

路基施工含水率控制偏差对后期沉降稳定性的影响探讨

刘明媚

玉溪市交通监理咨询有限责任公司 云南 玉溪 653100

【摘要】：路基施工含水率控制偏差是影响路基后期沉降稳定性的关键因素，偏差过大易引发路基不均匀沉降、裂缝等病害，威胁道路工程整体质量与服役安全。明确含水率控制偏差与路基沉降稳定性的关联机制，掌握偏差防控要点，对提升路基施工质量具有重要意义。从含水率控制偏差的产生路径出发，剖析其对路基土体物理力学性质的改变，进而阐述偏差如何作用于后期沉降稳定性，提出针对性的偏差管控方向，为路基施工质量提升提供理论与实践支撑。

【关键词】：路基施工含水率控制偏差 沉降稳定性 土体物理力学性质 偏差管控

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.071

引言

路基作为道路工程的承载基础，其沉降稳定性直接决定道路的通行质量与使用寿命。含水率作为路基施工中的核心控制指标，其控制精度与路基土体的压实效果、结构完整性密切相关。施工过程中，含水率控制偏差的出现，往往会导致路基土体压实度不达标，为后期沉降变形埋下隐患，引发路面开裂、行车颠簸等问题，增加工程维护成本。深入剖析含水率控制偏差对路基后期沉降稳定性的影响，理清影响路径与作用机理，探寻科学的偏差管控策略，是解决路基沉降问题、提升工程建设质量的关键切入点，也为道路工程施工技术的优化提供重要方向。

1 路基施工含水率控制偏差的产生机理及表现形式

路基施工含水率控制偏差的产生，是土体自身特性、施工环境与工艺条件共同作用的结果。土体天然含水率存在空间不均性，不同土层的颗粒级配、孔隙结构差异，会改变水分吸附与赋存状态，若施工前原材料含水率勘察不全面，易引发初始判断偏差。施工中拌合工艺精度不足，会导致水分与土体颗粒混合不均，形成局部含水率偏高或偏低的情况；外界温湿度变化会影响土体水分蒸发与吸附，若未及时调整补水或晾晒措施，也会破坏含水率控制标准^[1]。不同施工阶段偏差表现各异，开挖运输阶段易出现天然含水率与设计要求的初始偏差，拌合阶段多为局部含水率分布不均，压实阶段则体现为含水率动态变化失控。土体特性、施工工艺、环境条件及管控措施决定偏差程度，细颗粒土体水分吸附能力强、粗颗粒土体水分易流失，均易产生偏差；工艺精细化程度、环境风速变化及监测调控及时性，也直接影响偏差控制效果。

2 含水率控制偏差对路基土体物理力学性质的作用机制

2.1 含水率偏高对路基土体物理力学性质的改变

含水率偏高会显著改变路基土体的物理力学性质，破坏土体的结构稳定性。当土体含水率超过最优含水率时，多余的水分会填充土体孔隙，削弱土体颗粒之间的摩擦力与黏结力，导致土体的黏聚力下降、内摩擦角减小。此时土体的可塑性增强，压缩性增大，在外部荷载作用下易产生较大的压缩变形。同时，偏高的含水率会降低土体的干密度，使土体的密实度不足，孔隙率增大，进而影响土体的承载力。长期处于高含水率状态的土体，易发生软化现象，尤其是黏性土，会因水分的持续作用导致土体结构崩解，力学性能进一步劣化，无法有效承担路基的承载功能，为后期沉降问题埋下隐患。

2.2 含水率偏低对路基土体物理力学性质的影响

含水率偏低同样会对路基土体的物理力学性质产生不利影响。当土体含水率低于最优含水率时，土体颗粒之间缺乏足够的水分润滑，颗粒间的摩擦力增大，导致土体难以被压实。未充分压实的土体密实度不足，孔隙率较大，整体结构松散，其承载力和抗剪强度无法达到设计要求^[2]。此外，含水率偏低的土体易产生干缩裂缝，裂缝的出现会破坏土体的整体性，使水分和空气更容易渗入土体内部，加速土体的风化与劣化。随着时间推移，在车辆荷载与自然环境的共同作用下，松散的土体结构会进一步破坏，引发不均匀沉降，影响路基的稳定性。同时，干缩裂缝还会降低土体的防渗性能，加剧水分对路基的侵蚀作用。

2.3 含水率波动偏差下土体性质的动态变化特征

在含水率波动偏差的作用下，路基土体的物理力学性质呈现出显著的动态变化特征。当含水率在最优

含水率附近反复波动时,土体颗粒会经历多次湿润与干燥的循环过程,颗粒间的黏结力会逐渐弱化,土体结构易发生松动。湿润阶段,土体吸水膨胀,孔隙率减小,黏聚力短暂提升但内摩擦角有所下降;干燥阶段,土体失水收缩,产生干缩裂缝,密实度降低,承载力下降。多次循环后,土体的整体性被破坏,压缩性显著增大,抗变形能力大幅降低。这种动态变化会使路基土体长期处于不稳定状态,即使初始压实质量达标,也会因含水率的反复波动导致力学性能持续劣化,进而影响路基的后期沉降稳定性,增加路基病害的发生概率。

3 含水率控制偏差诱发路基后期沉降稳定性问题的路径分析

3.1 含水率偏差导致压实不足引发的沉降路径

含水率偏差导致的压实不足,是诱发路基后期沉降的重要路径。当含水率偏高时,土体颗粒间存在多余水分,压实过程中水分无法及时排出,会形成“橡皮土”现象,导致压实机械的能量难以有效传递到土体颗粒,无法实现土体的充分密实。压实不足的土体孔隙率大,结构松散,在后期车辆荷载与自身重量的作用下,孔隙会逐渐被压缩,产生沉降变形^[3]。当含水率偏低时,土体颗粒间摩擦力过大,压实过程中难以使颗粒重新排列紧密,同样无法达到设计压实度要求。松散的土体结构在长期荷载作用下,颗粒会逐渐位移、重新堆积,导致路基出现缓慢沉降。这种因压实不足引发的沉降,往往具有持续性和不均匀性,易导致路面出现起伏、开裂等病害。

3.2 含水率偏差加剧土体固结变形的作用路径

含水率偏差会通过加剧土体固结变形,引发路基后期沉降。对于含水率偏高的土体,多余的自由水在后期荷载与土体自重作用下,会逐渐排出土体孔隙,这个排水固结过程会导致土体体积收缩,进而产生沉降。若含水率偏差较大,土体中的自由水含量过多,排水固结时间会延长,沉降持续时间也会相应增加,且沉降量显著增大。对于粉质土、黏性土等渗透系数较小的土体,水分排出难度大,固结沉降的影响更为明显。而含水率偏低的土体,虽然初始孔隙水压力较小,但在后期自然降水或地下水渗透作用下,土体吸水膨胀后再发生固结收缩,会加剧沉降变形。这种固结沉降会随时间逐渐发展,对路基稳定性造成长期威胁。

3.3 含水率偏差诱发土体结构破坏的沉降路径

含水率偏差还会通过诱发土体结构破坏,导致路

基后期沉降。当含水率偏高时,土体处于饱和或近饱和状态,土体颗粒间的有效应力减小,抗剪强度降低,在外界荷载作用下易发生剪切破坏,形成滑动面,进而引发路基的不均匀沉降甚至坍塌。对于存在软弱夹层的路基,高含水率会进一步降低软弱夹层的力学性能,加剧结构破坏。当含水率偏低时,土体产生干缩裂缝,裂缝的扩展会破坏土体的整体性,使土体成为分散的块状结构。在车辆荷载的反复作用下,裂缝会不断加宽加深,土体颗粒从裂缝处流失,导致路基局部塌陷,产生沉降。这种因结构破坏引发的沉降具有突发性和危害性,会严重影响道路的正常通行。

4 路基施工含水率控制偏差的精准管控策略

4.1 施工前含水率预判与原材料水分调节措施

施工前的含水率预判与原材料水分调节,是控制含水率偏差的基础环节。需对路基施工范围内的土体进行全面勘察,选取不同土层、不同深度的代表性土样进行含水率检测,明确土体天然含水率的分布特征,制定针对性的水分调节方案。对于天然含水率偏高的土体,可采用晾晒法,根据土体厚度、天气条件合理控制晾晒时间,必要时采用翻拌设备加快水分蒸发;也可掺入适量干燥土体或吸水材料,调节含水率至最优范围^[4]。对于天然含水率偏低的土体,可采用洒水湿润法,通过洒水车均匀洒水,同时配合翻拌,确保水分与土体充分混合,避免局部含水率过高。在调节过程中,需实时监测土体含水率,确保调节后的含水率符合设计要求。

4.2 施工过程中含水率实时监测与动态调控方法

施工过程中的实时监测与动态调控,是控制含水率偏差的关键手段。应建立完善的含水率监测体系,在拌合场、摊铺现场等关键点位设置监测点,采用便携式含水率测定仪实时检测土体含水率。对于拌合过程,需根据监测结果及时调整加水量,确保拌合料含水率均匀且符合标准;拌合设备应配备精准的加水计量装置,提升拌合精度。在摊铺与压实过程中,持续监测含水率变化,若因环境因素导致含水率下降过快,可采用喷雾洒水的方式补充水分;若遭遇降雨导致含水率偏高,应暂停施工,待土体含水率恢复至合理范围后再继续作业。通过动态调控,可及时纠正施工过程中出现的含水率偏差,保障施工质量。

4.3 特殊工况下含水率控制偏差的应急处置方案

针对特殊工况制定应急处置方案,可有效应对极端条件下的含水率控制偏差问题。在高温干旱天气施工时,土体水分蒸发速度快,易出现含水率偏低的偏

差。此时应缩短土体从拌合到压实的作业周期，减少水分蒸发；同时在摊铺表面覆盖保湿材料，减缓水分流失。在阴雨天气施工时，应提前做好防雨措施，在施工区域搭建防雨棚，配备排水设备及时排除雨水；若土体已受雨水浸泡导致含水率偏高，需对受影响土体进行翻拌晾晒，或掺入干燥材料重新调节含水率，经检测合格后再进行压实。在季节性冻土区域施工时，需考虑冻土融化对含水率的影响，合理安排施工时间，避开冻土融化高峰期，同时采取保温措施，减少冻土融化引发的含水率波动。

5 路基施工含水率控制与沉降稳定性协同保障体系构建

5.1 基于沉降稳定性要求的含水率控制标准优化

基于沉降稳定性要求优化含水率控制标准，是实现含水率控制与沉降稳定性协同保障的前提。需结合不同区域的土体特性、道路等级、荷载要求及地质条件，通过室内试验与现场试验，确定不同土体对应的最优含水率范围。对于沉降敏感性较高的路段，如软土路基、桥头路基等，应适当缩小最优含水率的控制区间，提高含水率控制精度^[5]。考虑到后期环境变化对含水率的影响，在制定控制标准时应预留一定的安全余量，确保即使含水率出现微小波动，也不会对路基沉降稳定性造成显著影响。优化后的含水率控制标准应具有针对性和可操作性，为施工中的含水率控制提供科学依据。

5.2 含水率控制与压实质量协同管控机制建立

建立含水率控制与压实质量的协同管控机制，可实现两者的相互促进与深度保障。通过搭建一体化数据共享平台，将实时含水率监测结果与压实质量检测数据精准融合，构建动态联动管控体系。在压实作业启动前，需对土体含水率进行全面复核，确保其严格契合预设控制标准，为后续压实作业筑牢基础；压实过程中，动态追踪压实度检测数据以灵活调整压实参

数，同时持续监测含水率变化态势。若出现压实度不达标情况，优先排查含水率是否存在偏差及偏差成因，再结合实际工况针对性优化压实机械型号、行进速度或压实遍数。针对含水率偏差引发的压实质量缺陷，及时启动补压加固、重新拌合调节含水率等专项处置措施，确保压实质量与含水率控制双重达标。通过这一协同管控模式，能有效规避单一管控维度的局限性，从根源上减少路基稳定性隐患，稳步提升路基施工的整体质量与可靠性。

5.3 全生命周期视角下的沉降稳定性长效保障

从全生命周期视角构建沉降稳定性长效保障机制，可实现路基长期稳定。在施工阶段，严格落实含水率控制与压实质量协同管控要求，确保路基施工质量符合设计标准。在运营阶段，建立路基沉降与含水率长期监测系统，实时跟踪路基沉降变形情况与含水率变化趋势，通过数据分析预判路基稳定性状态。针对监测中发现的含水率异常波动或沉降变形过大的情况，及时采取针对性的处置措施，如注浆加固、补充压实、防渗排水等，避免病害进一步发展。同时，加强路基的日常养护，及时修复路面裂缝，防止雨水渗入路基影响含水率，保障路基结构的完整性与稳定性，实现路基全生命周期的沉降稳定。

6 结语

本文围绕路基施工含水率控制偏差对后期沉降稳定性的影响展开探讨，明确了含水率控制偏差的产生机理与表现形式，剖析了其对于路基土体物理力学性质的作用机制及诱发后期沉降的路径，提出了精准管控策略与协同保障体系构建方向。研究表明，含水率控制偏差是影响路基沉降稳定性的关键因素，科学的含水率控制与协同保障措施可有效提升路基稳定性。后续需结合不同地质与施工条件，进一步细化管控措施，为路基工程质量提升提供更全面的技术支撑，助力道路工程的长效稳定服役。

参考文献：

- [1] 邵起龙,郭周.软土地区高速公路路基施工方案优化设计[J].交通世界,2025,(31):98-100.
- [2] 吴洁.石灰土路基施工关键技术分析[J].交通世界,2025,(15):100-102.
- [3] 田雨.公路路基施工过程中的压实质量控制与评估方法[J].工程机械与维修,2025,(05):129-131.
- [4] 李忠莉.桥梁施工中软土路基的处理措施及施工技术[J].居业,2024,(03):46-48.
- [5] 曾强.含水率对路基压实系数检测的影响分析[J].江西建材,2023,(10):117-118+121.