

岩土工程地质灾害成因及其防治的探析

詹坚鑫 陈少林

中水珠江规划勘测设计有限公司 广东 广州 510610

摘 要：岩土工程施工易诱发多种地质灾害，严重威胁工程安全与区域生态稳定。本文系统梳理边坡失稳、地面变形、碎屑流动等常见地质灾害类型与发育特征，从自然地质、人为施工、勘察管理三方面剖析灾害核心成因，探究多因素耦合致灾机制。同时结合工程实际，从前期预防、专项治理、动态监测、长效管理维度制定综合防控对策，旨在提升岩土工程地质灾害防控水平，保障工程施工安全与地质环境稳定。

关键词：岩土工程；地质灾害成因；防治

引言：随着岩土工程建设规模持续扩大，施工扰动与复杂地质环境叠加，致使滑坡、地面塌陷、泥石流等地质灾害频发，不仅损毁工程设施、延误施工进度，还极易造成人员伤亡与经济损失，成为岩土工程安全建设的主要隐患。地质灾害具有突发性、连锁性特征，防控难度较大。基于此，本文探析岩土工程地质灾害的发育规律与形成原因，针对性梳理科学防治技术与管控策略，为岩土工程防灾减灾工作提供有效参考。

1 岩土工程常见地质灾害类型及发育特征

1.1 边坡失稳类灾害

（1）滑坡灾害：主要发生于山区开挖边坡、路基边坡及矿山边坡，具有隐蔽性、突发性特征，受岩土体结构、降水冲刷、工程开挖扰动影响显著，滑移速度与规模差异较大。按滑移面形态可细分为平面滑动、圆弧滑动及楔形体滑动等类型，其发育程度与边坡坡角、岩土抗剪强度指标及地下水赋存状态密切相关。（2）崩塌灾害：多出现于陡峭岩质边坡，岩土体整体性差、裂隙发育，在工程爆破、机械扰动、雨水浸润作用下，易发生岩体坠落、坍塌，破坏力集中、突发性极强。崩塌体往往沿结构面或卸荷裂隙发生迅速脱离，坠落过程中伴随撞击碎裂，影响范围进一步扩大，危害性显著^[1]。

1.2 地面变形类灾害

（1）地面沉降：多见于城市地下工程、基坑开挖、地下水过度开采的岩土工程区域，岩土体孔隙压缩、土层固结引发地面缓慢沉降，易导致建筑开裂、管线破损、路面塌陷。其沉降速率受土层压缩性、应力历史及地下水位变化幅度控制，具有不可逆性与长期性特征。（2）地面塌陷：主要发生于岩溶地貌、地下空洞发育区域，工程施工扰动地下岩土结构，引发突发性土体塌落，具有破坏范围集中、危害程度高的特点。塌陷过程常表现为上覆土体失去支撑后瞬间垮落，形成塌坑或陷

穴，严重威胁施工机械及人员安全。

1.3 碎屑流动类灾害

（1）泥石流灾害：多发育于山区岩土工程施工现场，工程弃土、松散堆积物丰富，强降雨天气下松散土体与水体混合形成泥石流，冲刷破坏力强，易掩埋工程设施、阻断施工通道。其运动过程呈明显阵流特征，携带大量块石与泥沙，淤埋作用突出，治理工程量大。

（2）沙土液化灾害：饱和松散砂土地在工程振动、地震作用下，土体强度骤降、丧失承载力，引发场地变形、工程基础失稳，多见于滨海、河谷砂土分布区域工程。液化发生后伴随喷水冒砂、地面侧向扩展等现象，对桩基、地下结构构成严重威胁。

1.4 灾害总体发育规律

（1）区域性规律：地质灾害发育与区域地形地貌、地质构造、岩土体类型密切相关，山区以边坡失稳、泥石流灾害为主，平原城区以地面变形灾害为主，岩溶地区地面塌陷发育，河谷地带砂土液化风险较高，不同区域灾害组合特征明显。（2）时效性规律：地质灾害多集中发生于工程施工扰动期、雨季汛期，人为扰动与自然气候叠加，大幅提升灾害发生概率。施工开挖卸荷、堆载增压、振动扰动等工程活动在特定气象条件下，显著缩短灾害孕育周期，表现为集中群发特征。

2 岩土工程地质灾害核心成因分析

2.1 自然地质成因

（1）地形地貌条件：山区地势起伏大、边坡陡峭，岩土体临空面发育，自身稳定性差，为滑坡、崩塌、泥石流灾害提供了地形基础，极易受外界扰动发生失稳破坏。沟谷切割深度及坡面汇水面积直接影响碎屑物质的启动条件与运移规模。（2）地质构造条件：区域断层、褶皱发育，岩土体裂隙、破碎带分布广泛，土体整体性、抗压抗剪强度不足，地质结构本身存在不稳定隐

患。构造运动形成的节理裂隙系统构成地下水渗流通道与软弱结构面,显著降低边坡抗滑稳定性^[2]。(3)水文气象条件:降雨入渗浸润岩土体,降低土体抗剪强度、增加土体自重应力;地下水径流、浸泡软化岩土结构,加剧边坡失稳与地面变形风险。集中强降雨条件下,坡面径流迅速汇入裂隙,产生动态水压力,直接触发滑坡、泥石流等灾害。

2.2 人为工程成因

(1)不合理开挖扰动:岩土工程施工中过度开挖边坡、深挖基坑、随意削坡,破坏原有地质平衡结构,改变岩土体应力分布,引发边坡失稳、地面塌陷等灾害。开挖卸荷导致坡体内部应力重分布,拉应力集中区裂缝扩展贯通,降低坡体整体稳定性。(2)工程弃土与堆载不当:施工弃土、废渣随意堆放,形成松散堆积体,增加坡面荷载,雨季易诱发泥石流、滑坡灾害;场地违规堆载加剧地基土体变形沉降。弃土场选址不当、拦挡排水设施缺失,使松散堆积物在暴雨作用下迅速转化为泥石流物源。(3)施工工艺与爆破扰动:违规采用粗放式施工工艺,未做好岩土体防护;工程爆破产生的振动荷载,扰动周边岩土体结构,扩大裂隙发育范围,诱发地质灾害。爆破震动波的周期性作用使结构面产生疲劳损伤,累积效应导致岩体力学性能劣化。

2.3 勘察设计与施工管理成因

(1)地质勘察工作疏漏:前期勘察范围不足、勘察深度不够,未能精准探明场地不良地质、地下空洞、破碎带等隐患,导致工程设计与实际地质条件不符。勘察成果的准确性与完整性直接决定灾害隐患的识别程度。(2)工程设计不合理:边坡坡度、基坑支护、排水系统等设计参数不合理,未充分考虑区域地质风险与气候特征,防护设计冗余不足,难以抵御地质扰动影响。排水系统设计缺陷致使地表水下渗补给,抬高地下水位形成静水压力,降低坡体抗滑稳定性,支护结构承载力不足则导致渐进性破坏。(3)现场管控机制缺失:施工过程中地质灾害动态监测不到位,隐患排查不及时,应急防控措施不完善,未能提前预判、处置灾害隐患。监测点布设稀疏、监测频率不足,难以及时捕捉位移加速等灾害前兆信息,错失预警处置最佳时机,隐患由量变积累转化为质变灾害。

2.4 灾害成因耦合机制

(1)自然与人为因素耦合:稳定的自然地质环境在工程人为扰动下打破平衡,降雨、地下水等自然条件进一步放大工程扰动的负面影响,加速灾害发育。人为活动降低地质体自身抵抗能力,自然因素提供触动力与

介质条件,二者在时空维度上高度叠加,形成灾害发生的充分必要条件。(2)多因素叠加连锁反应:单一地质隐患在开挖、降水、堆载等多重因素叠加下,逐步演化、扩大,形成连锁式地质灾害,提升灾害防控难度。灾害链式效应表现为边坡失稳引发碎屑流,碎屑流堵塞沟道后溃决形成泥石流,灾害类型转化与规模放大显著增加防控复杂性,单一措施难以有效阻断灾害链的级联传播过程。

3 岩土工程地质灾害防治技术与防控对策

3.1 地质灾害前期预防措施

(1)强化精细化地质勘察:扩大勘察范围、加深勘察深度,采用无人机勘测、地质雷达、数值探测等新型技术,全面探明场地不良地质条件,精准识别灾害隐患点。勘察阶段应系统查明场地内断裂构造、软弱夹层、岩溶空洞及采空区分布,查明地下水位动态变化及含水层赋存特征,同时对区域历史灾害事件进行调查统计,掌握灾害发育规律与致灾模式,为后续设计与施工提供翔实可靠的地质依据。(2)优化工程规划与设计:结合场地地质特征合理规划工程选址、施工方案,科学设计边坡坡度、支护结构、排水系统,规避高风险地质区域,从源头降低灾害隐患。设计方案应充分考虑极端降雨、地震等不利工况组合,采用可靠度设计方法确定安全储备系数,对关键节点进行多方案比选论证,确保工程本身具备足够抗灾冗余度,避免因设计缺陷埋下长期安全隐患^[3]。(3)规范前期施工准备:提前清理场地松散堆积物,完善场地排水体系,对破碎岩土体提前进行加固处理,杜绝违规削坡、弃土堆载等前期违规行为。施工进场前应完成场地截排水沟、沉砂池等排水设施布设,对坡面明显裂缝及松动岩块及时清除或锚固,合理规划施工便道与临时设施布局,防止施工前期准备不足引发次生灾害。

3.2 核心灾害治理技术应用

(1)边坡灾害治理技术:采用锚杆锚索支护、喷锚支护、挡土墙加固等刚性防护技术,搭配植被护坡、截排水工程等柔性防护技术,全方位提升边坡稳定性。对于高陡边坡宜采用预应力锚索与框架梁组合结构,深层变形边坡需设置抗滑桩或挡墙结合排水廊道进行综合治理,坡面防护应根据岩体风化程度分别采用挂网喷混、格构锚固或生态袋护坡等差异化方案。(2)地面变形灾害治理技术:针对地面沉降采用注浆加固、地基固结技术;针对地面塌陷采用空洞回填、岩体封堵、地基补强技术,修复受损地质结构。注浆加固应合理选择浆液配比与注浆压力,确保浆液有效充填孔隙与裂隙,形成连

续完整的加固圈；空洞回填宜采用碎石混凝土或水泥粉煤灰混合料分层夯实回填，对于较大规模空洞可配合钻孔灌注桩或高压旋喷桩进行综合加固处理^[4]。（3）泥石流灾害治理技术：通过修建拦砂坝、谷坊、排导槽等工程设施，拦截松散物、疏导山洪水体，同时开展生态修复，种植固土植被，减少松散堆积物来源。拦砂坝宜采用钢筋混凝土或浆砌石结构，按阶梯式布设形成拦挡群体，兼顾拦淤与排导双重功能；排导槽应根据泥石流流态性质合理设计断面尺寸与纵坡坡度，确保排导顺畅不淤积，上游水源区应结合植树造林与坡面整治减少水土流失。

3.3 动态监测与预警体系建设

（1）搭建智能化监测系统：依托物联网、卫星遥感、位移传感器、雨量监测设备，对边坡位移、土体沉降、地下水水位等指标进行24小时动态监测。监测系统应具备自动化数据采集、无线传输与云端存储功能，实现关键监测指标的实时在线监控与异常自动报警，同时建立监测数据管理平台，对历史数据进行趋势分析与综合研判。（2）建立分级预警机制：结合监测数据划定灾害风险等级，制定对应预警标准，针对不同风险等级启动差异化防控预案，实现灾害早发现、早预警、早处置。预警等级应综合位移速率、累计位移量、降雨强度及地下水变化等多参数确定，实行蓝色、黄色、橙色、红色四级响应机制，各级预警对应明确的现场停工、人员撤离、应急加固等具体处置措施。（3）落实常态化隐患排查：定期开展施工现场地质隐患排查，重点核查边坡、基坑、弃土场等关键区域，建立隐患台账，实行闭环整改管理。排查工作应做到全覆盖、无死角，将雨前排查、雨中巡查、雨后复查相结合，对发现的安全隐患明确整改责任人、整改措施及整改时限，实行销号管理确保隐患彻底消除，防止小隐患演变为大灾害。

3.4 管理制度与长效防控对策

（1）完善工程施工管控规范：严格落实岩土工程施工标准化要求，规范开挖、爆破、堆载等施工工序，杜绝违规施工行为，减少人为地质扰动。施工过程中应严格执行动态设计—信息化施工管理模式，根据监测反馈

及时调整施工参数，严禁盲目赶工期、超挖超填等冒险作业行为，确保工程安全始终处于受控状态^[5]。（2）健全应急处置机制：制定地质灾害专项应急预案，配备应急物资与设备，定期开展应急演练，提升突发灾害的快速处置能力，降低灾害损失。应急演练应模拟真实灾害场景，涵盖险情报送、人员疏散、抢险救援、医疗救护全流程，确保应急响应及时高效、措施得当有力，同时建立与属地政府、应急管理部门的信息通报与协同联动机制。（3）推进生态与工程协同防控：坚持工程治理与生态修复相结合，在灾害治理区域开展植被恢复、水土保持工程，改善区域地质生态环境，实现长效防灾减灾。采用工程措施控制灾害短期风险，依靠生态措施巩固长期稳定效果，构建工程加固与生态固持协同作用的综合防灾体系，注重治理工程与周边自然环境协调统一，推动灾害防治从被动应对向主动防控的根本转变。

结束语

岩土工程地质灾害是自然条件与人为施工多因素耦合作用的结果，灾害类型多样、发育规律鲜明、连锁危害突出。本文明确了各类地质灾害的成因机理，总结了集预防、治理、监测、管控于一体的综合防控体系。未来岩土工程建设需坚持因地制宜、防治结合，兼顾工程安全与生态保护，持续优化施工与防控技术，完善长效管控机制，从根源降低地质灾害发生风险。

参考文献

- [1]王进尚,张应飞,张燕凯.复杂地质条件下岩土工程边坡灾害成因及治理技术[J].水文地质工程地质,2023,50(04):136-143.
- [2]高杨,贺凯,殷跃平.山区岩土工程危岩崩塌灾害发育机制与精准防控技术[J].岩石力学与工程学报,2022,41(09):1872-1881.
- [3]李想.岩土工程施工中地质灾害诱发因素及综合防治措施[J].工程技术研究,2025,10(09):78-80.
- [4]刘浩宇.降雨诱发岩土边坡地质灾害演化机理及防治优化[J].中国地质调查,2024,11(03):89-95.
- [5]陈宇恒.岩土工程地质灾害风险识别与精细化防治对策[J].西部探矿工程,2024,36(07):23-26.