

公路项目边坡加固中抗滑桩的应用探讨

孙 雯

浙江交工宏途交通建设有限公司 浙江省杭州市 311305

摘 要: 在公路工程建设中, 边坡稳定性直接关乎项目安全与运营效益, 抗滑桩因具备承载能力强、适应性广等优势, 成为边坡加固的核心技术之一。本文围绕公路项目边坡加固场景, 分析抗滑桩的常见类型与适用条件, 探讨其设计要点、施工工艺及质量控制措施, 结合实际应用案例总结技术优化方向, 旨在为提升公路边坡加固效果、降低地质灾害风险提供实践参考, 推动抗滑桩技术在公路工程中的高效应用。

关键词: 公路项目; 边坡加固; 抗滑桩; 施工工艺; 质量控制

1. 引言

公路建设常穿越山地、丘陵等复杂地形, 边坡失稳易引发滑坡、坍塌等灾害, 威胁道路通行安全并增加工程维护成本。抗滑桩作为主动抗滑结构, 能通过桩体与岩土体的相互作用约束边坡变形, 在各类地质条件下均展现出良好适用性。近年来, 随着公路工程对安全性、耐久性要求的提升, 抗滑桩技术不断创新, 但其在设计合理性、施工规范性等方面仍存在优化空间。本文聚焦抗滑桩在公路边坡加固中的应用, 系统梳理技术要点与实践经验, 为工程实践提供理论支撑与操作指导。

2. 公路边坡加固中抗滑桩的类型与适用条件

2.1 按桩体材料分类的抗滑桩类型及适用场景

按桩体材料划分, 抗滑桩主要包括钢筋混凝土桩、预应力混凝土桩与钢桩。钢筋混凝土桩强度高、耐久性好, 能适应潮湿、腐蚀性较弱的地质环境, 广泛应用于一般公路边坡加固; 预应力混凝土桩通过预压应力提升抗裂性能, 适合边坡变形较大、对桩体刚度要求高的场景, 如山区高陡边坡; 钢桩重量轻、施工便捷, 可在工期紧张或地质条件复杂(如软土地基)的项目中应用, 但需做好防腐处理, 避免长期使用中出现锈蚀问题。

2.2 按施工方式分类的抗滑桩类型及适用场景

按施工方式, 抗滑桩可分为挖孔桩、钻孔灌注桩与沉桩。挖孔桩通过人工或机械开挖成孔, 施工成本低、对周边环境影响小, 适合地下水位较低、岩层较稳定的边坡; 钻孔灌注桩采用机械钻孔成型, 无需开挖基坑, 能有效减少边坡扰动, 适用于地下水位高、土层松散的场景, 如河谷地带公路边坡;

沉桩通过锤击或静压方式将预制桩植入地基, 施工速度快, 但会产生振动与噪音, 仅适用于对周边建筑影响较小的郊区或偏远公路边坡加固项目。

2.3 新型抗滑桩类型及适用场景

随着技术发展, 新型抗滑桩逐渐应用于公路工程, 如组合式抗滑桩与柔性抗滑桩。组合式抗滑桩将抗滑桩与锚杆、锚索结合, 通过桩体与锚固结构的协同作用提升抗滑能力, 适合高陡边坡或多段变形的复杂边坡; 柔性抗滑桩采用复合材料(如纤维增强塑料)制作, 兼具强度与柔韧性, 能适应边坡小范围变形, 减少桩体断裂风险, 适合地质条件不稳定、边坡变形具有不确定性的山区公路, 为公路边坡加固提供了更多技术选择。

3. 公路项目边坡加固中抗滑桩的应用要点

3.1 抗滑桩设计要点(扩展)

抗滑桩设计需以全面且精准的边坡地质勘察为核心基础, 通过钻探取样、原位测试等手段, 详细掌握滑坡体的分布范围、滑动面的具体埋藏深度与倾斜角度, 以及不同土层、岩层的黏聚力、内摩擦角等力学参数, 这些数据是确保设计方案与实际地质条件高度契合的关键, 避免因地质数据偏差导致设计失效。在确定桩体尺寸时, 需根据边坡滑动力的计算结果, 综合考量滑坡体重量、岩土体稳定性等因素, 合理设定桩的截面尺寸(常见矩形截面宽度为1.5~2.5m, 高度为2~3m)与总长度, 其中桩长必须穿透潜在滑动面, 且嵌入下部稳定岩层的深度通常不小于桩长的1/3, 若滑动面下方岩层强度较低, 还需适当增加嵌入深度, 以保证桩体具备足够的抗拔与抗剪能力; 在桩体布置优化环节, 需结合边坡的

实际宽度、滑坡推力的分布规律以及施工场地条件,科学确定桩间距,一般控制在桩截面宽度的 3~5 倍,例如截面宽度为 2m 的抗滑桩,间距可设定为 6~10m,间距过大可能导致桩间土体发生局部滑动,间距过小则会增加工程成本与施工难度,造成资源不必要的浪费;在荷载组合考虑上,除了计算边坡自身滑动力这一基本荷载外,还需充分计入公路运营期间的车辆荷载(按照公路等级对应的标准轴载计算,如高速公路采用 BZZ-100 标准轴载)、雨水长期冲刷产生的渗透水压力、地震作用(根据项目所在地区的地震烈度进行设防)等附加荷载,通过荷载组合验算,确保抗滑桩在极端天气、地震等不利条件下仍能保持结构稳定,有效约束边坡变形。

3.2 抗滑桩施工工艺要点(扩展)

抗滑桩施工需严格遵循“先勘察、后施工,分阶段把控、全过程监测”的工艺流程,对每个关键施工环节进行精细化管理。在挖孔桩施工中,针对不同地质条件采取差异化的孔壁支护措施,当边坡土层为黏性土且稳定性较好时,可采用现浇混凝土护壁,护壁厚度通常为 15~20cm,每节护壁高度控制在 1~1.5m,浇筑完成后需待混凝土强度达到设计强度的 70% 以上方可进行下一节开挖;若遇到松散砂土或破碎岩层,需采用钢套筒护壁,钢套筒的壁厚根据孔深与土压力计算确定,同时在挖孔过程中需安装通风设备(如轴流风机),保证孔内空气质量符合安全标准,当孔内出现地下水时,需及时采用潜水泵抽水,将地下水位控制在开挖面以下 0.5m,防止孔壁因渗水发生坍塌,保障施工人员安全。在钻孔灌注桩施工时,采用回旋钻机或冲击钻机进行钻孔作业,钻孔前需平整场地并铺设钢板,确保钻机安装牢固、机身水平,钻孔过程中通过全站仪实时监测钻孔垂直度,每钻进 5~10m 进行一次垂直度检测,偏差需控制在 1% 以内,避免因桩体倾斜影响后续受力效果;在混凝土灌注环节,采用导管法连续灌注,导管底部距孔底距离控制在 30~50cm,首批混凝土灌注量需满足导管埋入深度不小于 1m 的要求,灌注过程中需不断提升导管,确保导管埋入混凝土深度始终保持在 2~6m,防止出现断桩、夹泥等质量缺陷。在沉桩施工前,需对施工场地进行平整压实,采用压路机将场地压实度控制在 90% 以上,确保桩体植入时场地具备足够承载力;沉桩过程中,若采用锤击沉桩,需根据桩体材质与地质条件选择合适的桩锤重量,通过试沉桩确定合理的锤击力度与频率,避免过度锤击导致桩顶破碎或桩身开裂;若采用静压沉桩,

需控制沉桩速度,一般为 1~2m/min,实时监测桩身垂直度与沉降量,确保桩体垂直植入设计标高。此外,整个施工过程中需布设位移监测点与应力监测传感器,实时记录桩体的水平位移、竖向沉降以及桩身应力变化情况,根据监测数据及时调整施工参数,确保施工质量与安全。

3.3 抗滑桩与周边结构协同配合要点(扩展)

抗滑桩在公路边坡加固中并非独立发挥作用,而是需要与周边各类防护结构形成协同配合的完整防护体系,才能最大限度提升边坡整体稳定性。在边坡顶部区域,需结合边坡汇水面积与降雨强度,合理设置截水沟与排水盲沟,截水沟通常布置在边坡坡顶外 5~10m 处,截面尺寸根据汇水量计算确定,一般宽度为 0.5~1m,深度为 0.6~1m,沟底设置不小于 3‰ 的纵坡,确保雨水能快速排出;排水盲沟则设置在边坡顶部土层与岩层交界处,采用碎石或卵石填充,盲沟断面尺寸通常为 0.4m×0.4m,内部铺设透水土工布,有效拦截并排出边坡内部的渗水,减少雨水渗入边坡内部导致岩土体含水率升高、抗剪强度降低,进而避免滑动力增加引发滑坡风险。在边坡坡面防护方面,根据坡面岩土体的稳定性情况,结合喷锚支护或格构防护技术,若坡面土层松散易流失,可采用喷锚支护,喷射混凝土强度等级不低于 C20,厚度为 8~12cm,锚杆长度根据坡面高度确定,一般为 2~4m,间距为 1.5~2m,通过锚杆将坡面土层与下部稳定岩层连接,增强坡面稳定性;若边坡为岩质边坡且存在节理裂隙,可采用格构防护,格构通常采用混凝土或浆砌片石制作,网格尺寸为 2m×2m~4m×4m,格构交点处设置锚杆或锚索,进一步提升坡面抗滑能力,减少坡面岩土体的风化剥落与流失。在抗滑桩顶部,需设置钢筋混凝土冠梁,冠梁的截面尺寸根据桩顶受力情况确定,一般宽度与桩截面宽度一致,高度为 0.8~1.2m,将多根抗滑桩的桩顶连接成整体,使桩群形成共同受力的整体结构,有效传递并分散滑坡推力,提升桩群的协同抗滑能力,避免单根桩受力过大发生破坏。

4. 公路项目边坡加固中抗滑桩应用的质量控制与优化

4.1 施工前质量控制措施(扩展)

施工前的质量控制是保障抗滑桩在公路边坡加固中应用效果的首要环节,需从地质勘察、方案审核、材料与设备准备三个核心方面严格把控。在地质勘察工作中,需委托具备相应资质的勘察单位,采用“钻探+物探+原位测试”相结合的方式,对边坡区域进行全面勘察,钻探孔的布置需

覆盖滑坡体的关键部位，如滑坡前缘、后缘、中部等，孔深需穿透潜在滑动面以下 3–5m，通过钻探取样获取不同土层、岩层的样品，在实验室进行物理力学性质试验，确定岩土体的密度、含水率、黏聚力、内摩擦角等参数；同时采用地质雷达、地震折射波法等物探手段，探明边坡内部的溶洞、裂隙等不良地质体的分布情况，以及地下水位的埋藏深度与变化规律，形成详细的地质勘察报告，为抗滑桩的设计与施工提供精准、可靠的数据支撑，避免因地质勘察不充分导致设计方案不合理。

4.2 施工过程质量控制措施（扩展）

抗滑桩施工过程中的质量控制需贯穿整个施工周期，建立“专人负责、分层检查、全程监测”的质量控制体系，对每个施工阶段进行严格监管。在成孔阶段，施工单位需安排专职质检员，定期对钻孔的孔深、孔径与垂直度进行检测，检测频率为每钻进 10m 检测一次，孔深需达到设计要求，偏差不得大于 $\pm 50\text{mm}$ ，孔径需与设计桩径一致，偏差不得大于 $\pm 50\text{mm}$ ，垂直度偏差需控制在 1% 以内；若采用挖孔桩，需检查孔壁支护的厚度、混凝土强度以及通风排水情况，确保孔壁稳定、施工安全；若检测发现孔深不足、孔径偏小或垂直度超差等问题，需及时采取补钻、扩孔或调整钻机角度等措施进行整改，直至符合设计标准后才能进入下一工序。在钢筋绑扎阶段，需严格按照设计图纸要求进行钢筋加工与绑扎，检查钢筋的规格、型号是否与设计一致（如主筋直径、箍筋间距等），钢筋的连接方式（如焊接、机械连接）是否符合规范要求，焊接接头的长度、饱满度，机械连接接头的拧紧扭矩等指标需满足相关标准；同时检查钢筋的保护层厚度，通过设置混凝土垫块确保保护层厚度符合设计要求（通常为 50–70mm），避免出现漏绑、错绑、钢筋间距过大或过小等问题，确保钢筋骨架的整体性与稳定性，为桩体承受荷载提供可靠保障。

4.3 抗滑桩应用技术优化方向（扩展）

为进一步提升抗滑桩在公路边坡加固中的应用效益与技术水平，需从技术创新与智能化升级两个维度持续推进优化，适应现代公路工程对安全性、经济性、智能化的更高要求。在技术创新层面，一方面聚焦高性能桩体材料的研发与应用，针对传统混凝土桩体易开裂、修复成本高的问题，研发自修复混凝土材料，通过在混凝土中添加微生物菌剂、胶囊型修复剂等成分，当桩体出现微小裂缝时，修复剂能自动

释放并与混凝土中的成分发生反应，实现裂缝的自主修复，减少后期维护成本；同时探索纤维增强复合材料（如碳纤维、玻璃纤维）在桩体制作中的应用，这类材料具有高强度、轻量化、耐腐蚀等优势，能显著提升桩体的抗剪强度与耐久性，尤其适用于沿海或腐蚀性较强的地质环境。另一方面优化施工工艺，推广模块化施工与装配式抗滑桩技术，将抗滑桩分为桩身、桩帽等多个模块在工厂预制生产，预制过程中通过标准化生产确保桩体质量稳定，现场只需进行模块拼接与安装，大幅缩短现场施工周期，减少对周边环境的扰动；同时研发新型成孔工艺，如旋挖钻与冲击钻结合的复合成孔技术，针对复杂地质条件（如软硬夹层地层）能提高成孔效率与质量，降低施工难度。在智能化升级层面，积极引入建筑信息模型（BIM）技术，构建抗滑桩从设计、施工到运维的全过程三维模型，在设计阶段通过 BIM 模型进行碰撞检测，优化桩体与周边结构的布置方案，避免设计冲突；在施工阶段将 BIM 模型与现场施工进度、质量数据关联，实现施工过程的可视化管理，管理人员通过模型可实时查看施工进度、质量检测结果，及时发现并解决问题；在运维阶段通过 BIM 模型存储抗滑桩的设计参数、施工记录、监测数据等信息，为后期维护提供数据支持。

5. 结论

抗滑桩作为公路边坡加固的关键技术，其类型选择需结合项目地质条件、施工环境与工程要求，确保技术适用性；应用过程中需严格把控设计、施工与协同配合要点，通过科学设计与规范施工提升抗滑效果；同时，加强质量控制与技术优化，推动抗滑桩技术向高性能、智能化方向发展。实践表明，合理应用抗滑桩能有效提升公路边坡稳定性，降低地质灾害风险，为公路工程的安全建设与长期运营提供保障。未来，还需进一步开展抗滑桩技术研究，结合更多复杂地质条件下的工程案例，完善技术体系，为公路项目边坡加固提供更高效、更可靠的解决方案。

参考文献：

- [1] 姚俊恒. 公路项目边坡加固中抗滑桩的应用探讨 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6(17): 46–48.
- [2] 张金宏. 公路项目软质岩路堑段高边坡加固技术优化分析 [J]. 交通世界, 2024, (19): 70–72.
- [3] 颜家学. 公路桥梁项目检测与加固技术探究 [J]. 交通科技与管理, 2023, 4(02): 95–97.