

城市道路路基与地下管线回填土沉降协同控制方法

王迪 李洪君 舒畅 王皓楠

长春市市政工程设计研究院(集团)有限公司 吉林 长春 130028

【摘要】：本文以市政道路配套地下管线建设为背景，开展回填土沉降协同控制研究。针对施工中存在的填料质量管控不足、压实工艺粗放、路基与管线施工协同性差等问题，从填料控制、压实工艺、工序统筹、监测预警等方面构建一体化控制方法。研究形成了沉降协同控制技术体系，有效改善了路基与管线差异沉降问题，提升了工程整体稳定性与耐久性，可为同类城市道路与地下管线工程提供参考。

【关键词】：城市道路；路基；回填沉降

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.045

引言

城市地下管线与道路工程协同建设已成为市政发展的重要趋势，而路基与管线基坑回填沉降控制是保障工程质量的关键环节。在复杂地层与荷载作用下，回填体易出现不均匀沉降，进而引发路面病害、管线受力失衡等问题。当前施工过程中常存在填料管控、压实作业、工序衔接等方面的不足，难以实现路基与管线沉降协同控制。基于此，本文结合实际工程特点，研究针对性的协同控制措施，以提高施工质量，保障道路与地下管线长期安全运营。

1 工程概况

某市政道路配套地下综合地下管线回填工程地下管线沿道路常规线路布设，采用常规多舱结构形式，基坑存在大深度回填工况，以优质素土作为路基与地下管线周边回填材料，采用分层填筑方式施工，设计压实系数不低于0.93。场地地层多以杂填土、素填土、粉质黏土及粉细砂为主，土体物理力学参数差异明显，部分区域属于季节性冻土发育区域，存在一定冻融影响深度。地下管线两侧与上方回填厚度分布不均，在土体自重与道路行车荷载作用下，路基与地下管线回填体易产生不均匀沉降，且回填初期沉降发展迅速，工后易出现路面开裂、差异沉降超限等病害，直接影响道路使用功能与管线结构安全，需开展路基与管线回填土沉降协同控制研究。

2 路基与地下管线回填土施工现存问题

2.1 回填填料填筑质量把控不严

路基与地下管线基坑回填所用素土在现场管控中存在明显漏洞，难以满足协同沉降控制要求。回填土料未根据路基主体与地下管线周边的受力差异进行分区级配设计，颗粒分布不均且存在混杂情况，与深基坑回填的变形协调要求不匹配。含水率控制仅依靠经验判断，缺乏全过程精准检测与调整，导致土体压实效果参差不齐^[1]。同时，填料进场检验制度落实到位，未结合季节性冻土与深基坑工况进行改良处理，在地下管线两侧厚度变化较大区域极易形成密实度差异，进一步加剧路

基与地下管线之间的不均匀沉降。

2.2 回填压实施工工艺管控粗糙

压实施工管理不规范是造成路基与管线回填沉降失控的直接因素。分层填筑厚度未严格执行标准化要求，底层回填厚度偏大，超出机械有效压实深度，导致下部土体密实度无法达标。压实设备与作业空间不匹配，在地下管线侧壁、基坑边角等狭窄区域形成压实盲区，使得管线周边密实度显著低于路基主体。压实度检测数量不足、代表性不强，且未在回填后3-7天快速沉降关键期进行跟踪补压，压实度不足直接造成路基与管线沉降不同步，严重影响结构协同稳定性。

2.3 路基管线交叉施工协同性不足

路基填筑与地下管线施工缺少统筹规划，工序衔接混乱引发明显差异沉降。现场采用阶梯式分段回填，形成竖向无支撑断面，在荷载作用下易产生集中沉降。施工未遵循“先管线、后回填、再路基”的合理顺序，交叉作业频繁扰动已压实土体，造成回填体松动^[2]。路基与地下管线沟槽过渡段未进行渐变处理与刚度协调，横断面呈现明显不均匀沉降形态。此外，路基与管线监测各自独立，数据无法联动分析，难以实现动态预警与协同调控，进一步扩大沉降失配风险。

3 路基与地下管线回填土沉降协同控制方法

为有效解决路基与地下管线回填沉降不同步问题，需从填料质量、压实工艺、施工协同三个维度建立控制体系，通过材料管控、工艺标准化、工序统筹与动态监测相结合，实现变形协调、沉降均匀、结构稳定的目标。

3.1 严格把控回填填料填筑质量

(1) 填料优选与分区控制：为实现路基与地下管线回填土沉降协同控制，必须以填料性能均匀匹配为核心，从源头减少差异沉降。依托市政道路通用地下管线工程特征，优先选用级配连续、有机质与杂质含量低、物理力学参数稳定的优质素土，严禁使用杂填土、建筑垃圾土及含水率超标土料。结合深

基坑 9.35m 回填深度与三舱地下管线结构特点,将施工区域划分为路基主体区、地下管线侧壁约束区、沟槽边缘过渡区,针对不同区域受力状态与变形需求实施差异化用料控制。地下管线周边采用高稳定性填料,提升结构侧向抗力;路基主体采用均匀性填料,保障整体刚度一致。通过分区用料与性能匹配,使路基与管线回填体在自重与行车荷载作用下变形协调,避免因材料差异导致沉降失配,为协同控制提供可靠材料基础^[3]。

(2) 含水率精准调控:含水率是决定回填土体压实质量与长期沉降的关键参数,需实施全过程精准调控。施工前通过室内重型击实试验确定素土最优含水率与最大干密度,形成现场控制量化标准。现场采用翻晒、机械拌合、洒水增湿、覆盖保温等组合措施,将土体含水率严格控制在最优值±2%范围内,防止过干松散无法压实、过湿成团产生弹簧土。分层填筑前采用酒精燃烧法逐断面、逐点位检测含水率,不合格区域立即返工处理,确保每层土体均处于最佳压实状态。同时结合季节性冻土 0.6m 冻深特点,在浅层回填区强化含水率管控,降低冻融循环对土体密实度的影响。通过全过程精准调控,提升路基与管线周边回填体均匀性,显著抑制因含水率波动引发的不均匀沉降。

(3) 进场检验与质量管控:建立全链条填料进场检验与现场质量管控体系,杜绝不合格材料影响路基与管线沉降协同。所有回填土料进场前必须开展颗粒级配、密度、黏聚力、内摩擦角等指标检测,执行逐批次验收、见证取样制度,不合格土料坚决清退出场。现场设置专职质控人员,对填料堆放、拌合、摊铺、整平全过程监督,严禁不同土料混杂使用,避免性能离散导致密实度不均^[4]。针对深基坑分层回填特点,在每层摊铺前进行填料复检,确保参数满足设计要求。同时结合场地粉质黏土与粉细砂地层条件,对填料进行适度改良,提高抗渗性与抗变形能力。通过严格的进场管控、过程抽检与现场改良,保障回填土体性能稳定,为路基与地下管线长期协同沉降提供坚实保障。

3.2 优化回填压实施工工艺标准

(1) 分层厚度标准化控制:分层填筑厚度是保障压实效果、控制路基与管线沉降的核心工艺参数,必须执行严格标准化管控。按照市政道路深基坑回填通用施工原则,遵循“薄层压实、能量穿透”要求划分分层施工,按规范严格控制底层、中层及上层分层填筑厚度,避免铺筑厚度过大导致深层土体无法压实、后期产生较大固结沉降。每层摊铺完成后采用水准仪逐断面测量厚度,偏差超标区域及时刮平或补填,确保全断面厚度均匀一致。针对管线两侧回填厚度差异较大部位,单独调整分层厚度,缩小不同区域压实效果差距。通过标准化分层控制,使压实能量有效传递至土体深部,保证路基主体与管线周边回填体密实度均衡,从工艺上减少差异沉降,实现沉降协同

控制目标^[5]。

(2) 压实机具分区适配:针对路基与地下管线基坑作业空间差异,实施压实机具分区适配,全面消除压实盲区。路基主体等开阔区域采用重型振动压路机碾压,控制碾压速度、遍数与搭接宽度,保证大面积土体压实效率与质量达标;地下管线侧壁、基坑边角、结构接缝等狭小受限区域无法使用大型机械,改用小型振动夯、蛙式夯机与人工夯实组合作业,确保管线周边土体压实到位。碾压时遵循“先轻后重、先边后中、循序渐进”原则,段落间重叠宽度不小于 1/3 轮宽,杜绝漏压、欠压、过压现象。对地下管线上方重点区域增加压实遍数,提高土体密实度与整体性。通过机具分区适配与标准化作业,使路基与管线回填体密实度趋于一致,减小刚度差异,有效抑制不均匀沉降发展。

(3) 压实度与关键期管控:以合理压实度区间与关键沉降期补压为核心,做好回填沉降精细化协同管控。回填土体压实度设定在 90%~93%区间,既能缩减沉降变形,又可防止过度压实给地下管线带来附加应力,同时节约施工投入。压实作业结束后采用环刀法、灌砂法开展检测,落实检测、补压、复检的闭环管控模式。回填 3~7 天快速沉降阶段,加密监测频次与布设点位,沉降异常、密实度不达标的区域及时补强压实。土体物理力学性能随压实度变化存在明显区别,相关参数见表 1。压实指标与沉降关键期同步调控后,路基和管线回填体可同步趋于稳定,减少后期工后沉降,维系道路与管线结构长期运营安全。

表 1 不同压实度下回填土体主要物理力学参数表

压实度 (%)	密度 (kg/m ³)	弹性模量 (MPa)	泊松比	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
87	1850	8.1	0.29	30.8	31.3
90	2000	13.7	0.24	40.4	32.9
93	2150	15.4	0.24	42.6	33.4

3.3 建立路基管线协同施工管控体系

(1) 施工工序统筹优化:优化工序统筹与标准流程,让路基填筑和地下管线施工顺畅衔接、同步作业。遵循先完成管线安装,再分层回填,最后开展路基填筑的施工逻辑,杜绝工序颠倒、交叉干扰及不规范施工行为。摒弃易诱发集中沉降的阶梯式回填,改用连续平顺回填方式,消除竖向无支撑断面,规避前期回填区域受后期荷载产生过大沉降。合理划分施工流水区段,统筹排布管线敷设、基坑回填、路基填筑的作业时序,减少多工种交叉干扰,避免回填土体受反复扰动出现松散形变。施工前期编制专项作业方案,明确工序衔接节点与质量把控标准,匹配地下管线回填与路基填筑施工节奏,均衡荷载传

递,从组织层面保障路基与管线沉降保持平稳一致。

(2) 衔接部位协同处理:强化路基与管线沟槽衔接处协同处置,缩减刚度差值,优化沉降分布状态。管线侧壁与路基过渡段采用渐变回填工艺,调整分层厚度与填料级配,实现刚度平缓过渡,规避刚度突变造成的应力集中和差异沉降。衔接区域做加筋补强,增强土体整体性与抗变形能力,修正横断面W形不均匀沉降问题。严控衔接部位摊铺、整平、压实施工质量,落实专项检测,保障压实度均匀合规。采用对称回填、同步压实的施工方式,降低管线侧向受力与结构偏转。衔接区域精细化处置后,路基与管线受力协调、变形同步,道路平顺性与结构耐久性均可有效提升。

3 一体化监测与预警

构建路基—管线一体化沉降监测与动态预警体系,实现施工协同可控。底层与顶层错落布设联动监测点位,借助物联网连通管式静力水准仪开展全天候自动监测,持续采集路基及地下管线周边沉降数据,完成数据横向比对与差值研判。结合工程自身特征划定分级沉降阈值与速率预警基准,搭建超阈值快速响应机制。沉降速率异常、差异沉降超出限定范围时即刻触发预警,同步调整压实工艺、实施局部补强及注浆加固等处置手段。实时监测、数据研判、动态提示、现场处置形成完整运行闭环,把控路基与地下管线回填沉降全流程状态,维持沉降

整体平稳可控,为工程建设品质及后期运营筑牢安全基础。

4 工程应用效果分析

市政道路工程采用路基与管线回填土沉降协同控制技术后,整体沉降控制效果显著。通过填料分区管控、含水率精准调控及进场检验,回填材料性能均匀稳定。严格执行分层厚度、机具适配与压实度标准,压实盲区有效消除,压实度稳定控制在90%~93%合理区间。优化施工工序并取消阶梯式回填工艺,强化过渡段协同处理措施,路基与管线施工协同性大幅提升。依托物联网自动化监测手段,在回填后3-7天快速沉降期实施动态补压处置,路面不均匀沉降得到明显改善,工后沉降速率逐步趋于平稳,路面通行平顺、管线结构受力安全稳定,各项指标均满足设计及规范要求,可为同类市政道路与地下管线工程提供实践依据。

5 结语

本文围绕城市道路路基与地下管线回填土沉降协同控制展开研究,构建了包含填料管控、压实工艺、协同施工及监测预警的综合控制体系。实践表明,该体系可有效减少差异沉降,提升路基与管线结构的协同稳定性,具有较强的实用性与推广价值。相关成果可为类似市政工程的回填施工与沉降防控提供技术依据与实践借鉴。未来可结合智能化监测与数字化施工技术,进一步提升回填沉降控制的精细化水平。

参考文献:

- [1] 李奉庭,罗涛,孙占勇,等.地下管廊深基坑回填土层沉降特征研究[J].交通科学与工程,2024,40(03):82-90.
- [2] 李思武.地下管廊深基坑施工监测研究[J].居业,2023,(09):47-49.
- [3] 徐晓辉,苏中博.基于地下管线的防施工破坏策略[J].中国建筑金属结构,2025,24(03):104-106.
- [4] 王宁,陈克伟,郭建川,等.浅析复杂地下管线路口路基施工质量风险控制[J].居舍,2021,(21):152-153.
- [5] 詹涛,吴波,吴兵兵,等.紧邻浅埋暗挖地铁隧道地下密集管线及土层变形[J].科学技术与工程,2023,23(11):4755-4764.