

铁道工程线路耐久性提升策略与实践

白志凯

国能黄大铁路有限责任公司 山东 东营 257000

摘要：铁道线路作为交通运输的重要组成部分，其耐久性直接关系到铁路运营的安全与效率。然而，在长期的运营过程中，铁道线路会受到多种因素的影响，导致耐久性下降，进而影响铁路的正常运行。本文旨在探讨铁道线路耐久性提升的策略与实践，通过深入分析影响线路耐久性的因素，提出针对性的提升策略，并结合实际案例进行论证，以为铁道线路的维护与管理提供有益的参考。

关键词：铁道工程；线路；耐久性；提升策略

1 引言

铁道线路是铁路运输的基础设施，其耐久性对于保障铁路运营的安全、高效具有至关重要的作用。然而，随着铁路运营时间的延长，线路会受到自然因素、荷载作用、材料老化等多种因素的影响，出现各种病害，如钢轨磨损、轨枕损坏、道床脏污等，这些病害不仅会影响列车的正常运行，还可能危及行车安全。因此，提升铁道线路的耐久性，延长其使用寿命，是铁路部门亟待解决的问题。

2 铁道线路耐久性影响因素分析

2.1 自然因素

2.1.1 温度变化

温度变化对铁道线路材料性能有显著影响。例如，钢轨在极端高温下，其强度可能会降低，而在极端低温下，钢轨的韧性会下降，变得更容易发生脆性断裂。这种温度引起的材料性能变化会影响线路的承载能力。对于混凝土轨枕等部件，温度变化会引起其内部应力的变化。在温度变化较大的地区，混凝土轨枕可能会因为热胀冷缩而产生裂缝，进而降低其耐久性。如下表所示，钢轨温度每升高1摄氏度，1米的钢轨会伸长0.0118毫米。若长钢轨温度相对于锁定轨温变化1℃，线路固定区内钢轨纵向温度应力就改变2.478MPa。

表1 钢轨温度变化影响参数表

因素	参数/影响	量化数据
温度变化	钢轨伸长量（1米钢轨/℃）	0.0118毫米
温度变化	钢轨纵向温度应力变化（MPa/℃）	2.478

2.1.2 湿度影响

湿度对铁道线路的影响主要体现在对金属材料的腐蚀上。在潮湿环境中，钢轨表面容易形成一层水膜，这层水膜会与空气中的氧气、二氧化碳等物质发生化学反应，加速钢轨的锈蚀过程。湿度还会影响道床的性能。当道床含水量过高时，其承载能力会降低，同时道床的

稳定性也会受到影响，容易出现翻浆冒泥等病害。

2.1.3 化学侵蚀

化学侵蚀是铁道线路耐久性下降的另一个重要因素。例如，在一些工业污染严重的地区，铁路线路可能会受到酸雨等化学物质的侵蚀。酸雨中的酸性物质会与钢轨、轨枕等材料发生化学反应，导致材料性能下降^[1]。在地下水位较高的地区，地下水中的化学物质也可能对地铁隧道等结构产生侵蚀作用。如地下水中的氯离子会对混凝土中的钢筋产生锈蚀作用，降低混凝土的耐久性。

2.2 荷载作用

2.2.1 列车荷载

列车荷载是铁道线路承受的主要荷载之一。随着铁路运输量的不断增加，列车轴重也在不断提高，这对线路的承载能力提出了更高的要求。列车荷载的反复作用会导致钢轨磨损加剧、轨枕损坏等问题。列车在运行过程中还会产生振动荷载，这种振动荷载会对线路的结构稳定性产生影响。长期的振动荷载作用可能会导致线路基础出现沉降、变形等病害。

2.2.2 疲劳荷载

铁道线路在长期使用过程中会承受大量的疲劳荷载。疲劳荷载是指荷载大小和方向随时间发生周期性变化的荷载。在疲劳荷载的作用下，线路材料会发生疲劳损伤，当疲劳损伤积累到一定程度时，就会导致材料破坏。例如，钢轨在列车反复荷载作用下，其表面会出现疲劳裂纹，随着裂纹的扩展，最终可能导致钢轨断裂。

2.3 材料因素

2.3.1 钢轨材料

钢轨是铁道线路中最关键的部件之一，其材料性能直接影响线路的耐久性。钢轨材料的质量不稳定，如存在内部缺陷、化学成分不均匀等问题，会导致钢轨在使用过程中出现早期磨损、断裂等病害。钢轨材料的耐腐

蚀性也是影响其耐久性的重要因素。一些钢轨材料在潮湿、污染等环境中容易发生锈蚀，锈蚀后的钢轨其截面积会减小，承载能力降低，同时锈蚀产物还会对道床等设备产生不良影响。

2.3.2 轨枕材料

轨枕用于支撑钢轨，并将其荷载传递给道床。常见的轨枕材料有木材、混凝土等。木材轨枕容易受到腐朽、虫蛀等自然因素的影响，其耐久性较差。混凝土轨枕虽然耐久性相对较好，但在长期荷载作用下，也可能出现裂缝、破损等病害。轨枕材料的强度、刚度等性能也会影响线路的耐久性。如果轨枕材料的强度不足，在列车荷载作用下，轨枕容易发生变形甚至断裂，从而影响线路的稳定性。

2.3.3 道床材料

道床是铁道线路的基础结构，其材料性能对线路的耐久性也有重要影响。道床材料应具有良好的承载能力、稳定性和排水性能^[2]。如果道床材料的级配不合理、含泥量过高，会导致道床的承载能力降低，同时道床的排水性能也会受到影响，容易出现翻浆冒泥等病害。

2.4 施工因素

2.4.1 施工工艺

施工工艺是影响铁道线路施工质量的关键因素之一。例如，在钢轨铺设过程中，如果铺设工艺不合理，如钢轨接头处理不当，会导致钢轨接头处出现病害，如接头松动、高低不平等，影响列车的平稳运行。在轨枕铺设和道床施工方面，如果施工工艺不符合规范要求，如轨枕间距不均匀、道床捣固不实等，会导致线路的稳定性降低，容易出现线路爬行、轨距扩大或缩小等病害。

2.4.2 质量控制

质量控制是确保铁道线路施工质量的重要手段。如果在施工过程中质量控制不严，如材料检验不合格、施工工序验收不严格等，会导致线路存在质量隐患，进而影响其耐久性。例如，如果使用了质量不合格的钢轨或轨枕，这些部件在使用过程中更容易出现病害，降低线路的耐久性。

2.5 使用因素

2.5.1 超载运输

超载运输是铁道线路面临的一个严重问题。一些货运列车为了追求经济效益，往往会超载运输，这会对线路造成过大的荷载，加速线路的磨损和损坏。超载运输会导致钢轨磨损加剧、轨枕损坏、道床下沉等病害，严重影响线路的耐久性。

2.5.2 养护不当

养护不当也是影响铁道线路耐久性的重要因素之一。如果对线路缺乏定期的养护和维修，线路病害得不到及时处理，会导致病害逐渐恶化，最终影响线路的正常使用。例如，如果钢轨接头处的病害得不到及时处理，会导致接头松动加剧，甚至出现钢轨断裂等严重事故。

3 铁道线路耐久性提升策略

3.1 材料优化策略

应优先选择质量稳定、性能可靠的钢轨材料。例如，可以采用高强度、高耐磨性的钢轨材料，以提高钢轨的承载能力和耐磨性。同时，还应关注钢轨材料的耐腐蚀性，选择具有良好耐腐蚀性能的钢轨材料，以减少在潮湿、污染等环境中的锈蚀问题。在钢轨的生产过程中，应严格控制生产工艺和质量控制标准，确保钢轨材料的质量符合设计要求。例如，可以采用先进的冶炼工艺和热处理工艺，提高钢轨材料的内部质量和性能稳定性。对于木材轨枕，可以采用防腐、防虫蛀等处理措施，提高其耐久性。同时，应积极推广使用混凝土轨枕等耐久性更好的轨枕材料。在混凝土轨枕的生产过程中，应优化混凝土配合比设计，提高其强度、刚度和抗裂性能^[3]。例如，可以添加适量的纤维材料，如聚丙烯纤维、钢纤维等，以提高混凝土轨枕的抗裂性能。应根据线路的使用条件和要求，选择合适的道床材料。例如，在重载铁路线路上，可以选择强度高、稳定性好的道砟材料，以提高道床的承载能力。还应优化道床材料的级配设计，确保道床具有良好的排水性能和稳定性。例如，可以采用不同粒径的道砟进行级配，形成稳定的骨架结构，提高道床的承载能力。

3.2 环境防护策略

在一些温度变化较大的地区，可以采取相应的温度控制措施，如设置遮阳棚、保温层等，以减少温度变化对线路材料性能的影响。对于湿度较大的地区，应加强线路的排水设施建设和维护，确保线路排水畅通，减少潮湿环境对线路材料的腐蚀作用。例如，可以定期清理道床中的积水，疏通排水沟等。在工业污染严重的地区，应加强对铁路线路的化学侵蚀防护。例如，可以在钢轨表面涂刷防腐涂料，形成一层保护膜，阻止化学物质与钢轨发生化学反应。对于地下水位较高的地区，应采取相应的防水措施，如设置防水层、排水井等，以减少地下水对地铁隧道等结构的侵蚀作用。

3.3 施工工艺优化策略

在钢轨铺设过程中，应严格控制钢轨接头的处理质量。例如，可以采用焊接接头代替传统的螺栓接头，减少接头处的病害发生。同时，还应确保钢轨铺设的平

直度和水平度符合设计要求,以提高列车的平稳运行性能。在钢轨铺设完成后,应进行严格的验收和检测工作,确保钢轨的质量符合设计要求。例如,可以采用无损检测技术对钢轨进行内部缺陷检测,及时发现并处理质量问题。在轨枕铺设过程中,应确保轨枕间距均匀、位置准确。同时,还应采用合适的固定方式,如螺栓固定、扣件固定等,确保轨枕与钢轨之间的连接牢固可靠。在道床施工过程中,应严格控制道床的捣固质量和密实度。例如,可以采用机械化捣固设备进行捣固作业,提高道床的密实度和稳定性。同时,还应确保道床的排水性能良好,避免出现翻浆冒泥等病害。

3.4 质量控制策略

在铁道线路施工过程中,应加强对原材料的质量检验工作。例如,对钢轨、轨枕、道砟等材料进行严格的进货检验和复试检验,确保其质量符合设计要求。对于关键原材料,如钢轨材料,还应进行全过程的质量跟踪和监控,确保其在使用过程中的性能稳定可靠。应建立完善的施工工序验收制度,对每一道施工工序进行严格的质量验收。例如,在钢轨铺设完成后,应对钢轨的平直度、水平度、接头质量等进行验收;在轨枕铺设和道床施工完成后,应对轨枕间距、位置、道床密实度等进行验收。对于不符合设计要求的施工工序,应及时进行整改和处理,确保施工质量符合设计要求。

3.5 使用管理策略

铁路部门应加强对超载运输的监管力度,制定严格的超载处罚措施,确保货运列车按照规定的载重量进行运输。同时,还应加强对货运列车的称重检测工作,及时发现并处理超载运输行为。例如,可以在铁路货场设置称重设备,对货运列车进行称重检测,确保列车载重量符合规定要求。应建立完善的铁道线路养护维修制度,定期对线路进行检查、评估和维护。

4 铁道线路耐久性提升实践案例:大秦铁路

大秦铁路是中国第一条双线重载电气化铁路,自1992年全线开通以来,运量逐年增长,成为世界上年运量最大的铁路之一。由于运量大幅度增加和轴重的增加,钢轨伤损也随之加重,如波磨、轨面疲劳裂纹、焊缝凹陷等病害多发。为了改善铁路线路的运行工况、减缓或消除钢轨缺陷,大秦铁路采用了钢轨打磨技术。

4.1 病害情况分析

该线路部分区段的波磨病害波长在30~80mm范围内,最大波磨值达到了0.7mm。波磨对轨道的平整度影响较大,会加剧轮轨间的冲击和振动,危及行车安全。部分钢轨地段的表面细微裂纹发展成为连续凹坑,这些裂

纹和凹坑会进一步扩展,导致钢轨强度下降,甚至引发断轨事故。焊缝处由于焊接工艺或材料差异,容易出现凹陷现象,影响轨道的平顺性。

4.2 打磨策略与实施

针对上述病害情况,该线路采用了预防性打磨和修理性打磨相结合的打磨策略。在钢轨轨头裂纹开始扩展前,对裂纹萌生区进行打磨,防止接触疲劳型波磨的产生和发展。预防性打磨的切削量较小,一般控制在0.1~0.2mm之间。该线路通过定期预防性打磨,有效减缓了钢轨侧磨、疲劳和波磨的发展速度,改善了轮轨接触状况。对于已经产生的钢轨表面病害,如波磨、焊缝凹陷等,采用修理性打磨进行去除。修理性打磨的切削量较大,一般在0.5~4.6mm之间。通过修理性打磨,该线路成功消除了钢轨表面的病害,恢复了钢轨的原始廓形。

4.3 打磨效果与数据细节

采用预防性打磨后,测得轨检车车体的垂向加速度为0.08~0.15g,平均振动频率为2.60Hz。相比修理性打磨后的振动数据(垂向加速度为0.1~0.22g,平均振动频率为1.67Hz),预防性打磨显著降低了列车的振动频率和幅度。通过定期预防性打磨和必要的修理性打磨,该线路的钢轨使用寿命得到了有效延长。据统计,经过打磨维护的钢轨相比未打磨的钢轨,使用寿命可延长5~8年。虽然预防性打磨增加了短期的维护成本,但从长远来看,通过延长钢轨使用寿命、减少病害发生频率和维修次数,该线路的运营成本得到了显著降低。

结语

铁道线路耐久性的提升是一个系统工程,需要从材料优化、环境保护、施工工艺优化、质量控制和使用管理等多个方面入手。通过选用优质材料、加强环境保护、优化施工工艺、严格质量控制和完善使用管理策略等措施,可以有效提高铁道线路的耐久性,延长其使用寿命,保障铁路运营的安全与高效。同时,结合具体的实践案例可以看出,这些提升策略在实际应用中取得了显著的效果,为铁道线路的维护与管理提供了有益的参考。未来,随着科技的不断进步和新型材料的不断涌现,相信铁道线路的耐久性问题将得到更好的解决和发展。

参考文献

- [1]吴培元.铁道工务线路养护维修问题及管理探析[J].科技资讯,2020,18(17):39-40.
- [2]姜雄基.铁道线路养护维修与管理研究[J].工程建设与设计,2019,(14):68-69.
- [3]张万鹏,江珂,马祯,等.铁路线路环境安全技防系统集成应用方案研究[J].中国铁路,2025,(02):159-165.