

公路路基施工技术及其质量控制

张亮

(四川路航建设工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要 路基作为公路工程的基础结构, 其施工质量直接决定公路整体稳定性与使用寿命。本文以四川某地区公路工程为研究对象, 结合该区域地形地质特点, 系统分析公路路基施工的关键技术与质量控制要点。通过工程实例阐述地基处理填筑压实排水系统构建等核心技术的应用路径, 提出针对四川地区复杂地质条件采用差异化施工技术, 并辅以全过程质量控制体系, 旨在为同类工程提供技术参考。

关键词 公路工程; 路基施工; 质量控制; 四川地区

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.27.029

0 引言

公路交通作为区域经济发展的重要支撑, 其工程质量与运营安全备受关注。路基作为公路结构的基础层, 承担着上部结构与车辆荷载的传递功能, 其施工质量直接影响公路的使用寿命与行车安全。四川地区地形复杂, 多山地丘陵地貌, 地质条件多样, 存在软土膨胀土等特殊岩土体, 且气候湿润多雨, 给公路路基施工带来了诸多挑战^[1]。随着四川交通建设的不断推进, 路基施工技术不断创新, 但在复杂环境下仍面临沉降控制边坡稳定等技术难题。基于此, 本文以四川某地区公路工程为例, 深入分析路基施工关键技术, 构建全流程质量控制体系, 旨在为西南地区类似地质条件下的公路路基施工提供实践参考, 推动公路工程建设质量的提升。

1 工程概况

1.1 工程基本情况

本工程为四川某山区公路改建项目, 起于 A 县城南侧, 终于 B 镇东侧, 线路全长 28.6 km, 设计时速 60 km/h, 路基宽度 10 m, 采用双向两车道二级公路标准建设。项目途经区域属亚热带湿润气候, 年均降水量 1 200 mm, 雨季集中在 6 月至 9 月。沿线地形起伏较大, 高程在 520 m 至 1 180 m 之间, 穿越剥蚀山地丘陵河谷等多种地貌单元。

地质勘察显示, 路段土层以粉质黏土为主, 局部路段分布泥岩砂岩互层, K8+300 至 K10+100 段存在软土地层, 厚度 1.5 ~ 4.2 m; K15+200 至 K16+700 段为膨胀土区域, 自由膨胀率 35% ~ 55%。沿线不良地质主要表现为小型滑坡 3 处、崩塌隐患点 2 处, 需专项处理。工程总工期 18 个月, 其中路基工程计划工期 8 个月, 为后续路面及附属工程施工奠定基础^[2]。

1.2 重难点分析

本工程施工重难点主要体现在四个方面。一是地形复杂导致路基填挖交替频繁, 最大填方高度达 12 m, 最大挖方深度 15 m, 高填路段易出现工后沉降, 需严格控制压实度。二是特殊岩土处理难度大, 软土地段需采用复合地基处理技术提高承载力, 膨胀土路段则需通过改良处理降低胀缩性, 避免路基开裂。三是水文条件复杂, 雨季施工易引发边坡失稳, 需强化排水系统设计, 确保路基干燥。四是环境保护要求高, 项目途经生态敏感区, 路基开挖与填筑需同步实施水土保持措施, 减少对周边环境的扰动^[3]。

2 公路路基施工关键技术分析

2.1 地基处理技术

地基处理是确保路基稳定性的前提, 其技术选择需紧密结合地质勘察数据进行针对性设计。针对本工程不同地质条件, 采用三级差异化处理方案。对于一般粉质黏土地基, 先采用推土机清除表层杂草腐殖土, 处理深度严格控制在不小于 30 cm, 清除范围向路基两侧各延伸 50 cm, 确保基底土不受有机质污染。清表完成后采用 25 t 重型振动压路机进行碾压, 碾压次数根据现场试验确定, 通常为 3 至 4 遍, 压实度需达到 93% 以上。路床顶面以下 0 ~ 80 cm 范围作为关键受力层, 压实度标准提高至 96%, 对于压实度难以达标的路段, 采用 25 kJ 冲击压路机进行增强补压, 冲击能量按 200 kJ/m² 控制, 通过连续 10 ~ 12 遍冲击作业消除地基潜在沉降量。

软土地段采用水泥搅拌桩复合地基处理技术, 桩径设计为 50 cm, 桩长根据软土厚度分层确定, 一般为 6 ~ 10 m, 对于厚度超过 8 m 的软土采用长短桩组合工艺, 长桩深入下卧硬土层 1.5 m, 短桩长度为长桩的 2/3,

桩间距按1.2 m呈梅花形布置形成立体加固体系。桩顶设置30 cm厚级配碎石垫层，垫层中铺设双向拉伸聚丙烯土工格栅，其纵横向抗拉强度不小于80 kN/m，延伸率不大于10%，通过格栅与垫层协同作用扩散上部荷载。施工中严格控制水泥掺量不低于15%，采用42.5级普通硅酸盐水泥，浆液水灰比维持在0.5~0.55之间。桩机就位后需进行水平校准，确保桩身垂直度偏差不大于1%，成桩过程中采用喷浆搅拌提升速度，控制在0.8~1.0 m/min，下沉速度1.2~1.5 m/min，保证水泥浆与土体充分拌和。成桩28天后采用单桩竖向抗压静载试验检测承载力，单桩承载力特征值不小于180 kN，复合地基承载力不小于200 kPa。

膨胀土路段采用生石灰改良处理工艺，生石灰需提前7天进行消解，过筛去除粒径大于5 mm的颗粒，根据膨胀土初始塑性指数确定掺量，一般为5%~8%。改良过程采用路拌机现场拌和，拌和深度直达下承层顶面，确保无素土夹层，拌和均匀后采用平地机整平，晾晒至最优含水量±2%范围内。为加速离子交换反应，采用轮胎压路机快速碾压2遍进行初步密实，间隔48小时后再进行振动碾压，使土料与石灰充分反应形成稳定结构，改良后土料塑性指数需降低至12以下，自由膨胀率控制在30%以内，且需在7天内完成填筑，避免长时间暴露导致改良效果衰减^[4]。

2.2 路堤填筑技术

路堤填筑严格遵循“分层填筑、分层碾压、分层检测”的三分层原则，其技术核心在于控制填料特性、摊铺厚度与压实能量的匹配性。填料选择沿线风化砂岩碎渣与黏性土的混合材料，通过室内试验确定最佳配合比，碎石含量控制在30%~50%之间，最大粒径不超过15 cm，其中粒径大于10 cm的颗粒含量不超过20%。有机质含量严格控制在5%以下，液限不大于50%，塑性指数15~25，通过标准击实试验确定最大干密度与最优含水量，作为现场控制依据。

高填路段采用水平分层填筑法，每层松铺厚度按30 cm控制，采用GPS定位技术控制摊铺边界，从低处向高处逐层推进，每层填筑宽度超出设计宽度50 cm，待路基成型后统一修整边坡。摊铺采用自行式平地机进行精细整平，确保表面平整度偏差不大于15 mm，同时设置2%~3%的横坡以利排水。碾压设备选用20 t以上振动压路机，采用“先静压、后振动”的碾压程序，先静压1遍消除轮迹，再进行振动碾压4至6遍，振动频率控制在25~30 Hz，振幅1.5~2.0 mm，碾压速度3~4 km/h，碾压方向由两边向中间进行，轮迹重叠宽度不小于1/3轮宽，确保碾压无死角。

压实度检测采用灌砂法，检测频率按每200 m每压实层不少于4点控制，下路堤（路床顶面以下80~150 cm）压实度不小于94%，上路堤（路床顶面以下30~80 cm）不小于96%，路床（0~30 cm）不小于96%。对填挖交界处设置台阶进行特殊处理，台阶宽度不小于1 m，高度30 cm，采用挖掘机开挖成向内倾斜2%的坡度，并在台阶表面铺设单向土工格栅，格栅长度向填挖两侧各延伸2 m，通过格栅的抗拉作用增强界面整体性。半填半挖路段先处理挖方边坡，采用爆破或机械削坡方式清除松散岩土，直至露出新鲜岩面或坚实土层，然后分层填筑压实，在填挖结合部每填筑3层进行一次冲击补压，确保结合部密实度。

2.3 路堑开挖技术

路堑开挖需依据岩土特性制定分类施工方案，在保证开挖效率的同时筑牢边坡稳定防线。对于土质路堑，采用分层横向推进的开挖方式，每层挖掘深度控制在2~3 m，借助挖掘机与自卸车协同作业实现土方转运。开挖期间用全站仪动态监测边坡坡率，确保符合1:1.5的设计标准，每开挖5 m高度设置1 m宽平台以分散坡体应力。

石质路堑施工引入浅孔控制爆破工艺，炮孔直径42 mm，孔深2~3 m，按梅花形布孔，孔距1.0~1.5 m、排距0.8~1.2 m，装药集中度维持在0.3~0.5 kg/m。选用2号岩石乳化炸药，通过非电毫秒雷管实现微差起爆，将单段最大起爆药量控制在30 kg以内，最大限度降低对边坡岩体的扰动。爆破后及时用液压破碎锤处理大块石料，确保粒径不超过30 cm，同时组织人工清除危石，对裂隙发育区域采用喷混凝土临时封闭^[5]。

边坡防护与开挖同步推进，形成“开挖一级、防护一级”的闭环管理。土质边坡采用喷播植草技术，喷播层厚度10 cm，选用狗牙根与紫花苜蓿混合草种，覆盖无纺布保湿直至草苗长至5 cm。石质边坡采用锚杆挂网喷浆防护，Φ25螺纹钢锚杆按2×2 m矩形布置，深入岩体3~5 m，采用M30水泥砂浆锚固，确保抗拔力不低于150 kN；挂设Φ8钢筋网后喷射10 cm厚C20细石混凝土，待强度达设计值70%后完成锚杆张拉锁定。

2.4 排水系统施工技术

排水系统施工贯穿路基施工全过程，构建“地表排水、地下排水、坡面排水”三位一体的排水体系。地表排水体系包括边沟、截水沟、排水沟等组成部分，边沟采用C20混凝土现浇施工，截面为梯形，上口宽1.2 m，下口宽0.8 m，深度0.6 m，沟壁厚度20 cm，每隔10 m

设置一道伸缩缝，缝宽 2 cm，内填充沥青麻絮。沟底采用 1:5 水泥砂浆抹面，平整度偏差不大于 5 mm，沟底纵坡严格控制在 0.3% 以上，确保排水通畅。

地下排水采用盲沟与渗沟组合方式，在高填方路段路基两侧设置纵向盲沟，断面尺寸 0.5×0.5 m，内填级配碎石，粒径 20~50 mm，四周包裹 400 g/m² 透水土工布，每隔 20 m 设置一道 $\Phi 100$ mm PVC 横向排水管，接入边沟形成排水通道。路床顶面以下 40 cm 处铺设双向土工格栅，其网格尺寸 20×20 cm，其上铺设 10 cm 厚碎石排水层，与盲沟相连形成水平排水网络，有效排出路床内积水。

桥头路基设置防渗墙，采用高压旋喷桩施工，桩径 60 cm，桩长 8 m，相邻桩搭接长度不小于 20 cm，沿桥台轴线布置形成封闭防渗体系。旋喷桩施工时控制提升速度 20~25 cm/min，旋转速度 15~20 r/min，水泥浆液水灰比 1:1，注浆压力 20~25 MPa，确保成桩强度不低于 2 MPa。

3 公路路基施工质量控制措施

3.1 原材料质量控制

建立严格的原材料进场检验制度。填料进场前需进行颗粒分析、液限、塑限、击实等试验，符合要求方可使用，每 5 000 m³ 检测一次。水泥、石灰等外购材料需提供出厂合格证，并按批次进行强度、细度等指标检测，水泥存放时间不超过 3 个月，受潮结块者禁止使用。

土工格栅、土工布等合成材料需检查其抗拉强度、延伸率等指标，确保符合设计要求，每批次抽样检测不少于 3 组。碎石垫层材料需控制粒径级配，含泥量不大于 5%，针片状颗粒含量不大于 20%。所有材料经检验合格后分类堆放，设置标识牌注明材料名称、规格、检验状态，避免混用。

3.2 施工过程质量控制

施工过程实行“三检制”即自检、互检、交接检。地基处理前复核中线、高程及横断面，确保处理范围符合设计要求。水泥搅拌桩施工前进行试桩，确定钻进速度、提升速度等参数，施工中采用全站仪控制桩位偏差不大于 5 cm，每台桩机配备自动记录仪记录施工数据。

路堤填筑时每层碾压完成后检测压实度，合格后方可进行下一层施工，压实度检测频率每 200 m 每压实层测 4 处。路堑开挖过程中定期测量边坡坡率与高程，避免超挖或欠挖，爆破作业需检查爆破参数及安全距离，确保施工安全。

排水系统施工检查断面尺寸、混凝土强度等指标，沟底平整度偏差不大于 10 mm，混凝土试块强度达到设计值 80% 以上方可进行回填。施工过程中留存影像资料，建立质量台账，对发现的问题及时整改，整改合格后方可继续施工。

3.3 试验检测体系构建

建立工地试验室，配备击实仪、灌砂筒、压力试验机等检测设备，所有仪器经计量检定合格后方可使用。检测人员持证上岗，严格按照规范要求开展试验工作。地基承载力采用平板载荷试验，每 1 000 m² 检测 1 点，软土地基处理后复合地基承载力不小于 200 kPa。

路基压实度主要采用灌砂法检测，对于大粒径填料采用灌水法，检测频率满足规范要求。路堤填筑过程中同步监测沉降量，在高填路段设置沉降观测点，每 50 m 设一个观测断面，每层填筑后测量沉降值，当连续两周沉降量小于 5 mm/天时方可进行下一层施工。

膨胀土改良效果通过测定塑性指数、自由膨胀率等指标验证，石灰剂量采用 EDTA 滴定法检测，确保掺量符合设计要求。所有试验检测数据及时整理归档，出具正式报告，作为质量评定的依据。

4 结束语

该案例工程针对四川山区复杂地质条件，通过差异化地基处理、科学路堤填筑、分类路堑开挖及系统排水施工等技术，结合全流程质量控制，有效解决了特殊岩土处理、沉降控制等难题。实践结果表明，路基压实度合格率达 100%，工后沉降稳定在 15 cm 内，边坡无失稳现象，验证了技术方案的可行性。该案例证实，因地制宜的施工技术与严格的质量管控结合，能显著提升路基耐久性。其经验为西南类似工程提供参考，后续可探索新型材料与智能技术应用，进一步提升公路建设质量。

参考文献：

- [1] 蒋凤菊,蔡国禄.公路施工中防水路基面的施工技术分析[J].汽车周刊,2025(08):66-67.
- [2] 唐先刚.公路工程路基施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(19):146-148.
- [3] 田俊.公路项目建设中填石路基施工技术应用研究[J].时代汽车,2025(13):187-189.
- [4] 马万飞,宋金涛,赵星宇,等.公路工程中沉降段路基施工技术[J].居业,2025(06):29-31.
- [5] 孙小明.公路改扩建工程路基路面施工技术与质量管理分析[J].中国设备工程,2025(S2):371-373.