

基于 BIM 技术的岩土工程边坡地质灾害防治技术及预控策略

文 / 陈光健 四川省第十一地质大队

摘要：岩土工程边坡地质灾害具有成因复杂、隐蔽性强、突发性高等特点，严重影响基础设施安全。为有效提升防治效能，本文以 BIM 技术为信息支撑工具，从工程技术与前期预控两方面协同论述，在工程技术方面，工程人员要依托 BIM 技术实行加固地基、边坡削方、排水降压与锚固支护等措施增强坡体稳定性。前期预控方面则结合 BIM 平台选址分析、规划生态防护、设计排水系统以及加强巡查养护，构建系统性预控体系，以期构建“预防为主、综合治理”边坡安全管理机制，提升灾害防控能力。

关键词：岩土工程边坡地质灾害；防治技术；预控策略

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.028

引言

岩土边坡稳定性长期受到结构面剪切、水力扰动、基岩风化以及工程扰动等多重因素动态影响，其边坡病害极易形成链式灾害效应，影响范围广泛、治理代价高昂。工程防治方面，工程人员应聚焦坡体本构特性与破坏模式，采用科学合理的加固技术加以干预，形成力学与结构双重保障体系。近年来，BIM 技术因其可视化、参数化与信息集成优势，在边坡工程设计与管理中得到初步应用，为复杂工况下的灾害预警、施工协调与信息共享提供新路径。在此基础上，相关人员要在规划设计层面延伸至长期运维管理，强调风险前移与动态响应协同机制，全面提升边坡工程安全韧性，保障基础设施运行稳定性。

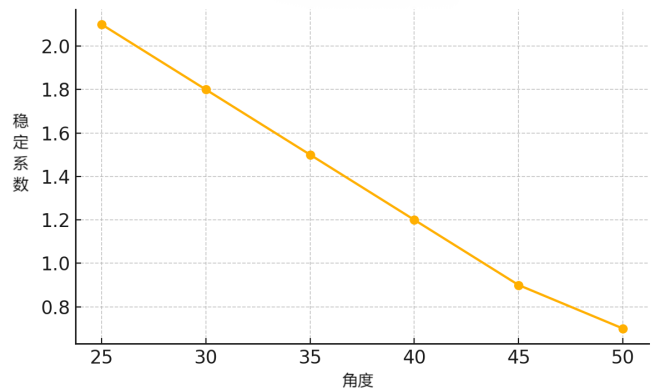
一、岩土工程边坡地质灾害防治技术

（一）地基加固技术

在复杂地质条件下，边坡地基常呈现低强度、高压缩性，极易在工程扰动或降雨入渗等因素影响下失稳，相关人员需采用科学合理的加固措施提前介入治理。常见的地基加固方式包括换填垫层、夯实压密、注浆加固、加筋处理以及桩基支护等。同时，结合 BIM 建模系统，可在地基加固设计初期实现地质信息的三维建模与可视化识别软弱带，辅助桩基定位与浆液分区，提高设计精准性。换填与垫层法适用于浅层软弱土，是挖除原地基土并填入级配良好的砂砾或碎石料，构建高强支撑层，提高地基整体稳定性。压密注浆法则将水泥、化学浆液等材料高压注入地基内部，填充土体孔隙，增强结构密实度，并大幅度提升剪切强度^[1]。对于边坡坡脚承载需求较大的场景，施工人员能采用 CFG 桩、灌注桩及管桩等刚性支护构件，形成强力传力结构，将上部荷载有效传递至稳定土层，增强坡脚抗滑支撑作用。地基中技术人员还能加入高强度土工格栅或土工织物等加筋材料，在一定范围内提高侧向约束能力，改善应力分布状态。

（二）边坡削方技术

边坡削方技术是岩土工程中常用的地质灾害防治手段，主要重构边坡高差、坡度与坡面形态，有效减弱滑坡体的滑动力来源，改善坡体整体稳定性，达到控制灾害风险的目的。该技术适用于自然边坡存在过陡角度或局部堆积荷载过大、结构面延伸角度与坡面走向一致的工况环境。基于 BIM 平台，技术人员可实现剖切分析削方区域，辅助施工人员动态调整坡角设计与台阶参数，提高削方方案匹配度与施工可视化水平。削方过程中应依计算结果确定坡角与台阶高度，常采用分台阶方式放坡。当坡角由原始的 45° 削减至 35° 以下时，会显著降低滑坡发生概率，其土质边坡在坡角超过 40° 条件下，稳定系数一般低于 1.2，存在失稳风险；而坡角降低至 30° 后，稳定系数可上升至 1.5 以上，进入相对安全范围（如图一）^[2]。施工前技术人员可在 BIM 系统中导入坡面激光扫描数据，叠加稳定性计算结果比选坡型，有助于快速生成适配方案并评估工程量。与此同时，施工人员合理布置削方后的坡面形态结构，还可为后续恢复植被、铺设排水系统与构造支护提供平整作业平台，增强边坡整体治理系统协同性。



图一：边坡坡度与稳定系数关系图

（三）排水降压技术

水的作用在多数边坡失稳机制中居核心地位，尤其在雨季、汛期或地下水位波动区，渗流易破坏原有稳定状态。排水降压是保障坡体稳定的重要措施，其系统分为地表径流控制与地下渗水疏解两类。利用BIM平台，技术人员可集成地质剖面、水文数据与管线布置信息，构建坡体水动力三维模型，辅助布置排水系统空间。地表排水主要依靠截水沟、排水沟、跌水井等设施，汇流引导降雨至边坡之外，防止水流集中冲刷坡面或渗入深层引发软化。地下渗水则依赖盲沟、水平排水孔、反滤层及轻型井点系统，分层引排坡体内部积水，有效切断毛细水上升路径与水力润滑带形成可能性。设计排水降压系统时，相关人员应充分考虑地质构造、土体类型、水文特征与排水路径，采用“分区分层、动静结合、开闭配合”布置策略，保证各类水体能够分通道、顺重力、高效率外排。施工中，技术人员常利用地质雷达与水文钻探判定主要渗透带走向，再据此布置倾斜排水管及水平疏水孔，形成网状导水体系。此过程中，BIM平台可联动监测数据，模拟排水施工进度与渗流扰动范围，支持方案比选与施工排程管理，提升工程响应效率。

（四）锚固支护技术

锚固支护以“拉力传递+摩擦控制”为基础，其锚杆体借助钻孔埋设与浆液封固，能与周边岩体形成粘结，形成“内嵌拉杆”结构，施加预应力后进一步压密岩土结构，提升剪切阻力。基于BIM平台的锚固系统可实现锚孔布置三维参数化设计，叠合地质构造图层与荷载分布，辅助确定锚固方向、间距及深度，提升设计科学性。工程中常用10—15米中等长度、直径25毫米以上钢筋锚杆，结合高强水泥浆体构建高效锚固体，整体提升边坡稳定系数。除此之外，锚固支护形式多样，包括被动锚杆、主动预应力锚索、组合支护系统以及面板固定系统等。其中被动型适用于应力释放型边坡，可利用锚杆随动位移缓解应力集中，主动型适配稳定性边界接近临界的坡体，可主动施加拉力约束结构滑移。借助BIM系统，施工方可动态监控锚固进度与注浆质量，并利用可视化界面辅助张拉过程记录与质量交底，降低隐患风险。在强风化或破碎岩体中，技术人员还要设置钢筋网片，联动表层与深层锚固体系，实现协同加固。

二、基于BIM的岩土工程边坡地质灾害预控措施

（一）BIM引导下的边坡选址布局

地质灾害易发区一般存在较高地下水位、结构松散的土体、顺坡节理裂隙带或断层发育带，天然稳定性差，且对工程扰动极为敏感。相关人员应依照避让原则，基

于BIM平台的地质信息集成模型，叠加地形数据、滑带分布与风险等级图，实现可视化比对选址，引导工程布局向稳定区域偏移，进而减少治理成本与后期维护压力，提升工程使用年限。合理避让并非简单“远离”，而是以《地质灾害危险性评估技术规范》为依据，结合遥感调查、数值模拟成果，划定高、中、低风险区域，明确不同风险等级所适用的建设强度^[3]。如，在一级滑坡高风险区内，禁止设立学校、医院、水库坝体等人员密集或功能关键设施；中等风险区需采取限建、限高等控制性措施，配套相应支护系统；低风险区则可适度布局低荷载建筑，但需保留预警避险空间。实施过程中，相关人员应将避让原则前置置于产业布局等多层级决策体系中，纳入刚性约束指标。规划单位要与地质、测绘、水利等部门协同作业，统一评价口径、技术标准，提升布局建议科学性，必要时模拟评估不同布局方案对区域稳定性影响，量化各选址路径综合权重，辅助决策制定。BIM平台还能在多源数据叠加基础上快速调整方案布局，联动风险等级图与用地类型，实现最优化边坡空间利用效率。

（二）基于BIM的生态防护规划

草本、灌木或乔木等不同类型植物的根系系统能稳固坡面土体，增强坡面抗冲刷能力、提高浅层抗剪强度，并显著减少地表径流破坏边坡结构的程度。在降雨强度高、风化程度重或表层结构松散的边坡区域，植被覆盖既能改善生态环境，还能兼顾工程安全目标。植被在边坡防护中作用机制主要包括两个方面。一是根系加筋效应，植物根系能穿透土体形成网状支撑，提升土壤颗粒之间的界面摩阻力，增强表层土体的结构完整性与抗滑移能力。在相同降雨条件下，未覆盖坡面的地表径流量约为植被覆盖坡面的2.3倍^[4]。二是水分调节功能，植被借助蒸腾作用可有效降低土壤含水率，减缓孔隙水压力上升速度，减少因饱和和软化导致的边坡稳定性降低，控制潜在滑动带。不同类型植被抗滑能力存在显著差异，草本类植被适用于边坡坡面浅层防护，具有快速覆盖、固根广布优势，适合与喷播植草或土工织物协同使用，增强浅层防冲刷效果。灌木与乔木根系发育深，可作用于较深层土体，对软岩风化层及松散堆积体边坡具有较强锚固作用。借助BIM生态建模功能，工程人员可在地形数据与坡度图基础上构建坡面植被立体分区模型，提前规划不同植物配置，提升生态防护效果与景观融合度。配置上，应结合坡面坡度、气候条件、土壤类型以及施工周期合理配置植物种类，统一短期成效与长期稳固效果。实际实施中，技术人员要结合边坡坡脚、坡面与坡顶三段不同位置水力冲刷风险分区布置植被。坡脚处选

用抗水冲能力强的深根植物，坡面中段布设地被植物与中根型灌木，坡顶区域则配置根系发达的乔木及拦截草带，形成生态分层防护体系。此过程中，技术人员还能使用BIM系统实时调整种植带与坡面支护结构间的空间关系，实现排水沟、锚固区、植被带一体化布局，提升坡面系统协同度。

（三）基于BIM超前规划排水系统

工程人员应在项目设计初期即系统性介入水文分析与排水结构布局，将引导地表径流与控制地下水渗流纳入整体工程架构，构建“主动截流、定向排导、分级疏散”复合式水力调控机制，继而防止水体长期侵蚀边坡结构，有效降低突发性降雨引发的聚集孔隙水压力。边坡失稳案例中，多数滑坡与崩塌事件均与水动力干扰密切相关，在降雨强度大、地下水补给活跃、坡体透水性差的区域，水体滞留极易引发应力重分布，破坏土体原有平衡状态。而工程人员在规划阶段可利用BIM平台叠加坡面三维模型与降雨参数，联动渗流模拟算法，预演排水路径与渗透带扩展趋势，辅助排水构造布局比选与容量配置。

排水系统一般包括地表排水、浅层导排以及深层疏水三大构成。地表排水以截水沟、导水槽、跌水井等形式为主，设置于坡顶、平台以及坡脚区域，用于快速分散并外引雨水，防止形成集中径流冲刷坡面；浅层导排系统则涵盖反滤盲沟、碎石排水带与渗水草沟，嵌入表层与中间层土体中，起到拦截坡面水流、导出饱和水分作用；水平排水孔、竖井集排井等深层疏水结构则深入坡体内部至滑动面下方，有效控制水力爬升，卸载潜在滑移面水压。规划过程中，技术人员需依据降雨强度频率、水文地质与地层渗透系数，构建排水模拟系统，确定各排水结构容量、间距、布设方式与材料参数。以中等降雨强度区域为例，水平排水孔的布设间距通常为5—8米，孔深在滑动面下1.5米以上，孔径为 $\phi 75$ —100毫米。基于BIM的结构布设工具，技术人员可直观布置排水构件与坡面锚固、植被系统的相对位置，提升坡面构造协同设计的效率与精度。

（四）数据驱动下加强巡查日常养护

巡查日常养护是保障边坡长期安全运行的管理基础，其核心在于利用制度化、规范化的日常巡检养护工作，及时发现结构性异常、水工设施损毁以及表层扰动等潜在隐患，快速实施局部修复，延缓边坡退化进程，打断灾害演化链条^[5]。该措施强调从“治理为主”向“运维前置”转型，将地质灾害防控从阶段性治理延伸为全过程防护。边坡结构在服役周期中持续受风化、雨蚀、水

力扰动与植物根系破坏等自然因素侵蚀，同时也可能受到交通荷载、施工扰动或人为弃土堆载等外部干预影响，进而产生裂缝扩展、坡面滑动等风险征兆。基于BIM系统建立运维数据库后，相关单位可实现隐患点三维定位、巡查路线模拟与时间表可视化，提升日常养护的组织性。巡查工作内容应涵盖坡体整体结构、排水系统、支护构造、植被覆盖与周边干扰源等多个维度，相关人员定期记录边坡表面沉陷、裂缝宽度变化、支护构件锈蚀程度及渗水点位水量变化等指标，建立可溯源的风险档案。在雨季敏感期区域，相关人员还需增加巡查频率，同时借助无人机航测与BIM模型联动开展高空巡检，形成图像数据与结构模型间的快速对照机制。

养护作业以“及时发现—快速修复”为目标，主要为清沟疏水、护坡补喷、锚索重张拉、加固坡脚等作业内容，按照“轻微损毁即修、局部缺陷即补”标准化流程进行。对植被层破坏、水土流失区域，及时补播植草、加设防冲草毯；排水沟淤堵、导排孔失效区域，开展清理、重挖作业；至于构造类支护构件，养护人员定期检修连接节点、防腐涂层及预应力状态，保证其持续发挥抗滑、限位功能。借助BIM平台集成巡查数据，相关人员还可分析不同区域故障频率与施工影响因素，优化后续管理策略，提高边坡系统的全周期养护效率。

结语

岩土边坡灾害防控需构建以工程治理为基础、信息技术为支撑的系统策略。围绕地基稳定、削坡调整、排水降压与支护加固，统筹设计、施工与运维阶段动态关联。BIM技术作为核心工具，能推动空间数据建模、流程协同管理与风险可视预警的深度融合，有效提升防治效率。经由建立多维信息模型，边坡管理也能逐步实现从被动响应向主动预测转变，支撑工程全周期安全韧性。

参考文献

- [1] 丁宇. 岩土工程地质灾害防治技术措施应用研究[J]. 工程建设与设计, 2025(04): 34-36.
- [2] 李进. 岩土工程边坡滑坡灾害稳定性评价及防治技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2024(24): 140-142.
- [3] 左江博. 岩土工程地质灾害防治新技术及防治探讨[J]. 工程建设与设计, 2024(21): 37-39.
- [4] 李程. 矿山岩土工程边坡地质灾害预控措施[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(09): 157-159.
- [5] 卢凯. 岩土工程边坡地质灾害防治技术及预控研究[J]. 冶金管理, 2021(09): 101-102.

作者简介：陈光健（1981—），男，汉族，四川达州人，本科，研究方向：地质灾害防治。