

抗滑桩施工技术在岩土地灾治理中的应用现状及趋势

何 聪

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 四川 成都 610000

摘 要：随着全球气候变化及人类工程活动加剧，滑坡、泥石流等岩土地质灾害频发，严重威胁人民生命财产安全与生态平衡。本文聚焦抗滑桩施工技术在岩土地灾治理中的应用现状与趋势。首先概述抗滑桩施工技术，接着分析其在岩土地灾治理中的应用现状，涵盖多种技术类型、适用条件、设计方法与参数优化，以及施工工艺与质量控制等方面。探讨其发展趋势，包括智能化监测与预警系统的应用、新型材料与结构形式的探索、绿色施工技术的推广以及标准化与模块化设计的推进。旨在为抗滑桩施工技术在岩土地灾治理中的进一步发展提供参考。

关键词：抗滑桩；施工技术；岩土地灾治理；应用现状；趋势

引言：岩土地灾，如滑坡、泥石流等，严重威胁着人类的生命财产安全和生态环境。在众多灾害治理手段中，抗滑桩施工技术凭借其良好的抗滑效果和稳定性，成为岩土地灾治理的关键技术之一。随着科技的进步和工程实践的积累，抗滑桩施工技术不断发展完善，不仅在技术类型上日益丰富，在设计方法和施工工艺等方面也取得了显著进步。然而，面对复杂多变的岩土地灾形势，仍需深入探究其应用现状，并展望未来发展趋势，以更好地应对灾害挑战，保障社会安全与可持续发展。

1 抗滑桩施工技术的概述

抗滑桩是一种用于治理岩土地质灾害、增强边坡稳定性的重要工程结构物，通过将桩身嵌入滑坡体以下稳定地层，利用桩身与周围岩土体间的相互作用来抵抗滑坡推力，防止滑坡体滑动。抗滑桩施工技术涉及多个关键环节。在前期，需进行详尽的地质勘察，精准掌握滑坡体的地质结构、滑带位置、岩土物理力学性质等关键信息，为后续设计提供可靠依据。设计阶段，要依据勘察结果和工程要求，科学确定桩的类型、尺寸、间距、嵌入深度等参数，确保抗滑桩能有效发挥作用。施工时，首先进行测量放样，精准定位桩位。接着采用合适的成孔方法，如人工挖孔、机械钻孔等，开挖桩孔，过程中需做好护壁工作，防止孔壁坍塌。随后安装钢筋笼，保证钢筋的规格、数量、间距等符合设计要求，以增强桩身的抗拉、抗压性能。最后进行混凝土浇筑，采用分层振捣等方式确保混凝土密实，浇筑完成后做好养护工作，保证桩身强度。抗滑桩施工技术凭借其抗滑能力强、对周边环境影响小等优势，在公路、铁路、水利等工程建设中的边坡治理和滑坡防治方面得到了广泛应用，有效保障了工程的安全与稳定^[1]。

2 抗滑桩施工技术在岩土地灾治理中的应用现状

2.1 抗滑桩技术类型与适用条件

2.1.1 悬臂式抗滑桩

悬臂式抗滑桩通过桩身嵌入稳定地层形成悬臂结构，直接承受滑坡推力。其优势在于施工便捷、适应性强，尤其适用于滑体厚度较小（一般 $\leq 15\text{m}$ ）、推力中等的岩土边坡。然而，其被动受力机制导致桩身位移与滑坡变形同步，若滑坡位移过大，桩顶位移可能超限，影响稳定性。例如，在三峡库区某土质滑坡治理中，悬臂桩虽成功阻挡滑坡，但桩顶位移达8cm，需配合截排水措施控制变形。此外，该类型对地质勘察精度要求高，若滑带位置预测偏差，易导致设计失效。目前，其应用多集中于中小型滑坡，大型滑坡需结合其他结构形成复合体系。

2.1.2 预应力锚索抗滑桩

预应力锚索抗滑桩通过桩顶或桩身设置锚索，将部分滑坡推力传递至深层稳定岩体，形成“挡-拉”协同体系。其核心优势在于显著提升抗滑效率，尤其适用于滑体厚度大（ $> 10\text{m}$ ）、推力强（ $> 500\text{kN/m}$ ）的深层滑坡。例如，在成昆铁路某岩质滑坡治理中，采用预应力锚索桩后，桩身弯矩降低40%，锚索拉力达1200kN，有效控制了滑坡位移。该技术需精确计算锚索预应力值与桩身内力分布，避免锚索松弛或桩体破坏。目前，其应用已扩展至水利水电、矿山边坡等领域，成为大型滑坡治理的首选方案。

2.1.3 锚拉桩

锚拉桩通过桩身预埋锚杆（如钢筋锚杆或多排锚索）与桩后岩土体形成整体，改善桩的受力状态。其特点在于将桩的悬臂受力转化为多支点支撑，降低桩身弯矩与剪力，适用于软弱地层或需严格控制桩顶位移的场景。例如，在沪昆高铁某软土深基坑支护中，采用锚拉

桩后,桩身最大弯矩从 $3200\text{kN}\cdot\text{m}$ 降至 $1800\text{kN}\cdot\text{m}$,位移减小60%。该技术需合理确定锚杆长度、间距及预应力值,避免锚杆拔出或桩身断裂。目前,其应用多集中于交通、市政工程中的高边坡与深基坑支护

2.1.4 双排桩

双排桩由前后两排桩通过连梁或冠梁连接,形成空间门架结构,增强整体抗弯刚度。其优势在于通过前后桩的协同作用,有效抵抗滑坡推力与土压力,尤其适用于软土地区或流塑性较大的地层。例如,在长三角某软土深基坑支护中,双排桩将基坑变形控制在 15mm 以内,较单排桩减少50%。该技术需优化前后排桩间距(通常为2-4倍桩径)与连梁刚度,避免应力集中导致局部破坏。目前,其应用已从基坑支护扩展至滑坡治理,成为复杂地质条件下边坡稳定的重要手段。

2.2 抗滑桩设计方法与参数优化

2.2.1 桩位布置原则

抗滑桩桩位布置需综合滑坡体结构、推力分布及工程经济性。原则上,桩应布置在滑坡推力集中、地质条件稳定且施工便利的区域。对于均质滑坡,桩位多沿主滑方向等间距排列;对于牵引式滑坡,需在滑坡前缘加密布置以阻断滑动面;对于推动式滑坡,则需在中部或后部设置桩群以抵抗推力。此外,桩位应避开地下管线、建筑物基础等敏感区域,并考虑施工对周边环境的影响。例如,在某山区公路滑坡治理中,通过地质雷达探测滑带位置,将桩位调整至滑带以下稳定岩层,使桩身受力更合理,治理效果显著提升。

2.2.2 桩长与嵌固深度设计

桩长与嵌固深度是抗滑桩设计的核心参数,直接影响抗滑效果与工程成本。桩长需穿透滑坡体并嵌入稳定地层一定深度(嵌固段),通常嵌固深度为桩长的 $1/3\sim 1/2$ 。设计时需通过地质勘察确定滑带位置与稳定地层界面,结合极限平衡法或有限元法计算桩身内力,确保嵌固段提供足够的抗力。例如,在西南某水电站边坡治理中,原设计桩长 15m ,嵌固深度 5m ,后因滑带预测偏差导致桩顶位移超限,经优化后桩长延长至 20m ,嵌固深度增至 8m ,有效控制了滑坡变形。此外,嵌固段岩土体性质(如内摩擦角、黏聚力)对设计影响显著,需通过现场试验修正参数。

2.2.3 桩间距优化

桩间距需平衡抗滑效果与工程经济性。间距过小会导致群桩效应,增加成本;间距过大则可能形成“绕桩滑动”,降低治理效果。优化方法包括理论计算与数值模拟:理论计算通常基于土拱效应原理,假设滑坡推力

通过土拱传递至桩身,推导桩间距与土拱高度、岩土体参数的关系;数值模拟则通过有限元或离散元法分析不同间距下桩身受力与滑坡变形,确定最优间距。例如,在某铁路路基滑坡治理中,通过FLAC3D模拟发现,桩间距从 4m 减小至 3m 时,桩身弯矩增加15%,但滑坡安全系数提升20%;进一步减小至 2.5m 时,经济性显著下降。最终确定最优间距为 3m ,兼顾了安全与成本。

2.3 抗滑桩施工工艺与质量控制

2.3.1 测量放样与孔口开挖

测量放样是抗滑桩施工的首要环节,需依据设计图纸,采用全站仪或GPS-RTK技术精准定位桩位,误差控制在 $\pm 2\text{cm}$ 以内,并设置护桩以备复核。同时,需测定孔口高程,结合地质勘察资料确定开挖深度,避免超挖或欠挖。孔口开挖前,需清除地表杂物、植被,并平整场地,确保施工机械稳定作业。对于软土或松散地层,需在孔口周边设置锁口梁(如C25混凝土),高度不小于 0.5m ,宽度与桩径一致,以防止孔口坍塌。开挖过程中,需实时监测桩位偏移与垂直度,采用铅垂线或激光经纬仪校正,垂直度偏差不得超过0.5%。若遇地下水或不稳定地层,需采用钢护筒或降水措施保障施工安全。

2.3.2 护壁施工与钢筋笼安装

护壁施工是防止孔壁坍塌的关键措施。对于人工挖孔桩,每开挖 $1\sim 1.5\text{m}$ 需立即浇筑C20-C30混凝土护壁,厚度 $15\sim 20\text{cm}$,并配置直径 $8\sim 12\text{mm}$ 的钢筋网片,间距 $20\sim 30\text{cm}$,以增强护壁整体性。护壁模板需采用定型钢模或木模,确保尺寸准确、拆装便捷。钢筋笼安装需严格按照设计要求加工,主筋采用HRB400级钢筋,直径不小于 20mm ,箍筋间距 $20\sim 30\text{cm}$,并设置加强箍(间距 2m)防止变形。钢筋笼吊装时需采用专用吊具,缓慢下放至设计标高,并用定位钢筋固定,避免上浮或偏移。焊接或机械连接处需满足规范要求,确保钢筋笼整体受力性能。

2.3.3 混凝土浇筑与养护

混凝土浇筑需采用水下灌注或干作业法。对于干作业法,需在孔底清理干净后,先浇筑 10cm 厚同强度等级水泥砂浆作为垫层,再分层浇筑C30-C40混凝土,每层厚度不超过 1.5m ,采用插入式振捣棒振捣密实,避免蜂窝、麻面等缺陷。对于水下灌注,需采用导管法,导管直径 $20\sim 30\text{cm}$,距孔底 $0.3\sim 0.5\text{m}$,首批混凝土需满足埋管深度不小于 1m ,后续浇筑需连续进行,防止断桩。浇筑完成后,需在桩顶覆盖塑料薄膜或草帘保湿养护,养护时间不少于14天,并定期洒水保持湿润。对于预应力锚索抗滑桩,需在混凝土强度达到设计值的75%后进行张拉锁定,确保锚索与桩体协同受力^[2]。

3 抗滑桩施工技术在岩土地灾治理中的发展趋势

3.1 智能化监测与预警系统

随着物联网、大数据和人工智能技术的发展,抗滑桩施工将逐步融入智能化监测与预警体系。通过在桩身及周边岩土体中埋设传感器(如应变计、倾斜仪、孔隙水压力计等),实时采集位移、应力、渗流等数据,并利用无线传输技术将数据上传至云端平台。结合机器学习算法,系统可自动分析数据变化趋势,识别潜在滑坡风险,提前发出预警信息。此外,智能化系统还能模拟不同工况下的桩体受力状态,为设计优化提供依据。未来,该技术将与无人机巡查、卫星遥感等手段结合,形成“空-天-地”一体化监测网络,显著提升灾害响应速度与治理精准度,降低人工巡检成本与安全风险。

3.2 新型材料与结构形式

新型材料的应用将推动抗滑桩向轻量化、高强度方向发展。例如,纤维增强复合材料(FRP)因其耐腐蚀、高强度特性,可替代传统钢筋用于桩体加固,尤其适用于海洋或化工污染环境;超高性能混凝土(UHPC)通过优化颗粒级配与纤维掺量,显著提升桩身抗裂性与耐久性,延长使用寿命。在结构形式上,组合式抗滑桩(如钢管混凝土桩、型钢-混凝土组合桩)将逐步普及,通过不同材料的协同受力,提高桩体抗弯、抗剪性能。此外,3D打印技术可能实现桩体个性化设计与快速制造,适应复杂地质条件下的施工需求,推动抗滑桩技术向高效、灵活方向演进。

3.3 绿色施工技术

绿色施工将成为抗滑桩工程的重要发展方向。施工过程中,将优先采用低噪音、低振动的成孔设备(如旋挖钻机、全液压钻机),减少对周边环境的扰动;废弃土方与护壁混凝土将通过资源化处理(如制砖、回填)实现循环利用,降低渣土外运量。同时,新型环保材料(如植物纤维护壁、生物降解膜)将逐步替代传统化学材料,减少施工污染。在能源利用方面,太阳能、风能等可再生能源将为现场设备供电,降低碳排放。此外,

施工方案将更加注重生态保护,例如通过优化桩位布置避开植被密集区,或采用临时支护措施减少边坡裸露时间,维护施工区域的生态平衡。

3.4 标准化与模块化设计

标准化与模块化设计将提升抗滑桩工程的施工效率与质量可控性。通过制定统一的桩型、尺寸、连接节点标准,实现构件的批量预制与快速组装,缩短工期并降低造价。例如,预制混凝土桩体可在工厂完成钢筋绑扎与混凝土浇筑,现场仅需吊装与拼接,减少湿作业环节;模块化护壁系统(如可拆卸钢模板、拼装式混凝土护壁)将简化施工流程,提高护壁成型质量。此外,标准化设计还将促进抗滑桩技术的规范化应用,通过建立典型地质条件下的设计参数库,为工程师提供快速选型与计算依据,避免因经验不足导致的设计偏差,推动行业整体技术水平提升^[3]。

结束语

抗滑桩施工技术作为岩土地灾治理的核心手段,凭借其灵活布设、抗滑高效等优势,已成为应对滑坡、泥石流等灾害的“定海神针”。当前,其应用已从单一结构向复合体系演进,如预应力锚索抗滑桩、微型桩群等新型结构显著提升了治理效能。未来,随着智能化监测预警、绿色材料与模块化设计的深度融合,抗滑桩将向精准化、生态化、工业化方向加速转型,为构建“人-地-灾”动态平衡体系提供更强技术支撑,助力岩土地灾治理迈向更高水平的可持续发展。

参考文献

- [1]李满水.不抗滑桩施工技术在岩土地灾治理中的应用现状[J].吉林水利,2022,.7(12):35-39
- [2]李满水.抗滑桩在岸坡滑坡治理中的受力特征研究[J].海河水利,2022,.7(05):104-107.
- [3]罗爽,陈洪凯,黄永发.抗滑桩施工技术在岩土地灾治理中的趋势[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2022,39(05):69-77.