

文章编号: 1674—8247(2024)06—0040—04

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.007

## 某铁路无砟轨道裂缝成因分析和修补准则研究

向 芬 方 宜 殷明旻 易南福

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**无砟轨道采用混凝土道床来替代传统的碎石道床,具有平顺性好、结构稳定、维护成本低等优点,在高速铁路和重载铁路中得到广泛应用。裂缝是无砟轨道混凝土结构中常见的病害。为有效整治无砟轨道结构的裂纹病害,需要对轨道结裂纹成因进行分析。本文研究了某铁路现浇无砟轨道混凝土裂缝成因,旨在揭示无砟轨道道床板裂缝的形成机制,为其后续维护和改进提供科学依据。

**关键词:**无砟轨道;高速铁路;混凝土裂缝;病害;修补准则

中图分类号:U213.2<sup>+</sup>44

文献标志码:A

## Research on Crack Formation Analysis and Repair Criteria for Railway Ballastless Tracks

XIANG Fen FANG Yi YIN Mingmin YI Nanfu

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Ballastless tracks, which utilize concrete track beds to replace traditional ballast track beds, exhibit advantages such as good smoothness, structural stability, and low maintenance costs. They have been widely adopted in high-speed railways and heavy-haul railways. Cracks are a common defect in the concrete structures of ballastless tracks. To effectively treat the crack defects in ballastless track structures, it is necessary to analyze the causes of track joint cracks. This paper studied the causes of cracks in cast-in-situ concrete ballastless tracks on a railway. The objective is to uncover the formation mechanisms of cracks in the ballastless track bed plate and provide a scientific basis for subsequent maintenance and improvement.

**Key words:** ballastless track; high speed railway; concrete cracks; defects; repair criteria

无砟轨道具有平顺性好、稳定性高、服务期长、耐久性强、养护维修工作量少等优点,其采用混凝土道床板代替传统道砟,避免了高速行车时的道砟飞溅、能够更好地适应高速行车<sup>[1-2]</sup>。无砟轨道的结构稳定性和耐久性使其在高速铁路和重载铁路中得到广泛应用。作为混凝土结构物,无砟轨道需反复承受列车荷载、温度变化、下部基础变形以及混凝土自身收缩、徐变等因素的影响,道床板表面易出现裂纹<sup>[3-4]</sup>,裂纹已经成为影响无砟轨道使用寿命和耐久性的关键因素。本文以

某宽轨铁路桥上无砟轨道为例,分析了现浇无砟轨道道床板的裂缝形成原因、整治的具体措施,研究成果可为类似项目提供参考和借鉴。

### 1 桥上板式无砟轨道的结构特点和裂纹发展现状

#### 1.1 结构特点

某铁路主要以宽轨距铁路(1 676 mm)为主,部分既有铁路改造采用双轨距(1 676 mm/1 000 mm),是

收稿日期:2024-01-18

作者简介:向芬(1993-),女,工程师。

引文格式:向芬,方宜,殷明旻,等. 某铁路无砟轨道裂缝成因分析和修补准则研究[J]. 高速铁路技术,2024,15(6):40-43.

XIANG Fen, FANG Yi, YIN Mingmin, et al. Research on Crack Formation Analysis and Repair Criteria for Railway Ballastless Tracks[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6):40-43.

设计速度 120 km/h 的客货共线单线内燃铁路,部分桥上采用无砟轨道,其余段落均采用有砟轨道,无砟轨道结构形式如图 1 所示,自上而下由钢轨、扣件、轨枕、道床组成。

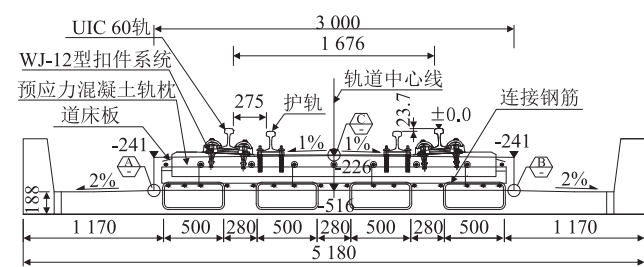


图 1 无砟轨道断面图 (mm)

轨枕为长枕埋入式,提前在轨枕厂预制,现场安装。道床板为钢筋混凝土结构,采用单层混凝土道床设计,道床采用双层钢筋,上层采用  $\phi 20$  的带肋钢筋,下层采用  $\phi 10$  的钢筋网片。为加强轨枕和道床的连接,轨枕上预留 7 个纵向钢筋孔洞,道床上层钢筋要穿过轨枕的钢筋孔洞,下层钢筋部分要穿过桥上预留的“门”型钢筋以加强道床板和桥梁间的连接<sup>[5]</sup>。

1.2 裂缝发展现状

无砟轨道道床板施工采用泵车直接进行浇筑,搅拌站离施工现场运距在 1 km 范围内。混凝土运输至施工现场后,先检查坍落度及混凝土入模温度,均符合要求后,再进行混凝土浇筑作业。道床板混凝土浇筑时间均为 19:00—3:00、混凝土初凝后及时松卸扣配件及支轨架丝杠,施工期间扣件一直处于松卸状态。道床模板拆除前,待混凝土试块强度达到 5 MPa 后,现场方可进行模板拆除作业。采用洒水养护、土工布覆盖,白夜班 24 h 进行洒水,养护周期内道床一直保持湿润、覆盖状态,养护周期为 7 d。

道床板养护期内未发现裂缝,养护期结束后,现场巡查时,逐步发现道床板表面有裂缝产生。对现场 405 块道床板进行了 3 次调查,每次调查时间间隔为 20 d。第 1 次、第 2 次调查发现,裂缝呈现发展态势,后裂缝发展趋于稳定。现场调查后发现裂缝主要集中在轨枕边缘和道床板边缘裂纹,轨枕边缘主要呈现为八字裂纹,统计表如表 1 所示,裂缝主要集中在道床板中间轨枕处,约占裂缝总数的 83% 且左右对称。道床板边缘主要为表面网状裂纹。

2 裂缝成因分析

无砟轨道裂缝会降低轨道结构耐久性和列车运行安全性。混凝土表面裂纹会成为腐蚀物进入道床板混凝土内部的通道。在氯离子和二氧化碳的环境下,道

床内钢筋会锈蚀,从而加速混凝土的腐蚀。道床板混凝土的裂缝将成为水的通道,长期浸水将加速下部基础的破坏,从而影响基层的稳定性,降低下部结构的耐久性和承载能力<sup>[6]</sup>。

表 1 无砟轨道道床裂缝统计表 (%)

调查次数	第 1 次	第 2 次	第 3 次
裂纹板块占比	64.6	68.1	71.1
裂缝数量	369.0	489.0	546.0
裂纹宽度 $\leq 0.2$ mm	92.8	79.6	79.8
裂纹宽度 0.2 ~ 0.3 mm	6.2	14.9	14.7
裂纹宽度 0.3 ~ 0.5 mm	1.0	5.5	5.5

无砟轨道混凝土裂缝的形成是一个复杂的过程,受到多种因素的影响。通过国外和国内无砟轨道裂纹差异性和共性成因分析,发现环境对无砟轨道的裂纹影响较小,道床板混凝土开裂的主要原因是混凝土自身特性<sup>[7]</sup>,共性原因主要包括以下几个方面。

2.1 混凝土收缩

混凝土收缩是混凝土裂纹的常见成因之一,收缩主要是由混凝土在干燥过程中由于水分损失导致的。混凝土的收缩主要有干缩和热收缩两种类型。

干缩是由于混凝土中的水分在固化过程中蒸发或被吸收,导致混凝土体积减小。干缩的程度受到混凝土材料的特性、水灰比、粒料类型、环境湿度、温度等多种因素的影响。高水灰比的混凝土和低质量的粒料通常更容易发生干缩<sup>[8]</sup>。当混凝土中发生干缩时,如受到约束,就会导致内部产生应力,最终可能引发裂纹。这些裂纹通常呈蜘蛛网状或以平行于表面的形式出现。

热收缩是由于混凝土在升温或降温时发生体积变化而引起的。热收缩的程度取决于混凝土的材料特性以及环境温度的变化。具有较高线膨胀系数的混凝土在温度变化时引起的收缩更大。

后续在无砟轨道施工时建议遵循低胶凝材料、低水胶比、低坍落度及高含气量的“三低一高”原则,同时优化混凝土配比,并加入一定比例的矿物掺合料,如粉煤灰与矿渣等,均可减小混凝土收缩量。

2.2 新老混凝土结合面

新老混凝土结合面裂纹的成因:(1) 温度差异是新老混凝土结合面裂纹的主要成因之一。当新混凝土与已固化的老混凝土接触时,两者之间的温度差异可能会导致热应力的积累,从而引发裂纹;(2) 湿度变化也可能导致新老混凝土结合面裂纹。新老混凝土湿度不同,混凝土中水分的移动可能会引起裂纹。在轨枕边缘,由于新老混凝土结合面处混凝土收缩不一致,较易引起开裂。现场调查发现,轨枕两端容易形成八字裂纹,多数集中在板中轨枕附近,部分八字裂纹属于表

面裂纹。后续施工中应加强枕角处混凝土的振捣,加强枕角处的界面剂涂刷。

2.3 混凝土水化热引发的内外温差

混凝土水化热导致的内外温差引起开裂,大体积混凝土硬化过程中,会产生较大的内外温差。当温差超过 25℃时,产生的温度应力可能会超过混凝土的抗拉强度,导致混凝土开裂<sup>[9]</sup>。从桥上相邻结构混凝土分析来看,混凝土表面普遍存在裂纹。施工时优选混凝土原材料,如选取水化热低的水泥、采用减水率高的减水剂等,均可降低混凝土水化热,减少温度裂纹。

3 无砟轨道修补准则

结合本项目实际并参考 TG/GW 102-2019《普速铁路线路修理规则》<sup>[10]</sup>及 TG/GW 115-2012《高速铁路无砟轨道线路维修规则》<sup>[11]</sup>等标准,提出了无砟轨道道床裂纹伤损修补导。

3.1 无砟轨道道床裂缝伤损判定标准

无砟轨道道床裂缝伤损判定标准如表 2 所示。

表 2 无砟轨道道床裂缝伤损判定标准表

伤损部位	伤损判定项目	判定标准
道床板	轨枕	裂缝宽度/mm 0.1
		裂缝宽度/mm 0.2
	轨枕界面裂缝宽度/mm	0.2

当无砟道床裂缝宽度达到判定标准时,应对混凝土裂纹适时修补。无砟轨道轨枕及道床混凝土掉块、缺损应适时修补。

3.2 无砟轨道伤损修补方法

当轨枕裂缝宽度 ≤ 0.2 mm、道床板裂缝 ≤ 0.3 mm 时,可采用“表面封闭法”进行处理;当轨枕裂缝宽度达到 0.3 mm、道床板裂缝宽度达到 0.5 mm 时,可采用“无压注浆法”“低压注浆法”进行处理;无砟轨道轨枕及道床混凝土掉块、缺损,可以采用“混凝土缺损修补法”进行处理。

3.3 无砟轨道伤损修补工艺

3.3.1 表面封闭法

(1)用于表面封闭的涂层材料宜采用聚合物水泥基材料,其主要性能要求如表 3 所示。涂层材料颜色应尽量与混凝土颜色相近;底涂材料可采用高聚合物乳液含量的聚合物水泥基材料。

(2)修补工艺

①将裂缝表面两侧刷毛,清理灰尘和杂物等,若裂缝内有明水,应先吹干。②称取所需修补材料,并用专用搅拌机拌匀。③在裂缝表面涂刷一层底涂材料。④待底涂材料表干后再涂刷表面封闭用涂层材料。至少 3 遍,以确保涂层厚度至少达到 300 μm。待涂层材料

表 3 表面封闭涂层材料性能要求表

序号	项目	指标要求
1	表干时间/h	≤ 2
2	拉伸强度(7 d)/MPa	≥ 2
3	断裂伸长率(7 d)/%	≥ 100
4	人工气候老化(720 h)	无裂缝及变形
5	耐碱性(碱处理,拉伸强度保持率)/%	60~150
6	不透水性(0.3 MPa, 30 min)	不透水
7	粘结强度(7 d)/MPa	≥ 1.5

表干后再涂刷下一步,且两次涂刷方向相互垂直。⑤采用薄膜覆盖等方法养护,防止涂层材料失水过快。⑥建议施工温度为 5℃~30℃,雨雪天不得施工。

3.3.2 无压注浆法

(1)宜采取低黏度树脂材料,其性能要求如表 4 所示。

表 4 低黏度树脂材料性能要求表

序号	项目	指标要求
1	粘度/(mPa·s)	≤ 50
	凝胶时间/min	≤ 30
2	拉伸强度/MPa	≥ 6(2 h); ≥ 14(24 h); ≥ 20(7 d)
3	抗压强度/MPa	≥ 10(2 h); ≥ 20(24 h); ≥ 30(7 d)
4	断裂伸长率(7 d)/%	≥ 2
5	收缩率(7 d)/%	≤ 2
6	粘结强度(7 d)/MPa	≥ 5

(2)修补工艺

①清除裂缝内杂物,保持裂缝清洁。②除去裂缝内水分。③设置围挡,防止注浆时浆液外渗污染混凝土表面。④采用手动双组份注浆器向裂缝内注入修补材料,过程中随时观察并及时补充注修补材料直至注满。⑤待修补材料固化后,拆除裂缝围挡,并将裂缝表面多余树脂材料打磨平整。⑥在裂缝表面涂刷裂缝封闭材料,其修补材料及工艺参考“表面封闭法”。⑦建议施工温度为 5℃~30℃,雨雪天不得施工。

3.3.3 低压注浆法

(1)低压注浆法修补混凝土裂缝宜采用树脂材料,其性能要求如表 5 所示。封缝材料可采用聚合物快硬水泥浆,专用封缝材料或专用封缝带等。

表 5 低压注浆法修补材料性能要求表

序号	项目	指标要求
1	粘度/(mPa·s)	≤ 200
2	凝胶时间/min	≤ 60
3	拉伸强度/MPa	≥ 6(2 h); ≥ 14(24 h); ≥ 20(7 d)
4	抗压强度/MPa	≥ 10(2 h); ≥ 30(24 h); ≥ 60(7 d)
5	断裂伸长率(7 d)/%	≥ 2
6	收缩率(7 d)/%	≤ 2
7	粘结强度(7 d)/MPa	≥ 5

(2)修补工艺

①使用钢丝刷清洁裂缝区域表面,用真空吸尘器

清除周围杂物。②采用封缝材料封闭裂缝,封闭过程中留出注浆孔和排气孔。③通过注浆器向裂缝内注入修补材料,直至注满。④当修补材料固化后,去除封缝材料,并将裂缝表面打磨平整。⑤在裂缝表面涂刷裂缝封闭材料,其修补材料及工艺与上述“表面封闭法”相同。⑥施工适宜温度为5℃~30℃,雨雪天不得施工。

3.3.4 混凝土缺损修补工艺

(1)混凝土缺损修补可采用树脂砂浆或聚合物水泥砂浆,其性能要求如表6所示。

表6 混凝土缺损修补材料性能要求表

序号	项目	指标要求
1	抗折强度/MPa	≥ 5(2 h); ≥ 6(24 h); ≥ 8(7 d); ≥ 10(28 d)
2	抗压强度/MPa	≥ 10(2 h); ≥ 20(24 h); ≥ 40(7 d); ≥ 50(28 d)
3	收缩率(28 d)/%	≤ 0.2
4	粘结强度(28 d)/MPa	≥ 2.5

(2)修补工艺

①将结构受损处松散混凝土、骨料颗粒凿除,并采用真空吸尘器清理缺损区域碎屑、灰尘等杂物。②如有钢筋露出,需对钢筋进行除锈、防锈处理,分次涂刷防锈剂。③根据需要,在混凝土破损部位支立模板。④在修补混凝土暴露面涂刷底涂材料。⑤计量并配制树脂砂浆或聚合物水泥砂浆。⑥往混凝土缺损部位灌注树脂砂浆或聚合物水泥砂浆。⑦待砂浆硬化后,拆除模板,并将砂浆修正磨平。⑧施工适宜温度5℃~30℃,雨雪天不得施工。

3.3.5 实施效果

通过养护措施、混凝土坍落度控制、温度变化控制、保护层厚度控制等措施,使无砟轨道作业质量得到显著提高,裂纹修补技术得到充分认可,均未出现返工及质量不合格现象。

4 结束语

无砟轨道混凝土裂缝的形成是一个复杂的过程,受到材料特性、温度变化、荷载作用和地基条件等多种因素的影响。为提高无砟轨道的使用寿命和安全性,须采取科学有效的预防维护措施。今后的研究还需进一步深入探讨裂缝的形成机制,以提出更加精准的裂缝修补方法,为无砟轨道的发展和改进提供有力支持。

参考文献:

[1] 罗震. 高速铁路无砟轨道结构受力及轮轨动力作用分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.

LUO Zhen. Analysis of Stress and Wheel-rail Dynamic Action of Ballastless Track Structure of High-speed Railway [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.

[2] 宫海鹏. 无砟轨道施工精测技术及其运用[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.

GONG Haipeng. Precise Survey Technology and Its Application in Ballastless Track Construction [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.

[3] 张莹涛. 基于扩展有限元法的双块式无砟轨道裂纹扩展特性研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2015.

ZHANG Yingtao. Study on Crack Propagation Characteristics of Double-block Ballastless Track Based on Extended Finite Element Method [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2015.

[4] 李国栋. 桥梁高性能混凝土早期收缩裂缝形成机理及控制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

LI Guodong. Formation Mechanism and Control of Early Shrinkage Cracks in Bridge High Performance Concrete [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.

[5] 杨文茂, 林红松, 徐井芒, 等. 客货共线铁路简支梁上无砟轨道无缝道岔纵向受力分析[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(2): 13-18, 47.

YANG Wenmao, LIN Hongsong, XU Jingmang, et al. Longitudinal Stress Analysis of Continuously Welded Rail Turnout of Ballastless Track on Simply-supported Girder of Mixed Passenger and Freight Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(2): 13-18, 47.

[6] 方宜, 卓建成, 陈丽. 高速铁路桥梁病害整治顶梁工作对轨道结构的影响分析[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(5): 29-33.

FANG Yi, ZHUO Jiancheng, CHEN Li. Analysis on the Impact of Girder Jacking for High-speed Railway Bridge Defects on Track Structure [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5): 29-33.

[7] Xie Y, Li H, Feng Z, et al. Concrete Crack of Ballastless Track Structure and Its Repair [J]. International Journal of Railway, 2009, 2: 30-36.

[8] 薛燕平. 大体积混凝土浇筑裂缝分析及解决措施[J]. 上海建设科技, 2018(1): 44-45.

XUE Yanping. Analysis and Solution of Cracks in Mass Concrete Pouring [J]. Shanghai Construction Science & Technology, 2018(1): 44-45.

[9] 朱婧, 狄欣. 大体积混凝土裂缝及其防治措施浅析[J]. 山东工业技术, 2016(7): 99.

ZHU Jing, DI Xin. Analysis on Cracks in Mass Concrete and Its Prevention Measures [J]. Journal of Shandong Industrial Technology, 2016(7): 99.

[10] TG/GW 102-2019 普速铁路线路修理规则[S].

TG/GW 102-2019 Repair Rules for Conventional Railway Lines [S].

[11] TG/GW 115-2012 高速铁路无砟轨道线路维修规则[S].

TG/GW 115-2012 Maintenance Rules for Ballastless Track Lines of High-speed Railway [S].