

公路路基沉降变形病害分析及处治对策探讨

文 / 梁凯 四川公路桥梁建设集团有限公司公路二分公司

摘要: 本文以公路路基沉降变形病害为切入点, 全面分析了病害成因, 并详细介绍了相应的处治对策。病害分析方面, 文章阐述了地基土质不良、荷载作用不均、水毁侵蚀影响等多种因素; 处治对策方面, 介绍了换填优质土料以改善不良地基土质, 规划车辆通行路径均衡荷载作用, 完善排水系统抵御水毁侵蚀危害, 强化施工管理保障路基建设质量, 设置监测体系预警路基沉降风险等措施, 旨在预防公路路基沉降变形病害, 提升公路建设水平。

关键词: 公路路基; 沉降变形病害; 处治对策

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.059

引言

路基是公路的基础结构, 其沉降变形问题受到社会各界的广泛关注。路基沉降变形不仅会降低路面的平整度, 影响行车安全, 还可能引发路面开裂或坑槽等病害, 缩短公路使用寿命, 增加养护成本。在此背景下, 施工单位需深入分析公路路基出现沉降变形病害的具体成因, 并探索有效的处治对策, 以提高公路工程质量, 保障交通安全。

一、公路路基沉降变形病害分析

(一) 地基土质不良

不同类型的不良土质具有各自独特的物理力学性质, 这些性质难以在其承受公路荷载时保持稳定, 导致路基沉降变形^[1]。其一, 软土是常见的不良地基土质, 其天然含水量高、孔隙比较大。公路建设过程中, 软土地基难以承受上部结构传来的荷载, 会产生较大的压缩变形。随着时间的推移, 这种变形会持续发展, 导致路基逐渐下沉。而且, 软土的透水性较差, 排水固结过程缓慢, 延长了沉降变形的时间, 增加了路基不稳定的风险概率。其二, 湿陷性黄土在天然状态下具有较高的强度, 但遇水后, 其结构会迅速遭到破坏, 发生明显的湿陷变形。当公路路基下方存在湿陷性黄土时, 一旦有雨水或地下水渗入, 黄土就会发生湿陷, 导致路基局部下沉。这种湿陷变形往往是突然发生的, 且变形量较大, 对公路的危害极大。其三, 膨胀土具有吸水膨胀、失水收缩的特性。在干湿循环的环境中, 膨胀土会反复膨胀和收缩, 产生较大的胀缩变形。这种胀缩变形会让路基产生裂缝、隆起或下沉等病害, 严重影响公路的平整度。

(二) 荷载作用不均

日常使用中, 公路会承受来自不同类型车辆的荷载, 由于车辆的种类、重量、行驶方式等存在差异, 使得路基所受的荷载并非均匀分布。重型货车的重量远大于小型轿车, 当其频繁行驶在公路的某一特定区域时, 该区域所承受的荷载会显著增加。车辆的轴重分布也会影响路基的受力情况, 一些多轴车辆, 其轴重集中在某些部位, 会导致路基局部承受较大的压力。交通流量较大的路段, 车辆的行驶轨迹相对集中, 常常会形成特定的车辙。车辙区域的路基承受的荷载明显高于其他区域, 长期受到

这种不均匀荷载的作用, 车辙处的路基会逐渐发生压缩变形。另外, 车辆在加速、减速、转弯等过程中, 会产生额外的冲击力, 对路基造成不均匀的加载, 进一步加剧路基的沉降变形。一般而言, 承受较大荷载的区域会产生较大的压缩变形, 而承受较小荷载的区域变形相对较小。此时, 路基会出现裂缝或下沉等病害, 难以维持较长的使用寿命。

(三) 水毁侵蚀影响

自然界中的水以多种形式存在, 其与公路路基相互作用, 对路基的稳定性造成了威胁^[2]。雨水是常见的水毁侵蚀因素: 降雨过程中, 大量雨水会直接冲刷路基表面, 破坏路基的表层结构。雨水的冲刷力会带走路基土中的细小颗粒, 使路基土的级配发生变化, 降低路基的密实度。地下水对路基也有一定的影响: 当地下水位较高时, 地下水会不断地渗透到路基中, 使路基土长期处于饱水状态。饱水状态下的路基土, 其物理力学性质会发生改变, 压缩性增大, 强度降低。地下水还可能携带一些化学物质, 这些化学物质会与路基土发生化学反应, 进一步破坏路基土的结构, 导致路基沉降变形。除此之外, 雨水的冲刷和地下水的渗透会让路基边坡的土体变得松软, 降低边坡的稳定性。当边坡的稳定性降低到一定程度时, 就会发生滑坡、坍塌等现象, 导致路基侧向位移或沉降。

二、公路路基沉降变形的处治对策

(一) 换填优质土料, 改善不良地基土质

优质土料需具备良好的物理力学性质, 一般来说, 其含砂量应在30%~50%之间, 黏粒含量在15%~30%, 这样的土料具有较好的压实性^[3]。同时, 土料的液塑限要符合规定范围, 液限宜在30%~50%, 塑限在18%~32%, 从而在不同湿度条件下保持较好的力学性能。优质土料应无杂质、无污染, 有机质含量≤5%, 避免因有机质分解导致路基后期沉降。针对公路路基沉降变形, 施工单位需遵循科学的流程换填优质土料。首先, 施工单位详细勘察地质, 准确掌握不良地基土质的分布范围、厚度、物理力学性质等参数, 在制定换填方案前获得数据支持。根据勘察结果, 施工单位可以确定换填深度, 通常浅层软土地基的换填深度为1—

3m；较厚的软土层，采用分层换填，每层换填厚度控制在0.5—1m。其次，施工单位开挖不良土料，以机械开挖至离设计标高20—30cm时，进行人工清理，避免超挖基底土；开挖过程中，在基坑周边设置排水沟或集水井，及时排除积水，防止水浸泡基底土。再次，施工单位换填优质土料，先从合格的料场选取土料，将其运输至施工现场后，采用推土机和平地机摊铺，每层摊铺厚度控

制在20—30cm；利用压路机压实，遵循先轻后重、先慢后快、先边缘后中间的原则，根据土料性质确定压实遍数，一般为4—8遍。这一阶段，施工单位随时检测土料的含水量，使其在最佳含水量的±2%范围内。此外，换填完成后，施工单位检测换填区域的压实度、承载力等，合格后实施下一道工序，保证公路路基的整体稳定性，有效防止沉降变形的发生（如图1）。



图 1. 换填优质土料施工流程图

（二）规划车辆通行路径，均衡荷载作用

长期使用过程中，若车辆较为集中在公路的某一通行路径，会导致公路路基局部承受过大荷载，造成荷载分布不均现象。据了解，当局部路段的车辆荷载超出设计标准20%，路基沉降的概率会增加30%左右，长期不均匀的荷载作用会加速路基沉降变形，缩短公路使用寿命^[4]。因此，施工单位应从多方面着手合理规划车辆通行路径，具体地，公路设计阶段，根据预测的交通流量，并与交通管理部门合作，科学划分车道功能。对于重载车辆较多的路段，施工单位将外侧车道设为重载车道，规定总重超过30t的车辆在此车道行驶，避免重载车辆随意穿插对其他车道造成过大压力；设置清晰的交通标志引导车辆各行其道，减少车辆随意变道或超车行为；路口和弯道处，制定明显的指示标志，让车辆平稳通行；根据不同路段的承载能力，设置相应的限速标志，控制车辆行驶速度。一般情况下，路基承载能力较弱的路段限速为60km/h，降低车辆行驶时对路基的冲击力。施工单位还能与交通管理部门合作使用智能交通系统，依托安装在公路上的监控设备，实时监测车辆的流量、速度和分布情况。当发现某路段车辆过于集中，密度超过50辆/km时，系统自动提示车辆改道行驶，均衡各车道的车流量。

（三）完善排水系统，抵御水毁侵蚀危害

水是导致公路路基沉降变形的重要因素。雨水、地下水等若未能及时排出，会增加公路路基土的含水量，

降低土的抗剪强度。当路基土的含水量从最佳含水量增加5%时，其抗剪强度可能降低30%~40%，容易引发路基沉降变形。而且，水的长期侵蚀还会引发路基边坡失稳或基底软化等问题，进一步加剧沉降变形的程度。针对这一现象，施工单位应在公路建设初期，根据当地的地形科学设计排水系统。对于降雨量较大的地区，施工单位要适当增加边沟的深度和宽度，一般边沟深度≥0.6m，底宽≥0.5，从而迅速排除路面雨水，同时设置合理的排水坡度≥0.5%，避免积水。为拦截地表水，施工单位沿公路线设置截水沟，通常设在路基边坡顶部以外≥5m处，防止山坡水流对路基造成冲刷。截水沟的断面尺寸应根据汇水面积和流量计算确定，沟壁采用浆砌片石或混凝土加固，防止渗漏和冲刷。针对地下水，施工单位采用渗沟、盲沟等排水设施，依据地下水位和含水层厚度确定渗沟的深度（≥1m）和宽度（≥0.6m），见表1。渗沟内填充碎石、砾石等透水性材料，以便渗透或排出地下水。盲沟则适用于排除浅层地下水，施工单位可将其设置在路基底部，其断面尺寸和填充材料与渗沟类似。在此基础上，施工单位选用质量合格的排水管材，牢固密封排水管道的连接处，防止漏水，并加强对排水系统的日常维护，定期清理杂物，确保排水畅通。雨季来临前，施工单位还要全面检查排水系统，及时修复损坏的排水设施，提高排水系统的抗灾能力，有效抵御水毁侵蚀危害。

类别	具体内容
水的影响	增加路基土含水量,降低抗剪强度(含水量增5%,强度降30%~40%),引发沉降;长期侵蚀加剧危害
排水设计	降雨大地区:边沟深 $\geq 0.6\text{m}$ 、底宽 $\geq 0.5\text{m}$ 、坡度 $\geq 0.5\%$; 截水沟在边坡顶外 $\geq 5\text{m}$,加固沟壁。 地下水处理:渗沟深 $\geq 1\text{m}$ 、宽 $\geq 0.6\text{m}$,填透水材料; 盲沟设于路基底部。
管材与维护	用合格管材,密封连接; 定期清理杂物;雨季前检查修复。

表 1. 公路路基水害影响及排水系统设计要点

(四) 强化施工管理,保障路基建设质量

据统计,因施工管理不善引发的路基沉降变形问题占比高达40%。强化施工管理则能规范施工流程、保证材料质量、增强压实效果,从根本上保障路基建设质量,减少沉降变形的发生。为强化施工管理,第一,人员管理方面,施工单位要组织施工人员参加专业培训,提升其技术水平。培训前,施工单位需做好充分准备,根据公路路基施工特点,邀请行业内资深专家作为培训讲师,讲解有关路基填筑、压实、排水等关键施工工艺的培训内容,详细介绍每道工序的操作要点。培训采用理论与实践相结合的方式:理论教学部分,讲师利用图文并茂的课件并分析实际案例,讲解施工工艺;实践操作环节,安排施工人员到施工现场实地操作,讲师现场指导,及时纠正不规范的操作行为。培训结束后,施工单位设置模拟场景考核,检验施工人员对所学知识的掌握程度,为考核合格者颁发培训证书,作为其具备相应技术能力的证明;对考核不合格者,要求其补考或再次培训,直至其达到要求。第二,材料管理是保障路基质量的基础。施工单位严格把控材料采购环节,选择质量合格的供应商,严格检验采购的填筑材料,保证其具体指标符合设计要求,并做好相关措施储存材料,以免其质量发生变化。第三,施工工艺管理方面,施工单位填筑路基前,彻底清理基底;采用分层填筑、分层压实;对于特殊路段,选择合适的处理方法,提高地基的承载能力。第四,质量检测是保障路基质量的最后一道防线。施工单位定期检测路基的压实度、平整度、含水量等指标。每填筑2-3层检测一次压实度,检测频率 ≥ 3 点/1000 m^2 。

(五) 设置监测体系,预警路基沉降风险

公路作为重要交通基础设施,其路基沉降变形会严重威胁道路安全。初期,施工单位难以察觉微小的沉降变形,但若不及时处理,微小变形会逐渐发展成严重病害,增加交通事故的发生概率。完善的监测体系能够帮助施工单位实时获取路基沉降数据,使其借助高精度仪器捕捉毫米级变化,通过分析处理数据,可及时发现沉降异常,在问题萌芽阶段预警,避免病害恶化,减少维修成本与对交通的影响,保障公路长期稳定运行。一方面,施工单位先要利用沉降计、位移传感器、测斜仪等专业设备,分别实时监测路基的垂直沉降、水平位移、倾斜角度等关键指标,精确采集路基的多维度数据。其中,沉降计能以 $\pm 0.1\text{mm}$ 的高精度捕捉路基的微小下沉变化,由系统对比采集数据与预先设定的阈值,一旦发现沉降

速率连续3天超过 2mm/d 或者累计沉降量达到 50mm ,便会触发预警机制。施工单位需要在地质条件复杂的软土地基段,每隔 20m 设置一个监测断面,每个断面布置3—5个监测点;在填方高度超过 6m 的高填方路段,监测断面间距缩小至 15m ^[5]。对于桥梁、涵洞等结构物与路基的过渡段,施工单位在两侧各 10m 范围内加密监测点,间距为 5m 。对于监测设备,施工单位选用具备高精度的振弦式应变计,其测量范围为 $\pm 5000\mu\epsilon$,精度可达 $\pm 0.1\%F.S.$,能准确测量路基内部的应力应变情况;GPS位移监测系统,定位精度水平方向达 $\pm 3\text{mm}+1\text{ppm}$,垂直方向达 $\pm 5\text{mm}+1\text{ppm}$,能够实时监测路基的三维位移。另一方面,施工单位构建自动化数据系统,将监测设备的数据实时传输至监控中心。监控中心配备专业的数据分析软件,可绘制沉降—时间曲线、位移—时间曲线等,直观展示路基的变形趋势。施工单位还建立专家知识库,当监测数据出现异常时,让系统自动调用知识库中的解决方案,提供决策依据。另外,施工单位制定严格的监测频率计划,在路基施工期间,每天开展一次全面监测;路基施工完成后的前3个月,每周监测2次;3—6个月内,每周监测1次;6个月后,每月监测1次;当遇到暴雨、地震等特殊情况时,增加监测频率至每天2—3次。

结语

综上所述,公路路基沉降变形病害是一项较为复杂的问题,地基土质不良、荷载作用不均、水毁侵蚀等因素相互影响,严重威胁着道路安全。为有效解决这些问题,施工单位需要从不同角度入手,设置科学系统的解决方案,加强各环节的协同配合,不断提升公路路基的建设水平,有效预防路基沉降变形病害,为交通运输事业的持续发展提供坚实保障。

参考文献

[1] 刘媛媛. 公路路基沉降控制与监测研究 [J]. 石材, 2025, (01): 88-90.
 [2] 王军. 交通荷载作用下公路路基沉降变形规律研究 [J]. 交通世界, 2024, (34): 134-137.
 [3] 倪晓明. 公路路基沉降变形病害与注浆加固技术分析 [J]. 运输经理世界, 2024, (12): 130-132.
 [4] 王世容, 韦纯国. 高速公路路基沉降观测及填筑施工技术探讨 [J]. 交通科技与管理, 2024, 5 (08): 116-118.
 [5] 潘路星. 高速公路路基沉降与稳定性监测分析 [J]. 运输经理世界, 2024, (04): 13-15.