

重载铁路道岔病害常见类型及维修对策探讨

樊江

国家能源集团新朔铁路大准铁路分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010010

【摘要】：道岔在铁路运输系统中承担着引导机车车辆从一条线路转入或跨越到另一条线路的重要功能，受轨道几何尺寸变化、机车车辆的冲击振动及结构磨损等因素影响，易出现尖轨、辙叉磨损与轧伤、尖轨与基本轨不密贴、假密贴、尖轨跳动、护轨间隙异常、转辙部分轨距扩大及转辙失灵等病害。不同病害在表现形式、成因和发展上具有明显差异，使线路状态稳定性受到持续挑战。围绕典型病害特征展开分析，可通过结构调整、部件校正、磨损控制及力学状态优化等方式实现有效处置。将病害机理与维修措施建立对应关系，有助于强化道岔服役状态管理并提升整体运行安全水平。

【关键词】：道岔病害；病害机理；病害影响；病害维修；维护措施

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.024

引言

道岔作为铁路轨道的薄弱处所，结构复杂又由多种关键部件组合而成，随着铁路运输效能的不断提升，速度的提高和万吨、两万吨、三万吨重载列车的运营，在列车高速与重载作用下道岔都承受着比正线轨道更为复杂的动力负荷。长期运行中，各部位易因力学分布不均、环境变化和材料疲劳而出现不同程度的损伤，使轨道系统的平顺性与安全性受到影响。常见病害的表现虽各不相同，却在形成过程上具有一定规律，若未及时处理，往往会进一步扩大影响范围。对病害类型与成因进行深入解析，可为铁路现场提供明确的关注重点，也能促使维修活动更加吻合结构实际需求，使道岔在持续服役中保持稳定状态。

1 道岔病害的主要表现

道岔在承担列车导向与分流任务时长期处于高频受力状态，尖轨、基本轨、辙叉及护轨等部位不断受到轮轨交变载荷的冲击，使结构形态逐渐偏离设计状态。常见表现包括尖轨与基本轨不密贴、假密贴、轨枕空掉、滑床台离缝、过车时尖轨跳动、基本轨垂磨严重、滑床台槽外口轨距块离缝、过车时基本轨有横移、转辙部分轨距扩大、转辙部分框架刚度不够、过车时基本轨有横移引发方向变化等，造成尖轨横向冲击力加大、尖轨工作面出现波磨、轧伤。辙叉心水平不良，列车通过辙叉心轨处振动增强，产生的冲击坑力轧伤踏面、导致剥落，护轨间隙偏差等，促使轮缘受力异常，转辙装置内部间隙扩大使开闭力矩不稳定转辙失灵^[1]。这些表现往往在短时间内难以完全暴露，但在持续荷载作用下会不断放大，形成轨向偏移、钢轨垂向变形及接头冲击增加等链式反应，使道岔运行状态逐步下降。伴随环境湿度、温度变化和材料疲劳的累积影响，部件的磨损趋势会进一步加速，使局部受力更加集中，结构稳定性因而受到削弱。

在高密度运输条件下，病害表现呈现出更加明显的阶段性特征。尖轨与基本轨之间的贴合不充分会改变轮轨接触点，使受力分布不均并诱发尖轨根部的压溃痕迹；辙叉区域因轮对跳

跨产生较高冲击力，心轨尖端与翼轨处易出现塑形变形或金属流移；护轨与基本轨间距偏离标准时，轮缘导向特性发生改变，可能造成侧向扰动增加，甚至影响转辙设备的稳定动作。在这些受力因素叠加下，扣件松弛、轨枕偏移、轨底沉陷等附带问题逐步显现，使纵向与横向几何尺寸偏差扩大，轨距变化更加频繁。随着列车速度提升，微小不规则会迅速转化为显性病害，使道岔整体受力环境变得更为复杂。

部分病害表现具有隐蔽性，使现场检修面临更高难度。尖轨与基本轨不密贴、假密贴；辙叉跟端与底座间的螺栓松弛可能在初期仅表现为轻微晃动，但在轮轨横向力反复作用下会形成较大错位；轨下结构如道砟层的破碎、沉陷与离缝，会导致轨枕空掉、过车时尖轨跳动、滑床板离缝，钢轨弹性支承条件突变，使病害区域在列车通过时出现短波不平顺。在长期累积过程中，各部件相互影响，使道岔运行稳定性进一步降低。随着病害程度不断加深，轮轨动力学关系发生变化，轨面冲击峰值升高，振动传播范围扩大，逐步形成对整体结构的不良反馈，从而转化为更为复杂的病害表现。

2 典型病害的形成机理

道岔病害的形成往往源于轮轨动力作用的长期叠加、道岔水平不良、有反超高，当列车进入尖轨区时，轮对在导向过程中会产生侧向力与扭矩，使尖轨前端承受集中接触应力增大，金属表层在高频加载下逐渐出现塑变累积，进而形成波磨、擦伤与压痕。直基本轨在车轮经过时受离心力外撞造成转辙部分轨距扩大，以及基本轨下5mm胶垫外侧压烂轨头外倾、轨枕垫板30M螺栓直径磨细、垫板孔变大、尖轨基本轨侧面磨耗严重、基本轨外侧的轨距块存在离缝及轨枕向前爬行等造成转辙部分轨距扩大。另外，尖轨与基本轨贴合不完全所引发的微小分离，会导致轮缘冲击点偏移，使受力状态更加不稳定^[2]。随着列车速度提高，轮轨瞬态力峰值不断增加，使尖轨根部及跟端连接区域形成较显著的应力集中，使杆件、螺栓与焊缝在疲劳循环中强度衰减。长周期温度变化也会影响钢材的力学性能，尖轨在热胀冷缩作用下出现初始微小变形，为后续病害的

累积提供条件。

辙叉区域的病害机理更具复杂性。轮对通过心轨尖端前的有害空间时（整铸型或拼装型辙叉心）存在跳跃效应，动力学模型显示该位置的垂向冲击力远高于普通钢轨，导致心轨尖端磨耗凸显并出现金属流移。当心轨处轨枕空吊时磨耗会加剧，轮轨接触斑点形态改变，使局部压力分布更趋集中，加速剥落、掉块与表层裂纹的发展。心轨与翼轨之间的过渡区由于几何形状变化明显，使轮对受力由单点接触向线性接触过渡，这一过程会引发复杂的剪切力与弯矩组合，从而诱发屈曲变形或底座松弛。护轨位置若间距偏离标准范围，会使轮缘导向轨受力异常，导致轮轨侧向相互作用增强，使金属疲劳裂纹更易扩展。随着重复荷载的作用，裂纹从表层向内部扩展，使结构承载能力逐渐下降并形成潜在破损源。

3 病害发展对线路状态的影响

道岔病害在发展过程中会逐步改变轮轨动力传递路径，使线路整体状态呈现持续性的退化趋势。尖轨、辙叉和护轨等部位的磨耗与变形，使轮轨接触斑点不再保持稳定分布，造成受力峰值偏移，从而引发轨面冲击增大与振动加剧。轮对通过道岔区时，纵向与横向振动耦合增强，使钢轨在短期内承受更大的交变应力，使轨向形位产生微小扰动^[3]。随着扰动持续累积，钢轨平顺度下降，引起车辆蛇行趋势加大，进一步放大轮轨动力作用，使病害区域呈现恶化循环。局部受力异常还会导致扣件、轨枕与道床的受力状态改变，道砟颗粒逐渐破碎，支承刚度变得不均匀，使线路垂向变形更加显著，使道岔区的力学环境向更不利的方向发展。

病害在扩展过程中，对线路稳定性产生更深层次影响。辙叉心轨与翼轨间的跳跃效应，使车辆通过时的冲击力集聚在局部区域，使结构疲劳速率明显加快。当磨耗导致心轨尖端厚度减小后，轮轨接触压力进一步增大，使裂纹萌生速度提升，金属剥落范围扩大，使通过噪声与振动在道岔区更加突出。护轨间距偏差使轮缘导向关系失衡，车辆运行方向受到扰动，使车体横向摆动幅度增加，并可能对转辙机部件施加附加载荷。随车振动传递至线路基础结构，使轨下道床压实力分布不均，局部沉降开始显现。当沉降发展至一定程度时，钢轨垂向刚度变化更加剧烈，使车辆通过过程中遭遇突变支承条件，导致轮轨垂向冲击进一步升高，从而构成连锁性演化。

随着病害逐步深化，线路整体运营状态受到明显干扰。尖轨贴合状态不稳使列车通过区间产生“抖动段”，影响行车平稳性并加速车辆构件疲劳；辙叉区变形增大使通过振动频率升高，长期运行会造成扣件松弛、接头冲击增强、轨枕偏移，使线路几何尺寸不断偏离标准值。动力不平衡还会导致道岔开闭动作承受额外阻力，使转辙机可靠性下降。当力学状态不再稳定时，道岔区更易出现异常声响、磨屑增多、振动峰值增大等信号，提示结构进入高风险阶段。线路状态的劣化往往呈现同

步性特征，病害一旦由局部向整体扩散，其影响范围不仅限于道岔本体，还会波及相邻钢轨、扣件与基础结构，使整体线路安全储备不断被削弱。

4 不同病害的针对性维修方式

道岔各部位的受力状态与结构特征不同，使病害在表现形式上呈多样化趋势，需要依据病害类型采取针对性的维修方式，使轮轨接触关系恢复至稳定区间。转辙部分过车时尖轨跳动、轨枕空掉、滑床台离缝时，要加强转辙部高低、水平、方向的检查，水平超限或出现反超高时，及时捣固整修，防止过车时伤损尖轨，并保证滑床板离缝不大与2mm；基本轨垂磨严重、滑床台槽外口轨距块离缝、过车时基本轨有横移、转辙部分框架刚度不够、过车时基本轨有横移时，要对垂磨接近超限的基本轨，影响尖轨受力有轧伤尖轨可能时，必须及时更换；对基本轨外侧的扣件离缝要及时整修，对滑床台内侧有缝隙时，要用调整铁条插紧，防止基本轨横移加剧侧磨尖轨，必要时增加框架的刚度，在每根枕上1根轨距拉杆；另一方面在导向曲线与转辙部分设5-6mm的超高，两头按2‰顺坡，以减小对尖轨的侧磨；转辙部分轨距扩大时及时更换压烂的轨下5mm大胶垫，更换磨细30M大垫板螺栓，消除基本轨外侧离缝等；如尖轨区域的磨耗、擦伤与贴合不良时，可通过打磨修整尖轨前端形状、校正尖轨根部偏移、调整尖轨与基本轨的贴合力，使导向曲线重新符合设计参数。尖轨跟部松弛时，需要通过紧固连接螺栓、恢复锁定力矩、校核转辙机拉杆行程，使开闭动作保持协调^[4]。对于尖轨前端出现金属流移、棱边凸起等情况，可采用局部打磨、表面应力消减等工艺，使轮轨过渡更加平顺，降低瞬态冲击力。若磨耗超过修复范围，需要更换尖轨段，使道岔结构在受力分布上重新达到均衡。

辙叉部位的病害由于轮对跳跃效应更明显，维修方式需依据磨耗形态进行处理。辙叉心轨枕有空吊时，要及时捣固整修，心轨尖端出现剥落、掉块时，可采用焊补工艺恢复几何形状，使接触压力重新分散。焊补后需通过精细打磨使斑点形态呈现连续过渡，避免形成二次冲击。翼轨与心轨过渡区域若产生塑形变形，可通过冷弯矫正或局部更换部件，使轨面平顺度恢复到标准范围。若辙叉座底板或连接螺栓出现松动，可采用加固紧固、补强支持层等方式恢复支承刚度。护轨间距偏差引起的导向不稳，需要通过调整垫板厚度、校准护轨钢轨位置，使轮缘导向关系重新回到控制区。对磨耗速度较快的区域，可使用高强耐磨焊丝进行堆焊，使材料耐久性提升，从而延缓病害发展速度。

5 道岔维护策略的综合归纳

道岔的长期稳定运行离不开系统化的维护思路，需要在结构状态、动力环境与部件磨耗之间建立连续监测与动态调控的机制。尖轨、辙叉和护轨等关键部位在列车高频荷载作用下易出现形变累积，因而需要通过周期性检测掌握轨距变化、贴合

状况、磨耗深度和几何偏差,使潜在隐患在早期阶段被识别^[5]。轮轨接触斑点的变化可反映受力状态是否均衡,通过轨面探伤、几何测量与动态检测等方式,可判断斜坡磨耗或尖端变形是否处于可控水平。另外,对于有缝道岔接头病害这里不再探讨,因目前大部分重载铁路道岔已实现无缝化。

在维护过程中,结构调整与材料修复是不可或缺的一环。尖轨贴合不稳、辙叉区域冲击力偏高、护轨间距偏差等问题往往需要通过精细化的部件校正,使轮轨过渡重新恢复平顺。磨耗明显的区域可采用焊补、打磨或更换部件的方式,使表面强度和几何形态回到合理范围。轨下基础若出现支承刚度不足、局部沉陷或道砟破碎,通过捣固、补强和形态修复可使结构刚度得以均匀化,减少轮轨力的突变。对传动系统的润滑、清洁和间隙控制也具有重要意义,良好的传动链可使尖轨动作保持同步,减少因贴合不良而导致的动力失衡。

综合性维护策略还需依托动态分析与状态评估,使维修活动更加贴合道岔实际受力环境。通过对列车运行数据、轮轨力变化趋势和振动响应进行分析,可推断病害发展速度与重点区域,使维护周期与工作内容更加精准。对于磨耗速率加快的区

域,可采取强度更高、耐磨性更好的材料,提高抗疲劳能力。基础结构若长期承载高冲击荷载,可通过改进排水、增强下部结构稳定性等方式,使道岔环境更适合持续运行。随着线路运营密度提升,通过建立标准化检测体系、完善数据记录方式、形成趋势化评估方法,可使维护策略呈现连续性与前瞻性,为道岔整体运行状态提供持久可靠的技术支撑。

6 结语

道岔病害在形成、发展与处置过程中体现出明显的结构关联性与力学耦合特征,各部件之间相互影响,使线路状态呈现动态变化。对病害表现的识别、机理的解析以及维修方式的匹配构成了维护管理的重要基础。随着磨耗、变形与动力失衡的不断累积,道岔的运行环境会愈发复杂,因而需要依托精准检测、结构校正与材料修复等措施,使轮轨关系保持在稳定区间。面向不同类型的病害,采取具有针对性的技术手段,可使道岔在高频荷载作用下保持较高可靠性。持续性的状态评估与动态维护体系,使道岔结构在长期服役条件下仍具备良好的适应性,为线路运行的安全与平稳提供必要支撑。

参考文献:

- [1] 胡伟豪,马德礼,李应平等. 高速道岔惯性晃车病害综合整治方法研究[J].铁道工务,2024,2(05):46-50.
- [2] 王阿利. 复杂条件下道岔主要病害的整治措施[J].铁道建筑,2024,64(08):45-49.
- [3] 王帅. 铁路信号道岔病害防治研究[J].城市建筑空间,2024,31(S1):229-231.
- [4] 颜家学. 路面超薄磨耗层施工及质量控制研究[J].交通建设与管理,2022,(06):148-149+110.
- [5] 王瑄瑞. 普速铁路道岔病害成因及整治措施[N].科学导报,2022-07-19(B04).