

抗滑桩在山区公路滑坡治理中的应用

鲍益生

武义县交通运输技术中心 浙江 金华 321200

摘要：山区公路具有地质复杂、施工技术要求高、工期长、难度大等特点，在山区公路建设过程中经常出现高边坡或超高边坡情况，若是在建设中对高边坡处理不够重视，没有科学进行处理，就极易导致滑坡事故出现，从而造成严重的影响。抗滑桩技术通过结构优化与精细化施工，已成为应对山区公路复杂滑坡灾害的核心手段，未来需进一步融合智能监测与生态防护技术以提升综合效益。

关键词：山区公路；滑坡；抗滑桩；治理

我国社会经济的快速发展，公路作为促进经济发展的重要基础设施，国家对公路的投入建设力度也在不断加大，越来越多的山区公路正在大量兴建。然而在山区公路建设中经常会发生滑坡情况，不仅会延误山区公路建设工期，还会增加工程造价。因此，对山区公路滑坡进行治理具有非常重要的意义。

1 抗滑桩的作用

1.1 力学稳定作用。传递滑坡推力，通过桩身嵌入滑床稳定地层，将滑坡产生的下滑力传递至深层稳定岩土层，利用地层锚固反力平衡滑动力，提升边坡整体稳定性。增强抗剪强度，桩体与周围岩土体相互作用形成抗滑阻力，分散滑坡推力，同时桩间土拱效应进一步优化荷载传递路径，提高坡体抗剪能力。

1.2 结构防护特性。约束坡体变形，抑制滑体位移及渐进式变形，尤其适用于浅层至中厚层滑坡（厚度通常 $< 30m$ ），防止滑体从桩顶越出或桩间挤出。协同支护体系，可与预应力锚索结合形成桩锚结构，将悬臂受力模式转变为简支梁状态，减小桩身弯矩及截面尺寸，提升抗倾覆能力。

1.3 工程应用优势。施工便捷高效，土方量较重力挡墙减少30%-40%，采用间隔跳挖、机械成孔工艺，对滑体扰动小，适用于抢险工程。地质适应性强，通过调整桩间距（桩径3-6倍）、锚固深度（硬岩 $\geq 1/4$ 桩长，土层 $\geq 1/2$ 桩长）及排布形式（梅花形多排桩），适应软硬互层、破碎岩体等复杂地质条件。

1.4 局限性与注意事项。活动性滑坡慎用：施工震动可能加剧滑动，需预先评估滑坡活跃状态。流塑地层限制：需缩小桩距或增设连接板，防止土体挤出失效。

2 抗滑桩成功实践

2.1 卸载加抗滑桩：该处置在原S220省道龙门洞段古滑坡体中，得到有效应用；采取在滑坡体上部部分卸载

土体后，在滑坡体下缘，设置抗滑桩，进过近10年的工后观测和移动性判定，效果良好。

2.2 双道抱箍式抗滑桩：该处置在义武公路方坑隧道口南侧滑坡处置上，结合地质状况，采用抗滑桩长度17至32米不等，桩间用桩间板连接，以箍水桶的原理，充分利用桩体和桩间板形成整体受力抗滑结构，加上有效地设置坡体引排水卸除水压力，施工8年后，经观测和实体检查，抗滑状况优良。

3 抗滑桩施工流程

3.1 施工准备。现场勘查与技术准备，收集地质勘探资料、设计文件及合同，明确桩位坐标和技术要求。平整孔口地面，设置截排水设施和滑坡变形监测点。放线定位，按设计坐标放样桩位，设置十字护桩校正位置；孔口浇筑高出地面30cm的钢筋混凝土锁口，兼作操作平台。

3.2 桩孔开挖与支护。分节开挖，采用间隔跳挖法（从滑坡两端向主轴推进），每节高度0.6-2.0m，严禁爆破作业。硬岩层使用旋挖钻机成孔；流沙层需钢护筒跟进支护。护壁支护，每挖一节立即浇筑钢筋混凝土护壁，土石层变化处禁止分节施工。护壁拆模后方可继续下一节开挖，确保厚度和配筋满足抗土压要求。

3.3 桩身施工。基底处理，挖至设计标高后抽干积水，清除浮土松石，凿毛护壁混凝土表面。钢筋笼安装，分段绑扎钢筋笼，孔内搭接安装（接头避开滑动面），主筋推荐直螺纹套筒连接。混凝土浇筑，集中拌合站供料，搅拌车运输，采用导管或溜槽分层浇筑（厚度 $\leq 50cm$ ）。地下水丰富时按水下混凝土法施工，超灌高度0.8-1.2m。

3.4 验收与长期维护。质量检测，养护28天后进行桩身完整性检测（声波透射法或低应变法）。维护措施，雨季加强裂缝检查，维护排水系统，持续监测滑坡位移至少5年。关键风险控制，孔壁坍塌：流沙层缩小开挖节

段并快速支护；地下水位过高时预先降水。有害气体：作业前强制通风，配备气体检测仪及自锁提升装置。滑坡扰动：严禁孔口堆载或桩顶边坡设置施工便道。

4 山区公路滑坡治理重要性

4.1 保障生命安全与交通畅通。预防伤亡事故，滑坡摧毁道路、掩埋车辆，直接威胁司乘人员生命安全；及时治理可消除突发性塌方引发的交通事故风险。维护交通“生命线”，山区公路是连接城乡的核心通道，滑坡阻断交通将导致救援物资停滞、经济动脉中断，需快速清理恢复通行能力。

4.2 减少经济损失。降低直接修复成本，大型滑坡损毁路基、桥梁等设施，后期重建费用高昂；超前治理（如设置排水系统、抗滑桩）的成本显著低于灾后抢险。避免衍生损失，交通中断导致物流延误、产业链停滞，影响区域经济发展；长期监测预警可最大限度减少次生灾害损失。

4.3 生态保护与长期稳定。控制水土流失，滑坡破坏地表植被，加剧土壤侵蚀；通过锚固、植草等措施恢复坡面生态，减少泥石流等衍生灾害。地质风险防控，降雨持续可能引发已滑坡山体的二次垮塌；加固工程（如挡土墙、减重反压）可提升岩土体抗剪强度，维持长期稳定。综合治理需结合地质条件制定策略，如地震高烈度区优先绕避大型滑坡，暴雨频发区强化地表截水沟建设等。

5 山区公路滑坡对建设的影响

5.1 直接影响施工进度与设施。损毁在建工程结构，滑坡冲击直接摧毁路基、桥梁墩台及隧道口，导致已建结构物坍塌，迫使工程返工甚至重新选址。中断施工进程，大规模塌方掩埋施工机械、材料堆放区，造成工期延误数月，并增加清理成本。

5.2 大幅增加建设成本。追加防治工程投入，需额外修建抗滑桩群、挡土墙或排水廊道等设施，显著提升工程造价（如某项目治理费用占总投资35%）。应急抢险支出激增，突发滑坡需紧急调用设备清淤、加固边坡，单次应急费用可达数百万。

5.3 制约路线规划与设计自由度。被迫规避高风险区，设计阶段需绕避大型滑坡体，导致路线延长、桥隧比例升高（如某山区公路因绕行增加隧道3.2公里）。施工方案受限，坡脚禁设堆料场与营地，机械作业面压缩，降低施工效率30%以上。

5.4 长期运维负担加重。持续监测成本，完工后需布设GPS位移计、倾斜仪等设备，年维护费用超百万元。反复治理需求，雨季滑坡复发需周期性加固支挡结构（如挡

墙补强周期约5-8年）。注：大型项目建设需预留滑坡防治专项预算（建议占比15%-25%）并制定多级应急预案。

6 抗滑桩在山区公路滑坡治理中的应用方法

6.1 科学布置桩位。优选桩位，优先布置于滑坡抗滑段，利用桩前土体抗力减小桩身荷载；避开滑体厚度过大区域以降低桩长。滑面位置明确时，桩底嵌入稳定地层深度 $\geq 5m$ （岩层）或 $\geq 10m$ （土层）。桩群布局，采用间隔跳挖法（滑坡主轴方向两端向中部推进），邻桩开挖间距 ≥ 2 倍桩径，桩身强度达75%后方可开挖邻桩。

6.2 精细化施工控制。成孔工艺，硬岩层：旋挖钻机成孔（为减少滑坡体扰动可采用岩体挤爆预裂法），铣挖机修边确保矩形桩壁平整。流沙层：钢护筒全程跟进，每节开挖 $\leq 1.0m$ 并立即浇筑护壁。钢筋笼施工，主筋连接采用直螺纹套筒（严禁焊接），接头避开滑动面 $\geq 2m$ 。混凝土浇筑，导管法连续灌注，分层厚度 $\leq 50cm$ ，地下水丰富时按水下混凝土标准超灌0.8~1.2m。

6.3 协同治理措施。排水系统配套：桩间设置截水沟+坡面植草，减少地下水渗透40%以上。动态监测调控：施工期布设测斜仪，实时监测桩顶位移（预警值 $\leq 10mm/\text{周}$ ），及时启用锚索补强。

6.4 其他山区公路滑坡治理方法。排水工程治理（根本性措施），地表排水系统，截水沟：在滑坡体外围5m以上设置，拦截坡顶汇水，断面尺寸需按50年一遇暴雨设计。排水沟/盲沟：坡面布设树枝状排水网，沟底铺设透水土工布+碎石层，导流渗透水。地下排水工程，仰斜排水孔：钻孔直径 $\geq 110mm$ ，仰角 $5^\circ\sim 10^\circ$ ，孔内插入透水管，单孔排水量可达 $5m^3/\text{日}$ 。排水隧洞：针对深层滑坡（滑面 $>20m$ ），在滑床稳定层内修建隧洞，配合辐射状排水孔。作用：降低滑体含水量30%~50%，显著提升抗剪强度。坡体形态改良，削坡减载，清除滑坡后缘土体，坡度降至 $\leq 25^\circ$ ，减重后下滑力可降低20%~30%。配合反压填土：在前缘堆载弃土，填土高度需超过滑面出口1m以上。导滑工程，修建混凝土导流槽，改变滑坡方向至无害区域，适用于坡脚有缓冲地形的滑坡。生态与协同治理，植被固坡，种植深根系植物（如紫穗槐、柠条），根系深度 $>2m$ ，提升浅层土体抗剪强度15%~25%。三维网植草，坡面铺设高分子材料网，覆土喷播草籽，抗冲刷能力提升3倍。监测与应急技术，智能化监测，布设GNSS位移站（精度 $\pm 1mm$ ）、裂缝计（灵敏度0.1mm），数据实时上传预警平台。临时支护，应急采用桉树桩（直径 $\geq 20cm$ ）梅花形布置，结合编织枝束覆盖坡面，成本仅为混凝土结构1/5。治理方案选择原则，优先截排地下水（治本）→2.浅层滑坡用挡墙/植

被→3.深层滑坡选锚索/隧洞→4.巨型滑坡需绕避，地震区滑坡治理需提高1级设防标准，锚固结构应增加20%安全系数。综合治理需根据滑体厚度、推力大小及水文条件组合应用，例如：暴雨型滑坡：截水沟+仰斜孔+植草，岩质滑坡：系统锚杆（间距 $2m \times 2m$ ）+喷混凝土（厚10cm）。

7 抗滑桩效果评估方法

7.1 滑坡推力与桩基参数评估。推力大小与分布计算：评估前需精确测算滑坡推力大小及其分布模式，作为设计桩位置、数量和桩身参数的依据；推力值直接影响桩的受力性能选择，例如推力超过800kN/m时需采用矩形截面桩增强抗弯能力。桩位与数量合理性：桩位应优先设置在滑坡抗滑段并避开滑体过厚区域，桩底嵌入稳定地层深度需 $\geq 5m$ （岩层）或 $\geq 10m$ （土层）；数量取决于推力大小，推力较大时需多排桩协同作用以分散荷载。施工质量验证：严格检查钢筋连接（直螺纹套筒严禁焊接）、混凝土浇筑（分层厚度 $\leq 50cm$ ）等工序，确保桩身完整性；验收时通过声波透射法检测桩身缺陷，低应变法抽检率需 $\geq 20\%$ 。

7.2 现场监测技术。位移与变形监测：布设GNSS位移站（精度 $\pm 1mm$ ）、裂缝计（灵敏度0.1mm）或测斜仪，实时追踪桩顶位移（预警值 $\leq 10mm/\text{周}$ ）及坡体裂缝扩展趋势；雨季前后加密监测，数据异常时启动锚索补强。沉降与倾斜分析：结合坡肩点水平位移变化评估稳定系数，例如位移突增表明抗滑力不足；长期维护中需每年检查桩体裂缝并清理排水系统，监测周期持续 ≥ 5 年以捕捉潜在风险。

7.3 数值模拟验证。有限元建模分析：应用ABAQUS或FLAC3D软件构建滑坡-抗滑桩模型，模拟位移、应力及塑性应变分布；重点关注滑带附近区域的应力集中现象，通过强度折减系数计算稳定系数（如 ≥ 1.92 表示治理有效）。接触作用优化：设置非线性接触模型（如有限滑移接触），确保主从面交互模拟真实；输出云图可直观显示滑体塑性变形区与桩体弹性变形状态，辅助调整桩长或间距。

7.4 综合评定标准。规范指标对照：依据《滑坡防治设计规范》（GB/T 38509-2020）等，评定坡体裂缝、支挡结构破损（如墙体裂缝 $> 2mm$ ）及泄水孔堵塞等关键指标；若桩间土体挤出或桩身倾斜 $> 10^\circ$ ，判定为失效需紧急加固。

稳定性分级：按边坡技术状况分类（1-5类），结合推力值与水文条件动态调整评定周期（如4类边坡每年评估）；地震区需提高设防标准，锚固结构安全系数增加20%。

总之，由于采用抗滑桩治理山区公路滑坡具有非常好的防治效果，所以，抗滑桩在我国山区公路滑坡治理方面得到了广泛的应用，有效解决了山区公路滑坡问题，保证了山区公路行驶安全。

参考文献

- [1]陈文.抗滑桩在山区公路滑坡治理中的应用探讨.2021.
- [2]郑睿.抗滑桩在山区公路滑坡治理中的运用分析.2023.