

汽车涂装 工艺技术

王锡春 编著



化学工业出版社

汽车涂装工艺技术

王锡春 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车涂装工艺技术/王锡春编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 12

ISBN 7-5025-6359-8

I. 汽… II. 王… III. 汽车-涂漆 IV. U472-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 123580 号

汽车涂装工艺技术

王锡春 编著

责任编辑: 王秀鸾

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 凌亚男

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 545 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6359-8/TB·99

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京化广临字 2004-016 号

学习心得

实践结晶

理论升华

祝贺汽车车身涂装技术(王锡春文集)出版

沈烈初

二〇〇〇年五月十六日

中国表面工程协会理事长，原机电部
副部长沈烈初题词

贺《汽车涂装工艺技术》文集出版

在历史的长河里，50年也许只是短短的一瞬，但对一个人的事业，却是近乎工作的所有时光。从王老师作品，让人深深地感到人类之所以伟大的理由。50年的不懈探索，从中国汽车工业的空白开始，精耕细作，走到了硕果累累的今天。从这本50多万字的著作里，字里行间清晰地让我们看见他走过的一万八千多个日夜的足迹，笔韵引领着我们回顾他的过往，他将毕生的经验精华集中到这本书中，让我们可以在读完这本书的学习中就可分享他的事业成就，这是对业界何等伟大的贡献！崎岖曲折的探索之旅沉淀下来的经验精华让我们理解汽车涂装全面技术，从概念、基础知识以至如何应用，对涂膜缺陷的发现，弥补及预防，都作出了深刻的描述及指引，更不遗余力地在环保及无公害的新型涂装作了大量研究及论述，让我们后学者受益匪浅。他以学术成就燃亮自己照耀业界。

想到王老师的乐业精神，不由肃然起敬，回首10年前，我以孩童般的幻想，怯生生地举手试敲这扇被誉为涂料皇冠的名珠——汽车涂料的大门时，思维中的景象是那么的庄严璀璨，却又是那么的遥远模糊。从模糊渐变清晰，从遥远走近现在，实非坦途。感激我的恩师在崎岖的路上给我导航。他倾全力为民族争光的实际行动成了我模仿的典范，教我在艰辛中坚持，今天总算能为中国汽车工业薄尽绵力。

藉王老师的辉煌著作面世，高声道出我的感激。

他的精神贯满全书，愿业界朋友在此获益。

香港维新集团总裁 叶凤英



女士

2004年7月9日

王锡春同志从事汽车涂装五十年的论文集的出版，是我国汽车涂装业的一件大喜事。五十年来，我国汽车工业从无到有、到大发展，王教授一直带领一支队伍，战斗在第一线，立下丰功伟绩。现虽然从原来的工作岗位上退下来，但仍为汽车涂装的发展而奔波，为了将自己的经验和收获传授给后人，特出版该论文集。该文集反映了我国汽车涂装的进步，也是我国汽车涂装工业战线上一代人的集体智慧结晶，是后来涂装工作者难得的资源。

我踏上工作岗位，与汽车涂料结下了不解之缘。与王教授在涂料与涂装的合作中结下深厚的友谊，王教授在工作中一丝不苟、严谨求实的精神，给我的涂料开发工作有很大的帮助。近年来，国门大开，更多接触发达国家的涂料、涂装，深感国人在涂料与涂装的结合上仍有严重不足，我们的涂料在施工性能，比涂料的内在性能与发达国家差距更大。涂料工作者应更多地了解涂装，完善涂料的涂装工艺，提高涂料的施工性能，为我国汽车工业的发展和进步作出更多的贡献。

常州福莱姆汽车涂料有限公司董事长 包启宇



2004年7月26日

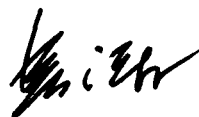
序

王锡春同志是我国第一代汽车涂装技术工作者，在我国汽车涂装 50 年发展历程中，他是最具影响力的专业带头人之一。在退休离开工作岗位之后，出于对专业的热爱和历史的责任感，他仍然在为我国汽车涂装行业的发展潜心钻研。几年来，整理撰写了自己 50 年来的经验总结，对汽车涂装技术进行了系统汇编。

本书是作者继“涂装技术”（1986.5）和“最新汽车涂装技术”（1997.12）后的第三部专业著作。从汽车车身涂装到汽车零部件涂装，逐工序按章节进行系统地论述，还系统介绍了 114 种涂膜缺陷（弊病）、病因及防治经验，并从近 10 年作者的专题文章中选择 28 篇，论述了一些深层次的认识、经典数据和专业发展动态。

本书内容专业、系统、实用，是从事汽车、摩托车、农机、轻工、家用电器及其他工业涂装的工程技术人员、技工和管理人员难得的工具书；是涂装工艺设计及设备设计、科研、涂装材料生产等科技人员的重要参考读物；也是一部可用于大专院校教学的教材或参考书。

中国汽车工程学会制造分会
涂装专业委员会主任：吴涛



2004 年 8 月

前 言

我国汽车工业已走过了五十周年光辉历程,作为我国第一代汽车涂装技术工作者,在纪念从事汽车涂装专业五十周年之际,发挥余热编著《汽车涂装工艺技术》一书,总结经验,理论升华,把知识献给社会,把经验留给后人,为发展祖国的汽车涂装技术再作点贡献。

作者曾与同行一道,主持编写了《涂装技术》第一册、第二册(1986,化学工业出版社出版)和《最新汽车涂装技术》(1997,机械工业出版社出版)两部专业著作,书出版后一直畅销,至今还有读者索购。《汽车涂装工艺技术》一书是作者继上两部后的第三部专业著作,它的内容将更加专业化、系统化和实用化,汇集了作者50年来在汽车涂装领域亲身经历和潜心钻研的硕果。

本书是以增强汽车涂装工艺人员的基本功(具有编制涂装工艺文件及科学管理能力和现场处理及防治涂膜弊病的能力)为主体,从汽车车身到汽车(金属和塑料)零部件涂装,逐工序、按章节系统论述;介绍了100多种涂膜缺陷(弊病)、病因及其防治方法;并以专题文章的形式论述一些深层次的认识,经典数据和专业发展动态。

书从加强基础知识、实用经验和科学管理等三个方面介绍给同行,以此来促进涂装工程设计建设的“先进、可靠、经济、环保”和涂装生产的“优质、高产、低成本、少公害”方针的实现;促进涂料与涂装一体化。愿本书的内容对提高汽车涂装工艺人员,涂装设备设计、制造技术人员和汽车用涂装材料开发及售后服务人员的技术、管理水平会有所帮助。

汽车涂装是工业涂装的最典型代表,很多新工艺、新技术和新涂装材料源于汽车工业,后广泛应用和普及于其他工业涂装领域,愿书的内容也能推动我国工业涂装的技术进步,对各领域涂装专业人员也有所借鉴。本书也可作为大专院校涂装及相关专业的教材或参考资料。若能通读,熟知、活用本书的内容,则将可成为优秀的涂装工艺师。

为使读者因业务需要,给联系工作带来方便,本书还介绍了汽车用涂装材料、涂装设备等供应厂商及设计单位,并推荐在书中刊登广告。他们对本书出版给予了热情支持。

参加本书部分章节编写和校审的专家有吴涛、宋华、高宏伟、祝南章。在成稿过程中得到了中国第一汽车集团公司技术中心油漆室高成勇主任、宫金宝、庞虹等同志的协助。在此对本书的出版,给予帮助和支持的有关单位和同志深表谢意。

望同行多提宝贵意见,批评指正,共同探讨。

王锡春

2004年8月20日

内 容 提 要

本书共 7 章。从汽车车身涂装到汽车（金属和塑料）零部件涂装，逐工序按章节进行系统地论述，还系统介绍了 114 种涂膜缺陷（弊病）、病因及防治经验，并从近 10 年作者写的专题文章中选择 28 篇，论述了一些深层次的认识、经典数据和专业发展动态。

本书是继《涂装技术》（1986.5）和《最新汽车涂装技术》（1997.12）后作者的第三部专业著作，内容更具专业化，系统化和实用化，汇集了作者 50 年来在汽车涂装领域的亲身经历和潜心钻研的硕果。

本书可作为从事汽车、摩托车、农机、轻工、家用电器及其他工业涂装的工程技术人员和管理人员的工作指南；也可作为涂装工艺及设备设计、科研、涂装材料生产和应用部门科技人员的参考读物；还可作为大专院校和专业培训班的教材。

目 录

第一章 综合概论	1	一、涂密封胶工艺	76
第一节 展望 21 世纪汽车涂装技术	1	二、车底涂层 (under coat) 涂装工艺	81
第二节 21 世纪汽车涂料的发展趋势	5	三、防声、防震材料及张贴工艺	84
第三节 环境保护与汽车涂装	12	四、在张贴防声、防震片作业中常产生的	
一、与汽车涂装相关的环保法规	12	质量缺陷	86
二、汽车涂装公害的形态及其防治	14	五、防声、防震片的发展趋向	87
三、汽车用环保型涂料	16	第四节 中涂涂装工艺	88
四、各种罩光涂料、涂装的生命		一、中涂涂装的目的和中涂涂膜的功能	88
周期评估 (LCA)	17	二、中涂的涂装工艺	89
五、简化涂装工艺——3C1B 涂装技术	19	三、中涂涂料	91
第四节 旋转浸渍输送和机器人喷涂技术		四、中涂涂装的发展动向	92
在汽车车身涂装工艺中的应用	21	第五节 面漆涂装工艺	93
第五节 我国汽车涂装发展史和概况	24	一、面漆涂装的目的	93
参考文献	28	二、面漆涂装工艺	94
第二章 汽车车身涂装工艺技术	29	三、静电喷涂技术	97
第一节 漆前表面处理工艺 (磷化		四、面漆的烘干技术	104
处理工艺)	29	五、汽车用面漆	105
一、前处理的目的	29	六、汽车面漆涂装工艺的发展动向	106
二、磷化处理的反应机理	29	七、涂面漆后的后处理涂装工艺	107
三、磷化膜的组成及其耐蚀性	30	第六节 车身涂装工艺的探讨 (论文)	108
四、涂装前磷化处理工艺	31	一、中巴、大客车车身涂装工艺	
五、全浸式前处理设备的技术进步	36	的探讨	108
六、前处理的管理	37	二、高装饰性的金属色汽车面漆	
七、前处理技术的今后展望和降低成本	40	涂装工艺	114
八、磷化膜与阴极电泳涂膜的		参考文献	124
配套性研究	41	第三章 汽车零部件涂装工艺技术	125
九、汽车涂装前磷化处理技术及其		第一节 汽车塑料件涂装工艺	125
发展趋势	44	一、塑料件表面处理工艺	126
第二节 电泳涂装工艺及设备、生产管理	55	二、各种塑料底材与涂膜的附着性	127
一、电泳涂装及其原理	55	三、塑料件涂装工艺流程	129
二、电泳涂装的特征及优点	56	四、塑料制品涂装的发展动向	130
三、阳极电泳涂装 (AED) 和阴极		参考文献	131
电泳涂装 (CED) 的比较	58	五、塑料件涂装工艺设计例	131
四、电泳涂装工艺	60	第二节 汽车零部件的典型涂装工艺	138
五、电泳涂装设备和附带装置的功能	67	一、货箱及改装车厢罐部件的涂装工艺	138
六、电泳涂装生产线管理	73	二、中、小批量生产的客车车厢、中巴	
七、电泳涂装的将来动向	75	车身的涂装工艺	138
第三节 密封、车底涂料涂装工艺 (PVC		三、车架、车轮、毛坯及半成品等汽车	
涂装线)	76	零部件的涂装工艺	138

四、发动机的涂装工艺	143
五、底盘件的涂装工艺	143
六、水箱、散热器、钢板弹簧的 涂装工艺	143
参考文献	144
七、钢制车轮零部件涂装工艺设计例	144
八、传动轴类汽车底盘零部件工艺 设计例	147
附录一：“结构件涂层”阴极电泳涂料	152
附录二：喷用水性涂料——适用于零 部件涂装	152
第四章 汽车涂装涂膜缺陷及其防治	154
第一节 涂膜缺陷（弊病）的分类	154
第二节 涂膜缺陷及其防治	157
一、颗粒、尘埃、异物、附着（A）	157
二、颜色缺陷（B）	158
三、外观不良（C）	160
四、缩孔、抽缩、凹洼、鱼眼（D）	164
五、针孔、气泡孔（E）	165
六、气泡（bubble）（F）	166
七、流痕（流挂、滴流及垂流）（G）	168
八、打磨不良（缺陷）（H）	169
九、盖底不良、露底（I）	170
十、沾污、斑点（J）	170
十一、锈蚀、生锈（K）	173
十二、PVC 涂层缺陷（L）	173
十三、伤痕（M）	174
十四、电泳涂装不良（N）	174
十五、烘干（干燥）不良（O）	174
十六、附着力不良、涂膜剥落（P）	176
十七、开裂、裂痕（R）	177
十八、起皱和咬起（S）	178
十九、痕迹、斑印（T）	179
二十、粉化、风化（U）	180
二十一、其他涂膜缺陷（Z）	181
第三节 涂膜弊病的专题探讨	183
一、电泳涂膜弊病（缺陷）及其防治	183
二、阴极电泳槽液漆基析出质量事故 实例分析	188
三、双组分低温汽车涂料在涂装过程中 常见的漆膜弊病及其防治	189
四、涂膜缺陷——颗粒和涂装环境的 清净度	191
五、漆膜缺陷——缩孔及其防治	196
参考文献	200

附录 涂装术语——涂膜缺陷 99 条（中、 日、英对照）	200
第五章 汽车用涂装材料	206
第一节 漆前表面处理用及其他化工材料	207
一、沈阳帕卡瀚精有限 总公司（SYP）	208
二、武汉材料保护研究所磷化、塑胶 产品部	208
三、上海凯密特尔公学品有限公司	209
四、汉高（Henkel）表面处理材料	209
第二节 汽车用涂料	211
第三节 汽车涂装材料方面的专题探讨	221
一、粉末涂料、涂装的国外现状及 最新动向	221
二、汽车用水性涂料及其涂装技术	228
三、水性涂料的回收再利用法	239
四、更新材料供货理念——降低汽车 涂装成本	245
参考文献	250
第六章 汽车涂装工艺设计	251
第一节 汽车涂装工艺及设备 设计纵横谈	251
第二节 汽车涂装车间设计	254
第三节 如何搞好工业涂装的工艺设计	258
第四节 工业涂装的安全、环保的 发展动向	261
第五节 涂装工艺及设备设计的参考资料	267
参考文献	274
第七章 汽车涂装设备	275
第一节 工业涂装的水洗工序及其评价	275
一、水洗工序及其工艺要点	275
二、工业涂装用水基准	278
三、节水措施	278
第二节 选用、设计喷漆室及相关设备 的经验谈	279
第三节 高装饰性工业涂装用的烘干室	288
第四节 高红外加热（固化）技术在涂装 工艺中的应用	295
参考文献	298
第五节 涂膜固化干燥的节能（环保） 技术动向的探讨	298
第六节 滑撬输送机系统在汽车涂装中 的应用	304
参考文献	309

第一章 综合概论

第一节 展望 21 世纪汽车涂装技术

汽车涂装在 100 多年的汽车历史中,由当初的作坊式涂装发展到适应于大量流水生产的典型的工业涂装,经历了多次质的变革,尤其在近 20 多年中。以汽车车身涂装为例。漆前处理磷化、涂底漆阴极电泳涂装实现全自动化,涂中涂、面漆实现了静电自动喷涂(机器人喷涂机实现喷涂无人化)、计算机智能化控制技术等高科技的应用,使汽车涂装成为高度自动化和现代化的工艺。涂层质量(外观装饰性和耐腐蚀性等)跟上了时代潮流的要求,达到和超过了汽车的使用寿命,车身保用期达到 10 年以上。涂装工艺成为轿车制造的主要工艺之一,得到人们的普遍重视。

20 世纪 90 年代以来,随着人们生活水平和文化水平的提高,用户要求多样化,世界汽车市场竞争更加激烈;地球环境保护的要求逐年提高,国际会议和工业发达国家颁布法规限期达标。市场和环保两大压力促使汽车制造公司选用更优质的低公害或无公害的新型涂装材料,进一步依靠技术进步完善工艺,提高涂装材料的利用率,改造和新建涂装线,强化管理,提高生产效率和降低涂装成本。适应客户的选择,使涂层具有更高的机能性(如耐酸雨性、抗擦伤性等),来增强商品竞争力。在欧美等汽车工业发达国家,一些大的汽车公司在 20 世纪 90 年代新建涂装线已实现了符合环保要求的汽车车身涂装工艺。

汽车涂装材料厂商和汽车涂装专家普遍认为 21 世纪的汽车涂装的开发方向为保护地球环境、提高涂装的经济性和涂层的品质、增加产品的附加值等三个方面。作者环绕以上三个主题,就汽车涂装的几个主要技术的世界近况和发展趋势作如下论述及展望。

1. 漆前处理技术

为提高涂层对底材的附着力和耐腐蚀性,汽车和摩托车的金属(Fe、Zn 和 Al)制件在涂漆前都进行除油和磷化处理。世界各国的表面处理工艺及设备基本定型,仅在脱脂和磷化后的水洗次数、磷化后进行钝化或不钝化等细节上有点差别。处理方式:外形、结构较简单的工件(无空腔、缝隙结构)采用喷射式;而对有空腔结构的工件,如汽车车身,在近 20 年中由 70 年代末的喷射式为主逐步地几乎都改为全浸式(在 9~13 道工序中至少有 5~7 道以上为全浸式工序)。现今所用前处理药品还是从中温碱性脱脂(45~66℃),中低温磷化(40~45℃)为主体;表调槽液的使用寿命短,且与产量无关;磷化以 Zn、Ni、Mn 三元处理液和亚硝酸盐催化为主,钝化还是以含铬钝化剂为主,日本和韩国因环保取消了磷化后的钝化工序。

环保型的漆前表面处理药品(如生物可降解性活性剂配制的脱脂剂、无镍、无亚硝酸盐的磷化液、无铬钝化剂等)近几年来已开发出商品供应商场;节能省资源的低温脱脂剂、低温少渣的磷化液、长寿命的表调剂也相继开发成功。进入 21 世纪将会全面替代现用的各种表面处理剂。

为进一步提高汽车车身的耐腐蚀性和减少空腔涂蜡量,采用镀锌钢板(电镀锌和热镀锌两种)和预涂漆钢板制作车身的中空件和增强件;为节省燃料、使汽车轻量化,用铝合金和镁合金制造车身或其部件,用塑料制造车身部件(如顶盖、叶子板)。它们在汽车上的用量有逐步增多的趋势。为适应这些新底材的应用,开发选用新型的漆前处理工艺及用材(如能同时处理 Fe、Zn、Al、Mg 制件的漆前处理工艺),各种塑料件的漆前处理工艺和配套的底漆材料,将是汽车涂装发展的新前景。

2. 阴极电泳涂装技术

电泳涂装法在汽车涂装中获得应用已有 30 多年历史,它是在汽车工业中普及最快和技术更新最快的金属件涂底漆的方法。尤其 1977 年以来,基于阴极电泳涂料的泳透率高,涂层的耐腐蚀性非常优良,形成了阴极电泳涂装替代阳极电泳涂装之势。至今仅对耐腐蚀性要求较低的车内零部件采用阳极电泳涂装,采用阴极电泳涂装法涂底漆的汽车车身达 90% 以上。

阴极电泳涂装工艺经近 20 年的不断完善,已成为最成熟的汽车车身、车轮和车架等涂底漆(或底面合一涂层)的先进技术之一,至今尚无替代它的更先进的涂装方法。现今用阴极电泳涂料属第四、五代阴极电泳涂料(以泳涂的膜厚分为薄模型和厚膜型);为适应环保、节能和提高工件边角的耐腐蚀性,20 世纪 90 年代以来已经和正在开发无铅、锡的阴极电泳涂料、VOC(有机挥发物)含量低的和低加热减量的阴极电泳涂料、低温固化型阴极电泳涂料、边角覆盖型阴极电泳涂料;为适应底面合一涂层和无中涂的两涂层体系的需要,开发耐候性阴极电泳涂料;为降低成本,开发新一代作为汽车车身的三涂层涂装体系的底漆用的高泳透率、更薄膜型或低密度的阴极电泳涂料;开发适应于粉末/电泳(PD/ED)倒置工艺的阴极电泳涂料。具有上述多种性能的新型阴极电泳涂料有的已成功开发为商品供应市场,上述新品种可望在 21 世纪更换现用阴极电泳涂料。

3. 膜过滤技术

电泳涂装采用超滤(UF)技术后,实现了半封闭循环清洗,提高了电泳涂料的利用率,杂质离子对电泳漆槽液的污染变质问题得到了解决,而使电泳涂装技术走向成熟,加速了普及速度。又如反渗透(RO)技术用于海水淡化早为人们所知。可是由于 UF 膜元件和 RO 膜元件价格昂贵,使它们的应用面受到了限制。随着复合膜开发技术的进步,UF 和 RO 元件的造价降低,为扩大它们在水处理领域应用创造了良好的条件。

汽车涂装车间是用水大户,漆前处理和电泳涂装的水洗工序耗大量的水。为保证每道水洗工序水的污染度不超标,需添加优质的自来水(电导 $<200\mu\text{S}/\text{cm}$)来置换。为防杂质离子污染被涂漆表面,磷化处理和电泳后清洗的最后一道水洗工序需纯水(电导 $<5\mu\text{S}/\text{cm}$)。每平方米清洗面积清洗置换水量为 1.5~2.0L。年产 30 万台轿车车身(面积约 80m²/台)的前处理和电泳涂装的耗水量每小时 30t 左右,其排放的污水量也与此相仿,污水处理费用也相当可观。从节省水资源、环保和降低成本等角度考虑,近几年来扩大膜过滤技术在汽车涂装领域中的应用已见成效。如用 RO 法替代离子交换树脂法制纯水,其优点:纯水成本可降低 30%,作业环境好,操作简便,无含酸、碱的废水排放,有利于环保,水中的微粒子和细菌微生物也可同时除去。用 RO 法再生前处理最终纯水洗用的水,循环使用。又如用超滤技术再生脱脂槽液,进行油水分离再利用。用 UF 装置进行含油污水的处理。

最近日本涂料公司和旭化成工业公司开发了电泳涂装最终水洗水的再循环利用方法,称“NPECS 法”(日本涂料电泳闭路清洗法)。它是采用特殊 UF 装置,进行特定条件的管理,浓缩循环纯水洗的水,滤液返回纯水洗工序再利用,浓缩液返回电泳槽回收利用。此法的优点是纯水使用量和电泳废水排放量大大幅度减少,进一步提高电泳涂料的利用率和涂膜的外观质量。

低 VOC 含量的喷用水性涂料在汽车工业中也开始形成替代传统的有机溶剂型涂料之势。调漆和清洗用纯水量也随着增加。采用 UF 技术回收水性涂料的过喷涂漆雾在国外也已开发成功。即在喷涂时形成的过喷涂的水性涂料漆雾被喷漆室的循环水带入水槽中,采用 UF 技术浓缩喷漆室循环水中的水性涂料(由 1% 固体分浓缩到 15%~40%)后利用,可综合提高经济效益 30% 以上。

综上所述,膜过滤技术在提高涂装材料利用率、水的再循环利用和涂装用水处理(纯水的制取和涂装污水的处理)等领域中应用很有前途。

4. 自动静电涂装技术

自动静电喷涂与人工喷涂相比,具有所得涂膜的装饰好、质量稳定等优点。它克服了人的因素,保证喷涂质量始终如一;涂料利用率高,且使用方便;生产效率高,一次喷涂较厚(35~40 μm)。因而国外高转速旋杯式自动静电涂装机在经济规模的汽车车身的中涂和面漆喷涂线上几乎已完全替代了人工喷漆,在最现代化的喷漆线上采用智能化的自动静电涂装机(ROBOT),实现了喷涂无人化。

自动静电喷涂机不仅适用于传统的有机溶剂型涂料(中涂、本色面漆、金属底色漆、罩光清漆等)的喷涂,经改进后也适用于导电的水性涂料的喷涂。且自动化程度很高,不仅能识别车型,能自动换色,还能按设定的工艺要求自动调节供漆供气量、杯的转速及行程、自动清洗等。

无论从节省涂料、节省工时和改善喷漆工的劳动条件的角度考虑,还是从提高涂层质量和环保的角度来考虑,自动静电喷涂工艺已确保了自身的重要地位,可预见它仍将是21世纪汽车车身的液态中涂和面漆的主要工艺手段。

5. 静电粉末涂装技术

粉末涂料及其涂装法获得工业应用也始于20世纪60年代,可是由于其涂膜性能及工艺性差,发展缓慢,没有像同期开发的电泳涂装工艺在汽车工业中那样快地普及。近10年来在环保的促进下粉末涂料市场十分活跃,得到高速持续增长(增长率在涂料中是最高的,10年产量增长3倍),在粉末涂料制造及涂装技术上有了突破性进展。

粉末涂料作为防腐涂层和车身的中涂层,在国外汽车工业中已有较多条涂装线采用,在国内汽车涂装中尚局限于外形简单的中小金属件的涂装。

欧美汽车工业在当地环保要求(大气净化法)下,对汽车涂装排放VOC量的限制越来越严,促使各大汽车公司集中人力物力,组织和联合社会力量开发汽车车身粉末涂料涂装工艺。美国通用、福特和克莱斯勒三家大汽车公司于1993年携手设立了低污染涂料财团(LEPC)进行共同研究开发,呼吁世界上有实力的涂料制造厂和涂装机械制造厂联合开发平滑性、耐候性、耐酸雨性、鲜映性、保色性和粉末流动性等性能更好的丙烯酸系粉末涂料,开发涂膜的流平性更好的、且能薄膜化的小粒径粉末涂料,制造粒度分布幅度窄的小粒径粉末涂料用的粉碎机,开发使喷枪喷粉量均一的粉末定量供给装置,开发大喷粉量的杯式喷枪,等等。

在欧洲宝马汽车公司领先一步突破粉末罩光技术,与Herberts和PPG涂料公司,Dürr和Eisenmann涂装设备公司,金马、Gerick、Fanuc和AEG喷涂设备公司经4年多的联合攻关,于1996年建成第一条车身粉末罩光线,1997年2月调试完,正式投入运行,日产450台轿车车身,第二条粉末罩光线1998年初建成投产,所采用工艺是干法静电粉末喷涂技术。

奔驰、大众和沃尔沃等汽车公司在探索开发粉末浆罩光工艺(称为湿法)。粉末浆能得到与溶剂型同等的涂膜外观,且据说不要粉末涂装线的初期设备投资。有资料介绍,从现有的车身双组分罩光工艺转换成粉末浆罩光工艺,现涂装设备及喷涂机系统只需少量改造就可,而干粉末涂料罩光工艺,则几乎要彻底更新。因此,基于汽车厂涂装线的现状,可能采用粉末浆罩光工艺在经济上更有利。汽车车身粉末中涂涂装工艺在国外已较成熟。美国通用汽车公司在1992~1995年间建成多条皮卡车车身粉末中涂线,采用聚酯粉末作为中涂,环氧聚酯粉末作为抗崩裂涂层,丙烯酸粉末作为中、面合一涂层。为提高经济性,国外有些公司在探索粉末电泳倒置涂装工艺,即汽车车身外表面先涂粉末涂料,熔融后,未涂装部分进行电泳涂装,粉末电泳涂膜同时烘干,达到降低电泳涂料的用量和缩短烘干工序的目的。实现这一工艺方法的难题是粉末、电泳涂膜境界的防腐性,要确保这境界部的膜厚,需靠调整原材料和工艺条件来完善之。

随 21 世纪的地球环保要求，限制 VOC 排放将越来越严，可预测汽车车身的粉末涂装在 21 世纪会正式登场，且有大的发展。

6. 烘干技术

现今为保证汽车涂层的质量，新车生产线（OEM）用涂料几乎都属热固性合成树脂涂料（无论是溶剂型，还是水性或粉末涂料）。为适应大量流水生产，汽车涂装中涂膜固化都靠烘干来实现，以缩短固化时间，满足生产节奏的需要。因而汽车涂装车间在汽车工厂中是耗能大户，烘干工序又是涂装车间耗能最多的工序之一，另外也是产生 VOC、CO₂ 污染的公害源之一。因此节能、降低成本、环保和保证涂膜的固化质量也是当今涂膜固化工序及其烘干设备的革新课题。汽车涂装烘干技术发展趋势如下。

① 在保证涂膜质量和涂装效率的基础上，开发、选用低温烘干型涂料。

② 在经工艺试验认可和采用热固性涂料的基础上扩大“湿碰湿”（wet on wet）烘干工艺的应用范围，减少烘干工序。如当初“湿碰湿”工艺仅适用于同种热固性中涂或面漆，现今在国外已扩大到电泳底漆与水性中涂，中涂与面漆配套的“湿碰湿”烘干工艺。

③ 进一步优化烘干设备的设计，开发新结构，减少烘干室的散热面积和选用优质保温材料，减少热损失，提高热能的有效利用率。如以桥式和“Π”型烘干室、整体焊接密封结构的烘干室替代直通式和壁板拼装式烘干室。

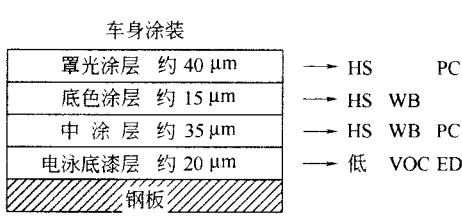


图 1-1 汽车涂膜的构成和消减 VOC 的方向

HS—高固体分涂料；WB—水性涂料；
PC—粉末涂料；ED—电泳涂料

固体分涂料属低 VOC 型涂料，基于它的施工性能及所需的施工条件与溶剂型涂料相同，原有的涂装线不需改造就可采用。与水性涂料、粉末涂料相比，其 VOC 排放量降得不彻底。21 世纪可能在汽车用本色面漆、罩光清漆、塑料件专用涂料和汽车修补用涂料等方面还有一定的前途。现今在开发采用水性涂料和粉末涂料时也努力要求它们的施工性能良好，尽可能地利用现有涂装设备及涂装条件，少投资。

上述三种涂料在汽车车身各涂层中应用状况如图 1-1 所示。据介绍水性中涂在西欧汽车工业现今已占 70%，水性底色漆占 40%。水性中涂和水性底色漆在西欧、北美的涂车数如图 1-2 所示；预测到 2005 年西欧、北美水性底色漆的涂车量约达 50%。作为用户汽车厂现今要求涂料制造公司开发的中涂、水性底色漆的目标是：

① 性能与溶剂型的中涂、底色漆等同；

④ 扩大高红外固化加热式、辐射与对流结合式和以天然气为热源的烟道气直接加热式等高效节能技术的应用。

⑤ 在以油或燃气为热源的场合采用同时能处理烘干室废气功能的焚烧炉，同时达到废气热能综合利用。

7. 汽车用涂料方面

在严格限制 VOC 排放量的环保要求促进下，汽车用涂料在近 10 年中已形成高固体分化、水性化和粉末化，替代了传统的有机溶剂型汽车涂料。高固

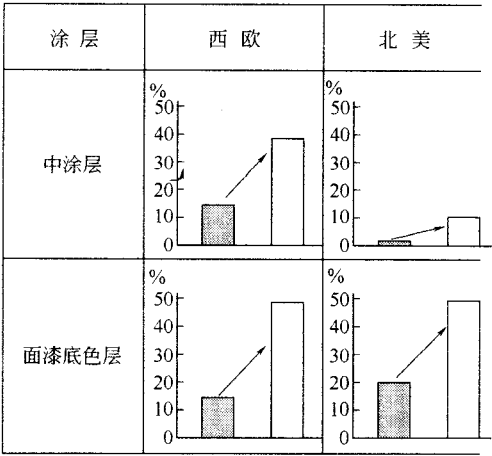


图 1-2 预测汽车用水性涂料的将来
注：1995~2005 年（台数比率）

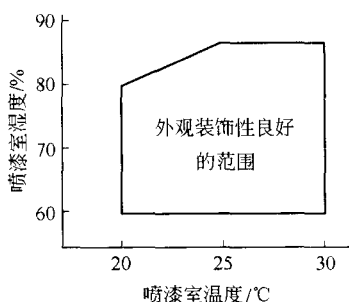


图 1-3 水性中涂的涂装
作业范围 (窗口)

喷涂固体分 61% (福特 4# 杯, 40s 条件下);
流挂界限: $50\mu\text{m}$; 气泡界限: $60\mu\text{m}$

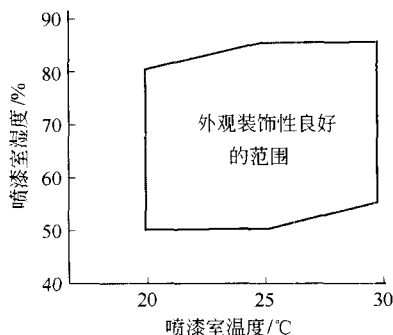


图 1-4 水性底色漆的涂装作业范围 (窗口)
喷涂固体分 25%

- ② 涂装作业性的范围 (窗口) 应尽可能宽 (如图 1-3、图 1-4 所示);
- ③ VOC 含有量应尽可能少;
- ④ 价格要尽可能便宜。

水性罩光漆在德国 Opel 公司一条线上已采用, 远景来看正处于与高固体分双组分罩光漆和粉末罩光漆工艺竞赛中。

8. 涂装管理方面

管理往往不被人们重视。实际上在公司间的竞争中工程管理和技术管理是最重要的。即使采用同样的工艺、同样的设备、同样的原料或技术, 由于管理方面的差别, 则在产品质量、运行成本、生产率等方面产生较大的差别, 由于管理不善, 而造成质量差、返修率高、能源和材料消耗大, 致使经济效益低。

涂装生产线的自动化和现代化程度越高, 越要由高素质的人员来加强工程管理和技术管理, 才能实现低或无公害、高质量低成本, 才能达到应有的经济效益, 不断提高产品的市场竞争力, 适应客户的要求, 适应激烈的市场竞争的需要。

标准是产品质量和工作质量的基础, 无标准就不能保证地区、公司范围内产品质量统一和稳定。因此强化标准及其管理工作是保证质量信誉的重要手段。

由于汽车工业实际上已成为全球性的工业, 国际上大的汽车公司都在致力于本公司的工艺、材料和设备标准化, 致力于推动汽车涂装工程管理的全球化和地区化。

涂装车间的生产管理和现场管理也十分重要, 必须要有健全的管理制度, 才能保证高的合格率, 优质高产低成本。现代化涂装车间的现场管理中最突出的是环境清洁卫生的管理, 因为尘埃是装饰性涂装的大敌, 在不清洁的环境下是涂装不出优质高装饰性的涂层的。德国大众汽车公司车间的标语是“有序+清洁=质量”。汽车涂装的技术管理中必须树立无缺陷的质量观念, 加强工艺管理, 严格工艺纪律, 确保一次涂装合格, 转变不合格可返修的观念。装饰性涂层返修像新衣服上打补丁, 越修质量越差, 涂装成本越高。

因所收集资料、篇幅和水平所限对 21 世纪汽车涂装仅作简要论述展望, 不当之处, 请同行们指正探讨。

第二节 21 世纪汽车涂料的发展趋势

汽车涂料系指各种类型汽车、摩托车、农用车等生产线用的涂料和汽车修补用涂料, 广义上还可包括自行车、拖拉机及农机和铁路交通车辆等用的涂料。由于其用最大、品种多、涂层性能

要求高和涂装施工要求特殊，汽车涂料在工业用涂料中早已成为一种专用涂料。在汽车工业发达的国家（如日本），汽车涂料的产量占涂料总产量的 20% 左右，按产值计算更高，美国约为 10%。汽车涂料的产值高且能带动工业用涂料的进步，是世界各国涂料工业关注的产品，在技术开发中占主导地位。

本节主要介绍汽车涂料的现状、发展趋势和面向 21 世纪的建议，供同行决策参考。

1. 国内外汽车涂料的现状

从汽车诞生至今已有 100 多年的历史。随涂层质量要求的不断提高、产量的增加、涂装技术和合成化学工业的进步、使用环境和环保要求的变化，世界汽车用涂料在近百年中已实现了四次大的更新换代。

油性漆→硝基漆（汽车喷漆）→以醇酸和酚醛为主的合成树脂涂料→电泳涂料和优质合成树脂（环氧、氨基醇酸、丙烯酸、聚酯、聚氨酯等）涂料→环保型（即低 VOC）涂料等。

随着环保法规的颁布和世界汽车市场的竞争越来越激烈，在近一二十年中，国外汽车公司投入大量资金改造和新建涂装线，协同涂料公司（或涂料公司超前）开发了很多优质的、环保型汽车涂料新品种。欧美国家的环保法规严格，促使涂料公司将开发有机挥发物（VOC）含量低的环保型汽车涂料作为优先的课题，使新建的车身涂装线不仅保证涂层质量不低于传统的有机溶剂型涂层，而且使涂装车间的 VOC 排放量达到环保法规的要求（车身每平方米被涂面积的 VOC 排放量应低于 35g/m²——德国 1995 年的大气净化法规）。实现了如表 1-1 所示的现今普遍认为符合环保要求的汽车车身的涂装工艺。

表 1-1 汽车车身的最新的涂层配套涂装工艺

涂 层	涂 料 类 型	涂 装 工 艺	各种配套涂层的溶剂(VOC)释放量对比
底漆层	环氧系阴极电泳涂料	阴极电泳涂装法	1. 传统涂料(即底漆为阴极电泳、中涂、面漆层为有机溶剂型、自动静电喷涂法涂装)——VOC 释放量为 76g/m ² 以上
中间涂层	聚氨酯水性中涂或粉末中涂	自动静电喷涂	
面漆底色层	水性丙烯酸底色漆	水性静电喷涂	2. 水性涂料各层,仅罩光仍用传统的有机溶剂型清漆——VOC 释放量为 36g/m ²
罩光清漆层	丙烯酸系粉末罩光清漆或水性罩光清漆	自动静电喷涂	
			3. 从底到面均用水性涂料——VOC 释放量为 27g/m ²
			4. 水性涂料各层,仅罩光用粉末清漆——VOC 释放量为 20g/m ²

例如通用汽车公司在德国的欧宝公司经 10 多年的努力，于 1992 年从底漆到面漆全部实现了水性化，并采用高涂着效率的自动静电涂装法，使该厂的轿车车身涂装的 VOC 排放量达到 35g/m²。又如德国宝马汽车公司在 Dingolfing 厂于 1997 年初建成投产了第一条车身粉末罩光线，又于 1998 年初建成第二条线，日产量可达 1000 辆。其涂装工艺为：经前处理磷化和阴极电泳后，在 180℃ 下烘干，然后喷涂水性中涂（其烘干温度为 160℃），再喷涂水性底色漆，借助 70℃ 的热风吹干 5min，随后当车身温度再次冷却到 25℃ 时，在水性底色漆上喷涂酸固化的丙烯酸粉末罩光涂料，这就是“干碰湿”工艺。粉末罩光与水性底色漆层一起在 140℃（工件温度）下固化 30min。粉末罩光层的缺陷可用双组分涂料修补。

在美国已有多条车身涂装线中涂采用粉末涂料。如通用汽车公司 20 世纪 90 年代初在 Shreveport, Linden 和 Moraine 三个工厂又建了 6 条皮卡车粉末中涂喷涂线。日本汽车涂装在 80 年代为赶超欧美车在提高涂层质量方面（外观装饰性、耐久性、耐酸雨性和抗划伤性等）做了大量工作，而在环保、开发采用低 VOC 型涂料方面没有像欧美那样重视，近几年来才开始将环保要求列为汽车涂料需求的首位。

我国汽车工业起步于 20 世纪 50 年代,在 1956 年 7 月第一辆“解放”牌汽车下线之前我国只有汽车修配业,所用涂料是以汽车喷漆为主的修补涂料。在一汽建设过程中,当时化工部从前苏联引进了成套汽车用涂料的制造技术,由天津永明漆厂按引进技术为一汽配套生产了醇酸树脂底漆和面漆,硝基漆和沥青漆三个体系组成的载重汽车用涂料。60~70 年代化工部又组织开发了出口卡车用高氨基磁漆和“红旗”轿车用的成套涂料。到 80 年代初北京、沈阳油漆厂从奥地利和日本引进了阴极电泳漆与聚酯中涂、高氨基面漆配套的汽车涂料投产应用。与此同时国内自己开发成功的快干型合成树脂涂料替代了汽车底盘和车下部件用硝基漆和沥青漆,常州涂料研究院和天津油漆厂等开发的阴极电泳涂料在卡车和农用车领域,由于价位低,性能也不比进口产品逊色,具有较强的竞争力,占有一定的市场份额。我国汽车用涂料全面实现了更新换代。

80 年代末随我国轿车工业的兴起,并走合资化道路,轿车用涂料的市场吸引着国外众多的汽车涂料厂商。国际几大汽车涂料生产厂家纷纷在华合资、独资设厂或转让技术,现今我国轿车涂料市场几乎全部被这些厂家占领,所用制漆材料几乎全部进口,使我国汽车涂料和涂层质量又上了一个档次,接近国际水平。

至今我国用轿车涂料还是国外 20 世纪 80 年代传统的由阴极电泳底漆和有机溶剂型中涂、面漆配套的三涂层体系涂料。本色面漆是用高氨基醇酸面漆,高固体分型占一定比例。闪光色面漆采用底色漆加罩光清漆工艺,属丙烯酸树脂系列。车身底板下表面和所有缝隙处涂布 PVC 涂料,以提高车身的密封性、耐腐蚀性和抗石击性,每辆车的用量较大。

中、轻、重型卡车和微型车车身(驾驶室及覆盖件)基本是采用两涂层体系(即阴极电泳底漆加“湿碰湿”两道面漆工艺),所用面漆为 80 年代引进和自己开发的高氨基醇酸本色面漆。微型车车身为适应市场的需要喷涂金属闪光色丙烯酸面漆较多。农用车所用涂料及涂装工艺受产品价位的影响比卡车和微型汽车用涂料低 1~2 个档次,因此涂层质量也差,现随市场竞争的需要,也开始新建和改造涂装线,采用阴极电泳涂料和烘漆工艺。汽车和摩托车的塑料件涂装也是采用有机溶剂型涂料。

上述三涂层和两涂层涂装体系还是以传统的有机溶剂型涂料为主,再加上涂着效率不高,因而 VOC 排放量超过 $120\text{g}/\text{m}^2$ 。低 VOC 环保型涂料在国产汽车涂料所占比重还很少,水性涂料除电泳涂料外几乎尚未采用,有几条线采用水性浸涂涂料,所含有机溶剂量还较多,喷涂用的快干水性防腐涂料(喷涂底盘用)已得到采用。在欧美汽车工业中已普遍采用的水性中涂和水性底色漆,尚未引进来,国内尚处在实验室开发阶段。粉末涂料也仅在汽车零部件涂装中用一点。

汽车修补用涂料在过去不被人们重视,修补要求也不高,用汽车喷漆、醇酸漆或生产用面漆加点固化剂应付一下,不成体系。随着进口和国产轿车的增多,汽车的保有量增大,同时为适应文明环境的需要,对汽车修补用涂料的质量、品种、色调的要求应与新车用涂料相接近,可是国产涂料未能跟上这一需求。我国中高级轿车修补用涂料在 20 世纪 90 年代时被国外产品占领,国内生产几乎是空白,且价格奇高。汽车修理厂普遍要求采用无苯修补涂料。

1998 年我国汽车产量为 162.7829 万辆,摩托车产量已超过 1000 万辆,农用车产量为 293.1183 万辆(其中四轮车为 46.9414 万辆),汽车保有量约 1500 万辆(不含农用运输车),汽车涂料用量约 10 万吨左右(含修补用涂料),约占我国涂料总产量的 6% 左右。

2. 汽车涂料的发展趋势

21 世纪的汽车涂装的开发方向如下:①保护地球环境;②提高涂装的经济性;③靠涂装提高产品附加价格等。

日本关西和立邦两涂料公司是日本生产全套汽车涂料的两大厂家,都具有较强技术开发实力。他们对汽车涂料及涂装的发展方向作了如图 1-5 和表 1-2 所展示的那样描述。