

山区高填方路基沉降机理与处治技术工程应用研究

石磊

安徽建工公路桥梁建设集团有限公司 安徽 合肥 230031

摘要: 山区高填方路基因地形复杂、地质条件多变、填料性质不均及施工工艺差异等因素,易产生沉降变形,影响路基稳定性和使用寿命,成为山区交通工程建设中的突出难题。本文结合山区高填方路基的工程特性,系统分析沉降产生的核心机理,探讨各类处治技术的适用条件与应用要点,通过梳理技术应用逻辑,优化处治方案设计思路,为山区高填方路基沉降控制提供理论支撑和技术参考,助力提升山区路基工程建设质量,减少沉降病害带来的不利影响。

关键词: 山区高填方路基; 沉降机理; 处治技术; 路基稳定性; 沉降控制

引言: 随着山区交通基础设施建设持续推进,高填方路基广泛应用于地形起伏较大路段,其施工质量直接关系到交通线路安全运营。山区地形复杂、岩土体性质多样,加之降雨、温度变化等自然因素影响,高填方路基在填筑及运营中易出现不均匀沉降、局部开裂等病害,既增加养护成本,也可能引发安全隐患。目前,山区高填方路基沉降研究虽有进展,但受山区地质特殊性影响,沉降机理复杂性及处治技术适配性仍需深化。本文聚焦沉降机理与处治技术工程应用,结合山区工程特点展开研究,为同类工程提供借鉴。

1 山区高填方路基基本特性

山区高填方路基是指在山区地形条件下,通过分层填筑岩土材料形成的、填方高度较大的路基结构,其核心特性与山区地形、地质及填料条件密切相关。与平原地区高填方路基相比,山区高填方路基地形起伏大,基底坡度往往较大,地基承载力分布不均,易导致路基受力失衡,引发沉降变形。填料多采用山区就地取材的土石混合料,颗粒级配差异较大,含泥量、含水量难以精准控制,部分填料压缩性较高,后期固结沉降量较大。同时,山区降雨集中、昼夜温差明显,雨水渗透会降低填料强度和整体性,温度变化会导致岩土体胀缩变形,长期作用下加剧路基沉降。此外,山区施工空间受限,压实机械作业难度大,易出现压实度不足的问题,为路基沉降埋下隐患^[1]。

2 山区高填方路基沉降机理分析

2.1 地形地质因素机理

山区地形起伏大,基底多为倾斜坡面,路基填筑后,填料自身重量及上部荷载会在基底产生不均匀应力分布,坡度越大,应力集中现象越明显,易导致基底岩土体发生剪切变形,进而引发路基整体沉降。地质条件方面,山区地下岩土体种类繁多,部分路段存在软弱下卧层,

其压缩性高、承载力低,在高填方荷载作用下,软弱下卧层会发生缓慢固结变形,产生长期沉降。同时,山区岩土体多存在节理、裂隙,雨水易沿裂隙渗透,软化岩土体,降低其抗剪强度和承载力,加剧沉降变形,若存在地下水位上升现象,还会增大岩土体容重,降低有效应力,进一步促进沉降发展。

2.2 填料因素机理

填料是高填方路基的核心组成部分,其性质直接决定路基的压缩性和稳定性,是影响沉降的关键因素。山区高填方路基填料多为就地取材的土石混合料,颗粒级配不合理,若粗颗粒含量过高,颗粒间空隙难以填充,易形成松散结构,后期在荷载作用下空隙压缩,产生沉降;若细颗粒含量过高,含水量控制不当,填料压实难度大,压实度不足,孔隙率高,后期固结过程中孔隙水排出,体积收缩,引发沉降。此外,填料的不均匀性会导致路基内部应力分布不均,部分区域因填料强度不足,易发生局部压缩变形,进而发展为整体不均匀沉降,影响路基结构完整性。

2.3 施工因素机理

施工工艺的合理性直接影响高填方路基的施工质量,不当施工是引发路基沉降的重要人为因素。填筑过程中,若分层厚度过大,压实机械的压实能量无法有效传递至填料深层,导致深层填料压实度不足,孔隙率大,后期在荷载作用下发生压缩沉降;若填筑速度过快,前期填筑的填料未完成充分固结,就施加后续荷载,会导致填料固结变形叠加,增加总沉降量。压实工艺方面,压实机械选型不当、压实遍数不足或压实顺序不合理,会导致填料密实度不够,结构松散,抗剪强度低,无法承受上部荷载,进而产生沉降。此外,基底处理不彻底,未清除表层软弱土层、未进行夯实加固,会导致基底承载力不足,在高填方荷载作用下发生沉降,进而带动上部

路基变形^[2]。

2.4 环境与运营因素机理

山区自然环境复杂,环境因素对高填方路基沉降的长期影响不可忽视。降雨是主要影响因素之一,雨水渗透至路基内部,会软化填料,降低其强度和整体性,同时增加填料含水量,导致填料体积膨胀,干燥后收缩,反复循环会加剧路基开裂和沉降;雨水还会冲刷路基边坡,导致边坡失稳,间接引发路基沉降。温度变化方面,山区昼夜温差大,岩土体在温度作用下会发生热胀冷缩,长期反复的胀缩变形会破坏填料颗粒间的联结,降低路基整体性,进而产生累计沉降。运营期间,车辆荷载的反复作用会加剧路基填料的压缩变形,尤其是重载车辆的长期碾压,会导致路基表层及深层填料发生塑性变形,产生附加沉降,若荷载分布不均,还会引发不均匀沉降,影响路面平整度和路基稳定性。

3 山区高填方路基处治技术工程应用

3.1 基底处理处治技术

基底处理是控制山区高填方路基沉降的基础环节,核心目的是提高基底承载力,减少基底变形,为路基填筑提供稳定的支撑条件。针对山区基底地形复杂、承载力不均的特点,需根据基底岩土体性质,采用针对性的处理技术。对于倾斜基底,首先需进行削坡减载处理,将基底坡度调整至合理范围,减少应力集中,削坡后需对坡面进行夯实,增强坡面稳定性;若基底存在软弱土层,需采用换填法,将软弱土层挖除,换填强度高、压缩性低的填料,换填厚度根据软弱土层厚度和承载力要求确定,换填后需分层压实,确保换填层密实度。对于基底岩土体节理、裂隙发育的路段,可采用注浆加固技术,通过向节理、裂隙中注入浆液,填充空隙,胶结岩土体,提高基底整体强度和抗渗性,减少雨水渗透对基底的破坏。此外,对于地下水位较高的基底,需先进行降水处理,降低地下水位,减少地下水对基底岩土体的软化作用,再进行基底夯实或换填处理,确保基底稳定性。基底处理完成后,需对基底承载力进行检测,达标后方可进行路基填筑作业^[3]。

3.2 填料改良处治技术

填料改良的核心是优化填料性质,降低填料压缩性,提高填料强度和密实度,减少填料后期固结沉降,适配山区高填方路基的荷载要求。针对山区填料颗粒级配不合理、含泥量高、压缩性大等问题,可采用物理改良和化学改良两种方式。物理改良主要通过调整填料级配、混合不同性质填料实现,对于颗粒级配不良的土石混合料,可掺入适量细料或粗料,优化颗粒级配,使填料颗

粒相互填充,减少空隙率,提高密实度;对于含泥量过高的填料,可采用晾晒、筛分等方式降低含泥量,或掺入适量粗骨料,改善填料的水稳定性和强度。化学改良主要通过掺入化学改良剂,改变填料的物理化学性质,提高填料的强度和抗压缩性,常用的改良剂包括石灰、水泥、粉煤灰等。掺入石灰可降低填料含水量,促进填料颗粒胶结,提高强度和稳定性;掺入水泥可增强填料的胶结能力,形成稳定的整体结构,降低压缩性;掺入粉煤灰可利用其活性,与填料颗粒发生反应,改善填料性质,同时减少资源浪费。填料改良过程中,需严格控制改良剂掺量、混合均匀度和含水量,确保改良效果,改良后的填料需进行试验检测,满足设计要求后方可用于路基填筑。

3.3 压实优化处治技术

压实质量是控制高填方路基沉降的关键,山区高填方路基施工空间受限,压实难度大,需优化压实工艺,提高填料密实度,减少孔隙率,降低后期固结沉降。首先,需合理选择压实机械,根据填料类型和填筑厚度,选用大吨位振动压路机、冲击压路机等高效压实设备,确保压实能量能够有效传递至填料深层,对于地形复杂、机械作业困难的路段,可采用小型压实机械配合作业,确保压实无死角。其次,优化压实参数,严格控制分层填筑厚度,根据填料类型和压实机械性能,确定合理的分层厚度,一般情况下,土石混合料分层厚度不宜超过50cm,细粒土分层厚度不宜超过30cm;控制压实遍数,根据压实检测结果,确定合理的压实遍数,确保填料密实度达到设计要求;优化压实顺序,采用先轻后重、先慢后快、先边后中的压实顺序,确保路基均匀压实,减少应力分布不均引发的不均匀沉降。此外,压实过程中需严格控制填料含水量,将含水量控制在最佳含水量范围内,含水量过高易导致填料出现“弹簧”现象,压实度难以达标;含水量过低则填料颗粒联结松散,难以压实,影响压实质量。压实完成后,需对每层填料的压实度进行检测,检测合格后方可进行下一层填筑,确保路基整体压实质量^[4]。

3.4 加固补强处治技术

对于沉降风险较高、承载力要求较高的山区高填方路基,需在基底处理、填料改良和压实优化的基础上,采用加固补强技术,进一步提高路基整体强度和稳定性,控制沉降变形。常用的加固补强技术包括强夯法、CFG桩复合地基法、土工格栅加固法等,需根据路基沉降风险、地质条件和工程要求,选择适配的加固技术。强夯法主要通过重锤自由下落产生的冲击力,对路基填料进

行强力夯实,提高填料密实度和强度,减少孔隙率,适用于颗粒级配较好的土石混合料路基,强夯过程中需控制重锤重量、落距和夯击遍数,避免对路基造成过度扰动。CFG桩复合地基法通过在路基中设置CFG桩,与基底岩土体和路基填料形成复合地基,提高地基承载力,减少沉降量,适用于基底承载力不足、沉降量较大的路段,CFG桩施工需控制桩长、桩径和桩间距,确保桩体质量和复合地基承载力达标。土工格栅加固法通过在路基填料中铺设土工格栅,利用土工格栅的抗拉强度和整体性,约束填料颗粒的位移,提高路基整体稳定性,减少不均匀沉降,适用于填料不均匀、易发生局部沉降的路段,铺设过程中需确保土工格栅平整、拉紧,与填料紧密结合,避免出现褶皱、松动现象。此外,对于路基边坡,可采用锚杆加固、抗滑桩加固等技术,提高边坡稳定性,避免边坡失稳引发的路基沉降。

3.5 排水防护处治技术

山区降雨集中,雨水渗透是加剧路基沉降的重要环境因素,因此,排水防护处治技术是控制山区高填方路基沉降的重要保障,核心目的是排出路基内部及周边的雨水,减少雨水对填料和基底的软化作用,保护路基结构完整性。排水系统设计需遵循“防排结合、因地制宜”的原则,构建完善的地表排水和地下排水体系。地表排水主要用于排出路基表面及边坡的雨水,可设置边沟、排水沟、截水沟等设施,截水沟设置在路基边坡顶部,拦截坡面雨水,避免雨水冲刷边坡和渗透至路基内部;边沟和排水沟设置在路基两侧,排出路基表面的雨水,确保路基表面无积水。地下排水主要用于排出路基内部的渗透水,降低路基含水量,可设置渗沟、渗井、排水垫层等设施,渗沟设置在路基内部或边坡底部,收集并排出渗透水,渗沟

内填充透水性材料,确保排水畅通;渗井用于排出深层渗透水,适用于地下水位较高的路段;排水垫层铺设在路基底部,采用透水性好的材料,加快路基内部水分排出,提高填料强度和稳定性。此外,需对路基边坡进行防护处理,采用植草、喷播、浆砌片石护坡等方式,减少雨水对边坡的冲刷,提高边坡稳定性,同时可在路基表面铺设防水层,减少雨水渗透,保护路基填料。排水防护设施施工完成后,需定期进行维护,清理堵塞的排水设施,确保排水系统畅通,充分发挥排水防护作用,减少雨水对路基沉降的影响^[5]。

结束语

山区高填方路基沉降机理复杂,受地形、地质等多因素影响,沉降问题威胁路基稳定、使用寿命及交通运输安全。本文系统分析其沉降机理,明确各因素作用路径,探讨多种处治技术应用要点,形成针对性沉降控制思路。处治技术要因地制宜,注重适配性与施工质量控制。未来,需深化沉降机理研究,研发高效经济处治技术,优化方案,推动山区交通基建发展。

参考文献

- [1]李东成.高填方路基施工中的分层压实与沉降控制研究[J].价值工程,2026,45(3):36-38.
- [2]谭之东.冲击碾压技术在高填方路基工程中的应用研究[J].价值工程,2025,44(32):110-112.
- [3]乔新龙,罗霖,张喆.山区高速公路高填方路基沉降预警与稳定性加固技术研究[J].中国建筑,2025,8(13):37-39.
- [4]刘聪.高填方高速公路路基施工中土工格栅加固技术[J].读报参考,2024(16):171-172.
- [5]朱博博.山区高速公路高填方路基施工技术 with 沉降控制研究[J].时代报告,2023(45):0163-0164.