

抗滑桩加固边坡的施工效果分析

邹杰 郭民强 陈浩

四川省第二地质大队 四川 成都 610000

摘要: 本文以重庆市巴南区龙洲湾街道通江大道边坡加固工程为例,分析抗滑桩加固边坡的施工效果。该工程地质条件复杂,边坡失稳危害大。施工采用人工挖孔工艺,严格把控质量与安全,并开展全面监测。结果表明,加固后边坡稳定性显著提升,稳定安全系数达标,抗滑桩受力合理、变形可控,施工效果良好,具备安全、社会与经济效益,满足工程使用要求。

关键词: 抗滑桩; 边坡加固; 施工效果; 稳定性分析

引言: 在基础设施建设快速推进的背景下,边坡稳定性问题愈发突出,抗滑桩作为常用加固手段,其施工效果备受关注。重庆市巴南区龙洲湾街道通江大道路段边坡,因地质条件复杂、受多种因素影响,已出现失稳迹象,威胁周边安全。本文聚焦该抗滑桩加固边坡工程,深入剖析施工过程,通过施工监测,分析其施工效果,为类似工程提供参考与借鉴。

1 抗滑桩加固边坡工程概况

1.1 工程地理位置与地质条件

本抗滑桩加固边坡工程位于重庆市巴南区龙洲湾街道通江大道路段,地处丘陵与平原过渡地带,周边临近乡村公路及少量居民点,交通较为便利,但边坡下方为主要通行道路,地理位置具有一定特殊性,施工过程中需兼顾通行安全。该区域地质条件复杂,表层为0.8~2.5m厚的粉质黏土,质地松散,渗透性较弱;下部为中风化砂岩与泥岩互层,岩层倾角 15° ~ 28° ,其中泥岩遇水易软化、崩解,抗剪强度较低,是边坡失稳的主要地质因素。场地地下水类型主要为孔隙潜水和基岩裂隙水,地下水位埋深3.2~5.6m,地下水的渗透作用进一步降低了岩土体的稳定性^[1]。经地质勘察,边坡岩土体平均重度为 20.3kN/m^3 ,粉质黏土抗剪强度指标黏聚力 $c = 18\text{kPa}$ 、内摩擦角 $\varphi = 16^{\circ}$,中风化砂岩饱和抗压强度为 $18\text{--}25\text{MPa}$,整体地质条件对边坡稳定性不利,需通过抗滑桩加固提升边坡安全等级。

1.2 边坡失稳状况与危害

该边坡为人工开挖形成的土质-岩质混合边坡,坡高8~15m,坡比1:1.2~1:1.5,前期受降雨、地下水渗透及长期车辆振动影响,已出现明显失稳迹象。边坡表层粉质黏土出现多处纵向裂缝,裂缝宽度2~8mm,长度3~12m,部分区域出现小型溜塌,溜塌方量约5~8m³,边坡局部岩土体沿泥岩与砂岩接触面产生微量滑动。若不及时进

行加固处理,随着降雨增多及岩土体强度持续衰减,边坡可能发生大规模滑坡,直接阻断下方通行道路,造成交通瘫痪;滑坡体还可能损毁周边居民房屋及基础设施,威胁当地居民生命财产安全。另外,边坡失稳还可能破坏区域地下水分布,引发次生地质灾害,增加后续治理难度和成本,同时影响周边生态环境,因此亟需采取抗滑桩加固措施,遏制边坡失稳趋势。

2 抗滑桩加固边坡施工过程分析

2.1 施工准备工作

施工前严格按照施工规范及设计要求,全面开展各项准备工作,确保施工顺利推进。首先完成施工场地平整,清除边坡表层松散岩土体及杂物,划分施工区域、材料堆放区、加工区及临时生活区,设置明显的分区标识,场地平整坡度控制在2‰,便于排水。其次完善临时设施,修建临时施工道路,保障施工机械设备及材料顺利进场;搭建临时供电、供水系统,供电采用双回路电源,避免施工过程中停电影响进度,供水采用就近水源,经检测合格后投入使用。然后进行施工测量放线,采用全站仪精准定位抗滑桩桩位,标注桩中心、桩边线及冠梁位置,设置龙门桩及控制桩,反复复核测量数据,确保桩位偏差不得超过50mm。同时完成材料进场检验、机械调试及施工人员培训,所有进场材料经第三方检测合格后方可使用,机械调试正常后投入施工,对施工人员进行安全、技术交底,明确施工流程及质量要求,为后续施工奠定坚实基础。

2.2 抗滑桩施工工艺

本次抗滑桩施工采用人工挖孔工艺,遵循“分段开挖、分段支护、逐段浇筑”的原则,确保施工安全及桩体质量。施工流程依次为:桩位放线→第一节桩孔开挖→孔壁支护,之后按照此“第二节桩孔开挖→支护”的步骤循环进行,直至终孔验收→钢筋笼制作安装→混凝

土浇筑→桩顶冠梁施工。桩孔开挖分段进行,每段开挖深度1.0-1.2m,开挖过程中随时检查孔壁垂直度及尺寸,垂直度偏差不超过0.5%,桩孔直径偏差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 。孔壁支护采用喷射混凝土,混凝土强度等级为C20,喷射厚度80-100mm,喷射后及时养护^[2]。终孔后,清理桩底浮渣,经地质勘察人员、监理人员联合验收合格后,进行钢筋笼制作安装,钢筋笼分节制作,每节长度6-8m,现场吊装拼接,拼接处采用焊接连接,焊缝质量符合规范要求。钢筋笼安装到位后,浇筑桩体混凝土,采用导管法浇筑,导管理深控制在2-6m,连续浇筑,避免出现断桩、蜂窝、麻面等质量缺陷,浇筑完成后及时进行养护。

2.3 施工质量控制措施

施工过程中建立健全质量管理体系,落实质量责任制,全程加强质量控制,确保工程质量符合设计及规范要求。桩位放线后,定期复核桩位及标高,每开挖2m复核一次孔壁垂直度及桩孔尺寸,及时纠正偏差,杜绝桩位偏移、孔壁坍塌等问题。原材料质量控制方面,严格审核材料出厂合格证及检测报告,进场水泥、钢筋、混凝土等材料抽样送检,不合格材料严禁进场使用;混凝土浇筑前,检查配合比及坍落度,浇筑过程中做好振捣工作,振捣密实,避免出现质量缺陷,浇筑完成后覆盖土工布洒水养护,养护时间不少于14天。钢筋笼制作安装过程中,检查钢筋规格、数量、间距及焊接质量,确保符合设计要求,钢筋笼安装垂直度偏差不超过1%。终孔验收严格按照规范执行,检查桩底持力层厚度、桩孔深度及孔径,验收合格后方可进行下一道工序,全程做好质量检测记录,确保质量可追溯。

2.4 施工安全管理措施

结合工程施工特点,建立完善的安全管理体系,落实安全责任制,严防安全事故发生。施工前对所有施工人员进行安全教育培训及安全技术交底,普及安全知识和操作规范,考核合格后方可上岗作业,特种作业人员必须持证上岗。人工挖孔作业时,严格执行“先支护、后开挖”原则,孔口设置1.2m高防护栏杆,悬挂安全警示标识,严禁违规作业;孔内作业人员佩戴安全帽、安全绳,配备通风设备,每作业30分钟轮换一次,防止缺氧窒息,孔口安排专人监护,严禁人员擅自离岗。施工现场临时用电采用TN-S接零保护系统,电线架空敷设,严禁私拉乱接,避免触电事故;机械设备定期检查调试,做好维护保养记录,严禁机械设备带病运行。边坡周边设置防护围挡及排水设施,及时排除雨水,防止雨水冲刷引发边坡溜塌;施工现场配备足够的消防器材,定期检查更换,做好消防安全管理,全程开展安全巡查,及时

排查整改安全隐患。

3 抗滑桩加固边坡施工监测

3.1 监测目的与内容

本次施工监测的核心目的是实时掌握边坡及抗滑桩在施工过程中的变形、受力情况,及时发现异常现象,预警安全风险,调整施工参数,确保施工安全及加固效果,为后续工程验收及维护提供科学依据^[3]。监测内容主要包括两大方面:一是边坡变形监测,重点监测边坡表层沉降、水平位移及裂缝发展情况,监测点位布置在边坡顶部及中部,沿边坡走向均匀分布,每5m设置一个监测点,共计设置18个监测点,跟踪监测边坡变形规律,判断边坡稳定性;二是抗滑桩受力与变形监测,在桩身不同深度布置应变计及位移计,监测桩身内力分布及水平位移,每个监测桩布置3-4个监测断面,每个断面布置4个应变计及1个位移计,共计选择8根抗滑桩作为监测桩。同时监测地下水水位变化情况,在边坡不同位置设置3个水位监测孔,实时掌握地下水动态,分析地下水对边坡及抗滑桩的影响。

3.2 监测方法与仪器设备

结合监测内容及工程实际,采用专业监测方法及仪器设备,确保监测数据精准、可靠。边坡沉降监测采用水准测量法,使用DS05级水准仪及配套水准尺,按照二等水准测量规范进行观测,测量精度控制在 $\pm 0.1\text{mm}$;边坡水平位移监测采用全站仪极坐标法,配合反射棱镜,实时测量监测点水平位移量,测量偏差不超过 $\pm 0.2\text{mm}$;边坡裂缝监测采用裂缝宽度计,定期测量裂缝宽度变化,记录裂缝发展趋势,裂缝宽度计测量范围为0-50mm,精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ 。抗滑桩桩身应变监测采用钢筋应变计,粘贴于桩身主筋上,通过应变计采集应变数据,换算桩身内力;桩身水平位移监测采用测缝计,安装于桩身预设孔内,实时监测桩身位移变化。地下水水位监测采用水位计,插入水位监测孔内,自动记录水位数据,监测仪器定期校准,确保监测精度,所有监测数据采用专业软件进行实时采集、存储。

3.3 监测频率与数据整理

根据施工进度及边坡稳定性情况,合理确定监测频率,确保实时跟踪边坡及抗滑桩状态。施工准备阶段及施工初期,监测频率为每3天1次;抗滑桩开挖及混凝土浇筑阶段,施工扰动较大,监测频率提高至每天1次;桩体养护及冠梁施工阶段,监测频率恢复为每3天1次;施工完成后,监测频率调整为每7天1次,持续监测3个月,若出现异常变形,立即加密监测频率至每2小时1次,及时跟踪变化趋势。监测数据整理遵循“真实、准确、完

整”的原则，每次监测后及时整理数据，剔除异常数据，计算监测点沉降量、水平位移量及桩身内力、位移值，绘制监测曲线，分析监测数据变化规律，判断边坡及抗滑桩稳定性。建立监测数据台账，详细记录监测时间、监测数据、天气情况及施工进度，定期提交监测报告，为施工调整及工程验收提供数据支撑。

4 抗滑桩加固边坡施工效果分析

4.1 边坡稳定性分析

结合施工监测数据及现场勘察情况，对边坡加固后的稳定性进行全面分析，判断加固效果是否达到设计要求。施工完成后，边坡表层沉降量最大为1.8mm，水平位移量最大为2.2mm，均控制在设计允许范围内（沉降 $\leq 3\text{mm}$ 、水平位移 $\leq 3\text{mm}$ ），且监测数据后期趋于稳定，无明显增大趋势，表明边坡变形已得到有效控制。边坡表层原有裂缝无进一步发展，部分细小裂缝已逐渐闭合，未出现新的裂缝及溜塌现象，边坡岩土体整体性明显提升。采用极限平衡法对边坡稳定性进行验算，加固前边坡稳定安全系数为1.08，低于规范要求的1.30；加固后边坡稳定安全系数提升至1.42，满足规范及设计要求，能够有效抵御降雨、地下水渗透及车辆振动等不利因素的影响。综合分析表明，抗滑桩加固措施有效遏制了边坡失稳趋势，显著提升了边坡稳定性，达到了预期加固目标。

4.2 抗滑桩受力与变形分析

根据抗滑桩监测数据，对加固后抗滑桩的受力及变形情况进行详细分析，评估桩体工作性能。监测结果显示，抗滑桩桩身内力分布均匀，最大内力出现在桩身中部（嵌入岩层以上3-5m处），最大轴力为1650kN，最大剪力为420kN，均小于设计允许值（轴力 $\leq 1800\text{kN}$ 、剪力 $\leq 450\text{kN}$ ），表明桩体受力符合设计预期，具备足够的抗滑、抗拔能力。桩身水平位移量最大为2.5mm，控制在设计允许范围内，且位移量随时间逐渐趋于稳定，无异常波动，说明桩体嵌入持力层牢固，整体刚度满足要求，能够有效传递边坡下滑力，阻止边坡滑动。同时桩顶冠梁受力均匀，未出现裂缝及变形现象，有效将各抗滑桩连成整体，提升了桩体整体抗滑效果。综合来看，抗滑桩

桩体受力合理、变形可控，工作性能良好，能够长期稳定发挥抗滑作用。

4.3 施工效果综合评价

结合边坡稳定性、抗滑桩受力与变形分析结果，对本次抗滑桩加固边坡施工效果进行综合评价。本次施工严格按照设计方案及施工规范执行，施工准备充分，施工流程规范，质量控制及安全管理措施到位，未发生质量及安全事故，施工进度符合计划要求^[4]。加固后，边坡稳定性显著提升，稳定安全系数达到设计标准，边坡变形得到有效控制，无失稳隐患；抗滑桩桩体质量合格，受力合理、变形可控，能够有效承担边坡下滑力，达到了抗滑加固的设计目的。施工过程中监测数据真实、准确，为施工调整及效果评价提供了可靠依据，排水系统运行正常，有效降低地下水对边坡及桩体的不利影响。本次抗滑桩加固工程施工工艺成熟、方案可行，施工效果良好，不仅解决边坡失稳问题，还保障周边道路及居民安全，同时降低了次生地质灾害发生风险，具备良好的安全效益、社会效益及经济效益，满足工程使用要求。

结束语

综上所述，抗滑桩加固边坡在本工程中成效显著。通过严谨的施工准备、规范的施工流程、严格的质量与安全管理以及全面的施工监测，有效提升了边坡稳定性，确保抗滑桩受力与变形处于合理范围。不仅解决边坡失稳难题，保障周边道路与居民安全，还降低了次生灾害风险，实现了良好的综合效益。为后续类似边坡加固工程提供宝贵的实践经验与参考范例。

参考文献

- [1]边磊.公路边坡微型钢筋混凝土抗滑桩加固施工技术[J].交通世界,2025(27):69-71,93.
- [2]王龙.基于极限平衡法的抗滑桩加固水利工程边坡支护施工方案研究[J].水利科技与经济,2025,31(1):137-142.
- [3]康宝军,王晓斌.抗滑桩施工技术在公路路堑边坡加固工程中的应用[J].交通世界,2025(20):67-69.
- [4]吴培培.高边坡加固施工中微型抗滑桩的应用[J].天津建设科技,2023,33(1):50-52.