

市政道路高挖深填路基沉降机理与防控技术研究

丁维岗

中博皓月建设工程有限公司 湖北 444201

【摘要】：城市市政道路建设中，高挖深填路基是复杂地形城区道路施工的关键环节，路基稳定性直接决定道路通行品质与使用年限。复杂地形、岩土条件及施工、环境等多重条件共同作用，极易引发路基不均匀沉降及各类路面病害，对城市交通运行安全性与稳定性造成不良影响。本文针对市政道路高挖、深填两类特殊路基，系统探究差异化沉降形成机理，梳理各类沉降影响条件，整合优化适配现场工况的防控技术体系，以此解决复杂路基沉降隐患，为市政路基施工提质与病害治理提供有效的理论支撑与技术参考。

【关键词】：市政道路；高挖深填路基；沉降机理；病害成因；防控技术

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.028

引言

城市建设规模持续扩张，城区地形改造力度不断加大，多数市政道路需通过高挖深填施工方式适配地形高差，完善区域交通路网。高挖深填路基对原有地形与岩土结构扰动较大，土体应力状态复杂，施工成型后路基整体稳定性较弱，后期变形问题突出。目前常规路基沉降研究体系较为完善，但针对市政工程场景下高挖深填复合路基的沉降机理与精准防控研究仍较为零散，传统防控手段适配性有限，难以适配复杂施工场景。基于行业现存研究短板与工程实际需求，本文开展路基沉降机理与防控技术研究，助力提升市政道路路基施工质量与长期稳定性。

1 市政道路高挖深填路基工程特性分析

1.1 路基结构特征

高挖深填路基区别于普通平整路基，整体结构依托人工改造地形形成，开挖区段与填筑区段结构形态差异显著，整体空间结构具备较强的特殊性。高挖路基以破除原有山体、土体结构为基础，路基基底保留原生岩土体系，但侧边结构失去原有土体支撑，整体呈现临空受力的结构形态。深填路基依托分层填筑土体堆积成型，整体为人工重构土体结构，层间衔接为复合受力体系。两类路基均打破自然土体的平衡状态，结构整体性与连续性较差。在长期外力与环境作用下，结构薄弱部位易出现应力集中与变形累积，这也是高挖深填路基相较于常规路基更易出现沉降病害的核心结构原因。

1.2 岩土力学特性

高挖深填路基的岩土力学性能是决定路基稳定性的核心基础，原生岩土与填筑土体的力学表现存在明显区别。高挖路基依托原生岩土构建路基主体，岩土体具备固定的固结状态与力学强度，但开挖施工会破坏岩土体原始应力平衡，导致岩土体出现松弛、裂隙发育等问题，抗变形能力持续下降。深填路基采用人工填筑土体，土体颗粒排列杂乱，孔隙分布不均匀，初始固结度较低，土体压缩性较强。同时，土体抗剪强度、渗

透性能等核心力学指标会随环境、时间及受力状态发生动态变化。岩土力学特性的不稳定性，使得两类路基在施工及运营阶段均会产生不同程度的沉降变形。

1.3 路基稳定影响特征

市政道路高挖深填路基施工场景复杂，各类工况条件会持续影响路基整体稳定性。地形高差较大的施工场景会加大路基边坡坡度，提升边坡滑移与变形风险，间接加剧路基沉降问题。城区施工空间受限，施工设备作业范围、施工流程排布会受到制约，难以实现标准化施工，路基成型质量存在波动。同时，市政道路路基多紧邻城区建筑与管线，周边构筑物会改变土体局部受力状态，干扰路基应力平衡。复杂工况下各类干扰条件相互叠加，会持续弱化路基整体稳定性，加快沉降病害的发育速度，提升路基变形失控的发生概率。

2 市政道路高挖路基沉降机理研究

2.1 卸荷应力重组沉降机理

高挖路基施工过程本质为土体开挖卸荷过程，原有土体长期形成的应力平衡状态被彻底打破，引发土体内部应力重新分布。路基上部与侧边土体被剥离后，基底原生岩土体出现竖向与侧向应力释放，表层土体产生回弹变形。随着施工进度推进，应力释放范围逐步向土体深层延伸，深层岩土体应力状态持续调整。应力重组过程中，土体内部颗粒位置不断偏移，原有紧密结构变得松散，土体整体密度下降。在道路铺装荷载与土体自重作用下，松散土体逐步挤压密实，进而产生持续性的路基沉降。这种由应力重组引发的变形是高挖路基早期沉降的主要成因。

2.2 边坡蠕变沉降演化机理

高挖路基边坡岩土体具备显著的蠕变特性，长期恒定受力状态下会产生缓慢的塑性变形，逐步诱发路基沉降。路基开挖成型后，边坡土体长期承受自重应力与上部传递荷载，即便外力保持稳定，土体变形也会随时间持续发展。边坡浅层岩土体结构松散，蠕变变形速度较快，深层岩土体变形相对缓慢，边

坡整体呈现差异化变形特征。长期蠕变作用下,边坡土体逐步出现滑移、挤压错位,边坡整体高度与密实度持续变化。边坡变形会逐步传导至路基主体,造成路基整体下沉与不均匀变形,这类沉降具备滞后性、持续性的发育特点。

2.3 水岩作用沉降劣化机理

水环境与岩土体的相互作用是高挖路基沉降劣化的重要诱因,雨水入渗、地下水升降会持续破坏岩土体结构稳定性。降水渗入路基边坡与基底岩土裂隙后,会填充土体孔隙与裂隙,弱化岩土颗粒间的粘结力,降低岩土体抗剪强度与整体刚度。地下水水位波动会引发岩土体干湿交替变化,反复胀缩过程会逐步扩大土体裂隙,加剧岩土体结构破损。长期水岩耦合作用下,路基岩土体逐步出现软化、崩解、冲刷等病害,土体压缩性持续提升。岩土体结构劣化会直接导致路基承载能力下降,最终引发持续性沉降与局部塌陷问题。

3 市政道路深填路基沉降机理研究

3.1 压实不足瞬时沉降机理

深填路基由分层填筑土体构成,施工压实质量不达标是路基瞬时沉降的核心诱因。路基填筑施工过程中,若分层填筑厚度超标、压实作业不到位,会导致填筑土体内部留存大量孔隙,土体整体密实度无法满足施工标准。填筑初期,土体孔隙处于未压缩状态,路基整体高度符合设计要求,但土体结构稳定性极差。道路施工完成后,在路面结构自重与行车荷载的瞬时作用下,松散填筑土体快速被挤压,孔隙大幅收缩闭合。土体体积快速压缩减小,进而造成路基出现即时性沉降变形,这类沉降多发生在道路通车初期,变形速度快且病害表现直观。

3.2 填土固结长期沉降机理

深填路基填筑土体中含有大量水分与封闭气体,填筑成型后会长期固结排水过程,引发持续性路基沉降。填筑土体初始孔隙含水量较高,土体颗粒间的水分与气体承担部分荷载,土体处于不稳定平衡状态。路基运营阶段,在持续荷载作用下,土体内部水分逐步排出,封闭气体缓慢消散,土体颗粒不断靠拢重组。固结过程持续时间较长,土体压缩变形随时间稳步累积,不会快速显现。长期固结作用下,路基整体高度持续降低,形成缓慢且长期的沉降变形,是深填路基后期沉降的主要发育形式。

3.3 界面嵌合失效沉降机理

深填路基填筑层与基底、各填筑层之间的界面嵌合状态,直接影响路基整体均匀性,界面嵌合失效会诱发严重不均匀沉降。路基填筑施工中,基底清理不彻底、层间杂物残留、上下层土体材质差异过大等问题,都会导致层间界面粘结强度不足。路基受力过程中,嵌合失效的界面无法有效传递应力,上下土体出现相对滑移与错位变形。不同区域界面嵌合质量存在差异,变形程度各不相同,使得路基不同部位沉降量不一致。

这种差异化变形会直接造成路基不均匀沉降,进而引发路面开裂、起伏等次生病害。

4 市政道路高挖深填路基沉降主要影响因素

4.1 土体属性基础影响

岩土体自身物理与力学属性是影响高挖深填路基沉降的基础性因素,直接决定路基抗变形能力。土体颗粒组成、孔隙结构、含水率、塑性指数等基础属性,会直接影响土体压缩特性与固结性能。颗粒偏细、孔隙率高、含水率大的土体,压缩性更强,受力后更易产生沉降变形。原生岩土体的风化程度、裂隙发育情况、岩体完整性,也会改变路基整体稳定性,风化严重、裂隙密集的岩土体承载能力较弱,沉降风险更高。土体与岩土体的固有属性无法通过后期施工完全改变,是路基沉降病害发生的本质内因。

4.2 施工人为影响

施工工艺选择与施工质量管控是路基沉降的核心人为影响因素,对路基后期稳定性起决定性作用。路基开挖、填筑、压实、修整等核心施工工序的工艺合理性,会直接改变土体结构状态与受力性能。施工流程不规范、工艺选用不合理,会造成土体结构扰动过度、压实度不足、层间衔接不良等质量缺陷。同时,施工过程质量管控不到位、工序验收不严格,会让各类施工缺陷留存于路基结构中。这些人为施工问题不会即时显现病害,会在路基运营过程中逐步转化为沉降变形,加剧路基病害发育程度。

4.3 外部环境影响

水文、气候等外部环境条件会动态影响路基状态,是诱发路基沉降的重要外部诱因。降雨天气会提升土体含水率,弱化土体力学性能,加剧水岩、水土耦合作用,诱发土体软化变形。气温周期性变化会引发土体冻融循环、干湿交替,持续破坏土体内部结构,增大土体变形概率。地下水水位的季节性升降,会反复改变路基土体的受力与固结状态,导致路基稳定性动态波动。外部环境具备持续性、周期性变化特点,长期作用于路基结构,会持续累积路基变形隐患,加速沉降病害的产生与发展。

5 市政道路高挖深填路基沉降防控关键技术

5.1 预处理与压实优化技术

路基施工预处理与压实优化是从源头防控沉降的基础技术,可有效改善土体初始结构状态。施工前期需对高挖路基基底、边坡松散土体进行清理修整,彻底清除软弱土层与杂物,对基底裂隙土体进行填充封堵,优化路基基础受力条件。针对深填路基,需提前对填筑土体进行晾晒、改良处理,优化土体含水率与颗粒级配,降低土体压缩性。施工阶段优化分层填筑与压实工艺,规范填筑厚度与压实流程,匹配适配土体特性的

压实设备与作业方式，全方位提升路基土体密实度。通过源头管控施工质量，有效规避压实不足、土体松散引发的沉降问题。

5.2 加固与边坡稳定技术

岩体加固与边坡稳定技术可有效提升路基整体强度与抗变形能力，抑制沉降发育。针对高挖路基边坡稳定性差、岩土体性能弱化等问题，可采用岩土锚固、喷射混凝土、边坡支护等技术，加固边坡岩土体结构，约束边坡蠕变变形，避免边坡变形传导至路基主体。对于深填软弱路基，可通过换填加固、复合地基处理、土体固化等技术，改善填筑土体力学性能，提升路基承载能力。各类加固技术可针对性弥补路基结构缺陷，优化土体应力分布，减少土体塑性变形与不均匀变形，实现路基沉降的主动防控。在实际工程应用中，可根据路基开挖填筑高度、岩土薄弱程度差异化搭配加固工艺，形成多维度组合加固方案，大幅提升复杂路基结构整体性与长期抗变形稳定性，适配城区市政道路严苛的运营荷载条件。

5.3 排水与动态监测技术

排水防渗与动态监测协同技术可实现路基沉降的长效防控与动态管控。通过布设路基排水盲沟、排水管、边坡截水沟等排水体系，快速疏导路基区域积水，阻断雨水入渗与地下水

侵扰路径，减少水岩、水土作用对土体结构的破坏，从环境层面降低沉降发育风险。同时搭建路基动态监测体系，实时采集路基沉降变形、边坡位移、土体含水率等关键状态信息，动态掌握路基运营状态。通过监测数据预判沉降病害发展趋势，及时采取干预措施，实现路基沉降的提前预警与精准防控，保障路基长期稳定。该协同防控模式打破了传统被动修补的治理模式，兼顾事前防护与事中管控，能够持续弱化水环境对路基的侵蚀损伤，有效规避长期运营过程中突发的路基变形及路面破损问题。

6 结论

高挖路基沉降主要由开挖卸荷应力重组、边坡蠕变变形、水岩结构劣化引发，深填路基沉降多源于压实缺陷、长期固结及层间界面嵌合失效，两类路基沉降均是土体自身属性、施工工艺与外部环境多重条件耦合作用的结果。现有常规防控技术针对性不足，难以适配复杂高挖深填路基工况。本文梳理的预处理压实、岩土加固、排水监测协同防控技术，可形成全流程沉降防控体系，有效解决路基沉降难题。研究成果可丰富市政特殊路基沉降防控理论，为同类工程施工提质与病害治理提供有效参考。

参考文献：

- [1] 宋亚光,孙智锋,张欢,等.高挖深填区超大面积厂房地坪高精平整度防开裂技术研究[J].中国建筑装饰装修,2025,(2):159-161.
- [2] 刘海兰,刘文远,柯洪.某变电站高挖深填边坡稳定性分析及治理技术研究[J].电力勘测设计,2023,(S2):158-166.
- [3] 黄翡勇.市政道路高填深挖路基边坡稳定性分析及加固方案研究[J].江西建材,2026,(3):243-245+249.
- [4] 李圆圆,吴敬芸,陈雨蒙.市政道路高粘弹橡胶沥青混凝土罩面施工技术研究[J].中国轮胎资源综合利用,2026,(4):144-146.
- [5] 张峰宾.浅谈市政道路高填方路基施工关键技术[J].建材发展导向,2024,22(18):104-106.