

公路路基不均匀沉降成因及处治技术研究

张永涛

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]公路工程运行过程中, 路基不均匀沉降易引发路面开裂、结构变形及行车舒适性下降等问题, 对道路安全与使用性能产生显著影响。结合路基工程特点, 对不均匀沉降的形成机制进行系统分析, 重点从地基土性质、填筑施工控制、地下水及排水条件等方面探讨影响因素。在此基础上提出针对性的处治技术, 包括地基加固处理、填筑压实控制及排水结构优化等措施, 以提升路基整体稳定性与承载能力。相关技术对减少沉降差异、延长公路结构使用寿命具有积极价值。

[关键词]公路工程; 路基沉降; 沉降成因; 地基处理; 处治技术

DOI: 10.64635/ja.2026.1083

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Research on the Causes of Uneven Settlement in Highway Subgrades and Treatment Technologies

Zhang Yongtao

Xinjiang Beixin Road & Bridge Group Co., Ltd., Urumqi 830000, Xinjiang, China

Abstract: During highway operation, uneven settlement of subgrades can easily lead to problems such as pavement cracking, structural deformation, and reduced driving comfort, thereby significantly affecting road safety and service performance. In light of the characteristics of subgrade engineering, this paper systematically analyzes the formation mechanisms of uneven settlement, with a focus on influencing factors such as subsoil properties, fill placement and compaction control, groundwater conditions, and drainage conditions. On this basis, targeted treatment technologies are proposed, including foundation reinforcement, control of embankment filling and compaction, and optimization of drainage structures, so as to improve the overall stability and bearing capacity of the subgrade. These technologies are of practical value in reducing differential settlement and extending the service life of highway structures.

Keywords: highway engineering; subgrade settlement; causes of settlement; foundation treatment; treatment technology

引言

公路结构稳定性直接关系道路运行质量与交通安全, 其中路基作为承载体系的基础环节, 其变形控制尤为关键。工程实践中, 不均匀沉降现象较为常见, 往往表现为路面纵横向裂缝、局部沉陷以及结构变形等问题, 对道路服务性能造成明显影响。复杂的地质条件、施工质量差异以及排水系统不足均可能诱发沉降差异, 使路基受力状态发生改变。系统梳理沉降形成机理, 并结合工程技术手段提出有效处治方案, 对于提升路基稳定性与保障公路长期运行质量具有重要价值。

1 路基不均匀沉降问题特征分析

1.1 沉降表现形式与结构特征

路基不均匀沉降在公路工程中通常表现为纵向或横

向差异沉降, 结构上呈现局部沉陷、路面裂缝及边坡变形等现象。沉降区域多集中于软弱地基、填挖交界段及桥头过渡段等部位, 结构受力状态因此发生改变, 导致路面层与基层之间出现应力集中。沉降差异持续扩大时, 路面结构层可能产生反射裂缝与不规则变形, 影响整体结构连续性。不同路段因地基承载能力差异及填筑密实度不均, 形成明显的沉降梯度, 使路基结构在荷载作用下产生复杂变形特征。

1.2 不均匀沉降对公路结构的影响

不均匀沉降会改变路基与路面结构之间的受力平衡, 使结构层承受额外的弯拉应力和剪应力, 导致路面材料产生疲劳损伤。沉降差异较大时, 基层结构可能出现局部空隙或支撑不足现象, 降低路面整体承载能力^[1]。车辆荷载

长期反复作用下,沉降区域的应力集中进一步加剧,路面结构层易出现开裂、车辙以及局部破损等病害,进而影响公路行车平顺性。结构稳定性下降还可能引发边坡变形及排水系统受损,使路基长期服役性能受到影响。

1.3 沉降发展过程与变化规律

路基沉降的发展通常经历初始沉降阶段、持续变形阶段以及稳定阶段。填筑完成后,土体在自重及车辆荷载作用下逐渐发生压缩变形,沉降速率相对较快。时间推移过程中,地基土体内部孔隙水压力逐步消散,土体结构逐渐密实,沉降速率呈现逐步减缓趋势。软弱地基或高含水量土体区域沉降持续时间较长,差异沉降特征更加明显。路基结构在长期荷载与环境因素共同作用下形成渐进性变形规律,使沉降分布在空间上呈现不均衡状态。

2 路基不均匀沉降形成机理

2.1 地基土体性质对沉降的影响

地基土体工程性质是决定路基沉降特征的重要因素,不同类型土体在承载能力、压缩性及抗剪强度方面存在明显差异。软黏土、粉质土等压缩性较大的土层在荷载作用下容易产生较大的固结变形,导致沉降持续发展。土体孔隙比、含水量以及结构性状态也会影响压缩变形过程,当土体结构较为松散或处于高含水状态时,其抗压缩能力明显降低,外部荷载作用下容易产生明显沉降差异。部分地基中存在不均匀土层分布或夹层结构,使地基承载能力呈现空间差异,从而在车辆荷载与结构自重作用下形成不同程度的沉降变形。

2.2 填筑施工质量因素分析

路基填筑施工过程中的质量控制直接影响路基整体稳定性。填筑材料级配不合理或含水量控制不当时,压实效果难以达到设计要求,路基内部容易形成密实度差异^[2]。分层填筑厚度过大或压实遍数不足,也会导致局部区域压实度偏低,使路基结构在荷载作用下产生进一步压缩变形。施工过程中若未严格控制填挖交界段、桥头搭接段等关键部位的处理质量,路基内部结构可能形成刚度变化区域。不同区域压实度和强度指标存在差异时,路基在车辆荷载长期作用下容易产生不平衡沉降,使结构变形逐渐扩大。

2.3 地下水与排水条件作用机制

地下水环境对路基沉降发展具有显著影响,水分变化会改变土体物理力学性质。当地下水位较高或排水系统不完善时,土体含水量增加,孔隙水压力升高,土体有效应力下降,导致承载能力减弱。长期处于高含水状态的地基土体容易发生软化现象,使压缩变形持续增加。降雨渗透

或地表水滞留还可能破坏路基内部结构稳定,使填筑材料产生局部流失或松散结构。排水设施设计不合理时,水流在路基内部形成不均匀渗流路径,改变土体受力条件,进而促使沉降差异逐渐形成。

3 路基沉降影响因素综合分析

3.1 地质环境条件影响

地质环境条件对路基沉降特征具有决定性影响,不同地区的地层结构、土体组成以及地下水分布均会改变路基承载能力。软弱地基、淤泥质土及高压缩性黏土在荷载作用下容易产生较大的固结变形,使沉降过程持续时间较长。部分区域地层分布复杂,存在土层厚度变化或不均匀夹层结构,导致地基刚度出现明显差异,在车辆荷载和结构自重作用下形成差异沉降。地形条件同样对路基稳定性产生影响,填挖交界地段、坡脚地带以及河谷冲积区域常出现土体性质变化,使路基受力状态更加复杂。气候条件与降雨强度也会改变地基含水状态,当土体含水量升高时,其抗剪强度与承载性能下降,进一步加剧沉降发展。

3.2 施工工艺与材料控制因素

路基施工过程中的工艺控制与材料质量直接关系到结构稳定性与沉降控制效果。填筑材料的颗粒级配、含水量及强度指标决定了压实后的整体密实程度,若材料质量波动较大或掺杂细粒土过多,压实后结构稳定性容易降低。施工过程中若分层厚度控制不严格或压实机械作业不均衡,路基内部密实度将产生差异,形成局部软弱区^[3]。关键部位处理不当同样会引发沉降问题,桥头搭接段及填挖交界区域若未进行合理过渡处理,结构刚度变化明显。施工质量管理不足还可能导致路基边坡压实度不足或结构层厚度不均,使路基在后期荷载作用下逐渐产生差异变形。

3.3 荷载与交通运行因素

公路投入运营后,车辆荷载成为影响路基沉降的重要外部因素。重载车辆频繁通行会增加路基结构所承受的动荷载强度,使土体内部应力持续累积。车辆荷载具有周期性和重复性特征,在长期作用下容易引起土体颗粒重新排列,导致结构逐渐压缩变形。交通流量不断增加时,路基承载结构处于较高应力状态,沉降发展速度随之加快。车辆行驶过程中产生的振动效应也会改变土体结构稳定性,特别是在压实度较低或土体结构较松散的区域,振动作用会使颗粒间接触关系发生变化。荷载分布不均匀时,路基局部区域应力集中明显,进而形成沉降差异并影响整体结构稳定。

4 路基不均匀沉降处治技术措施

4.1 地基加固与处理技术

地基承载能力不足是引发路基差异沉降的重要因素,通过合理的地基加固技术能够显著提升土体强度与整体稳定性。在软弱地基区域,可采用换填处理方式,将高压缩性土体挖除并替换为级配良好的砂砾材料,通过分层填筑与机械压实形成稳定的承载结构。对于压缩性较大的黏性土层,可采用石灰土或水泥稳定土进行加固处理,通过化学固化反应提升土体强度并降低压缩变形。深层地基处理中,常采用碎石桩、砂桩或水泥搅拌桩等复合地基技术,通过桩体与原状土形成共同受力结构,改善地基应力分布状态,减小沉降差异。预压处理技术在软土地基中具有良好效果,通过堆载预压或真空预压方式促使地基土体提前完成固结过程,使孔隙水压力逐步消散,降低后期运营阶段的沉降变形。地基加固过程中还需要结合地质条件确定加固深度及桩体布置间距,使复合地基形成稳定的承载体系,保证路基结构在长期荷载作用下保持良好的稳定性能。

4.2 路基填筑与压实控制技术

路基填筑质量直接关系到结构稳定性和沉降控制效果,科学的施工组织与压实控制是减少不均匀沉降的重要技术措施。填筑材料应满足工程技术规范要求,选择颗粒级配合理、强度稳定的土石材料,使路基内部结构形成稳定骨架。填筑作业应采取分层铺筑方式,严格控制每层填筑厚度,使压实机械能够充分作用于土体内部,提高整体密实度^[4]。施工过程中需对填筑材料含水量进行控制,使其处于最佳含水范围内,以保证压实效果与土体强度。压实作业通常采用振动压路机或重型压实设备进行多遍碾压,使土体颗粒重新排列并形成稳定结构。桥头搭接段、填挖交界段等结构变化区域应设置过渡填料或采用级配碎石填筑,以缓解刚度差异造成的沉降问题。施工质量检测同样是控制沉降的重要环节,通过压实度检测、弯沉测试以及沉降观测等手段,对路基施工质量进行动态监控,使填筑结构满足设计要求并保持良好的均匀性。

4.3 排水系统优化与稳定措施

排水设计应结合地形条件与降雨特征,形成完善的排水网络结构,使水分能够及时排出路基范围。地表排水系统通常由边沟、截水沟及排水沟组成,通过合理的坡度设计引导地表水迅速排离路基区域,减少雨水渗入土体内部的可能性。地下排水结构在软弱地基或高地下水位地区具有重要作用,可通过设置渗沟、盲沟或砂垫层等结构形成排水通道,使地下水沿既定路径排出。路基内部还可设置

透水材料层,通过提高结构层的透水性能,使渗入水分能够及时疏散。边坡排水措施同样对路基稳定具有重要影响,通过坡面防护与排水设施结合,可减少雨水侵蚀对土体结构的破坏。排水设施在施工完成后需要进行定期维护,保证排水通道通畅,使路基在长期服役过程中保持稳定的含水状态,从而有效降低不均匀沉降的发生概率。

5 路基沉降控制效果与工程管理措施

5.1 沉降监测与评价方法

路基沉降监测是掌握结构变形状态与评价处治效果的重要手段,通过系统化监测能够及时掌握沉降发展趋势并为工程管理提供数据依据。监测工作通常在施工阶段与运营阶段同步开展,在路基关键部位布设沉降观测点,通过沉降板、位移计及水准测量等设备对路基垂直变形进行连续观测。观测数据通过周期性测量与动态记录进行整理分析,能够反映不同区域沉降速率及变化规律。针对桥头搭接段、软弱地基区域以及填挖交界段等敏感部位,可增加监测频率以提高数据精度。沉降评价通常结合累计沉降量、沉降速率以及差异沉降指标进行综合分析,通过对监测曲线变化特征的判读判断路基结构稳定状态。监测数据还可与设计参数进行对比,分析处治措施实施后的结构响应情况,使工程管理人员能够及时调整技术方案并控制沉降发展。

5.2 施工过程质量控制措施

施工阶段的质量控制是减少路基不均匀沉降的重要环节,严格的施工管理能够有效保证路基结构均匀性与稳定性。施工前应对地基条件进行详细勘察,依据地质资料制定合理的施工技术方,并明确填筑材料及施工工艺要求。施工过程中需对填筑材料进行检验检测,确保颗粒级配、含水量及强度指标满足设计标准^[5]。填筑作业应实施分层控制,通过合理的铺筑厚度与压实设备组合提高压实均匀性。关键区域需要加强技术控制,通过设置过渡段结构或采用强度较高的填料改善结构刚度变化。施工监理与技术管理人员应对压实度、平整度以及边坡稳定状态进行全过程检查,通过现场检测与试验数据对施工质量进行评价。规范化管理能够避免局部施工差异造成结构弱区,从而有效降低后期沉降风险。

5.3 路基长期稳定性提升措施

公路投入运营后,路基结构仍处于长期受荷状态,通过科学的养护管理能够维持结构稳定并减少沉降发展。运营管理阶段需要建立常态化检查机制,对路基边坡、排水设施及路面结构状态进行定期巡查,及时发现局部沉降及

结构变形情况。排水系统的维护是保持路基稳定的重要内容,通过清理边沟、疏通排水管道及修复破损结构,保证水分能够及时排出路基范围,避免土体含水量过高导致强度下降。对于沉降变化较为明显的区域,可结合监测数据采取局部补强或结构加固措施,通过增设加固层或改善支撑结构提高承载能力。养护管理还应结合交通运行状况,对重载车辆集中区域加强检测与维护,使路基在长期运营过程中保持稳定的结构性能。

6 结语

公路路基不均匀沉降问题与地基条件、施工质量及水环境等因素密切相关,对道路结构稳定性产生持续影响。结合沉降形成机理与工程实践经验,地基加固、填筑压实控制及排水系统优化等技术措施能够有效改善路基受力状态。配合沉降监测与施工质量管理,可进一步提升路基结构稳定性并降低沉降风险。

[参考文献]

- [1]柳鹏.高填方公路路基沉降控制创新技术探究[J].科技创新与应用,2025,15(33):177-180.
 - [2]崔琦越,盛帆,吴越.公路工程软基路基沉降自动化观测技术研究与应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(29):83-87+82.
 - [3]吴琴,徐小林.公路路基路面设计指数及优化设计研究[J].建筑机械,2025,(10):6+173-176+181.
 - [4]瞿生军,韩昭玉,史冠宇,等.软土地区公路路基沉降变形及预测分析[J].水利技术监督,2025,(11):211-215+227.
 - [5]雍奇.公路工程沉降段路基路面设计关键点分析[J].运输经理世界,2025,(27):130-132.
- 作者简介:张永涛(1984.08—),男,陕西省兴平市人,大专,研究方向:公路工程,工程师。