



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校汽车运用与维修专业教学用书

技能型紧缺人才培养培训系列教材

涂装材料

程玉光 王怡南 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

中等职业学校汽车运用与维修专业教学用书

技能型紧缺人才培养培训系列教材

涂 装 材 料

程玉光 王怡南 主编
李景芝 张金升 主审

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一,是根据教育部办公厅、交通部办公厅、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会颁布的《中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》,并参考有关行业岗位技能鉴定标准编写的。

本书共分十四章,包括金属的腐蚀与涂料防腐蚀技术、涂料分类及组成(树脂、颜料、溶剂等)、涂料安全技术、汽车涂装作业前处理材料、粉末涂料、水性涂料、汽车车身涂装处理及部分品牌汽车用涂装材料等相关内容。

本书可作为中等职业学校汽车运用与维修专业教材,也可作为汽车涂装作业人员的岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

涂装材料/程玉光,王怡南主编. —北京:高等教育出版社,2006.6

ISBN 7-04-019471-6

I. 涂... II. ①程... ②王... III. 汽车-涂漆-专业学校-教材 IV. U472.44

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第052609号

策划编辑 李新宇 责任编辑 李京平 封面设计 于涛 责任绘图
版式设计 张岚 责任校对 刘莉 责任印制 韩钢

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 科通印业有限公司

开本 787×1092 1/16
印张 10.5
字数 250 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2006年6月第1版
印次 2006年6月第1次印刷
定价 13.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19471-00

出版说明

2003年12月教育部、劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部联合印发了《教育部等六部门关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》。为了配合该项工程的实施,高等教育出版社开发编写了汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材。该系列教材已纳入教育部职业教育与成人教育司发布实施的《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定,作为教育部推荐教材出版。

高等教育出版社出版的教育部推荐汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材(以下简称推荐系列教材),是根据教育部办公厅、交通部办公厅、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会最新颁布的《中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写的。推荐系列教材力图体现:以培养综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强实践性教学环节,使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者;职业教育以企业需求为基本依据,办成以就业为导向的教育,既增强针对性,又兼顾适应性;课程设置和教学内容适应企业技术发展,突出汽车运用与维修专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法,具有一定的先进性和前瞻性;教学组织以学生为主体,提供选择和创新的空間,构建开放的课程体系,适应学生个性化发展的需要。推荐系列教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新尝试。主要特色有:

1. 以就业为导向,定位准确,全程设计,整体优化。
2. 借鉴国内外职业教育先进教学模式,突出项目教学,顺应现代职业教育教学制度的改革趋势,适应学分制。
3. 教材中各知识单元和技能模块都尽可能围绕与汽车紧密相关的案例来展开讲解,首先激发学生的兴趣,争取让学生每学习一个模块就掌握一项实际的技能。知识点以必需、够用为度。
4. 教材根据学习内容编写技能训练和考核项目,及时帮助学生强化所学知识和技能,缩短了理论与实践教学之间的距离,内在联系有效,衔接与呼应合理,强化了知识性和实践性的统一。
5. 有关操作训练和实训,参照国家职业资格认证标准或岗位技能考核标准,成系列按课题展开,考评标准具体明确,直观、实用,可操作性强。

推荐系列教材既注重了内在的相互衔接,又强化了相互支持,并将根据教学需求不断完善和提高。

查阅推荐系列教材的相关信息及配套教学资源,请登录高等教育出版社“中等职业教育教学资源网”(网址:<http://sv.hep.com.cn>)。

高等教育出版社

2006年4月

前 言

本书是中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一,是根据教育部办公厅、交通部办公厅、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会颁布的《中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》,并参考有关行业岗位技能鉴定标准编写的。

本书是在职业学校与维修企业的协作、专业教师和高级技师的合作下完成的,编写中力求做到以下几点:

1. 依据当前汽车维修企业车身涂装岗位核心技能的实际需要,以多数学员的实际接受能力为度,系统阐述了涂装材料的分类和组成,文字上力求简洁、通俗,尽量接近学生的认知水平和习惯。

2. 教材内容具有系统性,使学生的学习由浅入深,循序渐进,逐步建立起对教材内容的系统认识。

3. 以学校能够达到的实训设备条件及一般维修企业的生产实际为基础设立实训项目,其目的是使学生对涂装材料的相关组成及特点有一感性的认识。

4. 尽量阐述当前国内外的最新技能和技术,使学生的认知水平保持在高的起点上。

5. 通过本教材的学习,使学生掌握汽车涂料的相关知识和技术,对以后的生产实际提供理论上的参考依据。

本教材适用于总课时 110 学时左右的教学,其中设置 4 个实训项目,占 20 学时左右,学时方案建议如下表,供参考。

章 节	课 程 内 容	学 时 数		
		讲授	实训	小计
第一章	金属的腐蚀与涂料防腐技术	6		6
第二章	汽车用涂装材料简介	10	6	16
第三章	树脂	6		6
第四章	颜料	6	4	10
第五章	溶剂及常用辅助材料	6		6
第六章	涂料安全技术	6	4	10
第七章	汽车涂装作业前处理材料	8		8
第八章	粉末涂料	4		4
第九章	水性涂料	4		4

续表

章 节	课 程 内 容	学 时 数		
		讲授	实训	小计
第十章	汽车车身涂装处理	10	6	16
第十一章	PPG 汽车用涂料产品	6		6
第十二章	新劲汽车用涂料产品	6		6
第十三章	杜邦汽车用涂料产品	6		6
第十四章	巴斯夫汽车用涂料产品	6		6
合计		90	20	110

本书由北京市交通学校汽车涂装与整形教研室编写，由程玉光、王怡南担任主编，李新起、高月敏、吴富宇、刘来红、郑毅等参加了编写工作。在编写过程中，北京雅亮汽车涂装工程顾问有限公司的技术人员提供了很多宝贵意见，在此表示谢意。

教育部聘请李景芝、张金升审阅了本书，他们对本书提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者学识和水平有限，不足之处在所难免，敬请批评指正。

编 者
2006 年 4 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 金属的腐蚀与涂料		
防腐蚀技术	1	
第一节 腐蚀的基本概念	1	
第二节 腐蚀的危害及其防止	3	
第三节 涂料防腐蚀技术的新进展	5	
第四节 涂膜防腐蚀性能检测和应用		
基础研究	9	
复习题	10	
第二章 汽车用涂装材料简介	11	
第一节 涂料的基本组成及分类	11	
第二节 汽车用涂装材料的发展		
及类别	17	
第三节 汽车用涂装材料的研究		
与展望	23	
复习题	28	
第三章 树脂	29	
第一节 树脂和涂料树脂	29	
第二节 树脂的分类及其性能和用途	30	
复习题	39	
第四章 颜料	40	
第一节 颜料及其特性	40	
第二节 着色颜料	42	
第三节 体质颜料	47	
第四节 防锈颜料	49	
复习题	51	
第五章 溶剂及常用辅助材料	52	
第一节 溶剂的种类、通性和功用	52	
第二节 固化剂	59	
第三节 催干剂	60	
第四节 增塑剂	63	
第五节 常用稀释剂的种类及使用	65	
第六节 其他辅助材料	68	
复习题	69	
第六章 涂料安全技术	70	
第一节 涂装车间安全操作	70	
第二节 涂料与安全环保	76	
第三节 涂装材料储存安全注意事项	79	
复习题	82	
第七章 汽车涂装作业前的材料处理	83	
第一节 涂装前脱脂	83	
第二节 涂装前除锈、除氧化皮	87	
第三节 涂装前磷化	91	
第四节 塑料件的涂装前处理	92	
复习题	96	
第八章 粉末涂料	97	
第一节 粉末涂料现状	97	
第二节 汽车粉末涂料	98	
复习题	102	
第九章 水性涂料	103	
第一节 水性涂料的物理特性	103	
第二节 水性涂料的组成	104	
第三节 水性涂料存在的问题	107	
复习题	107	
第十章 汽车车身的涂装处理	108	
第一节 汽车车身底漆涂装	108	
第二节 汽车车身面漆涂装	117	
复习题	126	
第十一章 PPG 汽车用涂料产品	127	
第一节 PPG 底漆及中涂产品	127	
第二节 美国 PPG 公司生产的腻子	130	
第三节 美国 PPG 公司生产的面漆	131	
第四节 美国 PPG 公司生产的稀释剂		
及其辅料	134	
复习题	135	

第十二章 新劲汽车用涂料产品	136	第四节 美国杜邦公司稀释剂	
第一节 新劲底漆及中涂产品	136	及其辅料	150
第二节 新劲原子灰产品	138	复习题	151
第三节 新劲面漆产品	139	第十四章 巴斯夫汽车用涂料产品	152
第四节 荷兰阿苏克诺贝尔公司		第一节 巴斯夫公司鹦鹉牌底漆	
稀释剂及辅料	142	及中间漆涂料	152
复习题	144	第二节 巴斯夫公司鹦鹉牌原子灰 ...	154
第十三章 杜邦汽车用涂料产品	145	第三节 巴斯夫公司鹦鹉牌面漆	155
第一节 美国杜邦公司底漆		第四节 巴斯夫公司鹦鹉牌稀释剂	
及中涂涂料	145	及其辅料	156
第二节 美国杜邦公司原子灰	147	复习题	157
第三节 美国杜邦公司面漆	148	参考文献	158

第一章

金属的腐蚀与涂料防腐蚀技术



本章重点

1. 掌握金属腐蚀的基本概念，了解金属腐蚀现象的不同分类。
2. 了解金属腐蚀造成的危害性，掌握涂料防腐蚀技术的特点及其重要作用。
3. 了解涂料防腐蚀技术的最新进展及其应用方向。
4. 了解涂膜防腐蚀性能检测的基本技术和涂料防腐蚀技术的应用基础研究。

第一节 腐蚀的基本概念

“腐蚀”一词出自拉丁文“corrodere”，意即“损坏”。从广义上讲，任何材料（金属或非金属材料）受到周围介质（如湿气、水、化工大气、电解液、有机溶剂、酸、碱等）的化学作用或电化学作用而遭到破坏的现象，统称为“腐蚀”。但习惯上，往往仅将金属材料受周围介质的化学或电化学作用而遭到破坏的现象称为腐蚀。从这一定义出发，不难推导出以下结论：

（1）腐蚀只涉及金属，不包括非金属材料的破坏。例如，塑料的老化、花岗石的风化、木材的腐烂等，尽管都是由于受大气等介质的复杂化学作用而引起的，但统统不包括在腐蚀的范围之内。

（2）腐蚀只涉及由化学或电化学作用而引起的金属材料的破坏，不包括其他作用而产生的破坏。因单纯机械作用而使金属破坏（如折断、破碎……）或磨损的现象称为侵蚀（erosion）。侵蚀和腐蚀（corrosion）是有本质区别的。

（3）化学或电化学作用的破坏包括一切金属由元素状态转变为化合物状态的各种破坏过程。例如，高温氧化以及在干燥气体、电解溶液、大气、土壤、有机溶剂等中的破坏。

（4）腐蚀既可指破坏的现象，也可指破坏的过程，这包括固体与液体或气体介质的相互作用，因此腐蚀的过程是一个非常复杂的不均相反应过程。

金属分黑色金属和有色金属两大类。前者指钢铁及其合金，后者指除黑色金属以外的所有金属。在全部金属材料中，黑色金属占90%以上。黑色金属的腐蚀产物主要是附着在它的表面、通常能用肉眼看到的棕黄或棕红色的铁锈（ $\text{FeO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ），因此钢铁及其制品在大气中的腐蚀又称锈蚀。而有色金属在高温等环境条件下受大气、水、土壤、化学药品等介质的化学或电化学作用而引起的破坏现象均称腐蚀，黑色金属除受大气作用外，受水、土壤、化学药品介质作用而遭到的破坏现象亦称腐蚀。由此可见，腐蚀一词是广义的，对黑色和有色金属均适用，而锈蚀一词的意义则比较狭窄，仅适用于黑色金属在大气中的腐蚀。国外都是这样区分腐蚀与锈蚀的，但在国内却不那么严格，甚至不予区别，往往把金属的生锈统称为腐蚀。

为了深入研究各种腐蚀现象的起因及防止措施,有必要对各种介质环境下的腐蚀进行科学的分类。通常根据腐蚀机理、腐蚀环境和腐蚀表面状态来进行分类。

1. 按腐蚀机理分类

(1) 化学腐蚀

化学腐蚀是金属和介质发生化学作用而引起的腐蚀,在腐蚀过程中不产生电流,如金属在非电介质溶液和有机溶剂中的腐蚀。

(2) 电化学腐蚀

电化学腐蚀是金属和介质发生电化学反应而引起的腐蚀,在腐蚀过程中有隔离的阴极区和阳极区,电流可通过金属在一定的距离中流动,如金属在各种电介质溶液(如海水、土壤及酸、碱、盐溶液等)中的腐蚀。

根据电化学反应进行的情况,又可将电化学腐蚀分为以下两类:

① 微电池腐蚀。

② 大电池腐蚀(如电偶腐蚀、杂散电流腐蚀及浓差电流腐蚀)。

(3) 化学或电化学加力学因素的腐蚀

这是多因素引起的腐蚀,由于各因素的相互作用,往往产生非常激烈的腐蚀,一般包括应力腐蚀(Stresscorrosion)、腐蚀疲劳(Corrosionfatigue)、空蚀损伤(Cavitation damage)、氢脆(Hydrogen embrittlement)等。

2. 按腐蚀环境分类

(1) 大气腐蚀

大气腐蚀多属于电化学腐蚀。

(2) 水腐蚀

水腐蚀包括天然水、工业水和海水的腐蚀。其化学腐蚀和电化学腐蚀兼而有之,海水的腐蚀则是更强烈的电化学腐蚀。

(3) 土壤腐蚀

土壤腐蚀是指埋在地下的管线、设备、桥墩等,受土壤中盐类及其他物质溶液的腐蚀,也属化学腐蚀。

(4) 盐浴腐蚀

盐浴腐蚀是金属在与熔融的盐类接触时发生的腐蚀。例如,盐炉电极和所处理的金属的腐蚀。

(5) 化工介质腐蚀

化工介质腐蚀是发生在化工、石油、食品、轻工等生产设备及各贮罐内的腐蚀。这种腐蚀绝大多数都是电化学腐蚀。常见的化工介质有酸、碱、盐、各种有机化合物、溶剂等。发生化工介质腐蚀时,介质浓度、温度等都在随时变化,因此腐蚀性很大。

3. 按腐蚀表面状态分类

(1) 全面腐蚀

在腐蚀介质的作用下,腐蚀的方向沿金属表面扩展比向纵深处扩展为快,腐蚀分布在金属整个表面上。例如,金属的表面氧化即为全面腐蚀的典型实例。全面腐蚀可以是均匀的,也可以是不均匀的。

(2) 局部腐蚀

这是发生在金属个别区域内的腐蚀,分为以下六种形式:

- ① 斑状腐蚀。
- ② 陷坑腐蚀。
- ③ 点状腐蚀。
- ④ 晶间腐蚀。
- ⑤ 皮下腐蚀。
- ⑥ 选择腐蚀。

第二节 腐蚀的危害及其防止

在日常生活中到处可以见到金属制件的腐蚀生锈,说明金属腐蚀是普遍存在的。腐蚀不仅造成经济上的损失,而且不利于自然资源和能源的保护,有时甚至危及人身安全。美国国家标准局(NBS)和 Battelle Columbie 实验室(BCL)的联合调查表明,美国在 1975 年的腐蚀损失为 700 亿美元,占当年国民生产总值的 4.2%,超过了因火灾、水灾和地震造成损失的总和。苏联、联邦德国、日本、加拿大、法国、瑞典、捷克等国都曾公布了一些重要的腐蚀损失数据。在工业发达国家,腐蚀造成的直接经济损失占国民生产总值的 1%~4%,每年腐蚀生锈的钢铁约占其年产量的 20%(目前全世界的钢铁产量约为 7 亿吨,则有 1.4 亿吨因腐蚀而损耗,相当于苏联 1 年的钢产量),约有 30% 的设备因腐蚀而报废。我国的腐蚀损失也比较严重,据《光明日报》报道,我国每年由于金属腐蚀造成的经济损失高达 300 亿元以上,约占国民生产总值的 4%。

除上述直接损失外,因腐蚀而造成的停产、效率降低、成本增高、原材料跑冒滴漏、产品的污染和人身事故等间接损失则更为惊人。例如:1975 年芝加哥某大炼油厂,由于一根 15 cm 的不锈钢管破裂,引起爆炸与火灾,停产 42 天。这次腐蚀事故总的维修费用只花了 50 万美元,然而因停产所造成的税收损失却高达 500 万美元,是其维修费的 10 倍。据统计,美国每年因腐蚀而造成的产品成本增加一项就要多花 60 亿美元。

不仅如此,腐蚀还造成资源和能源的大量消耗。例如:美国 1975 年因腐蚀所消耗的能源占其总能耗的 3.5%,折算成石油相当于 6219.5 万吨。又如因水的腐蚀,腐蚀物堵塞水管而增加的泵的额外电能消耗,单美国每年就高达 2.5 亿度。如果把各国化工厂因腐蚀污垢使热效率降低而造成的能量消耗估计在内,其损失就更可观了。

上述两个方面的统计数据充分说明了普遍存在的腐蚀对国民经济建设的严重危害性和防腐的极端重要性。

一、防止金属腐蚀的方法

如前所述,金属的腐蚀是由于金属和周围介质发生化学或电化学作用的结果。因此,防止金属腐蚀的主要方法必须从金属和介质两个方面来考虑。常用的防止金属腐蚀的方法有五种。

1. 正确地选用金属

选用不易和周围介质发生反应的金属加工产品,主要是采用有色金属的合金和不锈钢。其

中、有的合金不易被空气氧化，或生成致密的钝化薄膜能耐酸碱溶液的侵蚀，有的在高温高压下能保持稳定，不起变化。如铝、锌在空气中不易腐蚀。含铬和镍的合金钢能防止空气、水、酸、碱的侵蚀；含铝的合金钢能耐热等。

2. 热处理防腐蚀

对金属进行热处理以改变金属制品表面层的性能。例如，对普通钢工件进行渗氮处理，使其表面层饱和氮原子，就可以提高工件耐蚀性和耐磨性；经过渗铬的工件能耐酸、耐磨；经渗铝的工件能耐热等。

3. 表面保护防腐蚀层

将坚固的保护层施加在金属表面，以阻止它和周围介质发生反应而防止腐蚀。最常用、最简便的方法是在金属表面涂上防锈油脂、涂料、搪瓷、塑料、橡胶、沥青等各种非金属材料。也可用“磷化”、“发蓝”、阳极氧化、钝化等人工方法使金属表面生成一层稳定的氧化物保护膜。此外，亦可在金属表面镀上另一种不易腐蚀的金属。镀金属的方法很多，主要有化学镀、热镀、电镀、喷镀等。

4. 电化学防腐蚀

电化学腐蚀的必要条件是：①阳极；②阴极；③电介质；④电流回路。除去或改变其中任何一个条件即可阻止或减缓腐蚀的进行。涂层能将金属和周围的电介质隔离开，有电化学防腐蚀的作用。但电化学防腐蚀主要是指阴极保护，使被保护的金属为阴极。例如，在海水中，利用镁块作为阳极与船壳钢板相连，钢板就转变为阴极了，从而使海船不受海水腐蚀，这就是阴极保护。对地下管道也可采用外加电源输入电流的方法来实行阴极保护。

5. 暂时封存防锈

使用含有缓蚀剂的防锈油、防锈水、气相防蚀剂等防止金属生锈。此法简便，效果显著，应用广泛。这里所说的“暂时”是指这类防锈剂并非永久性附着，必要时可以很方便地除去。此法多用于不用或者不能用涂料、电镀、磷化等方法保护的裸金属表面。此外还可采用可剥性涂料（或塑料）把金属覆盖起来，必要时可剥离下来。将金属产品装入容器中进行充氮封存，减少腐蚀因素以保护金属的方法也属暂时封存防锈。

总之，防止金属腐蚀的方法很多，上面介绍的只是几种主要方法，究竟采用哪种方法来保护金属，应根据具体情况确定。在实际工作中，为了更有效地防止金属腐蚀，往往将两种或多种方法结合起来应用。

二、涂料防腐蚀的特点及地位

在各种防腐蚀技术中，涂料防腐蚀法历史悠久，应用广泛，但这绝不是偶然的，而是由其本身的特点所决定的。涂料防腐蚀的特点是：

（1）施工简便，而且易于现场维修，尤其适于面积大、造型复杂的钢铁结构物和设备的保护。

（2）涂料防腐蚀不需要贵重的设备，成本费和施工费低于其他防腐蚀措施，而且涂装期短，对生产影响小，适合于在各类石油、化工工厂和生产部门广泛应用。

（3）涂层可以以其颜色作出种种标志，以示警告、危险、安全等，便于检查，有利于生产。

(4) 涂料防腐蚀可与其他防腐蚀措施(如阴极保护、金属喷涂、金属镀、塑料镀等)配合使用,从而获得极完善的防腐蚀系统。

正是涂料防腐蚀的这些特点,使它在工业、国防等部门获得了广泛应用。但和任何事物一样,涂料防腐蚀也有它的缺点,诸如涂层强度差,易损伤,耐腐蚀性能也有一定限度,尤其是在强腐蚀介质、高温以及受外力作用较多的场合,仅仅采用涂料防腐蚀是难以达到使用要求的,从而使它的应用受到限制。但只要将品种及其配套体系选择得当,施工合理,并注意维修保养,涂料防腐蚀仍然是一种最简便、最有效、最经济的防腐蚀措施。

尽管涂料防腐蚀不能解决一切腐蚀问题,但由于它经济、简便、适用范围广,所以在各种防腐蚀措施中占有十分重要的位置。日本“腐蚀和防腐蚀协会”及“防锈技术协会”的联合调查表明,全日本的防腐蚀费用主要有七项,见表 1.2.1。

表 1.2.1 全日本防腐蚀费用明细表

防腐蚀措施	费用/亿日元	占总经费的比例/%
涂料	15 954.8	62.55
金属表面处理	6 476.2	25.39
耐腐蚀材料	2 388.2	9.36
防锈油	156.5	} 总计 2.7
缓蚀剂	161.0	
电化学保护	157.5	
腐蚀研究费用	215.1	
总防腐蚀费用	25 509.3	

从表中不难看出涂料防腐蚀在整个防腐蚀技术中的重要位置。20 世纪 70 年代以来,石油化学工业的高速发展向防腐蚀涂料提出了更新、更高的要求。在各种酷烈的石油化工生产条件下,石油化工设备防腐蚀涂料的使用寿命必须在 10 年以上,一般防腐蚀涂料是很难达到这一要求的。另一方面,石油化学工业的高速发展也为涂料工业提供了丰富多彩的化工原料,为开发防腐蚀涂料新品种打下了坚实的物质基础。由此应运而生的重防腐蚀涂料(Heavy duty catings)已获得了极为迅速的发展。尽管它的初期涂装费用较高,但因其耐腐蚀性能优异,使用期很长,所以经济效益显著。一般说来在苛刻条件下使用重防腐蚀涂料比使用一般防腐蚀涂料要少花 2~3 倍的经费,所以,重防腐蚀涂料在国外已广泛地用来涂装石油化工设备及管线、船舶、海上设备、桥梁、铁质或非铁质大型构件等,以确保它们在严酷条件下使用 5~10 年而毋须大面积重新涂漆。近年广泛应用的玻璃鳞片涂料(glassflakecoating,简称 flakecoatMg),把玻璃的优异防腐蚀性能和涂料的易施工性结合于一体,使用寿命长达 10 年以上,进一步扩大了涂料防腐蚀的应用范围,确立了它在整个防腐蚀技术中的重要地位。

第三节 涂料防腐蚀技术的新进展

涂料防腐蚀的简便性和有效性,引起了石油化工和海洋开发工程界的广泛注意,向涂料防腐蚀提出了许多新的要求,在探索满足这些要求的过程中,涂料防腐蚀技术取得了许多新进展。

一、塑料防腐蚀涂覆层的应用

石油化工设备、管线等腐蚀严重，常采用衬铅、搪瓷等措施，但是它们施工复杂，设备笨重，还达不到防腐蚀的要求。采用塑料防腐蚀涂覆层特点突出。例如，聚全氟乙丙烯不溶于任何有机溶剂，甚至在硝酸、盐酸、王水中也无变化，吸水率几近于零。耐温变性良好，在 $-40 \sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内可长期使用。但其强度不够，价格昂贵，应用受到限制，所以常常将工程塑料涂覆在金属基体上，利用金属的强度，发挥塑料的防腐蚀性能，这就是塑料防腐蚀涂覆层，常用塑料防蚀涂覆层的类型及其特性见表 1.3.1。塑料涂覆层的施工较复杂，需经塑化和淬火，以降低高聚物的结晶度，把呈颗粒状堆积的树脂熔融成非结晶的连续整体。根据塑料品种的不同可采用悬浮液喷涂、浸涂、浇涂、火焰喷涂、静电喷涂、沸腾床浸涂等方法进行施工。塑料防腐蚀涂覆层对施工要求严格，大面积施工还有一定困难，主要用于小型和中型工件的防腐蚀。

表 1.3.1 常用塑料防蚀涂覆层的类型及其特性

	名 称	特性及用途
氟塑料涂覆层	F-4(聚四氟乙烯)	化学稳定性高，耐腐蚀性好，表面能低，附着力差，涂覆困难，少用
	F-3(聚三氟乙烯)	耐酸、碱、盐、有机溶剂、强度、韧性、附着力良好，涂覆性能较好，使用温度为 $70 \sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$
	F-46(聚全氟乙丙烯)	耐腐蚀性与 F-4 相当，耐热，可在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 长期使用，耐 H_2SO_4 、 HNO_3 ，涂装阀门、泵叶轮、管件等，价格贵，施工较麻烦
	PVDF(聚偏氟乙烯)	基本同 F-46
	氯化聚醚涂覆层	耐热，耐腐蚀，能在 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 长期使用，附着力好，强度高，可用沸腾床涂覆、火焰喷涂法施工，涂装各种预热工件和小型 L 件
	聚乙烯塑料涂覆层	化学稳定，耐水，电性能好，透气性小，但抗冲击性、伸长率较低，可在 $60 \sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 使用。可用溶液喷涂、火焰喷涂、静电喷涂、沸腾床施工
	聚苯硫醚涂覆层	介于热固性和热塑性之间，耐热，可在 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 长期使用，于 $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下耐溶剂，但不耐 $98\%\text{ H}_2\text{SO}_4$ 及苯胺，附着力强，应用同 F-3
	聚氨酯泡沫涂覆层	耐化学腐蚀，耐磨，耐候，电绝缘性好；减少摩擦，温度适应范围广，使用寿命长
	尼龙涂覆层	耐腐蚀、耐磨，力学性能好

塑料涂覆层的广泛应用，解决了耐酸搪瓷、不锈钢用其他方法很难解决的腐蚀问题。例如：在磷肥生产中，磷酸及磷化物的腐蚀极为厉害，半年后搪瓷设备大面积出现崩瓷现象，而同时使用的由 F-3 塑料涂覆层保护的设备却完好无损。用低、中压法合成的高密度聚乙烯制成的涂覆层涂装贮油罐，其效果甚至超过玻璃衬里，涂装炼油厂的真空设备，耐烃类溶剂，可使用 15 年。今后，塑料涂覆层在石油化工防腐蚀涂装中的应用会越来越广泛。

二、重防腐涂料的开发与应用

1. 重防腐涂料的意义和基本类型

重防腐涂料和涂装是指在严酷的腐蚀条件下,防腐效果比一般防腐涂料与涂装高数倍以上的一类新型防腐涂料和涂装系统。重防腐涂装的初期费用比一般防腐涂料高得多,但耐腐蚀性能优异,使用期长,维护涂装费少,如应用得当可以收到明显的经济效益。通常根据不同的使用环境和使用要求,把一般防腐涂装和重防腐涂装结合起来应用为宜。

以构成重防腐涂料的成膜树脂而论,主要有三种类型的重防腐涂料,其特性见表 1.3.2。这些涂料均可直接涂在富锌底漆上,都具有良好的耐水性、耐化学药品性和耐候性。

表 1.3.2 重防腐涂料的成膜树脂的类型及特性

类 型	性 能	使 用 要 求
氯化橡胶系	1. 温干燥性好; 2. 耐候性好; 3. 耐化学药品性好; 4. 耐热、耐溶剂性差	为了达到重防腐的目的,每次涂装 30 ~ 60 μm ,涂 3 至 4 次,主要用来涂装浸水部以外的陆上建筑物的暴露处
乙烯树脂系	1. 耐水、耐候; 2. 可实现厚膜化,每次涂装可达 200 μm ; 3. 耐热、耐溶剂性差	涂在富锌底漆上,每次涂装膜厚 200 μm ,涂 2 次
环氧、聚氨酯系	双组分常温固化型涂料 环氧系: 1. 耐水,耐化学药品,附着性好,硬度高; 2. 易粉化,使用范围受到限制 聚氨酯系: 1. 抗粉化; 2. 低温干燥性好	常以环氧树脂系作底漆,聚氨酯作面漆,构成重防腐涂料,注意树脂的选择和配比的确定

2. 玻璃鳞片重防腐涂料

以鳞片状微细玻璃粉增强的一类重防腐涂料,具有许多优异的防腐性能,广泛应用于海洋开发和石油化工方面,其耐久性在 10 ~ 15 年。因此,有人将它称为超重防腐涂料(Extra-heavy duty Coating),一般都称为玻璃鳞片涂料或 Flake 涂料。在其重量组成中,鳞片状微细玻璃粉占 20% ~ 30%,它们在厚涂膜中采取和底材表面平行的方向重叠排列,从而阻止了腐蚀性离子、水和氧气等的渗透;缩小了涂膜和金属基体之间在热膨胀系数上的差值,可阻止反复急剧的温度变化而引起的龟裂和剥落,增强涂膜的附着力,提高涂膜的强度、表面硬度,而且增强涂膜的耐磨性。以上这些便是使涂膜获得优异防腐性能的关键因素。为了使鳞片状微细玻璃碎片发挥更好的作用,要求它的厚度在 3 ~ 4 μm ,其大小从数十微米至数百微米之间,但从其施工性能考虑以 500 μm 以下为宜。除此之外,Flake 涂料还具有以下特点:涂膜厚,层间附着力好,不易产生机械损伤,可减少涂装次数,节省人力和物力,成本较低。Flake 涂料施工方便,可用滚涂、压缩空气或高压无空气喷涂等方法进行涂装。又因 Flake 涂料常以无

溶剂的形式应用,因此施工时无有害物质逸散出来,而且固化涂膜中也无有毒物质渗出。其涂膜表面坚硬、光洁、易于清洗,涂装海上建筑和结构时,容易除去贝壳类微生物污垢,已广泛用于各种海洋开发工程设备、装置、建筑物和构造物、船舵、甲板、海水水箱、尾柱底骨、储油槽(或罐)、深海钻井架和海上采油平台等。

3. 云母氧化钛和不锈钢鳞片重防腐涂料

同使用玻璃鳞片配制重防腐涂料的作用原理一样,采用特制一定规格的鳞片状云母氧化铁和环氧树脂、聚氨酯树脂、乙烯树脂等配制而成的鳞片状云母氧化铁重防腐涂料,具有突出的耐候性和耐腐蚀性能,一次涂装的干膜厚度可达 $75 \sim 150 \mu\text{m}$,用于酷烈环境下钢结构的防腐涂装,取得了极好的防腐效果。同样,采用厚度不超过 $3 \mu\text{m}$,长、宽不超过 $100 \mu\text{m}$ 的鳞片状不锈钢微粉,将它分散在环氧树脂中制成的双组分环氧不锈钢鳞片重防腐涂料,施工前按比例加入固化剂,涂装在钢铁底材上形成鳞片状不锈钢粉末涂层,可有效地阻止水汽和氧的渗透,具有极好的防腐性能和耐久性。

三、水下防腐蚀涂料

能在潮湿表面或水中直接进行施工并固化成膜的防腐涂料称为水下防腐蚀涂料。为此,要求这种涂料能取代被涂潮湿钢铁表面上的水分而牢固附着在其表面上,并能在水中迅速固化,形成具有优异物理力学性能和突出防腐蚀性的涂膜。一般说来,水下防腐蚀涂料都是由成膜树脂、防锈颜料、填料、润湿剂和固化剂、稀释剂等组成的。和大气中的固化机理相比,水下防腐蚀涂料的固化特点在于:涂料中含有对钢铁表面亲和力大的润湿剂,其表面张力比水小得多,既能先将水从被涂钢铁表面挤开,又能将残存在被涂表面的薄膜状水吸入树脂内部,即驱使水分子移向涂料,涂料中的成膜树脂移向被涂钢铁;在涂料固化过程中,进入涂层的水被排出涂层外,从而使固化涂层牢固地附着在被涂钢铁表面上,形成性能优异的防腐涂层,此乃水下防腐蚀涂料的全部固化历程。

在配制水下防腐蚀涂料时,目前多以环氧树脂为成膜基料。如前所述,环氧树脂在水中的固化和在大气中的成膜条件有质的差别,水的密度较大,对金属表面又有较大的亲和力,欲使润湿剂润湿金属表面,其表面张力应比水低得多才行。润湿剂的用量也不能太多,否则残存在涂膜中将影响其性能。理想的润湿剂应兼有润湿和固化两种作用,这样不存在润湿剂过量影响涂膜性能的问题。水下环氧树脂防腐涂料的固化剂也和一般固化剂不同,对固化剂的极性、粘度等均有特殊要求,主要要求固化剂在水下涂装过程中不被水所乳化,但能在水中润湿钢铁表面。常用的润湿剂多系各种表面活性剂,固化剂常常是特制胺类化合物、酸酐等。

水下防腐蚀涂料的涂装方法有两种类型:一是湿式涂装,即在未排开水的情况下进行涂装,常用方法有手涂法、刷涂法、敷涂法、辊涂法、旋转刷涂法等;二是干式涂装,即采用特别水泵将水局部排开,形成一个无水空间而进行涂装,通常采用喷涂法进行涂装。随着航海和海洋事业的发展,引起了人们对水下防腐蚀涂料的极大关注。对海船直接进行水下清洗和水下涂装,可延长续航时间,减少进坞次数,极大地提高经济效益。同时,水下防腐蚀还广泛用于堤坝、水库、水闸、地下管道、水电站、矿井、贮水槽、浴池、游泳池等的防腐涂装。SP-Guard 无溶剂环氧砂浆涂料,就是以能和水起置换作用的环氧树脂为主要成分,配合特定润湿剂、固化剂、颜料等而制成的一种水下防腐蚀涂料,可采用水下喷砂除锈和施工新技术进行水