自然科学基金重大项目的连续支持,参加此项目的 11 个部门 20 多个研究单位全体科技人员的团结协作和奉献精神,自 1983 年至 2003 年,经历 20 年的曲折、坎坷,经受市场经济大潮的冲击,遇到种种困难,终于坚持下来,为国家建设与学科发展做出了贡献。

AN INTRODUCTION OF THE ACHIEVEMENTS OF “THE DATA ACCUMULATION AND LAWS OF MATERIALS CORROSION IN THE NATURAL ENVIRONMENT” OF CHINA

—A Major Project of the National Natural Science Foundation of China

Cao Chunan[†] Jin Dashen[‡] Che Chengwei[‡] Wang Guangyong[‡] Li Xiaogang[‡]

([†] Institute of Metal Research, CAS, Shenyang 110015; [‡] Department of Engineering and Material Science, NSFC, Beijing 100085)

Abstract The long-term data accumulating of materials corrosivity in natural environments were applied in China, and more than 86 000 corrosivity data were collected. The technology of image identification had been used to implement a corrosion morphology diagnosis-system; also new test methods were set up to perform on-line and in-situ electrochemical inspections; data manipulation were developed to generate estimation models for corrosivity; corrosion database were enriched and extended; corrosion investigation in west area of China was completed. Both corrosion data and test results were adopted by major national projects.

Key words Material, Natural Environment, Corrosion