

成都铁路局成都焊轨厂

合 编

铁道部科学研究院
金属及化学研究所

铝热焊接钢轨

人民铁道出版社

铝 热 焊 接 钢 轨

成都铁路局成都焊轨厂

合 编

铁 道 部 科 学 研 究 院
金 属 及 化 学 研 究 所

人民铁道出版社

1975年·北京

内 容 简 介

随着铁路运输事业的日益发展，需要不断采用无缝线路技术以满足运量及车速日益发展的需要，钢轨的铝热焊接法是目前国内外无缝线路焊接联合接头的主要方法。

本书内容包括：概述，铝热焊接钢轨的基本原理，焊接质量，焊缝中的主要缺陷和形成原因，焊接材料，焊接工具以及焊接工艺和技术安全等。

本书可供铁路线路参加铝热焊接钢轨的工作人员以及从事金属工艺、焊接专业工作时的有关人员学习的参考资料。

铝 热 焊 接 钢 轨

成都铁路局成都焊轨厂 合编

铁道部科学研究院
金属及化学研究所

人民铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：4.75 字数：100 千

1975年7月 第1版

1975年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—10,000 册 定价(科三)：0.40 元

毛 主 席 语 录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

路线是个纲，纲举目张。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

无缝线路是铁路线路的一项重要技术改革，铺设无缝线路后，可以提高列车运行速度、改善列车运行条件、减少维修工作量、延长设备使用寿命，并且可使行车平稳，旅客舒适。铝热焊接钢轨使用的设备简单，操作方便，适宜在线路上进行焊接，是目前国内外无缝线路焊接联合接头的主要方法。

我国在铁路运输事业不断发展的新形势下，为了满足运量和行车速度日益增长的需要，将不断改铺无缝线路，因此我们特编写了这本《铝热焊接钢轨》，供参加这项工作的工人和技术人员以及从事金属工艺、焊接专业工作的有关人员学习和参考。书中扼要的介绍了铝热焊接钢轨基本原理、焊接质量、缺陷形成原因、焊接工艺和在工作中应注意的安全事项等。

这本书中还有不少缺点和不足之处，希望读者同志们在学习和参考过程中，随时提出补充和修改意见，以便逐步充实，日臻完善。

目 录

第一章 概 述	1
第一节 无缝线路及钢轨的焊接	1
一、无缝线路的应用	1
二、钢轨的焊接	1
第二节 国内外铝热焊发展简况	3
一、铝热焊接钢轨的发展	3
二、铝热焊接在我国的使用和发展	6
第二章 铝热焊接钢轨的基本原理	8
第一节 铝热反应基本原理和化学热效应	8
一、铝热化学反应式	9
二、铝热焊剂的反应过程和主要产物	10
三、铝热反应温度	11
第二节 铝热反应过程中的冶金过程	12
一、坩埚中的渣——钢反应	12
二、铝热钢的脱氧、镇静以及含铝量	17
第三节 焊接过程的金属组织和相变	18
一、熔合线和柱状晶	18
二、铝热焊接钢轨的金相组织	19
第四节 浇注系统的设计	23
一、顶注式浇注系统	23
二、侧注式浇注系统	24
三、阶梯式浇注系统	25
四、侧顶式浇注系统	25
第三章 铝热焊接钢轨的质量	27

第一节 冷弯强度·····	27
一、弯曲应力的计算·····	27
二、焊接接头的冷弯强度·····	28
三、钢轨焊接接头冷弯用试验机·····	30
第二节 疲劳性能·····	30
一、钢轨的疲劳断裂·····	31
二、疲劳负荷的几种形式·····	32
三、疲劳性能的测定和表示方法——疲劳 曲线和疲劳图·····	35
四、铝热焊接钢轨的疲劳性能·····	38
五、钢轨疲劳试验机·····	40
第三节 焊缝硬度及测定·····	42
一、影响焊缝硬度的因素·····	42
二、焊缝硬度的测定·····	45
第四节 化学成分·····	48
第五节 金相组织·····	50
第四章 焊缝中的主要缺陷和形成原因·····	58
第一节 缩孔和疏松·····	58
一、形成原因·····	58
二、铝热焊接钢轨焊缝内的缩孔和疏松·····	59
第二节 气 孔·····	63
一、铝热钢质量不良引起的气孔·····	63
二、铸造及预热工艺不合理引起的气孔·····	65
第三节 夹 砂·····	67
第四节 粘 砂·····	68
第五节 夹 渣·····	68
第六节 热 裂·····	69
第七节 焊不住·····	70

第八节 螺栓孔裂纹·····	70
第五章 铝热焊接钢轨所用的材料·····	72
第一节 铝热焊剂·····	72
一、铝热焊剂的组成·····	72
二、铝热焊剂的配方计算·····	72
三、铝热焊剂的生产·····	76
第二节 型 砂·····	83
一、型砂应具备的条件·····	83
二、型砂的组成·····	83
三、型砂性能和测定方法·····	85
四、铝热焊接钢轨型砂的配比·····	88
第六章 铝热焊接钢轨使用的工具·····	89
第一节 拉轨和固轨工具·····	89
一、拉轨工具·····	89
二、固轨工具·····	91
第二节 造型工具·····	92
一、底 模·····	93
二、砂 箱·····	96
三、其他造型工具·····	98
第三节 预热工具·····	98
一、预热器和氧气环·····	98
二、汽油压力桶与输油管·····	102
三、喷灯和喷嘴起子·····	103
四、氧气瓶和氧气调节器·····	103
第四节 焊接工具·····	105
一、坩 埚·····	105
二、坩埚架·····	109
第五节 整修工具·····	110

第七章 铝热焊接钢轨工艺	115
第一节 焊接前的准备	115
一、材料和工具的准备	115
二、钢轨的丈量与检查	116
三、拉轨和切割	116
第二节 钢轨的固定及预留焊缝	117
第三节 砂型制造	120
一、型砂的制备	120
二、砂型的制造	121
三、砂型制造注意事项	124
第四节 卡箱作业	124
第五节 钢轨预热	125
一、概 述	125
二、钢轨预热操作	127
三、导致钢轨局部预热不良的原因	128
第六节 装焊剂	129
第七节 浇 注	131
一、安置坩埚	131
二、砂型的封闭	132
三、点火、打钉、浇注	132
第八节 焊缝的整修	134
一、拆除砂箱	134
二、焊缝的整修	135
第九节 焊接记录	137
第八章 铝热焊接钢轨技术安全	139
第一节 焊接作业技术安全	139
第二节 焊剂的处理	141
第三节 劳动保护用品	141

第一章 概 述

第一节 无缝线路及钢轨的焊接

一、无缝线路的应用

通常所见到的铁路线路上的钢轨是一节一节的，靠鱼尾板和螺栓把它们联系在一起而组成的。为了钢轨的制造、运输、铺设以及更换的方便，每根钢轨的长度受着一定的限制。目前，我国钢轨生产的标准长度为12.5米和25米两种，这样每公里线路上分别有160个接头或80个接头。由于这些钢轨接头的存在，线路在运行使用一定时间以后，就容易产生低接头和造成种种接头病害，不仅缩短了钢轨、联接零件、轨枕的使用寿命，增加养护维修费用，而且威胁铁路运营工作的安全，对机车车辆的使用寿命与维修周期、旅客的舒适、货物的平稳安全、列车运行速度的提高等都有影响。因此，如何消灭线路上的钢轨接头，是轨道技术改造的一个重要问题。

二十世纪以来，由于焊接技术的发展，为钢轨焊接提供了条件，以及对长钢轨的温度应力、胀缩、稳定等进行了一系列实验，并采取了有效措施。因而，世界各国都在发展和推广无缝线路，特别是近年来各国在发展的高速线路上都采用了无缝线路。

二、钢轨的焊接

钢轨的焊接就是把两段钢轨通过加热或加热加压的方

法，使其借助于原子间的结合，联接成一个整体钢轨的过程。目前钢轨的基本焊接方法有接触焊、气压焊、铝热焊和电弧焊四种。

接触焊法，是把待焊钢轨的端部固定在接触焊机的夹具上，利用电流通过钢轨时在待焊钢轨的端面产生电阻热，不断形成金属过梁，随着过梁爆破产生火花飞溅，使焊接端面得以清洁，并使钢轨待焊端部加热至表面熔化状态，然后断电并立即加压，在压力下相互结晶，使两节钢轨焊接在一起。

气压焊法，也就是压力气焊，是把待焊钢轨的端部固定在气压焊机的夹具上，在两轨间施以压力，用专用焊炬（钢轨加热器）产生的气体火焰，把待焊的两个轨端部加热至塑性状态，在压力作用下使之熔合，把两节钢轨焊接在一起。

铝热焊法，是将铝粉、氧化铁粉、铁钉屑及铁合金等，按一定比例配合起来，组成铝热焊剂，用高温火柴点燃后，发生激烈的化学反应和冶金反应，得到钢水和熔渣，并放出大量的热，造成高温。将高温钢水注入预热或不预热的铸型中，高温钢水将铸型中的钢轨端部熔化，冷却后把两节钢轨焊接在一起。由于铝热焊的浇注和冷却过程与铸造的规律极为相似，所以铝热焊亦称铸焊。

电弧焊法，是利用电弧熔化焊条焊接钢轨，这种方法种类较多，但都是以电弧放出的热量作为热源，熔化焊条及轨端。用熔化焊丝金属作为填充金属，用焊条药皮和焊剂造渣，进行冶金反应和保护熔池，或用气体保护熔池，防止氧化和氮化。以形成钢轨的整体联接。

此外，目前国外还有采用“自动埋弧—电渣焊”方法联接钢轨的。

我国在焊接钢轨初期，曾采用手工电弧焊，近年来已基

本不用了。目前我国无缝线路的钢轨焊接，大都是在焊轨基地把标准长度的钢轨用接触焊法和气压焊法焊接成长钢轨。由于焊接场地和运输条件的限制，基地焊接钢轨每根不能太长，在我国一般为125米或200米。运到线路上，再用铝热焊法焊成无缝线路。每段无缝线路的长度受自动闭塞绝缘接头设置和其他条件的限制，其长度一般为1000米~2000米。

第二节 国内外铝热焊发展简况

一、铝热焊接钢轨的发展

十九世纪末期，由于冶炼工业和化学工业的发展，人们找到了利用铝热焊剂作为热源的铝热焊法。

二十世纪初，德、英、美、法等国开始采用铝热焊接法焊接电车轨道，以后才正式在铁路线路上投入应用。铝热焊接法应用于铁道线路的长钢轨的焊接是从1924年在德国开始的，到1928年德国国营铁路批准采用铝热焊法焊接铁路线路。在德意志联邦共和国采用铝热焊接法焊接钢轨接头，主要用于无缝线路的联合接头。

在美国，铝热焊接法也早已应用于无缝线路上，其钢轨的铝热焊接法主要有三方面即：控制预热焊接法、快速不预热焊接法及用于调整接头的焊接。到1960年底美国已有7300公里的全焊接无缝线路。铝热焊接法已被认为是一种具有高效率的快速焊接方法。

英国的铝热焊接钢轨已实行了不带焊筋的铝热焊接钢轨法（SOW法）。

日本在线路上焊接无缝线路联合接头主要有三种方法，即铝热焊法、气压焊法和电弧焊法（包括封闭电弧焊法、自动埋弧—电渣焊接法）。曾使用了铝热焊法进行了从东京到

大阪的东海道新干线的联合接头的焊接工作。并且也试验了带焊筋的和不带焊筋的铝热焊接法。

铝热焊接钢轨在许多国家也都得到比较广泛的采用。

近年来铝热焊接钢轨无论在焊剂方面或工艺方面都有了新的进展。铝热焊快速预热法，采用新型预热器和预制干型，可以在10分钟左右的时间內完成一个钢轨接头的焊接工作，大大缩短了在线路上进行钢轨焊接的时间。为了提高焊轨接头的疲劳强度和适应混凝土轨枕的铺轨工作，不带焊筋的铝热焊法已越来越多的投入应用。对铝热焊接钢轨在焊接过程中的温度分布和应力状态进行测量结果表明，合理的控制焊后的温度分布，可以达到控制焊接应力状态的目的，并已研究出适合于调整钢轨焊后温度的加热器，通过调整焊后温度来控制应力状态，可以提高焊轨的疲劳强度10~20%。为了提高铝热焊接钢轨的接头走行面的耐磨性，防止低接头的产生，近年来已研究出了适合于钢轨轨头淬火用的加热装置和冷却装置。根据不同的钢轨成分采用不同成分的焊剂并经过热处理，可以使焊缝硬度达布氏硬度250~340。在快速无预热焊接法焊接钢轨方面，近年来也有了新的进展，由于省去了采用预热法时所需要的预热时间，因此焊接速度快，焊接一个接头只需要7分钟即可完成，有利于行车密度大的线路上的焊接工作。这种无预热铝热焊接法，由于省去了预热法所需的预热工具和减少易燃品（例如汽油、氧气等）的消耗，因此在改善劳动条件、进行安全焊接方面具有重要意义。此外，无预热铝热焊接法具有较各种预热法为小的焊后纵向收缩量，有利于减小焊接应力。

在铝热焊焊剂方面，近年来随着钢轨强度的不断提高，也研究出了适合于各种强度的钢轨焊接用的铝热焊剂。例如已研究出了适合于强度为70公斤/毫米²（普通质量的），

80公斤/毫米²(中等耐磨的)、90公斤/毫米²(耐磨的)以及110公斤/毫米²(高强度的)的各级强度钢轨的铝热焊剂。在焊剂成分中也研究出了通过加入稀土元素提高接头疲劳强度的方法。

在铝热焊接钢轨造型工艺方面也有了新的进展。不少国家已去掉了在线路上用手工造型的方法(湿模),而改为在车间用振动造型机造型,制作人工硬化的预制干模。这样不仅提高了造型效率而且可以比湿模缩短焊接时间。以后又将振动造型改为射砂造型来预制干模。这样不仅制出的干模质量高,具有较高的透气性,特别适合于无焊筋的铝热焊接法,而且更经济。这种射砂造型法在西德联邦铁路上已于1963年正式投入生产。近年来为了适应无预热铝热焊接法的发展,无预热铝热焊接法开始使用了壳型。这种壳型不仅强度高,重量轻,便于搬运,而且可以使焊后的接头具有较高的表面光洁度,有利于提高接头的疲劳强度;壳型的导热性较小,有利于改进焊缝的金属组织。

在铝热焊接平整工具方面,近年来逐步废除了笨重的用手锤平整轨头焊缝的方法,逐步改用由电锤清理到使用焊接凸出量推除设备的方法。这种可用于施工线路上的小型焊接凸出量推除装置,可以在短时间内将焊后的轨头冒口以及轨腰的焊筋通过刨刀推除干净。在打磨机具方面已有了轨底和轨顶的小型专用打磨装置,通过推除和打磨,可以显著提高焊接接头的疲劳强度。这些线路上的平整工具和装置都是比较轻便的,适合于就地搬运。

从以上情况可以看出,近年来铝热焊接钢轨,无论在焊剂方面或焊接工艺方面都有了较全面的发展。近年来,全焊接无缝线路更有了进一步的生长,随着运量的增加,在增加轴重和提高行车速度以及增加列车通过对数的情况下,在全

焊接线路上正在扩大使用强度达 110 公斤/毫米²，轨重 60 公斤/米的重型钢轨的焊接。

二、铝热焊接在我国的使用和发展

半封建、半殖民地的旧中国，科学技术长期处于落后状态，焊接技术与其他加工方法相比，更为落后，铝热焊方法也是如此。用铝热焊接方法连接电车轨道方面，虽有少量应用，但也是殖民地性质的，工具、焊剂均靠外国进口，长期得不到发展。铁路上的铝热焊接完全是空白点。解放以后，中国工人阶级当家作主人，在党的关怀下，铝热焊和其他焊接技术一样，得到了新的发展。电车轨道工人发扬**独立自主，自力更生**的革命精神，制出了电车轨道用铝热焊剂，打破了帝国主义的垄断。在党的“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”总路线的指引下，我国工人和科学技术人员密切合作，经过多次实验，提出了铁路钢轨铝热焊接工艺和焊剂配方，并成功地进行了铝热焊剂的配制。1960年4月，在我国铁路上采用自制铝热焊剂进行了联合接头的焊接。1966年，我国开始成批地生产钢轨铝热焊剂（铁Ⅰ—50焊剂）供应全国铁路使用，并进行了铁Ⅰ—50中耐磨焊剂（焊缝硬度在布氏 250 左右）的研究和配制。与此同时，还进行了缩短预热时间（预热时间一般可在 7～9 分钟内完成）和减小焊筋提高接头疲劳强度的试验（接头疲劳极限可达 25吨/5吨， 2×10^6 周次），取得了较好的效果，并于同年采用铁Ⅰ—50和铁Ⅰ—50焊剂及新工艺分别进行了焊轨铺设试验。使用铁Ⅰ—50焊剂的焊缝轨头，没有发现“低接头”现象。近两年来，在铁路钢轨的铝热焊接中，为了提高焊接接头质量和缩短现场作业时间，在使用预制干型，采用液化石油气—氧气的轨顶预热器进行小焊筋快速预热焊缝，以及使用

预制干型的无预热焊接等方面都进行了试验和研究。水玻璃预制干型，可在固定地点制造，预制干型具有足够的干强度和良好的透气性。

采用液化石油气—氧气的轨顶预热器预热钢轨，操作简单、方便，使用安全、可靠，加热速度快，预热温度又较均匀。实验证明，用液化石油气—氧气轨顶预热器加热，配合预制干型焊接钢轨，是一种比较好的铝热焊接钢轨方法。随着铝热焊接钢轨的发展，铝热焊接工人队伍不断发展，全国很多铁路局先后建立了钢轨铝热焊的专业队伍，钢轨的铝热焊接法已成为目前无缝线路联合接头的唯一有效的焊接方法。

铝热焊接方法在其它部门也得到了越来越广泛的应用，如基建部门焊接天车轨道，地下铁道焊接钢轨等。可以预期，铝热焊方法也将在焊接大型断面，以及其它方面得到应用和发展。

第二章 铝热焊接钢轨的基本原理

铝热焊接钢轨从铝热焊剂配制到浇注系统的设计以及焊后的热处理工艺，在原理上主要包括以下几方面内容：

- 一、铝热反应基本原理和化学热效应
- 二、铝热反应过程中的冶金过程
- 三、焊接过程中的金属组织和相变
- 四、浇注系统的设计

这些基本原理是直接和铝热焊接工艺密切相关的。根据铝热反应基本原理和反应产物可以作为铝热焊剂配比计算的基本依据。根据铝热反应过程中的冶金过程，可以控制铝热钢的冶炼质量和保证基本成分的要求。控制焊接过程中的金属组织和相变，可以使焊接接头的机械性能达到预期的要求。而浇注系统的设计，则直接影响到焊缝的质量和缺陷的形成。因此，对于铝热焊接钢轨的基本原理，应该有一个初步了解，以便于在工艺过程中，达到控制质量的目的。

第一节 铝热反应基本

原理和化学热效应

铝热化学反应是一个氧化还原的反应，利用还原金属（铝）和氧化金属（氧化铁），铁合金和铁屑等按比例配成的铝热焊剂，放在特制的坩埚中，用高温火柴点燃，立即引起强烈的化学反应，在反应过程中铁（Fe）被还原出来，由于铁比重大沉于坩埚底部，铝氧化成氧化铝（ Al_2O_3 ）熔渣较轻浮于上部，同时产生巨大的热量，高温的铝热钢水随