

特殊土质路基稳定性施工关键技术研究

鲁海婷

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：特殊土质路基稳定性是公路工程建设的核心技术难题。本文系统分析了软土、膨胀土、湿陷性黄土及冻土的物理力学特性与工程危害机理，提出了以土质改良为基础、路基填筑为核心、排水防护为保障、压实控制为关键的施工技术体系。土质改良采用物理与化学联合方法提升土体强度与水稳定性；路基填筑严格控制材料质量、分层厚度及摊铺均匀性；排水防护构建地表与地下协同排水体系；压实控制依据土质特性优选机械与工艺参数。同时，建立了涵盖施工前勘察、过程动态管控及竣工检测的全流程质量控制框架，并明确了气象条件选择、土体扰动控制及人员技术培训等关键注意事项，为特殊土质路基工程提供了系统化技术指导。

关键词：特殊土质；路基稳定性；施工技术

引言：我国高速公路穿越软土、膨胀土、湿陷性黄土及冻土等特殊地质区域日益增多，此类土体力学强度低、压缩性大、对水温变化高度敏感，在荷载与环境耦合作用下极易产生不均匀沉降、开裂及滑塌等病害，严重威胁行车安全。当前工程实践中，特殊土质处理仍存在成因分析不够系统、技术方案针对性不足、质量控制体系不够完善等问题。因此，有必要从土质特性分析入手，系统研究涵盖改良、填筑、排水及压实的全链条施工关键技术，并建立覆盖施工全周期的质量控制体系，为提升特殊土质路基工程质量与长期服役性能提供理论支撑与技术指导。

1 特殊土质的基本特性分析

特殊土质是指在物理力学性质方面显著区别于普通土类、易引发不良工程地质现象的特殊土体，主要包括软土、膨胀土、湿陷性黄土及冻土等类型。各类特殊土质虽分布环境与成因各异，但均对路基结构稳定性构成严重威胁，其核心力学特性如下。软土多见于河流冲积平原、湖沼相沉积区及滨海低洼地带，具有含水量高、孔隙比大、天然强度低、压缩性强等特征，其抗剪强度极低，在路堤荷载作用下产生大幅主固结与次固结沉降，且固结周期极长，路基长期处于不稳定状态。膨胀土富含蒙脱石、伊利石等亲水性黏土矿物，吸水后体积显著膨胀，失水后急剧收缩，反复胀缩循环导致路基土体产生累积塑性变形，引发路面开裂、边坡滑塌及路肩鼓包，严重削弱路基整体结构性能。湿陷性黄土在天然含水率下结构强度较高、压缩性较低，但遇水后颗粒间胶结盐类溶解、连接力丧失，土体结构瞬间崩溃，产生急剧的湿陷变形，常导致路基突然下沉与上部结构断裂。冻土按冻融特征分为季节性冻土与多年冻土，前者冬季冻结

膨胀、夏季融化下沉，周期性冻融循环引发路面翻浆与不均匀变形；后者对热扰动极为敏感，施工活动易打破其热平衡状态，导致冻融上限下降及地基承载能力降低。各类特殊土质的共性问题为力学性能较差、对水分和温度变化敏感，施工过程中需根据其具体特性，采取针对性的技术措施，才能保障路基稳定性^[1]。

2 特殊土质路基稳定性施工关键技术

2.1 土质改良技术

土质改良是解决特殊土质路基稳定性问题的核心技术手段，其基本原理是通过物理、化学或物理化学相结合的方式，改变特殊土质的颗粒结构、矿物组成及内部胶结状态，从而提升土体抗剪强度、降低压缩性、改善水稳性与温度适应性，使其满足路基填筑的工程要求。（1）物理改良技术主要包括换填法、强夯法、振动压实法及碎石桩复合地基法等。换填法通过挖除不良土层并回填级配良好的透水性材料，直接改善持力层性能；强夯法利用重锤自由下落产生的冲击能，迫使土体颗粒重新排列、孔隙压缩，显著提高土体密实度与承载力；碎石桩法则通过桩体置换与挤密作用，在软弱土层中形成复合地基，加速孔隙水排出，缩短固结周期。（2）化学改良技术主要包括水泥稳定法、石灰固化法及聚合物注浆法等。水泥与石灰通过与土中矿物发生水化反应与离子交换作用，生成胶凝物质填充孔隙、增强颗粒间联结力，从而提高土体强度与水稳定性；聚合物注浆法则通过向土体注入高分子材料，固结后形成连续骨架结构，改善土体整体力学性能与抗渗能力。两类技术可根据土质特性单独或联合使用，以达到最优改良效果^[2]。

2.2 路基填筑技术

特殊土质路基的填筑质量直接影响路基的稳定性，

填筑过程中需严格控制填筑材料、填筑厚度、填筑顺序和摊铺工艺,避免因填筑不当导致路基沉降、开裂等病害。(1)填筑材料的选择需结合特殊土质的特性,优先选用经过改良后的合格土料,严禁使用未经改良的、性能较差的特殊土作为填筑材料。对于改良后的土料,需进行物理力学性能检测,确保其含水量、压实度、抗剪强度等指标符合设计要求。(2)填筑顺序应遵循“从低到高、分层填筑、分层压实”的原则,避免纵向通缝和横向裂缝的产生。摊铺过程中,需保证土料摊铺均匀,表面平整,避免出现局部堆积或凹陷现象。对于膨胀土、湿陷性黄土等敏感性土质,摊铺后需及时进行压实,减少水分蒸发或雨水渗入,防止土体发生体积变形。同时,填筑过程中需做好临时排水措施,避免雨水浸泡路基,影响填筑质量。

2.3 排水防护技术

水分是影响特殊土质路基稳定性的关键因素,无论是软土的高含水量、膨胀土的遇水膨胀,还是湿陷性黄土的遇水湿陷,均与水分密切相关。因此,特殊土质路基施工中,必须做好排水防护工作,减少水分对路基的不利影响,确保路基稳定性。

排水技术主要分为地表排水和地下排水两类。(1)地表排水的核心是及时排除路基表面的雨水,防止雨水渗入路基内部。常用的地表排水设施包括边沟、排水沟、截水沟等,施工时需根据路基的坡度、地形条件,合理设置排水设施的位置、尺寸和坡度,确保排水畅通。边沟主要设置在路基两侧,用于排除路基表面的汇水;排水沟用于连接边沟和截水沟,将雨水引至指定地点;截水沟设置在路基上方的山坡处,用于拦截山坡上的雨水,防止雨水冲刷路基。(2)地下排水的核心是降低路基内部的地下水位,排出路基内部的孔隙水,提升土体的强度和稳定性。常用的地下排水设施包括渗沟、渗井、盲沟等。渗沟主要用于排除路基内部的浅层地下水,通过在渗沟内填充透水性材料,将地下水汇集并排出;渗井用于排除深层地下水,通过钻井将地下水引至地下含水层;盲沟则用于排除路基内部的局部积水,适用于地下水位较高、排水不畅的区域。排水设施施工时,需确保设施的透水性和整体性,避免出现堵塞、漏水等问题,影响排水效果^[3]。

防护技术主要用于防止路基边坡坍塌、冲刷,保护路基的完整性。常用的防护措施包括植被防护、圪工防护等。植被防护适用于坡度较缓的边坡,通过种植草本、灌木等植物,增强边坡土体的稳定性,同时起到水土保持的作用;圪工防护适用于坡度较陡、冲刷严重的边坡,包括浆砌片石护坡、混凝土护坡等,通过砌筑圪工材料,

抵御雨水冲刷和土体滑移,保护边坡稳定。

2.4 压实控制技术

压实是提升路基密实度、增强路基强度和稳定性的关键环节,特殊土质路基的压实难度较大,需根据土质特性,选择合适的压实机械、压实工艺和压实参数,确保压实度达到设计要求。(1)压实机械的选择需结合特殊土质的类型和含水量,对于软土、膨胀土等含水量较高、强度较低的土质,宜选用重型压路机、振动压路机等,通过加大压实功率,提升土体密实度;对于湿陷性黄土、冻土等土质,宜选用光轮压路机、羊足碾等,避免过度振动导致土体结构破坏。压实工艺需遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的原则,逐步提升压实强度,避免因压实过快、过重导致土体产生剪切破坏。(2)压实参数的控制是压实质量的核心,主要包括压实含水量、压实遍数和压实速度。压实含水量需控制在最佳含水量附近,最佳含水量是指土体在该含水量下,经过压实后能达到最大密实度,不同类型的特殊土质,其最佳含水量有所不同,施工时需通过试验确定。压实遍数需根据压实机械的性能和土料的特性确定,一般情况下,压实遍数控制在6-8遍为宜,确保压实度达到设计要求。压实速度不宜过快,一般控制在2-4km/h,避免因速度过快导致压实不充分。同时,压实过程中需及时检测压实度,若压实度未达到设计要求,需增加压实遍数或调整压实参数,直至满足要求。

3 特殊土质路基施工质量控制要点

3.1 施工前质量控制

施工前的质量控制是保障特殊土质路基稳定性的基础,主要包括土质勘察、改良剂检测、施工方案编制等环节。施工前需对施工区域的特殊土质进行详细勘察,明确土质的类型、分布范围、物理力学性质等指标,为施工技术方案的制定提供依据。对于选用的改良剂,需进行性能检测,确保改良剂的质量符合要求,避免因改良剂质量问题影响改良效果。同时,需结合勘察结果和土质特性,编制详细的施工方案,明确各施工环节的技术要求、操作要点和控制措施,确保施工过程有序进行^[4]。

3.2 施工过程质量控制

施工过程中需加强各环节的质量控制,重点关注土质改良、填筑、排水、压实等核心环节。在土质改良过程中,需控制改良剂的掺量和搅拌均匀度,定期检测改良土的物理力学性能,确保改良效果达标;在路基填筑过程中,需控制填筑材料的质量、填筑厚度和摊铺均匀度,避免出现不合格土料混入、填筑厚度不均等问题;在排水防护过程中,需确保排水设施的施工质量,定期检

查排水设施的畅通性,避免出现堵塞、漏水等问题;在压实过程中,需严格控制压实参数,及时检测压实度,确保压实质量符合设计要求。同时,施工过程中需做好现场监测,及时发现路基的沉降、开裂等异常情况,并采取针对性的处理措施。

3.3 施工后质量检测

施工后需对特殊土质路基进行全面的质量检测,确保路基稳定性和施工质量符合设计要求。质量检测的主要指标包括压实度、弯沉值、路基沉降量等。压实度检测需采用环刀法、灌砂法等规范方法,随机抽取检测点,确保检测结果的真实性和代表性;弯沉值检测用于评估路基的承载能力,需在路基压实完成后,采用弯沉仪进行检测,确保弯沉值符合设计要求;路基沉降量检测需在路基施工完成后,设置沉降观测点,定期观测路基的沉降情况,直至沉降稳定,确保沉降量控制在设计允许范围内。对于检测不合格的部位,需及时采取返工、加固等处理措施,直至满足质量要求。

3.4 施工过程中的注意事项

特殊土质路基施工过程中,需结合土质特性,注意以下事项:(1)避免在雨天、高温或严寒天气施工,雨天施工易导致路基积水、泥泞,影响填筑和压实质量;高温天气施工易导致土料含水量快速蒸发,出现干裂;严寒天气施工易导致土体冻结,影响压实效果,且冻土路基施工需严格控制施工温度,避免冻土融化。(2)施工过程中需减少对土体的扰动,特殊土质的结构稳定性较差,过度扰动会破坏土体的颗粒黏结力,降低土体强度,因此,摊铺、压实等操作需规范,避免野蛮施工。(3)做好施工人员的技术培训,确保施工人员熟悉特殊土质的

特性和施工关键技术,掌握操作要点,避免因操作不当导致施工质量问题^[5]。

结束语

本文围绕特殊土质路基稳定性施工关键技术展开系统研究,明确了软土、膨胀土、湿陷性黄土及冻土的核心力学特性与工程危害,构建了以土质改良为基础、填筑压实为核心、排水防护为保障的技术体系。研究表明,物理与化学联合改良可显著提升特殊土体强度,分层填筑配合动态压实能有效控制不均匀沉降,地表与地下协同排水则是降低水分影响的关键手段。质量控制须贯穿施工前勘察、过程动态监测及竣工检测全流程,同时应严格规避不良气象条件施工、减少土体扰动并强化人员技术培训。未来可结合智能监测与数字化施工技术,实现特殊土质路基全生命周期动态管控与预警,持续提升路基长期服役性能。

参考文献

- [1]申军龙.公路路基主要工序施工关键技术研究[J].交通世界,2024(31):90-92.
- [2]付林杰.市政道路特殊路基处理关键技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(8):089-092.
- [3]王春雨.特殊地质桩基施工关键技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(9):0088-0091.
- [4]涂伟.特殊路基处理中高强预应力管桩施工技术研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(5):0057-0059.
- [5]邓玉莲.公路桥梁过渡段软基路基的施工技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(3):0040-0043.