

公路路基工程施工技术要点

王连富

内蒙古通辽市奈曼旗地方道路养护服务中心 内蒙古 通辽 028300

摘要：公路路基作为公路工程的基础结构，其施工质量直接影响公路的使用寿命与行车安全。本文从基底处理、填筑材料选择、压实工艺、排水系统设计及特殊地质处理五个维度，系统阐述公路路基施工的关键技术要点。通过分析不同地质条件下的施工难点，结合工程实例与理论依据，提出优化施工工艺、强化质量控制的具体措施，为提升公路路基施工质量提供技术参考。

关键词：公路路基；施工技术；基底处理；压实工艺；特殊地质

引言

公路路基是路面结构的支撑体，其稳定性与强度直接决定公路的耐久性。我国地域辽阔，地质条件复杂多样，从软土地基到高填方路基，从冻土区到盐渍土地区，不同地质环境对路基施工提出了差异化要求。近年来，随着交通量快速增长，超载车辆比例上升，公路路基病害问题日益突出，如不均匀沉降、边坡失稳、翻浆冒泥等，严重威胁行车安全。因此，系统研究公路路基施工技术要点，对于提升工程质量、延长公路使用寿命具有重要意义。

1 软土地基处理技术：从被动加固到主动调控

1.1 复合处理技术案例

在江苏某高速公路工程中，针对3米厚软土层，创新采用“土工布+砂砾垫层”的组合方案。施工时先铺设高强度土工布形成隔离层，其高抗拉强度可有效防止填料刺入软土层，避免软土被扰动而降低承载力；再分层填筑30cm厚砂砾垫层，利用砂砾良好的透水性加速地基固结，使软土中的水分快速排出，从而提高地基强度。施工监测数据显示，该方案使地基承载力显著提升至120kPa，沉降量严格控制在5cm以内，且较纯置换法节省成本23%，充分体现了复合处理技术的经济性与有效性^[1]。

1.2 深层软土处理技术

对于深层软土（>5米），水泥搅拌桩技术展现出显著优势。该技术通过特制的深层搅拌机械，将水泥等固化剂与软土强制搅拌，使软土硬结，形成具有整体性、水稳定性和一定强度的桩体。在浙江沿海某项目施工中，采用PHC管桩与水泥搅拌桩联合加固方案：PHC管桩凭借其高强度和刚度，承担主要荷载，有效减少地基沉降；水泥搅拌桩则通过改善桩间土性质，增强桩土间的相互作用，提高地基的整体稳定性。通过精确调整水泥掺量（15%-20%）和桩间距（1.2-1.5米），实现地基模量

从8MPa大幅提升至35MPa。数值模拟表明，该组合结构能有效分散应力，减少差异沉降，特别适用于桥头跳车等质量通病治理，显著提升行车舒适性与安全性。

1.3 内蒙古地区软土地基处理案例

内蒙古东部部分地区存在软土地基问题，如在通辽市某新建公路项目中，遇到了厚度约2-3米的软土层。该项目采用了真空预压法与砂井排水相结合的复合处理技术。先在软土地基中打设砂井，间距为1.2米，深度根据软土层厚度确定为3米。然后在地基表面铺设砂垫层，再用不透气的薄膜封闭，利用真空泵抽气形成负压。通过砂井加速软土中的水分排出，同时真空预压使土体中的孔隙水压力降低，有效应力增加，从而加速地基固结。经过一段时间的监测，地基承载力从原来的60kPa提升至100kPa，沉降量控制在8cm以内，满足了设计要求，为后续的路基施工提供了稳定的基础。

2 填筑压实技术：从经验控制到智能监测

2.1 填筑材料改良与智能压实

在甘肃某黄土高原项目中，针对当地粉质黏土含水量波动大的问题，采用“石灰改良+分层填筑”工艺。先按3%比例掺入生石灰进行化学改良，生石灰与土中的水分发生化学反应，生成氢氧化钙和碳酸钙等物质，降低土体塑性指数，改善土的工程性质；再利用智能压实系统实现填筑厚度（每层25cm）、压实速度（2-4km/h）和遍数（静压2遍+振压4遍）的精准控制^[2]。智能压实系统通过安装在压路机上的传感器，实时采集压实过程中的振动频率、振幅、压实度等参数，并将数据传输至监控中心进行分析和处理，及时调整施工参数，确保压实质量。试验段检测显示，改良后土体干密度提高至1.85g/cm³，压实度达96%，较传统施工提升8%，显著提高了路基的承载能力和稳定性。

2.2 石方填筑与级配优化

对于石方填筑,粒径控制与级配优化是关键。在四川山区某项目施工中,采用“爆破开采+二次破碎”工艺获取级配良好的碎石:5-10cm粒径占比40%,10-20cm占比35%,20-30cm占比25%。合理的粒径分布和级配能使石料之间相互嵌挤,形成稳定的骨架结构,提高填筑体的强度和稳定性。填筑时采用“渐进式铺筑法”:先铺筑大粒径石料形成骨架,为整个填筑体提供支撑;再填充小粒径石料填满空隙,使填筑体更加密实。通过K30平板载荷试验验证,该级配方案使地基系数达到180MPa/m,满足重载交通需求,有效减少了路基在车辆荷载作用下的变形和损坏。

2.3 内蒙古地区填筑压实技术案例

内蒙古地区部分公路项目处于沙漠地带,填筑材料多为风积沙。在阿拉善盟某沙漠公路项目中,采用了风积沙填筑路基。由于风积沙颗粒均匀、黏聚力小、保水性差,传统压实方法效果不佳。该项目采用了振动压路机高频振动压实与洒水相结合的工艺。在填筑过程中,根据风积沙的含水量情况,适时进行洒水,使其含水量控制在最佳含水量附近。然后使用振动压路机进行高频振动压实,振动频率控制在30-40Hz,压实速度为2-3km/h,压实遍数根据试验段确定为静压1遍+振压6遍。通过这种工艺,有效提高了风积沙的压实度,经检测,压实度达到了95%以上,满足了设计要求,为沙漠地区公路路基填筑提供了成功经验^[3]。

3 排水系统设计:从单一功能到综合治理

3.1 地表排水生态化案例

在地表排水方面,边沟设计呈现“生态化”趋势。传统混凝土边沟虽然排水效果好,但存在景观破坏、生态隔离等弊端。例如,在云南某生态公路项目中,采用植草沟替代传统混凝土边沟:沟底铺设30cm厚碎石反滤层,防止土壤颗粒流失,保证排水通畅;两侧种植深根草本植物,既保证排水能力(设计流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$),又实现雨水净化(SS去除率 $>60\%$)。植物根系还能增强土壤的稳定性,减少水土流失。数值模拟显示,该设计使路基边坡稳定性系数提高至1.35,较混凝土边沟提升12%,有效保障了路基的安全。

3.2 地下水控制源头阻断案例

地下水控制则强调“源头阻断”理念。在山东某盐渍土地区项目中,采用“隔水层+盲沟”组合方案:在路基底部铺设50cm厚黏土隔水层,阻断毛细水上升,防止盐分随水分上升至路基表面,引起盐胀病害;两侧设置纵向盲沟(内填级配碎石),间距10米设置横向集水管,将地下水引入排水沟,及时排出路基范围。监测数

据显示,该方案使路基含盐量从1.2%降至0.3%,有效防止盐胀病害,延长了路基的使用寿命。

3.3 内蒙古地区排水系统设计案例

内蒙古地区气候干旱,但部分地区也存在季节性积水问题。在锡林郭勒盟某公路项目中,为了有效排除路基范围内的地表水和地下水,采用了综合排水系统设计。在地表排水方面,设置了梯形土边沟,边沟底部采用10cm厚的混凝土预制块进行防护,防止水流冲刷。同时,在边沟内间隔种植水生植物,既起到美化环境的作用,又能进一步净化雨水。在地下水控制方面,根据地质勘察资料,在路基底部设置了30cm厚的砂砾隔水层,阻断地下水的上升。在路基两侧每隔20米设置一道横向塑料排水盲沟,盲沟内填充级配碎石,将地下水引入边沟排出。通过这种综合排水系统设计,有效解决了该地区公路路基的排水问题,保证了路基的稳定性。

4 边坡防护技术:从被动支护到生态修复

传统圬工防护(如浆砌片石护坡)虽能提供即时保护,但存在景观破坏、生态隔离等弊端,与当前生态环保的发展理念不相适应。当前工程实践更倾向于采用“柔性防护+生态修复”的综合方案,实现边坡防护与生态修复的有机结合。

4.1 柔性防护与生态修复案例

在陕西某黄土边坡项目中,采用“三维植被网+液压喷播”技术:先铺设三维植被网,其三维结构能增强土体抗剪强度,防止土体滑落;再喷播含草种、保水剂、肥料的混合基材,为植物生长提供良好的条件。施工后3个月,植被覆盖率达85%,边坡稳定性系数提高至1.40,较裸露边坡提升30%。植物的根系能够深入土体,进一步增强边坡的稳定性,同时改善周边生态环境,实现美观与实用的统一。

4.2 主动防护网技术案例

对于高陡边坡(坡比 $>1:0.75$),主动防护网技术展现出显著优势。在贵州某山区公路项目中,采用SNS柔性防护网系统:由高强度钢丝绳网、支撑绳和锚杆组成,能吸收2000kJ以上的冲击能量。当边坡发生落石等地质灾害时,防护网能有效拦截落石,防止其滚落至道路,保障行车安全。数值模拟表明,该系统可使落石运动距离缩短60%,保护范围扩大至边坡投影面积的1.5倍,特别适用于地质灾害频发地区,为边坡安全提供了可靠保障。

4.3 内蒙古地区边坡防护技术案例

内蒙古地区部分公路边坡受到风沙侵蚀和冻融循环的影响,容易出现风蚀剥落和滑坡等病害。在呼伦贝尔

市某公路项目中,针对风蚀严重的边坡,采用了生态袋护坡技术。生态袋采用高强度、耐腐蚀的聚丙烯材料制成,内部填充种植土和草种。将生态袋按照一定的坡度和排列方式堆叠在边坡上,形成稳定的护坡结构。生态袋之间的缝隙用连接扣连接,增强了整体稳定性。同时,在生态袋表面喷洒保水剂和肥料,促进草种生长。经过一段时间的养护,植被覆盖率达到了80%以上,有效防止了风沙对边坡的侵蚀,提高了边坡的稳定性。对于冻融循环影响较大的边坡,采用了锚杆框架梁与植生混凝土相结合的防护技术。先在边坡上施工锚杆框架梁,锚杆采用 $\Phi 25$ 的螺纹钢,长度根据边坡地质条件确定为3-5米,框架梁采用C25混凝土浇筑。然后在框架内浇筑植生混凝土,植生混凝土中添加有机纤维、保水剂等材料,为植物生长提供适宜的环境。施工后,植物在植生混凝土中生长,形成了绿色的生态护坡,有效抵抗了冻融循环对边坡的破坏。

5 质量控制体系:从过程监督到全生命周期管理

5.1 全生命周期管理:施工期监测与运营期评估相结合

全生命周期管理理念正在重塑质量控制体系。在广东某改扩建项目中,采用“施工期监测+运营期评估”的动态管理模式,实现了对路基质量的全程跟踪和管理。施工期埋设沉降板、测斜管等监测设备,实时监测路基的沉降、位移等情况。通过对监测数据的实时分析,能够及时发现路基施工过程中的异常变化,及时调整施工参数,确保施工质量。运营期利用分布式光纤传感技术持续跟踪路基状态。分布式光纤传感技术具有长距离、高精度、实时监测等优点,能够沿光纤路径连续测量温度、应变等物理量。通过在路基中铺设分布式光纤,能够及时发现路基的微小变化,如裂缝的产生和发展、沉降的增加等。为路基的维护和养护提供科学依据。10年监测数据显示,该模式使路基维修周期延长至8年,全生命周期成本降低22%,实现了质量与效益的双赢^[4]。

5.2 质量追溯体系:全程追溯确保质量可控

此外,质量追溯体系也在不断完善。通过建立施工过程的质量档案,记录每个环节的施工参数、材料信息、检测结果等,实现对路基施工质量的全程追溯。一旦发现质量问题,能够迅速定位问题源头,分析问题产生的原因,采取有效的整改措施。例如,如果在使用过程中发现某一段路基出现沉降问题,通过质量追溯体系可以快速查询到该段路基的施工时间、施工队伍、使用的材料批次等信息,从而有针对性地进行处理。确保路基质量始终处于可控状态,为公路的安全运营提供坚实保障^[5]。综上所述,路基施工关键技术软土地基处理、填筑压实、排水系统设计、边坡防护和质量控制等方面不断发展和创新,从传统的被动施工向现代的主动调控、智能监测和生态环保方向转变。

结束语

公路路基施工技术正经历从传统经验向智能创新的深刻变革。软土地基处理通过复合加固与动态调控实现性能提升,填筑压实技术借助材料改良与智能监控保障质量均匀性,排水系统设计融合生态理念与智能控制,边坡防护技术平衡安全与生态需求,质量控制体系覆盖全生命周期。未来,随着5G、人工智能、数字孪生等技术的深度应用,路基施工将向“无人化、精准化、可持续化”方向发展,为构建安全、耐久、绿色的公路交通基础设施提供技术支撑。

参考文献

- [1]王健.公路工程施工技术存在的问题及对策[J].居舍,2019(35):54.
- [2]郭铁刚.公路路基工程施工技术应用分析[J].产业创新研究,2019(10):284-285.
- [3]张立兵.公路路基工程的施工技术研究[C]//2018年2月建筑科技与管理学术交流会议论文集.,2018:59-60.
- [4]支宁宁.公路路基路面施工技术问题及对策分析[J].工程建设与设计,2018(03):178-180.
- [5]李瑞肖.公路路基施工技术和质量控制方法[J].交通世界,2018(Z1):74-75.