

# 无缝线路钢轨焊接缺陷检测与预防措施

严朝辉

中铁五局六公司 湖南长沙 410600

**摘要:** 无缝线路作为现代铁路发展的重要趋势,其钢轨焊接质量直接关系到列车运行的平稳性和安全性。然而,在焊接过程中,由于材料、工艺、操作等多种因素,可能导致焊接接头出现各种缺陷。无缝线路钢轨焊接缺陷的检测方法及其预防措施,以提高焊接质量,确保铁路运行的安全性和稳定性。基于此,本篇文章对无缝线路钢轨焊接缺陷检测与预防措施进行研究,以供参考。

**关键词:** 无缝线路钢轨;焊接缺陷类型;检测技术;预防措施

## 引言

无缝线路作为现代铁路的重要组成部分,其优点在于减少了接缝数量,提高了轨道的连续性和平稳性,从而降低了列车运行时的冲击和振动,提高了乘客的舒适度。然而,无缝线路钢轨焊接接头的质量直接关系到整个线路的安全性和稳定性。因此,对无缝线路钢轨焊接缺陷的检测与预防显得尤为重要。

## 一、无缝线路钢轨的工程简介

深圳市城市轨道交通14号线是一条全长约51.891公里的地铁线路,起点位于福田中心区的岗厦北枢纽,途经福田区、罗湖区、龙岗区、坪山区,最终到达沙田站。全线共设18座车站,以及1座车辆基地、1座停车场和4座主变电站。14号线采用了自动化无人驾驶技术,信号系统按照GoA4级标准建设,设计最高时速可达120公里。车辆采用A型车8辆编组,最大轴重为17吨。控制中心设在深云车辆段NOCC,同时设有备用控制中心在昂鹅车辆基地DCC内,两者互为热备,确保运营安全。施工内容广泛,涵盖了从前期准备到辅助设施的全面建设。先进行的是前期准备及辅助设施工程的施工,为后续工作奠定坚实基础。接着,开展CPⅢ轨道基础控制网测量,确保轨道铺设的精准定位。随后进行道床铺设,为无缝线路和道岔的铺设提供稳定基础。无缝线路与道岔的铺设是核心环节,关乎线路的整体质量与运行安全。安装线路和信号标志,以及车挡等附属设备,完善线路设施,确保运营顺畅。

## 二、无缝线路钢轨的特征

无缝线路钢轨具有显著的特征。它通过将多根标准

钢轨焊接成超长无缝钢轨,极大地减少了轨道上的接头数量,从而显著提升了列车的行驶平稳性,降低了噪音和振动。无缝线路钢轨的设计充分考虑了热胀冷缩的影响,通过科学的应力放散技术,有效应对了温度变化对轨道的影响,确保了轨道的稳定性和安全性。其整体性强,维护成本低,使用寿命长,是现代高速铁路和城市轨道交通的重要基础设施。无缝线路钢轨的分类可以从多个维度,按处理钢轨内部温度应力的方式不同,无缝线路钢轨可分为温度应力式和放散温度应力式。前者通过焊接钢轨形成长轨条,并采取措施控制温度应力;后者则通过自动或定期放散温度应力,以适应轨温变化。无缝线路钢轨还可根据铺设长度和形式进行分类。普通无缝线路由较短的焊接长轨条和缓冲区组成,适用于一定长度的区间;跨区间无缝线路则取消了缓冲区,实现全程轨道的无缝化,适用于更长距离的铁路线。无缝线路钢轨焊接的意义在于多方面提升了铁路运输的效率与安全性。通过焊接技术,将多根钢轨连接成连续的无缝整体,有效消除了传统轨道接头存在的间隙,极大地提高了列车行驶的平稳性和乘客的舒适度。因此,无缝线路钢轨焊接是现代铁路建设中的一项重要技术,它对于提升铁路运输的整体性能、推动铁路事业的持续发展具有重要意义。

## 三、无缝线路钢轨焊接存在的问题

无缝线路钢轨焊接存在的问题主要包括:焊接接头平直度超标,这可能导致列车运行不平稳,增加轨道磨损。接头错接,影响轨道的连续性和平顺性,对列车运行安全构成威胁。钢轨接头硬弯,这种缺陷会降低轨道的承载能力,加速轨道损坏。打磨钢轨焊接接头时钢轨

母材伤损超规范，这会削弱钢轨强度，缩短使用寿命。无缝线路钢轨焊接过程中，焊接接头存在的关键问题之一是“伤头”现象。伤头可能源于焊接工艺不当、材料缺陷或操作失误，表现为接头处出现裂纹、夹渣、未熔合等缺陷。这些伤头不仅影响钢轨的强度和稳定性，还可能成为轨道安全隐患，增加列车脱轨风险。

#### 四、无缝线路钢轨移动焊接施工要点

##### 5 (一) 钢轨焊接试验

无缝线路钢轨移动焊接施工中的钢轨焊接试验是确保焊接质量的重要环节。在焊接试验前，应选择具有代表性的钢轨段进行，通常位于焊接作业线的起始或关键节点位置，确保试验结果能全面反映焊接质量。根据《钢轨焊接（通用技术条件，闪光焊，铝热焊，气压焊）》（TB/T1632.1~4-2005）等国家标准，焊接试验需对焊接接头进行多项检测，包括接头平直度、表面质量、内部缺陷等。其中，接头平直度要求在规定长度（如1m）内，不平度应满足相应标准数值（如轨顶面不超过0.3mm/m，轨头内侧工作面不超过0.3mm/m等）。因此，通过焊接试验，可以验证焊接工艺参数的合理性，及时调整并优化焊接过程，确保无缝线路钢轨焊接质量符合国家标准要求。

##### (二) 施工准备

在无缝线路钢轨移动焊接施工中，施工准备是确保焊接质量和施工顺利进行的关键步骤。施工位置应选在直线段或曲线半径较大的区段，避免在小半径曲线或道岔区进行焊接，以确保焊接接头的质量和稳定性。同时，施工位置应便于焊接设备的进出和操作。要根据《钢轨焊接（通用技术条件，闪光焊，铝热焊，气压焊）》（TB/T1632.1~4-2005）等国家标准，对施工所需的焊接参数进行详细分析。这包括焊接电流、电压、顶锻力、预热时间等关键参数，这些参数的选择需根据钢轨的材质、规格以及现场环境条件进行精确计算和调整。在焊接施工前，应对焊接设备进行全面检查，确保设备状态良好，各部件运行正常。同时，还需准备充足的焊接材料和辅助工具，以应对可能出现的各种情况。因此，通过充分的施工准备，可以为无缝线路钢轨移动焊接施工奠定坚实的基础，确保焊接质量和施工效率。

##### (三) 钢轨接头焊前处理

在无缝线路钢轨移动焊接施工中，钢轨接头焊前处理是确保焊接质量的重要步骤，其处理要点如下：焊前处理应在焊接作业线上进行，确保处理后的钢轨接头能

够顺利进入焊接设备。同时，处理位置应便于操作人员接近，以便进行细致的操作和检查。焊前处理涉及多个参数，如除锈打磨的深度和范围。一般来说，钢轨端面和轨腰钳口夹持处需进行打磨，轨腰打磨位置为距轨端100~350mm范围内，打磨后需呈现金属光泽，且打磨量不得超过0.2mm。此外，还需检查钢轨端面的斜度，确保符合焊接要求。焊前处理包括除锈、打磨、矫直等操作。除锈需彻底清除钢轨表面的锈蚀和污物，避免对焊接质量造成影响。打磨则需确保钢轨端面和轨腰的平整度，便于焊接设备的夹持和对接。矫直操作则用于纠正钢轨的弯曲和扭曲，确保焊接接头的平直度。因此，通过细致的焊前处理，可以有效提高无缝线路钢轨焊接的质量和稳定性。

##### (四) 钢轨焊接

在无缝线路钢轨移动焊接施工中，钢轨焊接是核心环节，其施工要点如下：焊接位置应选在直线段或曲线半径较大的区段，避免在道岔区、桥梁、隧道等特殊区段进行焊接，以确保焊接接头的稳定性和安全性。焊接作业应在线路封锁天窗点内进行，减少对行车的影响。焊接过程中需严格控制焊接参数，如焊接电流、电压、顶锻力等。以闪光焊为例，焊接电流和电压的选择需根据钢轨的材质、规格以及焊接设备的性能进行精确计算。顶锻力则用于在焊接后期挤出焊缝中的杂质和气体，提高焊接接头的质量。焊接前需确保钢轨接头已进行充分的焊前处理，包括除锈、打磨、矫直等操作。焊接过程中，操作人员需密切监控焊接设备的运行状态和焊接参数的变化，及时调整以确保焊接质量。焊接完成后，还需进行推瘤、粗磨、精磨等后续处理，以提高焊接接头的平整度和外观质量。因此，通过严格的参数控制和精细的操作，可以确保无缝线路钢轨移动焊接的质量和稳定性。

##### (五) 焊接后粗磨

在无缝线路钢轨移动焊接施工中，焊接后粗磨是确保焊接接头平滑度、减少应力集中和裂纹风险的重要步骤。粗磨应在焊接接头完全冷却后进行，通常位于焊缝及其周边区域，包括轨顶面、侧面及底面。具体范围可根据焊接工艺要求和设备性能确定，一般建议在焊缝中心线两侧各450mm长度范围内进行。在粗磨过程中，需选择合适的打磨工具和磨削参数。打磨工具如手提式砂轮机或仿形打磨机，其转速、磨削压力和进给速度等参数应根据钢轨材质和焊接接头特性进行调整。一般来说，

磨削压力不宜过大，以免损伤钢轨基材；进给速度应均匀，确保打磨面平整光滑。粗磨时应沿钢轨方向纵向打磨，禁止横向打磨，以免产生打磨灼伤和裂纹。打磨过程中应随时检查接头表面质量，确保无裂纹、夹杂等缺陷，同时控制打磨深度，避免过度打磨导致钢轨尺寸超差。粗磨后，接头表面应平整光洁，与母材过渡圆顺。因此，通过以上要点，可以有效提升焊接接头的平滑度和质量，为后续的精磨和探伤检测打下良好基础。

#### （六）正火处理

在无缝线路钢轨移动焊接施工中，正火处理是提升焊接接头性能、细化晶粒、减少残余应力的关键步骤。正火处理应在焊接接头完全冷却至400℃以下后进行，通常在线路封锁天窗点内，于焊接作业线附近的指定位置进行。此位置应便于正火设备的操作和移动，同时确保处理过程中不对行车造成影响。正火处理的参数主要包括加热温度和保温时间。加热温度一般控制在850~950℃之间，具体数值需根据钢轨材质和焊接工艺要求确定。保温时间则根据钢轨截面尺寸和加热设备性能进行调整，确保钢轨内部温度均匀，达到细化晶粒、消除残余应力的效果。正火处理时，应采用合适的加热设备，如氧气-乙炔加热器或电感应加热器等，对焊接接头进行均匀加热。加热过程中应密切监控温度，避免过热或过烧。加热完成后，应让焊接接头自然冷却，避免急冷产生裂纹。正火处理后的焊接接头，其组织结构和力学性能将得到显著改善。

#### （七）调直处理

在无缝线路钢轨移动焊接施工中，调直处理是确保焊接接头平直度、提高线路运行平稳性的重要步骤。调直处理应在焊接接头完全冷却至适宜温度后进行，通常位于焊接作业线的调直区域。此区域应配备专业的调直设备，便于对焊接接头进行精确的调直操作。调直处理的关键参数包括调直力和调直角度。调直力的大小需根据钢轨的材质、规格以及焊接接头的具体情况进行调整，以确保调直效果。调直角度则根据线路设计要求和现场实际情况确定，一般要求焊接接头在调直后的平直度满足相关国家标准，如1m直尺测量下，轨顶面不平直度不超过0.3mm/m。调直处理应采用专业的调直设备，如液压调直机或机械调直机等。操作时应缓慢施加调直力，避免对焊接接头造成损伤。同时，应随时监测调直效果，及时调整调直参数，直至焊接接头达到规定的平直度要求。调直完成后，应对焊接接头进行标记和记录，以便

后续跟踪和检查。

#### （八）焊接后精磨

在无缝线路钢轨移动焊接施工中，焊接后精磨是确保焊接接头表面质量、提高线路运行平稳性和安全性的重要步骤。精磨处理应在焊接接头粗磨完成后进行，主要针对焊缝及其周边区域，包括轨顶面、侧面及底面。具体范围应根据焊接工艺要求和线路运行条件确定，一般建议在焊缝中心线两侧各一定范围内（如200mm）进行。精磨过程中，需严格控制打磨参数，如打磨深度、打磨速度和打磨角度。打磨深度应适中，避免过度打磨导致钢轨尺寸超差或打磨不足留下缺陷；打磨速度应均匀稳定，确保打磨面平整光滑；打磨角度应与钢轨表面保持一致，避免产生斜面或棱角。精磨处理应采用专业的打磨设备，如数控仿形打磨机或手持打磨机等。操作时应遵循“先粗后细”的原则，先进行初步打磨去除明显缺陷，再进行精细打磨提高表面质量。同时，应随时监测打磨效果，及时调整打磨参数，直至焊接接头表面达到规定的平整度和光洁度要求。

### 五、无缝线路钢轨焊接缺陷检测与预防措施

#### （一）焊接接头外观质量标准 and 焊接接头平直度要求

在无缝线路钢轨焊接缺陷检测中，焊接接头外观质量标准和平直度要求是关键指标。焊接接头表面应平整光滑，无裂纹、夹渣、气孔等缺陷。对于具体的位置，如焊缝及其周边区域，应进行全面检查。参数方面，焊缝宽度、高度等尺寸应符合设计要求，且焊缝与母材之间过渡应圆滑，无突变。在焊缝中心线两侧一定范围内（如1m长度内），轨顶面和轨头内侧工作面的平直度应满足一定标准。例如，轨顶面平直度不应超过0.3mm/m，轨头内侧工作面平直度也不应超过相应标准值。这些要求有助于确保焊接接头在列车运行过程中的稳定性和安全性。预防措施方面，应严格控制焊接工艺参数，加强焊接过程监控，对焊接接头进行必要的热处理，以提高其力学性能和耐久性。与此同时，加强焊接人员的培训和考核，确保焊接质量符合要求。

#### （二）焊接接头超声波无损检测规范

在无缝线路钢轨焊接缺陷检测中，超声波无损检测是一种常用且有效的方法。超声波无损检测主要针对焊缝及其两侧至少各10mm宽的母材或热影响区。这个位置的选择是为了确保检测能够覆盖整个焊接接头，包括焊缝本身以及可能受到焊接影响的母材区域。通常选择2~5MHz的频率，具体取决于焊接接头的厚度和材质。

较高的频率有助于提高检测的分辨率，但穿透力可能减弱；较低频率则穿透力更强，但分辨率稍低。应足够宽，以保证声束能覆盖整个检测区域。探头移动区表面应平滑，无杂质，以免影响检测效果。需根据试块或标准反射体进行校准，确保检测灵敏度满足要求。同时，检测过程中应随时监控灵敏度变化，及时调整。因此，通过合理的位置和参数设置，超声波无损检测能够有效发现焊接接头中的缺陷，为无缝线路的安全运行提供保障。

### （三）焊接接头质量判定与重焊规范

在焊接接头质量检测过程中，一旦发现表面烧伤、严重错位、推瘤推亏、裂纹等明显缺陷，应立即判定为不合格焊接接头，并详细记录缺陷情况。对于焊接失败的接头，经过必要的处理后可以考虑重焊，但重焊前必须确保焊接接头已冷却至常温状态，以避免因热应力导致新的缺陷产生。值得注意的是，同一接头的重焊次数应严格控制在2次以内，以确保焊接质量和接头的可靠性。若因缺陷严重无法修复或重焊次数已达上限，需切除焊接接头。切除时，应将焊缝居中，两边各锯切50mm以上，以确保切除范围足够，彻底消除缺陷。切除后，需对钢轨端部进行重新处理，包括端面打磨、垂直度校正等，确保端面垂直度符合既定工艺要求。这一步骤对

于后续焊接接头的质量和稳定性至关重要。

### 结束语

总之，无缝线路钢轨焊接质量的优劣直接关系到铁路运行的安全性和稳定性。通过对焊接缺陷的检测与预防，可以及时发现并修复潜在的质量问题，确保焊接接头的强度和韧性满足要求。未来，随着铁路技术的不断发展和完善，无缝线路钢轨焊接缺陷的检测与预防工作将更加重要。

### 参考文献

- [1] 刘鑫. 无缝线路长钢轨换铺施工技术研究[J]. 工程机械与维修, 2024, (03): 37-39.
- [2] 王刚, 王宇红. 浅谈无缝线路钢轨现场焊接技术工艺[J]. 内蒙古科技与经济, 2021, (24): 88-89.
- [3] 宋文涛. 无缝线路钢轨探伤探讨[J]. 科技资讯, 2021, 19(32): 54-56.
- [4] 方延安, 黎伟. 钢轨焊接接头超声探伤缺陷分析[J]. 装备机械, 2021, (02): 74-78.
- [5] 刘俊杰. 浅谈轨道钢的焊接方法及问题解决[J]. 内燃机与配件, 2020, (13): 118-119.