

公路路基不均匀沉降成因及施工控制技术研究

翟阿龙

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要:公路路基不均匀沉降是制约道路使用性能与运营安全的关键病害。本文从土体本征特性、地基结构缺陷、填料材质差异及水文地质条件四个维度剖析了不均匀沉降的内在成因,并梳理了施工工序不规范、压实不达标、排水体系缺失、路面结构适配性不足及自然环境侵蚀等外部诱发因素。在此基础上,系统论述了填料优选拌合、地基预处理加固、分层压实整平、防排水系统施工及特殊路段差异化控制等核心施工技术,同时提出了涵盖前期筹备、中期工序标准化、后期养护及动态管控的全过程质量管控措施,为公路路基沉降防控提供了可操作的技术路径。

关键词:公路路基;不均匀沉降;施工控制技术;压实工艺;质量管控

引言:公路路基作为路面结构的承载体,其变形均匀性直接决定了道路的服役品质与行车安全。不均匀沉降在软土、膨胀土及填挖交界等复杂路段尤为突出,成因涉及土体性质、地基缺陷、填料差异、水文条件及施工质量等多重因素的耦合作用。当前工程实践中,工序执行偏差与压实度不足仍是工后沉降偏大的主要人为诱因。围绕沉降成因与施工控制两条主线展开探讨,对提升路基工程质量具有现实意义。

1 公路路基不均匀沉降内在成因分析

1.1 路基土体自身特性引发的沉降问题

路基土体的矿物组成与颗粒结构直接决定了压缩变形的幅度与速率。黏性土中蒙脱石含量偏高时,土体吸水后体积膨胀显著,失水后收缩明显,这种胀缩循环在路基内部反复上演,导致不均匀变形持续累积。粉性土的颗粒间缺乏有效胶结,在自重与外荷载作用下极易发生颗粒重新排列,孔隙比迅速降低,沉降量远超预期^[1]。有机质含量较高的土体具有高压缩性与低强度的双重特征,在长期荷载下蠕变变形不可忽视。不同土层交界处因压缩模量差异悬殊,在相同应力水平下产生的变形量各不相同,这种由土体本征属性决定的差异变形是路基不均匀沉降的物质根源。

1.2 地基基础土体结构缺陷引发的沉降问题

地基土体中存在的古河道、暗浜、墓穴等隐伏缺陷会在路基荷载下引发局部集中沉降。软硬不均的地层组合使得地基反力分布极不规则,硬土层承受较大应力而软土层发生过量的变形,二者之间的差异直接映射为路基表面的不均匀下沉。地基中如果存在透镜体状的软弱夹层,上部荷载经硬土层扩散后在夹层顶面形成应力集中,该处土体被快速压缩而周围区域变形甚微。地基处理不彻底留下的质量隐患在运营期逐渐暴露,原本被掩

盖的结构缺陷在交通荷载反复作用下演化为显著的差异沉降。

1.3 路基填料材质差异产生的沉降诱因

路基填筑过程中不同段落采用的填料来源与类型往往存在差异,土质不均导致各段压缩特性参差不齐。砂砾石填料的压缩性极低,而粉质黏土填料在荷载下的变形量可达前者数倍,两种填料相邻填筑时界面处形成刚度突变带。不同填料的最优含水量与最大干密度各不相同,施工中难以对每种材料都做到精准的含水量控制,偏离最优含水量的区域压实度偏低,在后续荷载下产生额外沉降。填料中掺入的石灰或水泥剂量不均匀也会导致各段土体强度与变形特征出现明显分异。

1.4 水文地质条件导致的路基沉降差异

地下水位的高低与波动幅度对路基土体的有效应力状态产生直接影响。水位上升时土体孔隙水压力增大,有效应力降低,土体抗剪强度随之下降,在车辆荷载作用下更易发生塑性变形。路基横向如果一侧靠近河流或水塘而另一侧远离水源,两侧土体的含水状态长期不一致,干燥侧与湿润侧的压缩性差异随时间推移不断拉大。毛细水上升高度在不同土质中差异显著,粉土中毛细水可上升至地面附近,而砂土中仅能上升很短距离,这种差异导致路基不同部位的湿度场分布极不均匀,进而引发差异化的沉降变形。

2 公路路基不均匀沉降外部诱发因素

2.1 施工工序不规范产生的沉降隐患

施工中填筑顺序颠倒或分层间隔过长都会导致路基内部埋下沉降隐患。先填高再填低的作业方式使得低处填料在高处荷载预压下已产生初始压缩,后续叠加的车辆荷载将在已变形区域引发二次沉降。清表不彻底导致表层腐殖土或草根残留于路基底部,这些有机物质在长期

荷载下持续分解压缩,形成隐蔽的沉降源^[2]。不同段落的施工班组操作习惯存在差异,摊铺厚度与碾压遍数的标准执行不一,各段密实度参差不齐,竣工后在交通荷载下逐渐显现为不均匀下沉。

2.2 路基压实作业不达标造成的沉降偏差

压实度不足是引发工后沉降最直接的施工原因。碾压遍数未达到设计要求时土体内部残余孔隙偏多,运营期在车辆动荷载反复作用下孔隙逐步被压缩,沉降量随时间持续增长。碾压速度过快导致压实功在单位面积上的作用时间不够,土体颗粒未能充分重新排列便已被压实机械带过。含水量偏离最优值时压实效果大打折扣,偏干状态下颗粒间摩擦力过大难以被压密,偏湿状态下孔隙水排出不畅形成超静孔压,两种情形都会在后期转化为显著的差异变形。

2.3 路基排水体系不完善诱发的沉降问题

排水不畅使路基长期处于浸润甚至饱和状态,土体有效应力持续降低,承载力随时间衰减。边沟与截水沟堵塞后地表水沿路基侧面渗入土体内部,浸润线抬高导致路基上部土体含水率骤增,压缩性急剧上升。地下排水盲沟失效后地下水无法被有效疏导,水位在路基下方壅高,软化底层土体并引发底部向上的隆起变形,与上部荷载引起的下沉形成叠加效应。排水体系的局部缺失造成路基不同段落的含水状态长期分化,湿润段与干燥段之间的沉降差随运营年限不断扩大。

2.4 路面结构与路基适配性不足引发的不均匀沉降

路面结构层刚度与路基承载力不匹配时,荷载在路基顶面的分布出现明显偏压。刚性路面将集中荷载直接传递至路基表面,若路基局部承载力偏低则该区域沉降速率远超相邻段落。柔性路面虽然具有一定的荷载扩散能力,但厚度不足时扩散效果有限,轮迹带下方土体承受的应力仍远高于轮迹带外侧。加宽段与原路基的结合处因压实标准执行差异导致刚度不连续,车辆从窄路驶入宽路时荷载分布突然改变,结合部位承受反复的应力集中与释放,差异沉降由此产生。

2.5 自然环境长期作用对路基沉降的影响

温度循环导致路基土体反复经历冻胀与融化过程,冻结期水分向冻结锋面迁移形成冰透镜体,融化期冰体消融后留下的空隙被上部土体填充,这种冻融循环每经历一次便产生一层不可恢复的压缩变形。干湿交替使膨胀性填料在雨季吸水膨胀、旱季失水收缩,体积变化在路基内部累积为塑性应变。植被根系沿裂缝侵入路基土体后改变了土体的应力传递路径,根系腐烂后留下的空洞进一步削弱了土体的整体强度,自然环境的长期侵蚀作用使初始微小的

沉降偏差逐渐演化为显著的路面病害。

3 公路路基不均匀沉降核心施工控制技术

3.1 路基填料优选与拌合处理施工技术

填料品质直接关系到路基长期变形的可控程度。施工前应对料场土样进行系统的颗粒分析与击实试验,筛选出级配连续、塑性指数适中的优质填料。不同来源的填料在拌合站内按比例混合后需静置一段时间让水分均匀渗透,避免局部过湿或过干^[3]。石灰或水泥改良土应在最佳含水量附近完成拌合与摊铺,延迟超过初凝时间的混合料严禁上路使用。拌合均匀度的控制可通过定时取样检测灰剂量与含水量来实现,波动范围过大时需调整拌合参数。

3.2 地基预处理与土体加固施工技术

软弱地基在填筑前须进行针对性处理以提升承载力的均匀性。换填法适用于浅层软弱土的整片替换,砂砾垫层的分层铺设与逐层碾压可有效扩散上部荷载。强夯法通过重锤自由落体产生的冲击波使深层土体密实,锤击能量与落距需根据土质条件进行调整。水泥搅拌桩或碎石桩通过在软土中形成柱状承载体来约束侧向变形,桩间距与桩长的设定应满足复合地基承载力的设计要求。排水固结法借助砂井加速土体排水固结,缩短沉降稳定所需的等待周期。

3.3 路基分层压实与精细化整平施工技术

分层填筑是控制工后沉降最基础也最有效的手段。每层虚铺厚度不宜超过30厘米,碾压前应对表面进行洒水或翻晒使含水量趋近最优值。先静压后振动的碾压顺序可使表层先初步密实再由振动深入压实底层,避免表面起皮而内部松散。相邻填筑段的搭接宽度应足够,搭接处需额外增加碾压遍数以消除接头部位的密实度落差。整平作业采用推土机与平地机配合完成,消除局部高差后再进行终压,确保路基顶面的平整度与密实度满足设计标准。

3.4 路基防排水系统专项施工技术

防排水系统的施工质量决定了路基能否长期保持干燥稳定的工作状态。边沟与截水沟的纵坡应保证水流畅通,沟底与沟壁需压实平整以防止渗漏。地下盲沟的滤料包裹应严密,防止细颗粒堵塞排水通道导致功能丧失。路基两侧的防水层铺设需连续无断裂,搭接部位应严密贴合防止地表水沿缝隙渗入。急流槽与跌水的设置位置应与地形坡度相匹配,将水流迅速引离路基范围,避免长时间浸泡造成土体软化。

3.5 特殊路段路基差异化施工控制技术

填挖交界段、桥头段与高填方段的施工控制策略应

有明显区分。填挖交界处应将挖方段台阶开挖至设计宽度并向内倾斜,台阶面上铺设土工格栅以增强新旧土体的咬合力。桥头段采用轻质填料可有效减小路基自重引起的沉降,分层碾压的标准应较普通路段更为严格。高填方段需在填筑过程中埋设沉降板与位移计,实时监控变形速率,当沉降速率超过预警值时应暂停填筑并分析原因后再恢复施工。

4 公路路基施工全过程质量管控措施

4.1 施工前期路基筹备管控要点

施工前期的管控重心在于为后续作业扫清障碍。料场调查需覆盖土层分布、含水率与可开采量等关键参数,取样点位应覆盖料场全域,避免因局部取样偏差导致填料品质误判。清表作业的深度应穿透腐殖层直达稳定持力层,残留的有机物质在后期荷载下会持续分解产生不均匀压缩^[4]。试验段施工为大面积填筑提供压实参数的基准值,碾压遍数、铺土厚度与含水量的最优组合应在试验段内反复验证后锁定。测量放线精度直接影响路基轮廓的准确性,高程控制网的布设密度应满足填筑过程中随时校核的需求。

4.2 施工中工序标准化管控要点

施工中期的质量管控依靠每道工序的标准化执行来实现。摊铺作业应控制卸料间距与推土机行进速度,局部堆积过厚或过薄都会导致压实度不均匀。碾压过程中压实度检测的频率应与填筑面积成正比,检测点布设覆盖路基中心与边缘,任何一处压实度不达标都须返工处理,不能抱有侥幸心理。分层填筑的时间间隔不宜过长,间隔过长会导致已填筑层表面风干硬化,新旧层间结合力大幅下降,形成薄弱界面。拌合站出料口应设置含水率在线监测装置,含水量偏离最优值的混合料在源头即被拦截,不合格料被堵在料场总比上路后再返工划算得多。不同施工班组之间的操作差异需通过统一的交底与巡检来消除,避免同一段路基因人员不同而出现质量落差。

4.3 施工后期路基养护管控要点

路基成型后的养护阶段对控制工后沉降至关重要。压实完成的路基顶面应及时覆盖并洒水保湿,养护期不少于7~14d,防止表层土体因暴晒而产生干缩裂缝。排水设施在养护期内应保持畅通,暴雨后需在24h内清理沟内

淤积物,防止积水长时间滞留浸泡路基边坡。沉降观测点在养护期内的监测频率应不低于1次/3d,高于运营期的1次/7d,数据出现单次变化超过5mm的异常突变时需立即排查原因。路面结构层施工前路基顶面不得遭受车辆碾压,养护期的封闭管理是保障路基变形稳定的最后一道防线。

4.4 路基施工过程动态管控优化方式

静态的质量标准需要与动态的施工反馈相结合才能发挥最大效用。信息化管控平台将压实度、沉降量与含水率等数据实时汇入系统,异常数据触发自动预警后施工人员可在最短时间内做出调整。每天的施工日志应记录天气变化、设备状态与检测数据,为后续工序的参数修正提供依据^[5]。管控策略应随季节更替做出适应性调整,雨季施工需降低每日填筑高度并加强排水,冬季施工需提高填料温度并延长碾压时间。各工序之间的衔接节奏应以检测数据为准绳而非单纯赶工期,数据达标方可进入下一环节。

结束语

路基不均匀沉降的防控需从成因识别、施工技术与质量管控三个层面协同推进。土体特性与地基缺陷构成了沉降的物质基础,填料优选、地基加固与分层压实则从工艺端压缩了变形空间,而全过程标准化管控与动态反馈机制使各环节的质量偏差得以及时纠正。三者相互支撑,共同决定了路基的长期稳定性。持续优化施工控制手段并严格执行质量标准,是降低不均匀沉降、保障公路运营安全的根本途径。

参考文献

- [1]戴生春.基于不均匀沉降控制的高速公路高填方路基结构优化设计研究[J].低碳世界,2026,16(2):128-130.
- [2]尤玉平.山区公路路基不均匀沉降处治技术[J].交通世界,2025(29):124-126.
- [3]陈银.高速公路路基拓宽不均匀沉降数值分析[J].交通世界,2023(27):61-63.
- [4]窦创战,雷莹,严林.公路过渡段不均匀沉降原因及施工技术应用研究[J].时代汽车,2026(7):151-153.
- [5]刘江鑫,张超,顾玉辉,等.路面对路基强度及不均匀沉降的力学响应研究[J].公路工程,2024,49(1):74-81.