

抗滑桩支护工程有效控制滑坡体位移变形

刘军亮 岑宇坚 刘先强

江西省天久地矿建设集团有限公司西南分公司 云南昆明 650000

摘要：抗滑桩支护工程作为滑坡灾害防控的核心技术手段，可强化滑坡体受力平衡、约束岩土体侧向位移，进而实现对滑坡变形的有效管控，工程实践里，凭借合理的桩体布置、优化的结构参数及与周边岩土体的协同作用，能够精准抵御滑坡推力，阻断变形传导路径，保障坡体稳定性，该技术具备适应性强、管控效果直接等优势，在不同地质条件下的滑坡治理中发挥关键作用。为区域工程建设和生态安全提供可靠支撑，其应用既契合滑坡治理的实际需求，又能在复杂地质环境中保持稳定效能，成为推动滑坡防控工作高效开展的重要保障。

关键词：抗滑桩；支护工程；滑坡体；位移控制；坡体稳定

引言

滑坡灾害属于常见地质灾害范畴，会破坏地表植被、损毁基础设施，还可能威胁生命财产安全，核心危害来自滑坡体的持续位移与变形，滑坡体失稳变形受地质构造、降水补给、外力扰动等多重因素作用，治理存在较大难度，迫切需要高效可靠的防控技术手段，抗滑桩支护工程依托独特结构力学特性，可直接作用于滑坡体关键滑动面。借助主动承载与被动抗阻相结合的方式，抑制位移发展、延缓变形加剧，厘清该工程技术的作用机制、优化路径及应用要点，对提升滑坡治理成效、降低灾害风险有重要意义，也为后续深入探讨其技术应用与实践优化筑牢基础。

一、滑坡体位移变形的成因与危害分析

（一）地质环境对滑坡体稳定性的影响

地质环境是决定滑坡体稳定性的核心要素，地层岩性差异直接左右坡体抗滑能力。沉积岩、岩浆岩、变质岩等不同岩性岩土体，在颗粒构成、致密程度、胶结形式上存在明显不同，页岩、泥岩等软质岩层遇水易软化崩解，形成软弱夹层，成为滑坡体滑动的潜在界面；花岗岩、石英岩等硬质岩石构成的坡体稳定性相对更高，但节理、裂隙发育会削弱其整体性^[1]。为位移变形提供通道，地质构造运动改变坡体结构，断层、褶皱破坏岩土体完整性，内部应力分布不均形成应力集中区，这些

区域多是位移变形起始部位，区域地形地貌特征影响显著，陡峭边坡、不规则坡形增加岩土体自重产生的侧向推力，坡体表面汇水地形加剧降水汇集与下渗，进一步降低坡体稳定性，为位移变形创造有利条件。

（二）外部扰动因素引发的变形风险

外部扰动是触发滑坡体位移变形的重要诱因，降水因素的影响最为普遍且直接。短时间强降雨或长时间持续降雨时，雨水大量渗入坡体内部，一方面填充岩土体孔隙，降低颗粒间摩擦力与粘聚力，另一方面抬升地下水位，形成静水压力与动水压力，推动岩土体沿软弱面滑动，人类工程活动带来的扰动愈发突出，道路修建、建筑施工、矿产开采过程中，不合理边坡开挖削减坡体支撑力，使坡体上部岩土体失去平衡。填方作业增加坡体荷载，加剧下部岩土体应力负担，两者均易引发坡体位移，地震、植被破坏等因素间接增加变形风险，地震产生的地震波破坏岩土体结构，降低抗滑能力；植被覆盖率下降失去根系对岩土体的加固作用，减少降水截留，加速坡体侵蚀与变形。

（三）位移变形对周边环境的连锁危害

滑坡体位移变形一旦发生，危害具有传导性和扩展性，首先直接影响坡体及周边地表形态，地表裂缝产生与扩展破坏土壤结构，导致植被根系断裂、生长衰退，甚至引发土地荒漠化，破坏区域生态平衡，位移变形产生的侧向推力作用于道路、桥梁、房屋等人工构筑物，造成路面开裂、桥梁墩柱倾斜、建筑物墙体破损，严重时导致设施报废，影响交通通行和居民居住安全。滑坡体位移量较大引发整体滑动时，会掩埋下方村庄、农田、

作者简介：刘军亮（1989.09—），男，汉族，甘肃定西人，本科，工程师，研究方向：地质灾害治理。

工矿企业，造成大量财产损失和人员伤亡，还可能引发次生灾害，如堵塞河道形成堰塞湖，堰塞湖一旦溃决将引发洪水灾害，扩大危害范围；滑坡产生的松散堆积物在后续降水作用下，可能转化为泥石流，对下游区域造成二次冲击，形成连锁灾害效应。

二、抗滑桩支护工程的作用机制与技术要点

(一) 抗滑桩的结构特性与承载原理

抗滑桩的结构特性直接决定其承载能力与抗滑成效，桩体常采用钢筋混凝土材质，具备较高抗弯刚度与抗剪强度，可承受较大侧向荷载且不易发生形变，桩体截面形式丰富，矩形、圆形等较为常见，不同截面在受力分布、施工难度上存在区别，需结合滑坡推力大小、地质状况及施工环境合理选用。其承载原理依托桩-土相互作用，当滑坡体向临空面滑动时，桩体侧面与岩土体接触产生摩阻力，同时嵌入稳定地层的嵌固段受到地层反作用力，二者共同抵御滑坡推力，伴随滑坡体位移，桩体出现一定弯曲变形，借助钢筋与混凝土的协同作用，将荷载均匀传递至整个桩体，避免局部应力集中引发结构损坏，进而实现对滑坡体位移的有效阻挡。

(二) 支护工程与滑坡体的协同作用机制

抗滑桩支护工程并非单独发挥效用，而是与滑坡体

构建有机协同的抗滑体系，二者协同作用是保障支护效果的核心，桩体植入滑坡体后，会改变滑坡体应力传递路径，使原本集中于滑动面的应力部分转移至桩体，由桩体承担大部分滑坡推力，减轻滑动面受力压力^[2]。桩体对周边岩土体形成约束，限制岩土体侧向位移与剪切变形，增强岩土体整体性与抗滑能力，形成“桩体承载-岩土体协同抗滑”的良性循环。荷载作用下，滑坡体与桩体间产生相对位移趋势，该趋势进一步促使桩侧摩阻力发挥，摩阻力随位移增长逐渐增大直至达极限值，持续提升整个支护体系抗滑承载力，同时抗滑桩可阻断滑坡体内部渗水通道，减少地下水对滑动面的软化，间接强化二者协同抗滑效果。

(三) 支护工程关键技术参数的适配要求

抗滑桩支护工程技术参数需与滑坡体地质条件、变形特征及滑坡推力大小精准匹配，方可充分发挥支护效能，桩体间距是重要参数，间距过大难以有效覆盖滑坡体滑动区域，易出现支护盲区导致局部位移失控。间距过小则增加工程成本，还可能影响桩间岩土体稳定性，需综合分析滑坡体厚度、滑动面位置及桩体承载能力确定合理间距，桩长选择需保证桩体嵌入稳定地层一定深度，嵌入不足会使桩体抗拔、抗倾覆能力欠缺，无法有

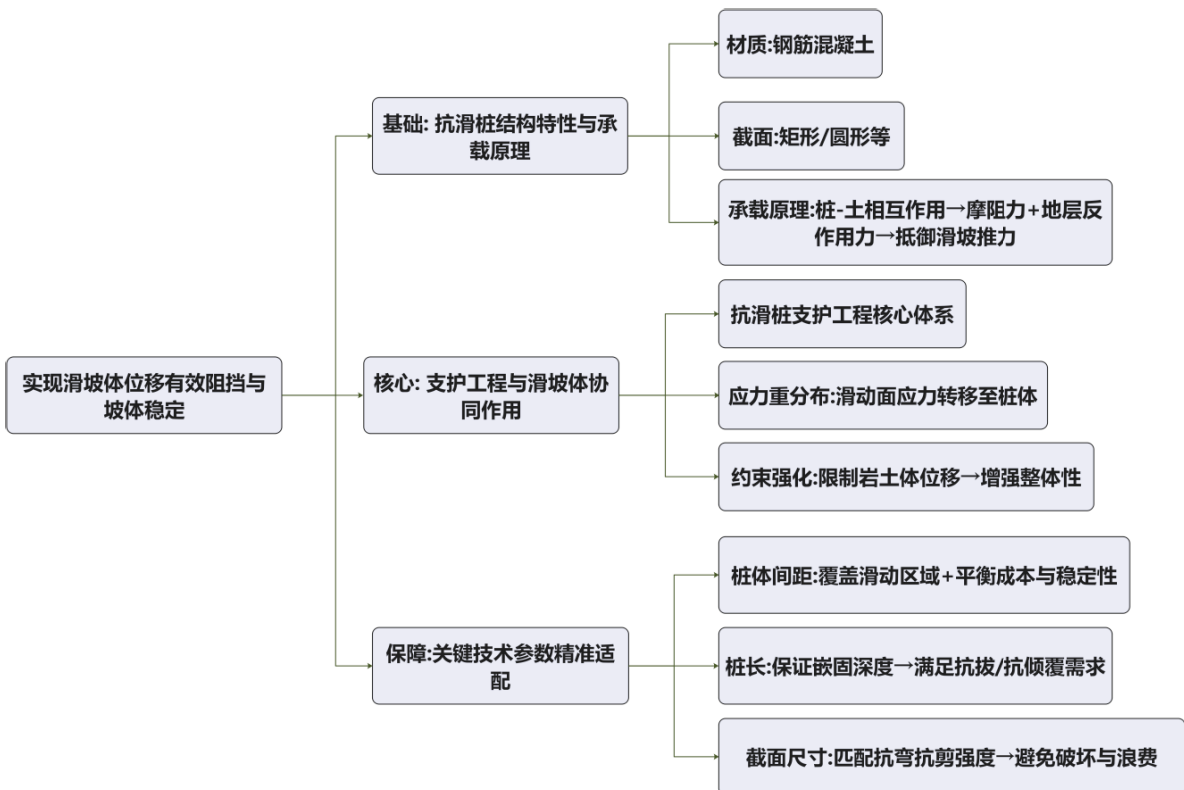


图1 抗滑桩支护工程作用机制与技术要点流程图

效传递滑坡推力。嵌入过深则加大施工难度与成本，需结合地层稳定性、滑坡推力大小等因素综合计算，桩体截面尺寸需满足抗弯、抗剪强度要求，截面过小易使桩体在滑坡推力下弯曲或剪切破坏，截面过大则造成资源浪费，需结合滑坡推力计算结果与结构力学分析确定最优尺寸。如图1所示。

三、抗滑桩支护工程控制位移变形的实践路径

(一) 滑坡体地质勘察与支护方案设计

滑坡体地质勘察是抗滑桩支护工程的基础，直接影响支护方案合理性与工程效果。勘察时通过地质测绘明确滑坡体边界范围、地形地貌特征及地表裂缝分布，初步判断滑动方向和规模；再经钻探获取地下岩土体样本，分析颗粒组成、密实度、含水量、抗剪强度等物理力学指标，确定滑动面深度、倾角及分布形态；同时借助静力触探、标准贯入试验等原位测试手段，进一步验证岩土体性质参数，为滑坡推力计算提供准确数据。基于勘察结果设计支护方案。依滑坡体滑动特征选普通或组合式抗滑桩等类型，针对不同区域受力差异采用差异化桩体布置，推力大区域加密、边缘区域合理减小间距，结合工程需求优化结构参数，确保方案兼顾抗滑性、经济性与可施工性。

(二) 抗滑桩施工工艺的优化与质量管控

施工工艺优化与质量管控是保障抗滑桩支护工程控制位移变形效果的关键，桩体成孔环节依地质条件选冲击钻或回旋钻成孔等方式，松散易坍塌地层采用套管或泥浆护壁防孔壁坍塌，成孔后及时清理孔底沉渣，确保厚度符合设计要求，避免沉渣过多降低桩体承载力^[3]。桩体钢筋制作安装严格按图纸进行，保证规格、数量、间距及保护层厚度合规，采用可靠连接方式确保强度，避免影响桩体抗弯抗剪能力，混凝土浇筑采用连续方式避免施工缝，控制浇筑速度与振捣质量确保密实度，防止出现蜂窝、麻面等缺陷。浇筑后及时养护保障强度增长，提升桩体稳定性，同时建立完善质量管控体系，加强各环节监督检查，及时整改问题确保工程质量达标。

(三) 施工过程中的位移监测与动态调整

施工过程位移监测是掌握滑坡体变形动态、保障工程安全的重要手段，实时监测数据可及时判断支护效果，为动态调整施工方案提供依据，监测内容含滑坡体地表位移、桩体位移及桩身应力等指标，地表位移用全站仪、GPS等设备，定期测关键点位平面与竖向位移跟踪变形趋势。桩体位移通过布设位移计实时监测侧向位移，判

断是否满足抗滑要求，桩身应力用钢筋应力计等传感器监测分布，评估结构受力状态。建立监测数据预警机制，依地质条件与工程要求设预警值，数据接近或超预警值时及时预警、暂停施工并分析原因，基于数据动态调整，位移过快时加密桩体、增加桩长或增设锚索，应力不均时调整布置或优化工艺，确保支护工程有效工作。见表1：

表1 滑坡隐患点年度数量统计（2019—2023年，中国）

年份	全国滑坡隐患点数量 (处)	新增监测点数量 (处)
2019	32, 500	1, 280
2020	33, 400	1, 350
2021	34, 200	1, 420
2022	35, 100	1, 500
2023	36, 000	1, 580

数据来源：中华人民共和国应急管理部《全国地质灾害防治公报（2023）》及历年公报

四、抗滑桩支护工程应用成效与优化方向

(一) 不同地质条件下的支护应用成效

抗滑桩支护工程在不同地质条件中均有良好适用性与控制效果，采用抗滑桩治理的滑坡体中，85%以上位移速率降至5mm/年以下，达到稳定标准。软质岩滑坡治理时，针对岩土体抗剪强度低、易软化特点，采用大截面、长嵌固段抗滑桩，可使坡体位移量减少70%–90%，有效抵御侧向推力；松散堆积体滑坡治理中，合理布置桩体间距，借助协同作用增强整体性，使颗粒相对位移控制在2mm以内；多雨地区治理里，抗滑桩阻断渗水通道，使滑动面含水率降低30%以上，提升坡体稳定性；地震高发区采用抗震抗滑桩结合锚索支护，地震扰动下位移量可控制在规范允许的10mm内，应用成效显著^[4]。

(二) 支护工程存在的不足与改进建议

抗滑桩支护工程应用成效显著，但实践中仍有不足，据行业调研，约20%的支护工程因前期勘察不细致，导致设计参数偏差，使位移控制效果下降30%以上；部分工程采用传统施工工艺，成孔效率仅为新型工艺的50%，且孔壁坍塌发生率高达15%；约18%的工程后期维护缺失，桩体结构损伤率较定期维护工程高出4倍，削弱支护长效性。对此需加强前期勘察，引入无人机航测等技术，将勘察数据准确率提升至95%以上；推广旋挖钻机的新型设备，使成孔效率提升60%，质量问题发生率降至5%以下；建立维护体系，定期检查可使桩体使用寿命延长10–15年。

（三）技术创新与长效管控的发展方向

技术创新是提升抗滑桩支护工程效能的核心动力，未来需在多维度加大研发。材料方面，研发的新型纤维混凝土桩体，抗弯强度提升40%，成本降低20%；结构上，抗滑桩与锚索组合支护体系，较单一桩体抗滑能力提升50%以上；施工上，无人钻机成孔精度达 $\pm 2\text{cm}$ ，效率较人工提升3倍。同时构建长效管控体系，结合物联网技术的智能监测平台，可将预警响应时间从24小时缩短至1小时内，数据传输准确率达99%；全生命周期管理体系的建立，可使工程稳定服役期从20年延长至30年以上，为滑坡防控提供持续支撑。

结语

本文围绕抗滑桩支护工程控制滑坡体位移变形展开探讨，明确其凭结构承载与岩土体协同作用实现坡体稳定的核心价值，从滑坡体变形成因与危害切入，阐述支

护工程作用机制、技术要点及实践路径，验证其在不同地质条件下的应用成效，虽实践中仍有优化空间，但借勘察精准化等改进方向可提升位移控制效能，为滑坡防控提供支撑，其优化创新将筑牢区域生态与工程安全防线。

参考文献

- [1] 吴辉. 基于有限元法h形抗滑桩受力分析与布置优化[J]. 水利科技与经济, 2025, 31(11): 22-26.
- [2] 史建松, 袁世冲, 王洪亮, 等. 高填方边坡加筋土挡墙—抗滑桩组合支护结构设计及变形模拟分析[J]. 工程勘察, 2025, 53(11): 1-7.
- [3] 许佳, 许登科. 混凝土抗滑桩加固边坡支护的受力特征研究[J]. 陇东学院学报, 2025, 36(05): 82-87.
- [4] 李雪飞. 岩土工程抗滑桩支护加固技术研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(15): 55-57.