

轨道车辆装备制造制造工艺系列

第2版

# 铝合金车体 焊接工艺

王炎金 主编



轨道车辆装备制造工艺系列

# 铝合金车体焊接工艺

第2版

王炎金 主编



机械工业出版社

本书由六篇 32 章构成。第一篇是铝合金车体制造技术基础,主要叙述铝合金车体生产过程中的专业技术基础;第二篇是铝合金焊接质量体系和检验控制,主要介绍了铝合金车体焊接质量体系应该完成的工作、工作规则以及焊接质量检测和控制在的方法;第三篇是铝合金车体制造模式,详细介绍了轨道装备制造企业中,世界各主要公司的铝合金车体生产模式,从各种模式的比较中,可以清楚地了解到世界上铝合金车体制造技术的发展情况;第四篇是工装夹具设计,通过对铝合金车体制造过程所需要的工装夹具的介绍,使读者详细了解工装夹具的设计原则和方法;第五篇是焊接培训,详细介绍了焊接培训的各种技巧和培训内容;第六篇是焊接环境保护,目的是让操作者和企业管理者意识到铝合金焊接烟尘对人体健康的危害,了解保护人体健康的方法和必要性。

本书可供工程技术人员、在校大学生、职业技术学院学生和企业管理者使用,特别适合铁路设备制造工厂从事焊接的技术人员使用。

未经作者本人和机械工业出版社共同许可,任何机构和个人不可以任何形式复制(包括电子化处理)、传播本书。

### 图书在版编目(CIP)数据

铝合金车体焊接工艺/王炎金主编. —2 版. —北京:  
机械工业出版社, 2011. 6  
(轨道车辆装备制造工艺系列)  
ISBN 978-7-111-34258-8

I. ①铝… II. ①王… III. ①轨道车—铝合金—  
车体—焊接工艺 IV. ①U216. 61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 073365 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑:吕德齐 责任编辑:吕德齐 版式设计:张世琴  
责任校对:肖琳 封面设计:姚毅 责任印制:乔宇  
北京铭成印刷有限公司印刷  
2011 年 7 月第 2 版第 1 次印刷  
184mm×260mm·17.5 印张·432 千字  
0001—4000 册  
标准书号:ISBN 978-7-111-34258-8  
定价:46.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务 策划编辑:(010)88379772  
社服务中心:(010)88361066 网络服务  
销售一部:(010)68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>  
销售二部:(010)88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>  
读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 序

实践是人类认识世界的源泉，理论往往是实践经验的总结，并通过实践来实现社会效益。因此实践经验无论是成功的还是失败的都是很宝贵的，通过实践证明是成功的经验更加宝贵。

中国北车集团长春轨道客车股份公司组织编写的《铝合金车体焊接工艺》，就是多年制造铝合金车辆的实践经验的总结，总结了在生产实践中发现的各种问题，以及在实践中逐一解决这些问题的有效措施。难能可贵！

我国每年出版许许多多的科技书籍，但是直接来自企业编写的书并不多见。希望通过这本书的出版能带动更多生产第一线的工程师、技师参与编写总结实际生产经验的书，繁荣我国科技图书的市场。

当今，保持人类生存与发展的环境问题是世界各国共同面临的巨大挑战。其中减少温室气体排放是重中之重，而节能减排是主要的措施。轻金属的扩大应用是 21 世纪的必然，铝及铝合金不仅在航空航天器，而且在汽车、轨道交通车辆、船舶以及金属结构等领域也将不断增加其应用的比重。《铝合金车体焊接工艺》一书以铝合金车体的焊接制造为中心，全面介绍了铝合金车体制造中的结构设计工艺性、焊接工艺特点与加工技术、焊工的培训步骤、车体的制造模式、质量控制与检验、焊接环境与职业健康等有关问题。不但为轨道交通车辆的制造全面总结了一套成熟的技术，而且也为其他行业提供了可以借鉴的经验。

改革开放 30 多年来，我国已经发展成为世界最大的焊接大国，希望到 2020 年我国能成为世界焊接强国。在这个过程中，科学地总结经验和不断地技术创新是非常重要的。

中国工程院院士



# 前 言

铁路是国民经济的命脉，铁路运输事业的不断发展，给轨道交通运输车辆提出了越来越高的要求，轻量化和高速化已成为现代化铁道车辆运输的重要标志，要做到轻量、高速，最好的办法就是减轻车体自重，大力发展铝合金车辆。采用铝合金车体是铁路运输事业和城市轨道车辆发展的必然趋势。

我国开发铝合金车体的起步比较晚，1989年长春轨道客车股份公司开发了首辆铝合金地铁车体，1996年首次用进口大型铝型材开发了“中华之星”号铝合金车体，2001年长春轨道客车股份公司建成了国内第一条铝合金车体自动化生产线，并利用国产铝型材先后开发研制了国内第一列广州二号线地铁车辆、深圳一号线地铁车辆、长白山号动车组、武汉轻轨车辆和重庆单轨车辆。这些产品对推动中国铝合金车体制造技术和引导车辆消费市场起到了巨大推动作用。目前铝合金车体高速动车组已经大量运营在我国的各条铁路干线上，为缓解我国铁路运营压力起到了决定作用。由于铁路制造技术发展异常迅速，相关科研、教学资料明显滞后，没有一本系统的制造技术书可以借鉴，为此中国北车集团组织北车相关单位编写了一套《轨道车辆装备制造工艺系列》丛书，全面反映和介绍铁路车辆制造技术的发展，为人才培养、技术进步做好基础工作。

本书为铝合金车体焊接工艺部分，由中国北车集团奚国华、王炎金组织编写，本书从铝合金材料、设备、焊接工艺、加工工艺、车辆制造工艺、质量控制、人员培训、环境保护与健康、工装夹具设计等方面全面介绍了铝合金车体生产所涉及的相关技术，是一本内容新、实用性高的高水平的专著，是理论和实践的高度总结。本书可以作为在校大学生、企业工程师、技术管理者、焊接培训机构、职业技术学院的参考用书。

本书第一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十四、十五、十七、二十、二十一、二十八、二十九、三十章由长春轨道客车股份公司王炎金编写，第十二章由北京航空制造工程研究所栾国红和长春工业大学宫文彪编写，第十三章由哈尔滨焊接研究所激光加工技术中心王旭友、雷振、王威编写，第二十二、二十三、二十四、二十五章由长春轨道客车股份公司王俊玖编写，第十八章由长春轨道客车股份有限公司丁国华编写，第十九章由南京浦镇车辆厂汪之平编写，第二十六、二十七由长春轨道客车股份有限公司夏长青编写，第十六章由长春轨道客车股份有限公司梁继业编写，第三十一、三十二章由长沙凯天环保科技股份有限公司徐文汉、胡天明编写。

全书由中国北车集团公司总裁奚国华审核并提出修改意见，中国工程院院士林尚杨作序并给予指导。

铝合金车体制造技术发展很快，内容也很丰富，但是限于作者的水平，书中不妥之处在所难免，真诚希望使用本书的同志批评指正。

作 者

# 目 录

## 序 前言

## 第一篇 铝合金车体制造工艺基础

<b>第一章 绪论</b> .....	1	<b>原因分析和控制</b> .....	42
第一节 铝合金车体的基本概念 .....	1	第一节 气孔 .....	42
第二节 铝合金车体的优点和在我国的 发展概况 .....	3	第二节 裂纹 .....	43
第三节 铝合金车体的典型结构和各 自优缺点 .....	6	第三节 夹渣 .....	44
<b>第二章 铝合金车体的设计工艺性   技术</b> .....	8	第四节 根部未熔合和未焊透 .....	45
第一节 铝型材设计工艺性技术 .....	8	第五节 错边 .....	45
第二节 铝合金车体结构设计精细化 技术 .....	10	第六节 根部间隙 .....	46
第三节 铝合金车体结构设计标准化 技术 .....	14	第七节 咬边 .....	46
第四节 接头设计和接头准备 .....	16	第八节 焊缝余高和宽度过大 .....	46
<b>第三章 铝及铝合金材料</b> .....	17	第九节 焊接背透和凸度过大 .....	47
第一节 铝及铝合金材料的应用领域 .....	17	<b>第八章 铝及铝合金焊接变形和调修   技术</b> .....	48
第二节 铝及铝合金材料的物理特性 .....	17	第一节 焊接变形产生的原因 .....	48
第三节 铝及铝合金材料的分类 .....	18	第二节 焊接变形的影响因素和解决 措施 .....	49
第四节 铝及铝合金材料的焊接特性 .....	20	第三节 焊接变形的调修方法 .....	50
<b>第四章 铝及铝合金焊接材料</b> .....	23	<b>第九章 铝及铝合金 MIG 焊设备和   工艺</b> .....	52
第一节 焊接保护气体 .....	23	第一节 MIG 焊工艺的定义 .....	52
第二节 焊接填充材料 .....	25	第二节 MIG 焊设备 .....	52
<b>第五章 铝及铝合金焊接打磨工艺</b> .....	30	第三节 MIG 焊电弧形式 .....	55
第一节 焊前清理 .....	30	第四节 铝合金 MIG 焊的引弧、收弧和 焊接过程 .....	57
第二节 焊缝修理 .....	32	第五节 MIG 焊的坡口设计 .....	58
第三节 焊缝磨平 .....	34	第六节 手工 MIG 焊焊接参数参考值 .....	59
第四节 化学清洗 .....	35	<b>第十章 铝合金车体自动 MIG 焊   技术</b> .....	61
<b>第六章 铝及铝合金加热处理工艺</b> .....	37	第一节 铝合金车体自动焊接技术在铁路车辆 行业的发展概况 .....	61
第一节 焊前预热 .....	37	第二节 铝合金车体自动焊的方法 .....	61
第二节 焊后火焰调修 .....	40	第三节 铝合金车体自动焊实施的关键 要点 .....	63
第三节 焊后热处理 .....	41		
<b>第七章 铝及铝合金常见焊接缺陷、</b>			

第四节 铝合金车体自动焊常见故障和 处理办法 .....	65	第七节 铝及铝合金激光-MIG 复合热源 焊接技术的应用 .....	113
<b>第十一章 铝及铝合金 TIG 焊设备和     工艺 .....</b>	<b>68</b>	第八节 激光安全防护 .....	115
第一节 TIG 焊工艺的定义 .....	68	<b>第十四章 铝及铝合金电阻点焊技术 .....</b>	<b>116</b>
第二节 TIG 焊电源的种类 .....	68	第一节 铝合金电阻点焊的工艺特点 .....	116
第三节 TIG 焊设备的构成 .....	69	第二节 焊接参数设置的基本原理和 步骤 .....	116
第四节 TIG 焊操作 .....	71	第三节 焊接操作步骤 .....	118
第五节 TIG 脉冲焊接 .....	71	第四节 焊接过程的监控 .....	124
第六节 铝及铝合金 TIG 焊工艺 .....	72	第五节 焊接设备常见的故障和 处理方法 .....	127
<b>第十二章 铝及铝合金搅拌摩擦焊     技术 .....</b>	<b>74</b>	第六节 实际焊接过程的操作指南 (手工操作) .....	128
第一节 搅拌摩擦焊发展概述 .....	74	<b>第十五章 铝及铝合金火焰钎焊     技术 .....</b>	<b>129</b>
第二节 搅拌摩擦焊原理 .....	76	第一节 基本概念 .....	129
第三节 搅拌摩擦焊术语定义 .....	76	第二节 铝及铝合金火焰钎焊工艺特点 .....	129
第四节 搅拌摩擦焊技术特点 .....	78	第三节 钎焊铝合金结构工装要求 .....	130
第五节 搅拌摩擦焊参数 .....	79	第四节 铝钎焊接头力学性能、清洗和 检验要求 .....	130
第六节 搅拌摩擦焊设备 .....	81	<b>第十六章 铝及铝合金冲压技术 .....</b>	<b>132</b>
第七节 搅拌摩擦焊在列车制造领域的 应用 .....	84	第一节 冲压下料技术 .....	132
<b>第十三章 铝及铝合金激光-电弧     复合热源焊接技术 .....</b>	<b>93</b>	第二节 弯曲成形技术 .....	132
第一节 概述 .....	93	第三节 蒙皮成形技术 .....	134
第二节 激光-MIG 复合热源焊接设备 .....	94	第四节 成形工件调形技术 .....	134
第三节 激光与电弧的相互作用机理 .....	100	<b>第十七章 铝及铝合金机加工技术 .....</b>	<b>135</b>
第四节 激光-MIG 复合热源焊接工艺 .....	103	第一节 铝型材及车体小部件机加工 技术 .....	135
第五节 铝及铝合金激光-MIG 复合热源 焊接接头冶金性能 .....	109	第二节 铝合金车体大部件机加工技术 .....	136
第六节 铝及铝合金激光-MIG 复合热源 焊接常见的缺陷及原因 .....	111		

## 第二篇 铝合金焊接质量体系及检验控制

<b>第十八章 铝合金车体焊接工艺评定的     原则 .....</b>	<b>138</b>	<b>第二十章 铝及铝合金产品的焊缝     质量检验 .....</b>	<b>156</b>
第一节 工艺评定的目的 .....	138	第一节 外观检验 .....	156
第二节 工艺评定内容的制定流程 .....	138	第二节 焊缝掰开试验 .....	157
第三节 轨道车辆铝合金车体焊接 工艺评定内容 .....	142	第三节 宏观断口检测试验 .....	157
<b>第十九章 铝及铝合金焊接工作试件的     制定原则 .....</b>	<b>146</b>	第四节 焊缝 X 射线探伤 .....	159
第一节 工作试件的制作目的 .....	146	第五节 焊缝超声波探伤 .....	160
第二节 工作试件的应用对象和方法 .....	146	第六节 接头力学性能试验 .....	160
		第七节 渗漏试验 .....	160
		第八节 金相检验 .....	161

第九节 腐蚀试验 .....	161	第一节 尺寸检验 .....	162
第十节 硬度试验 .....	161	第二节 轮廓检验 .....	162
第二十一章 产品形位公差检验 .....	162	第三节 形位公差等综合检验 .....	162

### 第三篇 铝合金车体制造工艺模式

第二十二章 侧墙制造工艺模式 .....	164	第一节 尺寸检验 .....	162
第一节 模块化侧墙制造工艺模式 .....	164	第二节 轮廓检验 .....	162
第二节 开式型材侧墙制造工艺模式 .....	166	第三节 形位公差等综合检验 .....	162
第三节 闭式型材侧墙制造工艺模式 .....	168	第二十四章 底架制造工艺模式 .....	182
第二十三章 车顶制造工艺模式 .....	172	第一节 城市轨道交通车辆底架制造工艺模式 .....	182
第一节 板梁结构车顶制造工艺模式 .....	172	第二节 高速车底架制造工艺模式 .....	197
第二节 带有内嵌式空调机组座的车顶制造模式 .....	173	第二十五章 铝合金车体总组成工艺模式 .....	201
第三节 圆顶车顶制造模式 .....	179		

### 第四篇 铝合金车体工装设计

第二十六章 铝合金车体小部件工装设计 .....	205	第一节 通用工装设计理念 .....	209
第一节 可翻转工装设计方法 .....	205	第二节 工装整体翻转设计理念 .....	209
第二节 多点过定位设计方法 .....	207	第三节 在工装中设置工件挠度和焊接反变形方法 .....	210
第三节 快速压紧设计方法 .....	207	第四节 大型工装设计实例 .....	211
第二十七章 铝合金车体大部件工装设计 .....	209		

### 第五篇 焊接培训

第二十八章 铝及铝合金焊工培训内容 .....	215	第九节 横焊位置的多道角焊缝和对接焊缝 .....	237
第一节 焊接基本概念培训 .....	215	第十节 向上立焊的多道角焊缝和对接焊缝 .....	238
第二节 焊接基本技能培训 .....	217	第十一节 仰焊位置的多道角焊缝和对接焊缝 .....	239
第三节 铝合金焊工能力培训和考证规定 .....	218	第十二节 铝合金管水平固定位置的多道焊接 .....	240
第四节 组合内容培训 .....	218	第三十章 TIG 焊焊工培训步骤 .....	242
第五节 工艺评定内容培训 .....	220	第一节 TIG 焊接设备使用训练 .....	242
第二十九章 MIG 焊焊工培训步骤 .....	222	第二节 建立电弧, 形成熔池 .....	242
第一节 MIG 焊设备使用训练 .....	222	第三节 铝合金板的平焊堆焊 .....	243
第二节 堆焊焊道基本功训练 .....	227	第四节 平焊位置的单道角焊 .....	246
第三节 打底焊道训练 .....	228	第五节 铝合金板平焊位置的单道对接焊 .....	249
第四节 平焊位置的单道角焊缝 .....	229	第六节 铝合金板平焊位置的多道角焊 .....	250
第五节 平焊位置的多道对接单面焊缝 .....	231		
第六节 平焊位置的多道角焊缝 .....	233		
第七节 铝合金管平焊位置的单道对接焊缝 .....	235		
第八节 铝板平焊位置的多道双面对接			



第七节	铝合金管单道焊和多道平焊	252	第十一节	仰焊位置多道角焊和对	
第八节	铝合金板多道对接平焊	253		接焊	257
第九节	横焊位置多焊道角焊和对接焊	255	第十二节	铝合金管水平固定位置多	
第十节	立焊位置多焊道角焊和对接焊	256		道焊	258

## 第六篇 铝及铝合金焊接职业健康与安全环保

第三十一章	铝及铝合金焊接的职业健康和		治理	265	
	烟尘危害	260	第一节	劳动保护方法	265
第一节	铝及铝合金焊接的职业健康安全		第二节	局部除尘治理方法	265
	要求	260	第三节	焊接烟尘的整体厂房治理	267
第二节	焊接烟尘的产生机理	261	第四节	工程实例——CRH3 高速列车焊接	
第三节	焊接烟尘的成分及危害	261		厂房除尘、除湿系统	270
第三十二章	铝合金焊接烟尘的				

# 第一篇 铝合金车体制造工艺基础

## 第一章 绪 论

### 第一节 铝合金车体的基本概念

#### 一、车体

铝合金车体是轨道交通车辆上的重要部件，一般来讲，轨道交通车体主要由以下几部分构成：底架、侧墙、端墙、车顶、车头五部分。车体的生产需要大型冲压设备、加工设备、焊接设备、光学检测设备及大型工装。车体的生产需要大量的人力和物力，是车辆制造商主要的生产部分。图 1-1 示意了车体的横向断面，图 1-2 示意了车头的铝合金结构，车头铝结构的生产技术复杂、生产周期长，是一个技术含量很高的产品。

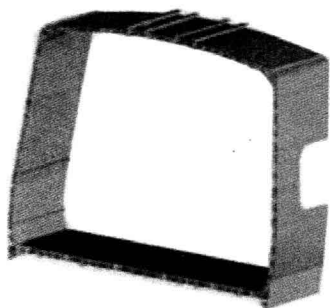


图 1-1 车体横断面示意图

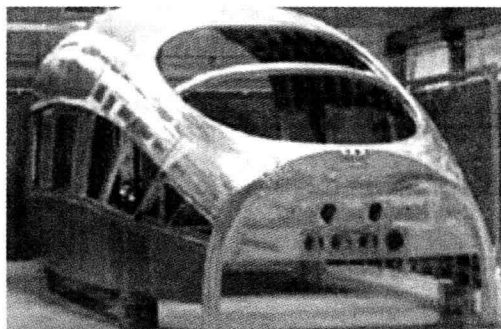


图 1-2 车体头部示意图

#### 二、转向架

转向架是车辆的走行部分，由轮对、构架、摇枕、牵引电动机、齿轮箱、制动盘等部件构成，是保证车辆安全运行的重要部件。车体和转向架连接后就构成了车辆运行的主体，图 1-3 是拖车转向架示意图，图 1-4 是动车转向架示意图，动车转向架带有牵引电动机部件。

#### 三、车载设备

主要指牵引系统、辅助供电系统、旅客信息系统、列车网络控制系统、制动系统、门系统、空调机、充电机、受电弓、车钩等部分。车体和转向架上安装的任何功能性装置都可称为车载设备。内装的墙板、行李架等设施一般不定义为车载设备。车辆各系统的定义在其他车辆专业的书籍上都有详细介绍。图 1-5 示意了牵引系统构成。图 1-6 示意了辅助供电系统的构成，图 1-7 示意了旅客信息系统的构成，图 1-8 示意了列车网络控制系统的构成，这里

通过对各系统的构成示意，使读者对列车构成有一个基本知识的概念和对车体的用途有一个基本的了解。

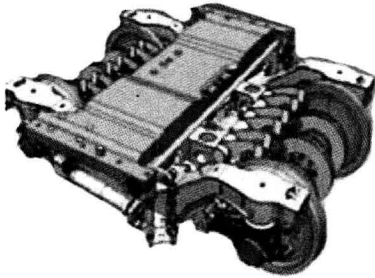


图 1-3 拖车转向架示意图

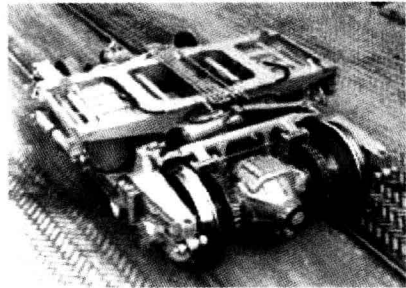


图 1-4 动车转向架示意图

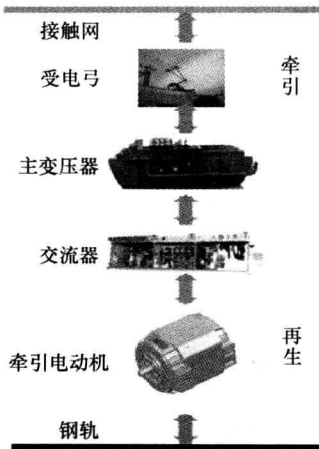


图 1-5 牵引系统构成示意图

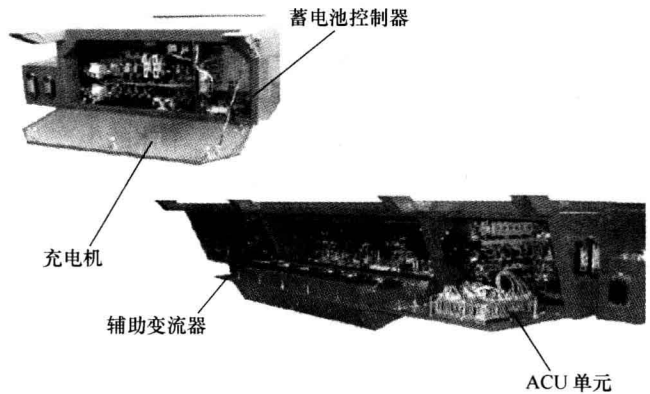


图 1-6 辅助供电系统构成示意图

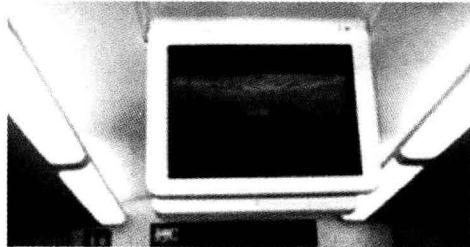
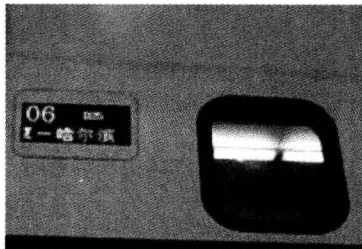


图 1-7 旅客信息系统构成示意图

#### 四、车内装饰

车内装饰主要指墙板、地板、行李架等部件，是车辆厂系统集成的主要工作内容，关系到车辆运行过程中的舒适性、产品的档次等相关问题。图 1-9 示意了车内装饰的相关内容。

在以上车辆部件构成中，车体设计、制造涉及车辆安全、车辆档次、运行速度、环境保护等相关因素，因此如何设计、制造好车体是车辆生产重要的核心技术。

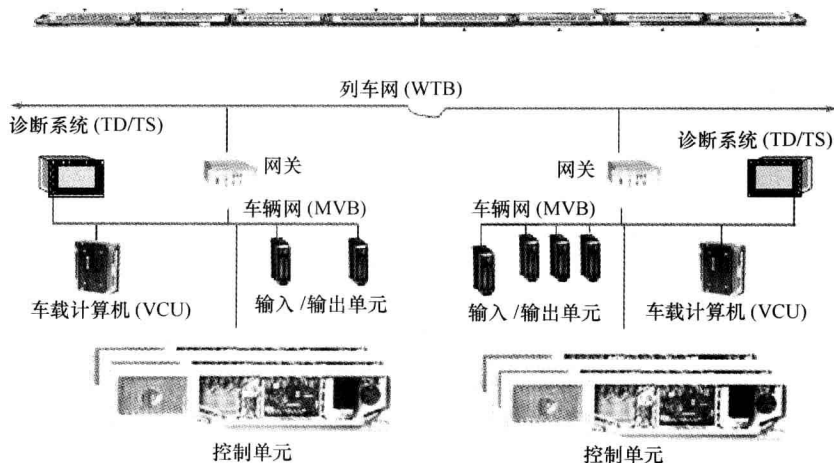


图 1-8 列车网络控制系统构成示意图

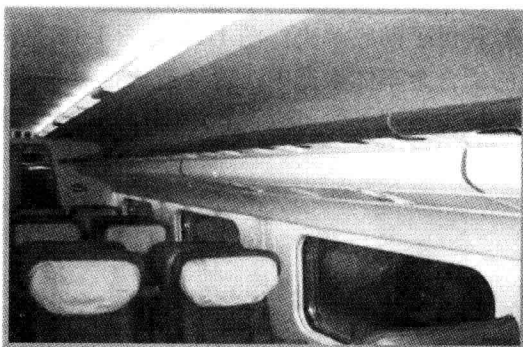


图 1-9 车内装饰工作内容示意图

## 第二节 铝合金车体的优点和在我国的发展概况

车体设计一般选用三种材料作为车体结构材料：碳钢材料、不锈钢材料、铝合金材料。碳钢材料制造的车体耐腐蚀性差，平整度和降噪效果均不理想，因此只能用作低端车辆的生产。

不锈钢材料制作车体，由于不锈钢导热性差，弧焊工艺制造困难，因此一般采用点焊工艺制造，但点焊工艺密封性差，因此不锈钢车辆只能用于城市轨道交通车辆和中等速度运行的铁路车辆上，最主要的应用对象为各城市使用的地铁和轻轨，在铁路车辆上，像瑞典摆式列车就是采用不锈钢材料进行制造。

铝合金材料制作的车体具有重量轻、耐腐蚀、外观平整度好、材料可以再生利用环保等优点而受到世界各城市交通公司和铁道

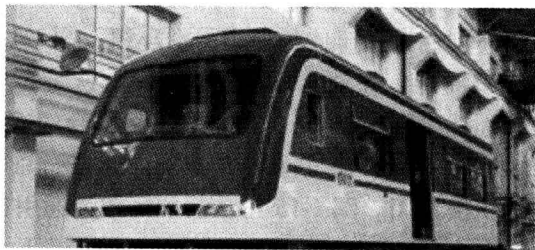


图 1-10 第一台板梁结构铝合金车体

运输部门的欢迎。铝合金车体在高速铁路车辆制造上具有其他材料不可替代的功能，因此铝合金车体的发展速度非常快。

目前，在欧洲城市轨道交通车辆市场，铝合金车体占据了70%的市场份额，在日本，不锈钢和铝合金城市轨道交通车辆各占据了50%的份额，而在高速铁路市场，铝合金车体几乎占据了世界95%以上的市场份额。

我国开发铝合金车体的起步比较晚，1989年，长春轨道客车股份公司参照日本模式开发了首辆铝合金地铁车体，目前该车体仍然在北京运行。由于该车体在设计上采用了板梁结构，制造工艺繁琐、平整度差、成本高而没有在市场上大面积推广使用。图1-10是我国1989年生产的第一台板梁结构铝合金车体DK19，运行于北京地铁线。

1996年，铁道部组织人力、物力开发ICE2型结构铝合金车体，采用德国进口材料，用简易自动焊接设备和自制机加工设备，成功制造出了中国第一台混合结构铝合金车体。该车体的制造成功，客观上促进了国内企业对车辆用铝合金型材的技术开发，经过8年的铝合金大型型材的基础产业研究，目前，在国内关键材料配套上已经实现国产化，为铝合金车体降低成本走向市场化提供了必要条件。铝型材国产化前期出现的“搓衣板”缺陷、熔合口断裂缺陷等致命质量问题已经获得了彻底解决。图1-11和图1-12是两种致命性的铝合金型材缺陷。这两种缺陷在初级的铝合金车体生产中，曾经造成批量车体的报废。目前经过技术的不断突破，这两种缺陷已经很少出现了，可以说，中国初期的基础技术探索，为今天铝合金车体技术的发展奠定了基础。



图 1-11 型材搓衣板缺陷

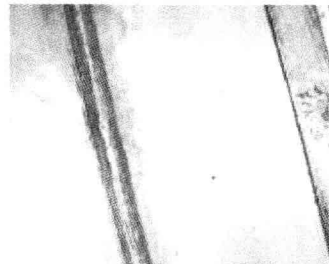


图 1-12 型材熔合口缺陷

2001年，长春轨道客车股份有限公司建成了国内第一条铝合金车体自动化焊接生产线，并利用国产材料，先后开发制造了210km/h铝合金车体电动车组、270km/h铝合金高速试验列车、武汉地铁、广州二号线地铁、深圳地铁、上海地铁、重庆单轨、天津地铁等铝合金车体。国内南京浦镇车辆厂、株洲电力车辆厂、唐山车辆厂等也相继建立生产线，开始生产铝合金车体，国内铝合金车体的发展和用户对铝合金产品的要求进入高潮期。图1-13为国内第一列铝合金车体长白山号动车组，图1-14为国内制造的第一列广州铝合金地铁列车。

2004年，在铁道部组织下，国内铁路客车制造商中国北车集团公司和中国南车集团公司分别从法国阿尔斯通、日本铁路联合、德国邦巴帝等公司引进200km/h动车组CRH5、CRH2和CRH1。这些动车组运行于京广、京哈等铁路干线，为缓解中国铁路运营压力问题，起到积极作用。图1-15为从法国阿尔斯通引进的CRH5铝合金车体动车组。

在成功引进200km/h动车组的前提下，铁道部又成功组织从德国西门子公司引进300km/h铝合金车体动车组CRH3，在京津线上创下中国运行383km/h的最高运行速度，

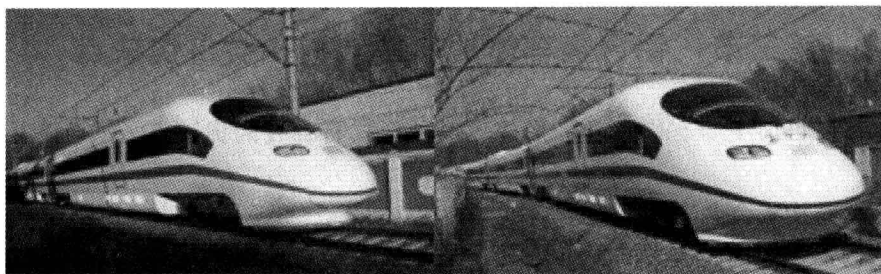


图 1-13 国内生产的第一台动车组示意图

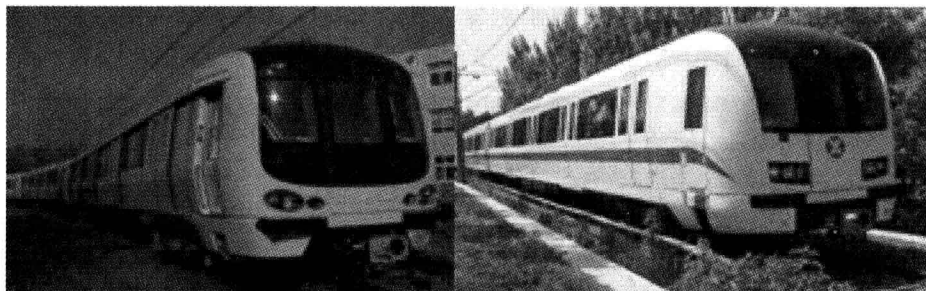


图 1-14 国内批量生产的第一列铝合金地铁示意图



图 1-15 从法国阿尔斯通引进的 CRH5  
铝合金车体示意图

CRH3 动车组是目前运行速度最高、设计最合理、稳定性最好的动车组，在该车技术平台上正逐步发展更高速度等级的动车组，图 1-16 为从德国西门子公司技术引进的 CRH3 铝合金车体动车组。

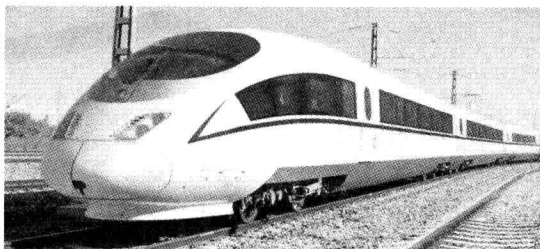


图 1-16 从德国西门子公司引进的 CRH3 铝合金车体示意图

### 第三节 铝合金车体的典型结构和各自优缺点

铝合金车体目前主要有以下几种形式，每种形式有各自的优缺点，适合在不同的领域应用。

#### 一、板梁结构铝合金车体

板梁结构铝合金车体最大的优点是能够保持车体重量最低，可以将车体重量降到4t左右，缺点是制造工艺繁琐，自动化程度低，车体平整度差，这种结构的铝合金车体在世界上仍有一部分市场。比如日本日立公司、德国邦巴帝公司仍采用该种结构制造城市轨道交通车辆。该种结构主要采用手工MIG焊工艺和电阻点焊工艺。图1-17为板梁结构铝合金车体示意图，该车体提供重庆单轨交通使用，目前有100余台的车体运营在重庆轨道线上。



图 1-17 板梁结构铝合金示意图

#### 二、型材结构铝合金车体

型材结构铝合金车体是目前普遍采用的铝合金车体结构，由于大量使用插口型材，便于自动化作业和提高效率，型材结构铝合金车体可获得较理想的外观平整度。图1-18为铝型材结构和铝合金车体示意图，该种形式的车体结构模式很多，但基本模式基本相同。

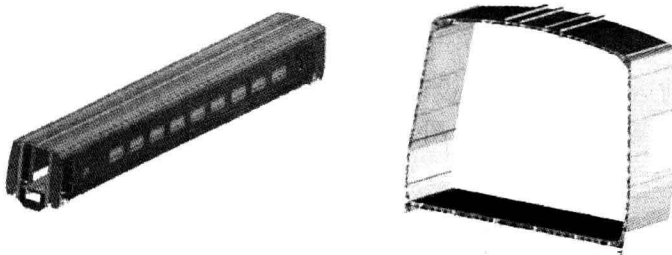


图 1-18 铝型材结构和铝合金车体示意图

#### 三、钢、铝混合结构铝合金车体

钢、铝混合结构铝合金车体在城市轨道交通上应用很多，主要形式是：车体结构中，只有牵引梁、枕梁、缓冲梁采用钢结构，其余全部采用铝结构。钢、铝结构之间采用铆钉铆接。

该种结构在大部件连接上仍然采用焊接，只是在底架和牵引梁、枕梁、缓冲梁上采用铆钉连接，牵引梁、枕梁、缓冲梁采用钢材，增加了底架合成的作业面积，降低了效率，但由于牵引梁、枕梁、缓冲梁和底架铆接，减少了底架焊接作业量，焊接变形会减少，在底架铝合金结构刚度不足的情况下，采用该结构具有一定好处。图 1-19 为钢、铝混合结构的铝合金车体底架，该车体主要用于上海地铁 6 号线、8 号线。

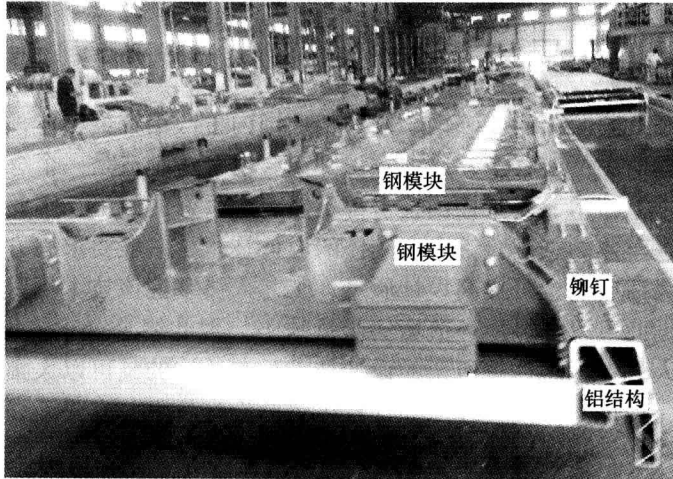


图 1-19 钢、铝混合结构的铝合金车体底架



## 第二章 铝合金车体的设计工艺性技术

### 第一节 铝型材设计工艺性技术

铝合金车体的制造完全不同于碳钢车体，初期国内生产铝合金车体，只是模仿国外的结构和工艺，但在具体的生产过程中，逐渐意识到铝合金车体制造是一个综合的复杂技术，单纯追求设计技术、工艺技术、质量控制技术都不能获得很好的效果，因此研究铝合金车体综合技术是制造铝合金车体的关键。铝合金车体的设计技术，一般要求三方面的技术人员均需要掌握：设计人员灵活应用，可提高设计质量；工艺人员掌握该技术可以做好图样工艺性审查工作；质量人员据此可以在最后环节堵住质量缺陷。因此铝合金车体设计技术可供设计、工艺、质量等技术人员参考。这里所说的设计技术重点关注的是可以大幅提高生产效率、保证质量的设计技术，其他车体设计技术如计算机辅助设计技术、有限元强度分析技术、强度试验技术等不在此介绍，需要在其他专业理论中学习。

铝合金车体结构主要由铝型材构成，型材断面的设计直接决定了焊接工作量、焊接质量、制造难度和焊接效率。在铝合金车体结构型材设计中，应遵循以下原则。

#### 一、在型材设计中，预留组对、加工基准线，方便后道工序加工

在型材设计中，预先将部件定位基准直接设计到型材上，如在地板中间型材上设计地板中心线、在侧墙型材上设计座椅安装线，节省了画线时间，同时统一了制造过程的基准线，效率高，质量容易保证。图 2-1 为在型材上设计的基准线，该基准线提供了组对基准和安装基准，无论车体制造进行到何工序，该基准线都会存在于结构中，供所有工序做画线参考。这种技术在西门子车体结构设计中广泛使用，易于保证车体制造质量。

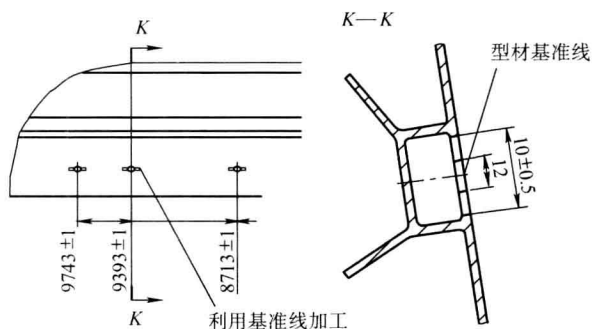


图 2-1 利用型材基准线加工座椅孔

#### 二、结构设计中，要尽量采用宽的型材横截面，减少型材焊接工作量

在产品设计中，设计者要清楚型材横断面尺寸最大可以做到 550mm 宽度，型材的断面尺寸过小，会导致焊缝数量、调修量增加，产品平度下降，造成人力、焊接材料的极大浪费，图 2-2 和图 2-3 是两种地板和车顶板组成工件均存在型材横向尺寸过小的问题，设计上要尽量避免，虽然设计者会考虑利用已有型材模具，以减少型材开模数量，但在实践中要灵活掌握。如果一个产品订单数量非常少，利用原有不合理结构形式是可行的，但产品批量大时，生产效率可能是主要矛盾，这时，结构合理性应该是首要考虑的目标。每多出一倍焊缝，通常生产效率会下降很多，设计者要在模具成本、生产成本上有一个清晰概念。