

轨道交通线路道岔区段几何形位偏差与安全隐患关系分析

蔡 健

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 401120

【摘要】：轨道交通线路道岔区段几何形位偏差是诱发行车安全隐患的关键因素，精准厘清二者内在关联对保障运营安全具有重要意义。道岔区段几何形位涵盖轨距、水平、高低、方向等核心指标，其偏差会改变轮轨接触关系，加剧部件磨损，甚至引发脱轨等严重安全事故。通过系统梳理二者作用机制，明确不同偏差类型对应的隐患等级，可为道岔区段养护维修提供靶向性依据，有效降低安全风险，保障轨道交通运营的稳定性与可靠性。

【关键词】：轨道交通；道岔区段；几何形位偏差；安全隐患；轮轨关系

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.036

引言

道岔作为轨道交通线路的关键节点，其区段几何形位的稳定性直接关乎行车安全与运营效率。几何形位偏差的产生与轨道部件磨损、地质条件变化、列车荷载作用等多种因素相关，偏差累积到一定程度会诱发一系列安全隐患，威胁乘客生命与财产安全。厘清几何形位偏差与安全风险的内在关联，是提升道岔养护维修质量、防范安全事故的核心前提。基于此，深入探究不同类型几何形位偏差的形成机理，分析其对行车安全的影响路径，可为轨道交通线路安全运营提供坚实支撑，同时也为道岔区段安全管控体系的完善奠定基础。

1 轨道交通线路道岔区段几何形位偏差的类型及形成机理

1.1 轨距偏差的类型特征及核心形成机理

轨距偏差主要分为轨距过大、轨距过小两种核心类型，其特征表现为道岔关键部位如尖轨尖端、辙叉心等区域的轨距数值偏离设计标准，且偏差值会随列车通行频次增加呈现波动式累积趋势。核心形成机理与道岔部件的材质损耗密切相关，尖轨与基本轨的磨损会导致二者贴合度下降，进而使轨距出现偏移；轨枕失效或道床捣固不实会造成轨道横向支撑刚度不足，在列车横向荷载的反复作用下，轨距易发生永久性变形^[1]。道岔铺设施工过程中的安装精度偏差，若未及时校正，也会成为后续轨距偏差产生的潜在诱因，影响轨道几何形位的稳定性。

1.2 水平与高低偏差的表现形式及诱发因素

水平偏差的表现形式为同一截面内两股钢轨的顶面高度不一致，呈现出单侧偏高或偏低的状态，在道岔转辙部分与辙叉区域此类偏差更为突出；高低偏差则表现为钢轨顶面沿线路纵向出现起伏不平的波浪状

或坑洼状变形，影响列车行驶的平顺性。诱发这两类偏差的因素具有多元性，首先是道床的沉降与板结，道岔区段道床长期承受列车荷载的反复碾压，易出现道砟颗粒破碎、密实度不均等问题，进而导致道床支撑高度发生变化；其次是钢轨的不均匀磨耗和轨下胶垫的老化失效，会使钢轨顶面高度失去平衡；另外，地质条件的变化如地下水位升降、路基沉降等，也会通过道床传递至轨道结构，引发水平与高低偏差。

1.3 方向偏差的分布规律及主要产生原因

方向偏差的分布规律呈现出明显的区域性，在道岔的曲线过渡段、尖轨跟端等应力集中区域，方向偏差的出现频率更高、偏差幅度更大，且多表现为轨道中心线偏离设计线路的横向位移。主要产生原因包括列车通过道岔时产生的横向冲击力，该力会使轨道结构发生弹性或塑性变形，长期累积便形成方向偏差；道岔扣件的松动或失效会导致轨道横向约束不足，无法有效抵抗列车的横向作用力，进而加剧方向偏差的发展；线路养护过程中对道岔几何形位的调整不精准，也会导致方向偏差无法得到有效纠正，持续影响轨道线路的平顺性。

2 道岔区段不同几何形位偏差对应的安全隐患表征

2.1 轨距偏差引发的轮轨接触异常及安全风险分析

轨距过大时，轮对与钢轨的接触点会向钢轨内侧偏移，轮轨接触面积减小，接触应力显著增大，导致钢轨头部出现局部磨耗、掉块等损伤，同时轮对的导向性下降，列车通过道岔时易发生横向摆动，增加脱轨风险；轨距过小时，轮对轮缘会与钢轨内侧紧密挤压，轮缘磨耗加剧，严重时会出现轮缘啃轨现象，不仅降低轮对使用寿命，还会产生较大的横向冲击力，破坏轨道结构的稳定性。此类安全风险的分析还体现在列车运行过程中的振动幅度增大，车厢内出现明显

颠簸，同时轨道部件的疲劳损伤速度加快，易引发钢轨折断、扣件失效等连锁安全问题。

2.2 水平与高低偏差导致的行车平稳性下降及隐患显现

水平偏差会使列车通过道岔时产生侧倾力矩，轮对两侧的荷载分布不均，一侧轮对承受的荷载显著增大，另一侧则减小，这种不均衡荷载会加剧钢轨和轮对的不均匀磨耗，同时可能导致列车出现摇头、侧滚等不稳定运动状态^[2]。高低偏差会使列车轮对在纵向产生冲击荷载，当车轮碾过凸起或凹陷部位时，会对钢轨产生瞬时的巨大压力，导致钢轨接头松动、道床道砟飞溅，长期作用下会使轨道结构出现永久性损伤。隐患显现主要表现为列车运行噪音增大，行车平稳性严重下降，极端情况下可能导致轮对脱空，进而引发重大行车安全事故。

2.3 方向偏差诱发的列车蛇行运动及安全隐患演化

方向偏差会破坏轮轨之间的正常导向关系，使列车轮对在行驶过程中产生蛇行运动，这种运动不仅会加剧轮缘与钢轨的摩擦磨损，还会使列车产生较大的横向振动，进一步放大方向偏差的程度。安全隐患演化呈现出渐进性特征，初期表现为轨道部件的轻微损伤，如扣件松动、轨枕位移等；随着偏差的持续扩大，列车横向冲击力不断增强，会导致道岔转辙设备故障，如尖轨无法正常密贴、辙叉心磨耗超标等；当偏差达到临界值时，会直接导致列车脱轨，造成人员伤亡和重大财产损失，同时对轨道交通线路的运营秩序产生严重影响。

3 几何形位偏差与安全隐患的内在关联及影响路径

3.1 偏差累积与安全隐患升级的量化关联特征

几何形位偏差的累积程度与安全隐患的升级状态存在紧密的对应关联，偏差值在设计允许范围内时，安全隐患处于潜在状态，对行车安全的影响较小；当偏差值超出允许范围并持续累积，潜在隐患会逐渐显现，表现为轨道部件的损伤和行车平稳性的下降；随着偏差的进一步增大，隐患等级不断提升，从一般安全隐患升级为重大安全隐患，对行车安全的威胁呈指数级增长。这种量化关联特征体现在偏差累积速度与隐患升级速度的同步性上，列车通行密度大、荷载重的道岔区段，偏差累积速度更快，安全隐患升级的周期也更短，二者形成相互促进的负面循环。

3.2 轮轨作用失衡在偏差与隐患间的传导路径

轮轨作用失衡是几何形位偏差与安全隐患之间的核心传载体，几何形位偏差会直接改变轮轨接触的几何关系，导致轮轨作用力的大小、方向发生异常变

化。这种失衡的轮轨作用力会对轨道结构产生持续的破坏作用，使轨道部件出现磨损、变形、失效等问题，进而诱发安全隐患；失衡的轮轨作用力也会影响列车的行驶稳定性，增加列车发生故障的风险，形成偏差-轮轨失衡-隐患的传导链条^[3]。在这一传导过程中，轮轨接触应力的异常分布是关键节点，它会加速轨道结构的损伤进程，使安全隐患快速显现。

3.3 环境因素对偏差-隐患关联的调节作用机制

环境因素通过改变轨道结构的物理性能和受力状态，对几何形位偏差与安全隐患的关联产生调节作用。高温环境下，钢轨会发生热胀变形，可能导致轨距缩小、方向偏差增大，进而加剧安全隐患的发展；低温环境则会使钢轨收缩，出现轨距扩大、钢轨脆化等问题，增加钢轨折断的风险。降雨、地下水渗透等水文环境因素会降低道床的承载能力和稳定性，使轨道结构在列车荷载作用下更易产生偏差，同时加速轨道部件的锈蚀，放大偏差与隐患的关联效应。大风、地震等极端环境因素会直接对道岔区段轨道结构造成冲击，导致几何形位偏差急剧增大，引发突发性安全隐患。

4 基于安全隐患防控的道岔区段几何形位偏差管控策略

4.1 偏差精准检测与隐患预警体系构建方案

构建偏差精准检测与隐患预警体系需整合多种检测技术，实现对道岔区段几何形位偏差的全方位、实时性监测。采用轨道几何状态测量仪、激光测距仪等高精度设备，对轨距、水平、高低、方向等关键指标进行常态化检测，获取精准的偏差数据；结合大数据分析技术，对检测数据进行深度挖掘，梳理偏差的变化规律和发展趋势。建立隐患预警阈值体系，根据不同偏差类型和偏差幅度设定对应的预警等级，当偏差数据达到预警阈值时，自动触发预警信号，并推送至养护维修管理平台。通过该体系的构建，可实现对偏差的早发现、早预警，为隐患防控提供及时的数据支撑。

4.2 针对性养护维修技术的优化与应用路径

针对性养护维修技术的优化需结合不同几何形位偏差的类型和形成机理，制定差异化的维修方案。对于轨距偏差，采用轨距拉杆调整、尖轨打磨等技术，恢复轨距的设计标准，同时加强对扣件的紧固和更换，提升轨道横向约束能力；针对水平与高低偏差，通过道床捣固、垫砟调整、钢轨打磨等技术，修复轨道的平整度，增强道床的支撑稳定性^[4]。应用路径上，需

建立养护维修台账,根据偏差检测数据和预警信息,合理安排维修周期和维修作业内容,实现“按需维修”;引入智能化维修设备,提升维修作业的精度和效率,确保养护维修技术能够有效发挥作用,从源头控制偏差的发展,防范安全隐患。

4.3 运营荷载与环境因素的协同管控措施

运营荷载与环境因素的协同管控需从荷载调控和环境防护两方面入手,降低二者对道岔区段几何形位偏差的不利影响。在运营荷载管控方面,根据道岔区段的轨道结构状态,合理调整列车的运行速度和通行密度,避免列车荷载超出轨道结构的承载能力;对重载列车通过的道岔区段,加强轨道结构的强化改造,提升其抗荷载能力。在环境因素防护方面,针对高温、低温环境,采用钢轨伸缩调节器、保温覆盖层等设施,减少温度变化对轨道结构的影响;建立排水系统,及时排出道床积水,防止地下水渗透,提升道床的稳定性;对大风、地震等极端环境,制定应急防控预案,提前采取加固措施,降低环境因素引发的偏差风险,实现运营荷载与环境因素的协同管控。

5 道岔区段几何形位偏差管控的实践成效保障及长效机制建设

5.1 管控措施落地的质量监督与效果评估方法

管控措施落地的质量监督需建立全流程监督体系,涵盖养护维修方案制定、施工过程、竣工验收等各个环节。在方案制定阶段,组织专业技术人员对方案的科学性、可行性进行审核;施工过程中,安排监督人员现场巡查,重点检查维修作业是否符合技术标准、设备使用是否规范等;竣工验收阶段,采用高精度检测设备对道岔区段几何形位偏差进行复测,确保管控措施落地效果。效果评估方法需结合偏差检测数据和运营安全数据,建立多维度评估指标体系,包括偏差整改率、隐患发生率、列车运行平稳性等。通过定期对评估指标进行分析,判断管控措施的有效性,为后续管控策略的优化提供依据。

参考文献:

- [1] 张晓伟.信息技术在城市轨道交通线路规划与运营管理中的应用[J].信息记录材料,2026,27(01):114-116.
- [2] 马驰.轨道交通线路规划与城市空间结构协同发展[J].人民公交,2025,(20):117-119.
- [3] 王正雄.轨道工程施工对既有交通线路影响与扰动控制技术研究[J].运输经理世界,2025,(29):26-28.
- [4] 张岳.市政污水顶管施工中的轨道交通线路保护措施[J].工程建设与设计,2025,(19):106-108.
- [5] 马琳,刘韵光,钱堃.关于分段开通运营的轨道交通线路能耗浅析[J].交通节能与环保,2025,21(06):195-200.

5.2 技术标准更新与人员能力提升的协同保障

技术标准更新与人员能力提升的协同保障是确保道岔区段几何形位偏差管控成效的关键。结合轨道交通技术的发展和道岔区段运营实际情况,定期对几何形位偏差检测标准、养护维修技术标准等进行修订完善,确保标准的科学性和时效性^[5]。建立常态化培训机制,针对检测技术、维修工艺、安全管控等内容,对相关人员开展专业培训,提升其技术操作能力和问题处置能力;组织技术交流活动,鼓励人员学习先进的管控经验和专业技术方法。通过技术标准的不断更新和人员能力的持续提升,形成协同保障合力,为偏差管控工作提供技术支撑和人才保障,推动管控工作的规范化、专业化发展。

5.3 全生命周期管控长效机制的构建与完善路径

全生命周期管控长效机制构建需覆盖道岔设计、铺设、运营至报废全流程,实现各阶段无缝衔接与协同管控。设计阶段聚焦结构优化,提升抗偏差能力与耐久性;铺设阶段严控施工质量,保障几何形位符合标准,筑牢运营管控基础;运营阶段落实常态化检测、针对性维修及协同管控,及时处置偏差与隐患;报废阶段全面评估部件状态,总结管控经验反哺新道岔设计与管控。完善路径上,需建立跨部门协同机制,整合多领域资源并明确职责,依托信息化技术搭建全生命周期管控平台,实现数据共享与流程追溯,保障机制持续有效运行。

6 结语

本文围绕轨道交通线路道岔区段几何形位偏差与安全隐患的关系展开深入探讨,明确了偏差类型、形成机理及对应隐患表征,厘清了二者内在关联与影响路径,提出了针对性管控策略及长效保障机制。研究成果为道岔区段安全管控提供了清晰思路,对提升轨道养护维修质量、降低安全风险具有实践意义。未来需持续关注道岔技术发展及运营环境变化,不断优化管控措施,切实保障轨道交通线路运营的安全与稳定。