

轨道交通装备行业焊接技术标准体系构建 研究与实践

汤旭祥¹, 葛佳棋¹, 钟奎¹, 韩晓辉², 张志昌³

1. 中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司 江苏常州 213011

2. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司 山东青岛 266111

3. 中车眉山车辆有限公司 四川眉山 620032

摘要: 在分析轨道交通装备行业焊接技术标准应用现状的基础上, 论述了行业内焊接技术标准体系的建立和实践。对轨道车辆焊接生产相关的国内外标准进行了梳理归纳, 形成焊接技术标准体系构架并建立了标准文本数据库, 根据技术的发展和生产的需求, 明确了标准制修订清单。通过对体系的应用和实践, 不断提高焊接技术人员和焊接企业的水平, 提升轨道车辆产品的质量。

关键词: 轨道交通装备; 焊接; 标准体系; 研究与实践

Research and application on establishment of welding technology standard system in rail transportation

TANG Xuxiang¹, GE Jiaqi¹, ZHONG Kui¹, HAN Xiaohui², ZHANG Zhichang³

1. CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China

2. CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, Shandong, China

3. CRRC Meishan Co., Ltd., Meishan 620032, Sichuan, China

Abstract: Based on the analysis of the application status of welding technical standard in rail transportation industry, the establishment and practice of welding technical standard system were discussed. The main standards in domestic and abroad related to rail vehicle welding production were sorted out to provide a welding technical standard system framework and a standard text database. A list of standards to be developed or revised is clarified. Through the application of the welding technical standard system, the level of welding technicians and welding enterprises is constantly improved, and the quality of rail vehicle products is improved.

Keywords: railway transportation; welding; standard system; research and application

1 序言

焊接是轨道交通装备生产制造的重要连接工艺技术, 决定了车辆装备质量水平及其运行安全。作为一项特殊过程, 焊接从“人、机、料、法、环、测”等多方面影响轨道车辆的焊接质量。目前, 轨道车辆制造企业通常通过EN 15085《铁路应用-轨道车辆及其零部件的焊接》系列标准和ISO 3834《金

属材料熔化焊的质量要求》系列标准的体系认证, 来确保对焊接生产过程和焊接质量的控制。

然而, 我国轨道交通装备产品涵盖了“机、客、货、动”等各类轨道车辆, 技术要求、服役条件均存在差异, 因此焊接生产具有材料种类多、工艺种类繁多等特点, 且随着焊接技术和设备的发展, 激光焊、激光电弧复合焊、搅拌摩擦焊等先进

焊接方法在各轨道车辆制造企业间得到不同程度的应用。长期以来,各轨道车辆制造企业存在技术标准和工艺规范不统一的现象,影响了产品质量的一致性,同时也造成了研究资源的重复投入。

为了更好地规范我国轨道车辆焊接企业的设计生产和质量管理,促进工艺统一,不断提高轨道交通装备产品的质量,有必要构建并实践轨道交通装备行业焊接技术标准体系,对技术标准进行梳理,整理归纳焊接生产涉及的各方面标准,提出标准的制修订计划,逐步形成全面完整的焊接技术标准体系。

2 轨道交通装备行业焊接技术标准现状

目前,国际上较为主流的焊接标准体系,主要有ISO标准系列、EN标准系列、AWS标准系列和JIS标准系列,其中ISO系列和EN系列互换性较强,可认为是一个体系。这几大标准系列在焊接领域规定的对象和范围基本一致,主要可分为通用要求标准、焊接材料标准、工艺评定标准和焊接试验与检验标准。EN 15085系列标准是在欧盟国家通行的一套专门针对轨道交通装备及其零部件的焊接认证体系标准,目前该标准的认证在国内轨道交通装备行业也得到了广泛应用^[1, 2]。涉及轨道车辆及其部件焊接的企业,包括新造、维修、安装、采购及销售等,均需要进行该系列标准的认证。

在以熔化焊为主要工艺方法的轨道车辆焊接生产实际应用中,EN 15085焊接体系的运行以执行ISO 3834系列标准为基础,EN 15085中对焊接企业的分类等级也与ISO 3834中不同的质量要求分级一一对应,轨道车辆制造企业必须根据自身分类等级按照ISO 3834相应的要求建立焊接质量保证体系^[3]。

ISO 3834体系从9个方面的标准对焊接质量提出控制要求^[4],包括了人员资质、设备与场地、母材与焊接材料、焊接材料制造供应、焊接工艺规程与工艺评定、焊前焊中与焊后、环境健康与安全、焊接接头检验及评定验收,同时也规定了对用户要求、用户规程、产品标准等一系列输入要求进行分析消化,结合该9个方面的质量控制因素,输出符合用户要求的焊接产品^[5]。

在轨道交通装备及其零部件的焊接生产中,涉及电阻焊的情况,则应执行ISO 14554《金属材料

电阻焊的质量要求》系列标准,与熔化焊的情况一样,焊接企业需根据自身分类等级确定执行完整质量要求或是基本质量要求。

随着先进焊接技术在轨道交通装备行业应用的增加,越来越多的部件采用激光焊、激光电弧复合焊、搅拌摩擦焊及电子束焊等工艺方法进行焊接。这些先进焊接技术的标准化程度远不及熔化焊,其人员资质、工艺评定、工艺管控、检验验收等标准正处于制定完善的过程中。

3 轨道交通装备行业焊接技术标准体系的构建

3.1 焊接标准体系架构及文本库的建立

轨道交通装备焊接标准是指规范轨道车辆焊接生产的一系列标准,包括结构与接头的设计、焊接制造的各项生产要素等。我国轨道交通装备产品种类繁多,根据“机、客、货、动”,以及出口车等不同产品项目,生产制造过程中会涉及国际、欧盟、北美、日本、中国,以及铁路行业等各类焊接标准,不同的标准体系对于人员资质、原材料、工艺评定、过程管理和检测检验等要求均不尽相同,焊接企业在面对不同项目时需要着重进行要求评审,以确保在生产工作开始前,具备满足所有要求的能力。

基于轨道交通装备焊接生产多标准、多体系的现状,结合产品的结构设计等方面内容,通过在国内轨道车辆焊接企业的调研,确立轨道交通装备焊接技术标准体系架构,将围绕轨道车辆设计、焊接制造、试验与验证等方面的国内外标准进行整合,形成标准科学分类和管理的有机整体。按照类别,将焊接标准分为基础类、体系认证类、人员资质类、设计类、工艺类、材料类、生产制造类和检验试验类共8个类别,每个类别按照实际情况再进行细分,焊接技术标准体系架构如图1所示。按照类别收集整理当前轨道车辆焊接企业实际使用的所有焊接相关标准共477项,具体数量明细见表1,形成焊接标准文本库。

轨道交通装备行业焊接技术标准体系架构和标准文本库的作用主要体现在界定标准类别、层次和应用关系,促进标准的贯彻实施,方便轨道车辆焊接技术人员的查询和应用,同时可推动规划体系的持续性建设,使轨道交通装备行业清晰掌握已有标

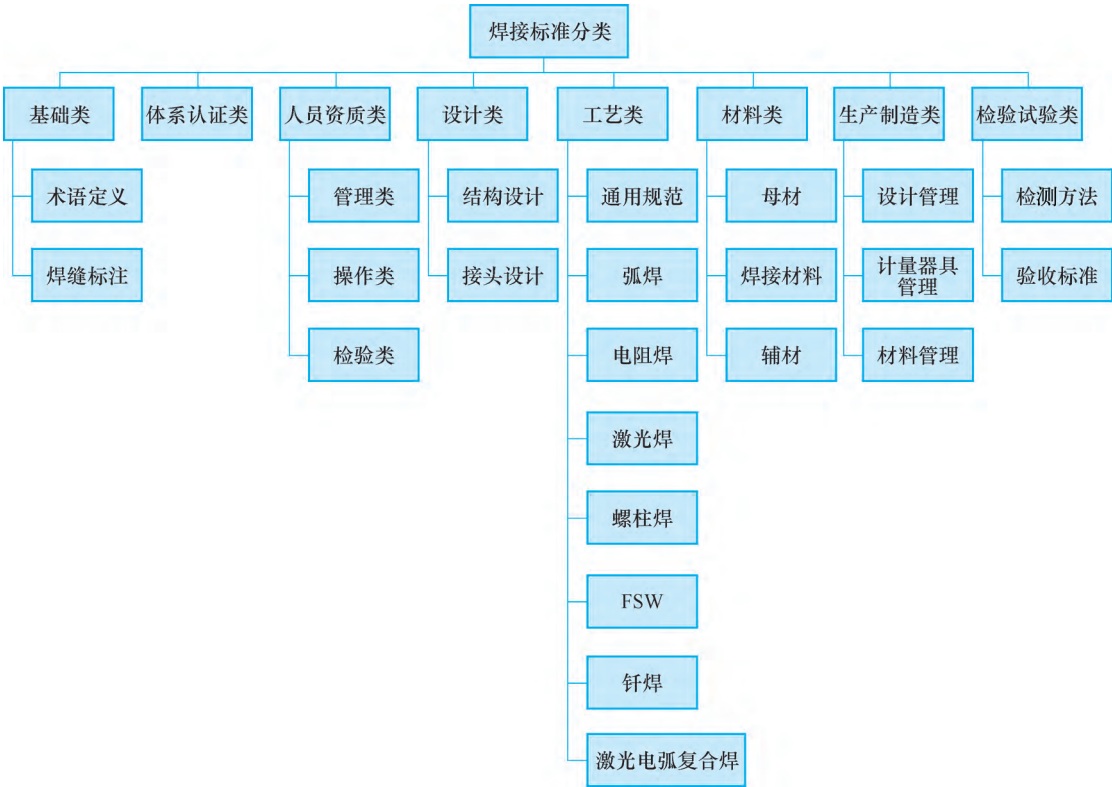


图1 焊接技术标准体系架构

准和待制订标准，便于规划和协调，促进整个体系架构不断完善。

表1 轨道交通焊接标准文本库标准数量明细 (项)

基础类	体系认证类	人员资质类	设计类	工艺类	材料类	生产制造类	检验试验类	合计
21	28	15	21	62	241	19	70	477

3.2 标准制修订

轨道交通装备行业焊接技术标准体系架构的建立，为整个行业提供了一套完整全面、层次清晰的技术标准目录和标准制修订计划。掌握好标准制修订原则很重要，一是结合轨道交通装备焊接技术发展和焊接生产管理的需求，基于促进行业焊接技术统一发展的目的，通过制定接头设计、焊接材料管理、焊接工艺和接头性能验证等方面的标准，进一步完善行业焊接技术标准体系；二是跟踪研究国际标准，与相关的学会、协会等归口单位对接，及时更新已转化的国标，积极采用EN、DIN等国外先进标准并进行转化，促进行业与国际技术发展接轨。

在焊接技术标准体系架构的基础上，结合轨道交通车辆产品现状及产业未来发展规划，制定轨道交通车辆材料和焊接工艺的标准正交表（见表2），清晰概括

了轨道交通产品所涉及的材料和应用的焊接工艺技术，梳理轨道交通装备行业已制定和待制订的技术标准，见表3、表4。

表2 轨道交通车辆材料和焊接工艺标准正交表

焊接工艺	碳素结构钢及低合金钢	奥氏体不锈钢	铁素体不锈钢	铝及铝合金	铸钢	高强度钢	耐候钢	铜及铜合金	钛合金
焊条电弧焊	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	×
气体保护焊	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×
钨极氩弧焊	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Y	Y
激光焊	✓	✓	✓	×	×	Y	Y	×	×
搅拌摩擦焊	×	×	×	✓	×	×	×	×	×
电阻焊	✓	✓	✓	Y	×	Y	Y	×	×
钎焊	×	Y	×	×	×	×	×	Y	×
等离子焊	Y	✓	Y	×	×	×	×	×	×
激光复合焊	Y	Y	Y	Y	×	Y	Y	×	×
等离子氩弧复合焊	✓	✓	✓	×	×	Y	Y	×	×
埋弧焊	✓	✓	×	×	✓	×	✓	×	×
螺柱焊	Y	Y	Y	×	×	×	×	×	×

注：×：不适用；Y：待制订；✓：已制定。

表3 已制定的轨道交通装备行业焊接技术标准

序号	标准名称	备注
1	轨道交通装备碳素结构钢及低合金钢焊接技术条件	工艺标准
2	轨道交通装备耐候钢焊接技术条件	工艺标准
3	轨道交通装备激光焊接技术条件	工艺标准
4	轨道交通装备铁素体不锈钢焊接技术条件	工艺标准
5	轨道交通装备奥氏体不锈钢电弧焊接技术条件	工艺标准
6	轨道交通装备铝合金搅拌摩擦焊接技术条件	工艺标准
7	轨道交通装备铸钢件电弧焊接技术条件	工艺标准
8	轨道交通装备铝合金电弧焊接技术条件	工艺标准
9	轨道交通装备碳钢车体电阻点焊技术条件	工艺标准
10	轨道交通装备不锈钢电阻焊技术条件 第1部分：结构设计要求	工艺标准
11	轨道交通装备不锈钢电阻焊技术条件 第2部分：作业要求	工艺标准
12	轨道交通装备不锈钢电阻焊技术条件 第3部分：质量要求	工艺标准
13	轨道交通装备不锈钢电阻焊技术条件 第4部分：工艺试验要求	工艺标准
14	轨道交通装备不锈钢电阻焊技术条件 第5部分：工艺资源要求	工艺标准
15	铁道货车铸钢件焊修评定方法 第1部分：焊修工艺评定	工艺标准
16	铁道货车铸钢件焊修评定方法 第2部分：焊修操作评定	工艺标准
17	机车车辆用铸钢件补焊技术条件	工艺标准
18	轨道交通装备高强度电弧焊接技术条件	工艺标准
19	轨道交通装备碳钢及不锈钢等离子-氩弧复合焊接技术条件	工艺标准
20	机车车辆TIG重熔焊接技术规范	工艺标准
21	轨道交通装备不锈钢焊丝选型试验技术规范	材料管理标准
22	轨道交通装备不锈钢焊丝采购与入厂检验技术条件	材料管理标准
23	轨道交通装备高强度焊丝采购及入厂检验技术条件	材料管理标准
24	轨道交通装备高强度气体保护电弧焊实心焊丝选型试验技术规范	材料管理标准
25	轨道交通装备铝及铝合金焊丝采购与入厂检验技术条件	材料管理标准
26	轨道交通装备铝及铝合金焊丝选型试验技术条件	材料管理标准
27	铁道车辆用耐大气腐蚀钢及铁素体不锈钢焊接材料	材料管理标准
28	轨道交通装备铝合金及其焊接接头慢应变速率应力腐蚀试验方法	检验方法标准

4 焊接技术标准体系的应用与实践

4.1 基于数字化平台的应用

轨道交通装备行业焊接生产管理的数字化发展，使得越来越多的企业采用焊接资源管理系统来对工艺文件进行线上管理，以替代传统纸质文档管

表4 待制订的轨道交通装备行业焊接技术标准

序号	标准名称	备注
1	轨道交通装备用焊丝采购与入厂检验技术条件 第4部分：碳素结构钢及低合金钢	材料管理标准
2	轨道交通装备用焊丝选型试验技术条件 第4部分：碳素结构钢及低合金钢	材料管理标准
3	铁道货车焊接接头设计及标注规范	接头设计标准
4	轨道交通装备碳素结构钢、低合金钢及不锈钢等离子焊接技术条件	工艺标准
5	轨道交通装备碳素结构钢、低合金钢及耐候钢激光-电弧复合焊接技术条件	工艺标准
6	轨道交通装备碳素结构钢、低合金钢及不锈钢螺柱焊接技术条件	工艺标准
7	轨道交通装备不锈钢激光-电弧复合焊接技术条件	工艺标准
8	轨道交通装备铝及铝合金激光-电弧复合焊接技术条件	工艺标准
9	轨道交通装备高强度激光焊技术条件	工艺标准
10	轨道交通装备高强度激光-电弧复合焊接技术条件	工艺标准
11	轨道交通装备钎焊技术条件（系列标准）	工艺标准
12	轨道交通装备钛合金钨极氩弧焊技术条件	工艺标准
13	焊缝打磨技术条件	工艺标准
14	焊接变形的热矫正技术条件	工艺标准
15	轨道交通装备焊接质量体系评价细则	工艺标准

理方式，有效提高了工作效率，促进了焊接工艺的标准化。同时，数字化资源管理平台的应用，规范了焊接技术标准体系的文本管理。基于工艺管理平台的开发和标准库的建立与完善，国内多家轨道车辆生产企业已实现了平台化标准文本数据库的共享，焊接技术人员可方便快捷查阅到体系中的任意标准，大大提升了工作效率。

4.2 标准宣贯

标准宣贯的目的是让轨道产品焊接企业了解焊接技术标准的重要性，提高对标准的认知度和应用水平，促进技术标准的普及和推广。通过组织标准宣贯培训，在行业范围内不断加深对EN 15085、ISO 3834及整个焊接技术标准体系的认识，促进轨道交通装备行业技术创新和产业升级，提高焊接企业的竞争力。

5 结束语

焊接已成为轨道交通装备行业不可替代的关键（下转第95页）

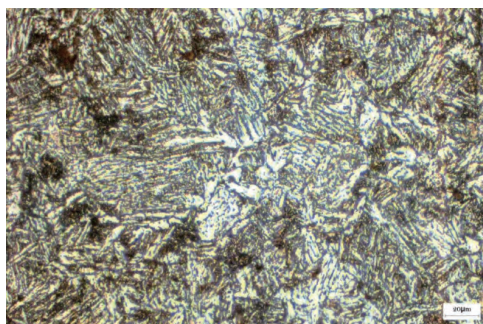


图10 热影响区组织（上部）

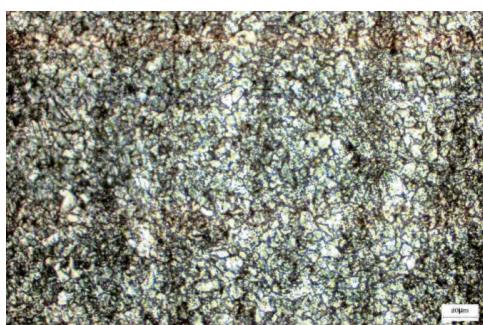


图11 热影响区组织（下部）

AISI 4130钢管焊缝热处理后填充焊缝组织为粒状贝氏体+铁素体，焊缝下部为珠光体+铁素体^[3]。热影响区的上半部分为板条马氏体+铁素体，下半部分为珠光体+铁素体。焊缝组织颗粒细小，这种组织结构有效地验证了工艺的合理性。

上述检测数据表明，所有检测结果均符合

ASME IX—2021和ABS船级社的规范要求，并获得ABS船级社的资格认可。

7 结束语

1) 通过选择合适的焊接材料，控制预热温度和道间温度，采用合理的焊接电流、电弧电压和焊接速度，进行焊后热处理，能有效避免AISI 4130钢管焊接的热裂纹、延迟裂纹、热影响区脆化及软化等问题，焊接接头各项力学性能及硬度值满足规范要求。

2) 试验中所采用的工艺参数，可作为编制AISI 4130钢焊接工艺的依据，用于海洋平台高压管道AISI 4130钢的焊接。

参考文献：

- [1] 钱旭瑞，薄国公. 海洋平台30CrMo调质钢管的焊接[J]. 金属加工（热加工），2011（6）：44-45.
- [2] 薄国公，王勇，韩涛，等. 焊后热处理对ASTM4130钢焊接接头组织与性能的影响[J]. 压力容器，2011，28（7）：11-16.
- [3] 张莉莉，张骁勇，郝瑞辉. 回火焊道热处理对X80管线钢热影响区组织性能的影响[J]. 热加工工艺，2008，37（21）：6-8.

MW 20240412

（上接第90页）

技术。焊接标准的应用，一方面推动焊接技术的工程应用，另一方面也促进了焊接技术本身的发展。

通过建立轨道交通装备行业焊接技术标准体系及标准数据库，焊接技术人员可更好地掌握和使用轨道交通装备焊接标准，在体系的实践和应用中又能推动体系自身的持续性建设，紧跟技术的发展和焊接生产的需要对标准进行制修订，从而促进整个焊接技术标准体系趋于完善，以帮助焊接技术人员全面提升水平，助力轨道车辆焊接企业提高焊接水平和产品质量，走向国际市场。

参考文献：

- [1] 蒋田芳，徐凯，张文斌. 轨道车辆及其零部件的焊接国家标准综述[J]. 铁道技术监督，2013，41

（5）：6-9.

- [2] 徐艳升，张勇，刘丙臣. EN15085焊接体系运行要素解析及常见问题[J]. 电焊机，2020，50（4）：132-135.
- [3] 任彭龙，葛佳棋，万升云，等. ISO 3834金属材料熔化焊质量体系的建立[J]. 金属加工（热加工），2023（10）：89-91.
- [4] 钱强，邵辉，杜娜. 焊接生产制造领域中的国际焊接标准体系及应用[J]. 焊接，2021（4）：45-51.
- [5] 国际标准化组织. 金属材料熔化焊的质量要求-第6部分：实施准则：ISO/TR 3834-6：2007[S]. 北京：中国标准出版社，2007.

MW 20240316