

重载铁路路基稳定性评价与病害整治措施

王浩杰

中国神华能源股份有限公司神朔铁路分公司 陕西 榆林 719316

摘要：本文聚焦重载铁路路基稳定性问题。首先分析影响路基稳定性的内在与外在因素，涵盖填料性质、结构形式、重载荷载等多方面。接着构建科学评价指标体系，明确量化与分级标准，采用定性定量结合法评价稳定性。随后阐述路基常见病害类型，包括沉降、边坡、冻融病害及其成因。最后针对不同病害提出整治措施，如沉降病害用强夯、换填等方法，边坡病害调整坡度、设置防护，冻融病害选防冻填料、完善排水等，旨在为重载铁路路基的维护与整治提供理论依据与实践指导。

关键词：重载铁路；路基稳定性；评价；病害整治；措施

引言：重载铁路作为国家重要的交通基础设施，在货物运输中发挥着关键作用。其路基的稳定性直接关系到铁路运输的安全与效率。然而，重载铁路路基受内在因素如填料性质、结构形式、压实度，以及外在因素如重载荷载、自然环境、列车振动等综合影响，稳定性面临诸多挑战。这些因素相互作用，易引发路基沉降、边坡病害、冻融病害等多种问题，严重影响铁路的正常运行。因此，深入研究重载铁路路基稳定性的影响因素、评价方法、常见病害类型及成因，并探索有效的整治措施，对于保障重载铁路的安全稳定运行、提高运输效率、降低维护成本具有重要的现实意义。

1 重载铁路路基稳定性的影响因素

重载铁路路基稳定性受内在与外在多种因素的综合影响，二者相互交织，共同决定路基的长期稳定状态。内在因素源于路基自身固有属性，直接决定其承载潜力与抗变形能力；外在因素则通过改变路基内在属性，间接影响其稳定性。（1）内在因素中，路基填料的性质是核心要素。填料的颗粒级配影响其密实程度，合理的级配能使填料颗粒相互嵌挤，形成稳定结构；密实度反映填料的紧密程度，密实度越高，承载能力越强；抗剪强度体现填料抵抗剪切破坏的能力，是维持路基稳定的关键指标；含水量则影响填料的力学性能，过高或过低都会降低其稳定性^[1]。路基结构形式同样重要，路基高度影响地基应力分布，边坡坡度决定边坡的稳定性，不合理的结构形式会导致路基受力不均，引发边坡滑移、路基沉降等问题。路基压实度不足会使填料孔隙率过大，在重载荷载作用下，填料颗粒易发生相对位移，产生塑性变形，降低路基稳定性。（2）外在因素方面，重载荷载作用是主要因素之一。重载列车反复通过，会使路基产生累积变形，长期作用下，路基压实度下降，结构出

现破损，影响行车安全。自然环境影响也不容忽视，降水会渗入路基，使填料含水量增加，软化填料，降低其抗剪强度；温度变化会引起填料热胀冷缩，导致填料收缩、开裂，破坏路基整体性；地下水上升会浸泡路基，降低路基承载能力，引发路基病害。列车运行产生的振动，会加剧路基填料颗粒的位移，使路基密实度下降，长期振动还可能引发路基共振，进一步破坏路基稳定性。

2 重载铁路路基稳定性评价

2.1 评价指标体系构建

结合重载铁路路基的受力特点与稳定性影响因素，构建科学、全面的稳定性评价指标体系，是开展稳定性评价的基础。评价指标需具备针对性、可量化性与实用性，涵盖路基承载能力、抗变形能力、抗滑移能力及抗环境影响能力四个维度，每个维度选取具体可量化的指标，形成完整的评价指标体系。

承载能力维度选取路基承载力、压实度两个核心指标，其中路基承载力反映路基承受重载荷载的能力，压实度反映路基填料的密实程度；抗变形能力维度选取路基工后沉降量、沉降速率两个指标，工后沉降量是衡量路基长期变形的关键指标，沉降速率反映路基变形的发展趋势；抗滑移能力维度选取边坡抗剪强度、边坡稳定系数两个指标，直接反映路基边坡的抗滑移能力；抗环境影响能力维度选取填料含水量、抗冻性两个指标，反映路基在自然环境作用下的稳定性保持能力。

2.2 评价指标量化与分级

对构建的评价指标进行量化处理，明确各指标的取值范围与分级标准，为稳定性评价提供量化依据。各指标的量化方法结合试验检测与工程实践经验确定，确保量化结果的准确性与实用性。

路基承载力采用平板载荷试验进行量化，根据试验

测得的极限承载力,分为优秀、良好、合格、不合格四个等级;压实度采用环刀法、灌砂法等检测方法量化,结合重载铁路路基要求,确定各等级对应的压实度阈值;工后沉降量与沉降速率根据路基使用年限与运营要求,划分不同等级,确保沉降量与沉降速率控制在允许范围内;边坡抗剪强度通过直剪试验量化,边坡稳定系数采用极限平衡法计算,根据计算结果划分稳定等级;填料含水量采用烘干法检测,抗冻性通过冻融试验量化,明确各等级对应的指标取值范围^[2]。

2.3 稳定性评价方法

结合重载铁路路基的特点,采用定性与定量相结合的评价方法,对路基稳定性进行综合评价。定性评价主要通过现场勘查,分析路基的外观形态、填料状态、边坡完整性等,初步判断路基稳定性状况;定量评价则基于构建的评价指标体系,采用层次分析法确定各指标的权重,结合指标量化结果,通过综合评分法计算路基稳定性综合得分,根据得分划分稳定性等级(优秀、良好、合格、不合格)。

层次分析法通过构建层次结构模型,将稳定性评价目标分解为准则层(四个评价维度)与指标层(具体评价指标),通过两两比较判断矩阵确定各指标的权重,确保权重分配的合理性;综合评分法根据各指标的量化结果与权重,计算综合得分,直观反映路基稳定性状况,为后续病害整治提供明确依据。

3 重载铁路路基常见病害类型及成因

3.1 路基沉降病害

路基沉降作为重载铁路路基极为常见的病害类型,主要呈现为路基表面出现下沉现象,或存在不均匀沉降情况。此类病害会严重破坏线路的平顺性,对列车运行安全构成威胁。

究其成因,主要有以下三方面。(1)路基填料压实度未达标准要求,使得填料孔隙率超出合理范围。在重载荷载的反复作用下,填料颗粒会重新排列组合,进而产生塑性沉降。(2)填料自身性质存在缺陷。若填料中细颗粒含量过高、含水量过大,会直接导致其抗剪强度与承载能力降低,在列车荷载作用下,极易发生压缩变形。(3)受外在因素影响。降水浸泡路基、地下水上升会使填料软化,降低其强度;列车运行产生的振动会加剧填料颗粒的位移,进一步推动沉降的发展,给重载铁路的安全运营带来隐患^[3]。

3.2 路基边坡病害

重载铁路路基边坡病害形式多样,常见的有边坡滑移、边坡冲刷以及边坡开裂等。在这诸多病害中,边坡

滑移的危害最为突出,一旦发展到严重程度,会直接致使边坡坍塌,进而阻断铁路线路的正常运营,造成严重的经济损失和运输中断。

分析其成因,主要有以下几点。(1)边坡坡度设计不合理是重要因素之一。若坡度过陡,会使边坡土体所承受的应力分布失衡,抗滑移能力显著降低,在重力及其他外力作用下极易发生滑动。(2)填料自身的抗剪强度较低,难以承受边坡自身重量以及列车行驶等外部荷载的作用,导致边坡稳定性下降。(3)降水对边坡表面的冲刷作用不可忽视,长时间的降水冲刷会使边坡填料不断流失,边坡坡度逐渐变陡,最终引发滑移。此外,列车运行产生的振动会使边坡填料逐渐松动,进一步削弱了边坡的稳定性。

3.3 路基冻融病害

在寒冷地区,重载铁路路基极易出现冻融病害,其主要表现形式为路基冻胀与融沉。这两种现象会使路基表面出现明显的起伏不平状况,严重破坏路基结构的完整性,对铁路的安全运营构成威胁。该病害的成因主要与路基填料中的游离水有关。在低温环境作用下,填料内的游离水会结冰,由于水结冰时体积会膨胀,进而对周围填料产生挤压作用,导致路基发生冻胀。而当气温升高,冰体逐渐融化,此时填料中的含水量显著增加,同时密实度大幅下降,便会产生融沉变形。并且,在寒冷地区,气温会反复升降,使得路基经历反复的冻融循环。这种循环会持续破坏路基填料的内部结构,逐步降低路基的承载能力与稳定性,经过长时间的累积作用,最终会引发路基破损。

4 重载铁路路基病害整治措施

4.1 路基沉降病害整治措施

针对重载铁路路基沉降病害,需依据其具体成因,精准施策,核心在于提升路基填料的密实程度与承载效能,有效约束路基变形。(1)对于压实度未达标准要求的路基段落,可运用强夯法与冲击碾压法等先进压实技术展开补压作业。强夯法通过重锤自由落体产生的强大冲击力,使填料颗粒重新排列,紧密嵌锁,显著提高填料密实度,进而减少塑性沉降的发生。冲击碾压法则是利用冲击压路机的非圆形冲击轮,在行进过程中产生高能量的冲击力,对路基进行周期性冲击,有效压实深层填料,增强路基整体稳定性。(2)若路基填料性质欠佳,需进行填料改良。向填料中掺入适量的石灰、水泥等改良剂,通过化学反应改变填料的物理力学性质,提高其抗剪强度与承载能力,降低填料的压缩性,减少因填料自身问题引发的沉降。(3)设置科学合理的排水设

施至关重要。在路基内部及周边合理布置渗沟、排水沟等排水系统,能够及时将路基内部的积水排出,降低填料含水量,防止填料因水分过多而软化,从而有效减少沉降量。(4)对于存在不均匀沉降的路基段落,采用换填法进行整治。将沉降较大区域的劣质填料挖除,换填为级配良好、强度较高的优质填料,并进行充分压实,确保路基各部分沉降均匀,保障重载铁路的安全稳定运行^[4]。

4.2 路基边坡病害整治措施

路基边坡病害的整治关键在于增强边坡的抗滑移与抗冲刷性能,同时优化其结构,以保障边坡的长期稳定。(1)合理调整边坡坡度是基础举措。需依据填料的物理力学性质,如颗粒级配、抗剪强度等,以及边坡的实际高度,运用科学的计算方法,精准确定边坡坡度。对于过陡的边坡,应进行放缓处理,以此降低边坡土体的下滑力,提高边坡的稳定性,避免因坡度过大而引发滑坡等病害。(2)对边坡实施防护处理不可或缺。可采用多种防护形式,如喷播植草,通过将草籽、肥料、土壤改良剂等混合喷播在边坡上,形成植被覆盖层,既能减少降水对边坡的直接冲刷,又能利用植物根系固土,防止填料流失;锚杆框架防护则是通过在边坡上设置锚杆,并安装框架结构,增强边坡的整体性;浆砌片石护坡适用于坡度较陡、易受水流冲刷的边坡,能有效抵御水流侵蚀,保护边坡稳定。对于边坡滑坡段落,需采用抗滑桩、挡土墙等支挡结构。这些结构能够提供强大的抗滑移反力,阻止边坡土体继续滑动,确保边坡稳定。(3)及时清除边坡上的松动填料,对开裂边坡进行灌浆处理,修复边坡的破损部位,可有效消除安全隐患,增强边坡的整体稳定性,延长边坡的使用寿命,保障重载铁路的安全运营。

4.3 路基冻融病害整治措施

路基冻融病害会严重影响重载铁路的安全与稳定运行,其整治的核心在于有效减少路基填料中的游离水,切实提高路基的抗冻性能。(1)选用防冻填料是基础且关键的举措。对于路基表层填料,应进行全面更换,挑选级配良好、渗透性强且抗冻性优异的填料。良好的级配能使填料颗粒间紧密排列,减少孔隙,降低游离水的存留空间;较强的渗透性可加速水分排出,避免水分积聚;而优异的抗冻性则能增强填料在冻融循环作用下的

稳定性,从源头上减少游离水含量,降低冻融病害发生的可能性。(2)设置防冻层也十分必要。在路基表层铺设专门的防冻垫层,像一道屏障,能够有效阻止冻融循环对路基深层结构的破坏。防冻垫层可选用具有良好隔热性能和一定强度的材料,减缓热量传递,降低路基内部温度变化幅度,减少冻胀和融沉现象。(3)完善排水系统不可或缺。通过设置地下排水设施,如盲沟、渗井等,降低地下水位,及时排出路基内部积水。地下水位过高会使路基长期处于潮湿状态,增加冻胀风险,而有效的排水系统能保持路基干燥,减少冻胀融沉的产生。

(4)对于已经因冻融出现破损的路基段落,需进行挖除换填处理。将受损的填料彻底挖除,更换为抗冻性好的填料,并进行充分压实,确保新填料与周围路基紧密结合,恢复路基结构的完整性与承载能力,保障重载铁路的安全通行^[5]。

结束语

重载铁路路基稳定性研究是一个复杂且持续的课题。通过对稳定性影响因素的剖析、评价体系的构建、病害类型及成因的探讨以及整治措施的提出,我们对重载铁路路基有了更深入的认识。在实际工程中,需综合考虑各种因素,依据科学的评价方法准确判断路基稳定性状况,针对不同病害及时采取有效的整治措施。同时,随着技术的不断进步,应持续探索更先进、更高效的路基稳定性保障技术与病害整治方法,不断提高重载铁路路基的稳定性,确保重载铁路能够安全、高效、稳定地运行,为国家经济发展和物资运输提供坚实的保障。

参考文献

- [1]张瑞.基于模糊综合评价的重载铁路路基服役状态评估模型[J].科技与创新,2024(18):14-18.
- [2]张丽霞.重载铁路隧道衬砌病害套衬整治关键技术及应用[J].铁道建筑,2024,64(6):114-118.
- [3]夏朋朋.铁路路基沉降整治措施及治理效果研究[J].工程技术研究,2024,9(11):140-142.
- [4]常卫锋.铁路隧道隧底上拱病害成因及整治措施[J].铁道工务,2024,2(5):87-91.
- [5]魏伟.专用线铁路线路病害整治及养护维修研究[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2024,23(1):7-9+15.