

边坡滑坡工程治理的地质勘查与防治措施

李志强

内蒙古吉林郭勒二号露天煤矿有限公司 内蒙古 锡林郭勒盟 026200

摘要：边坡滑坡治理关乎工程安全，本文聚焦边坡滑坡工程治理，阐述了其概念，即岩土体沿软弱面滑动的地貌现象，分析了自然与人为两类影响因素。介绍了地质勘查的主要内容，包括地形地貌、地层岩性等五方面，以及地质测绘、物探等技术方法。提出排水、支挡、减重加载、植被固坡及辅助措施等防治手段，形成了从勘查到治理的整体体系，为边坡滑坡治理提供了全面的理论与实践参考，对保障工程安全具有重要意义。

关键词：边坡滑坡工程治理；地质勘查技术方法；防治措施

引言：边坡滑坡作为危害严重的地质灾害，在自然和人为因素作用下频发，威胁工程建设与生命财产安全。随着工程活动增多，滑坡治理需求愈发迫切。本文基于实际工程背景，从边坡滑坡的概念与影响因素切入，系统探讨地质勘查的内容与技术方法，进而提出针对性防治措施，旨在为提升滑坡治理水平、降低灾害风险提供科学指导，推动相关工程领域的安全发展。

1 边坡滑坡的概念与影响因素

1.1 边坡滑坡的概念

边坡滑坡是指在自然或人为因素作用下，采场及排土场边坡上的岩土体在重力作用下，沿着一定的软弱面或软弱带，整体或分散的向下滑动的地质现象。它是边坡变形破坏的主要形式之一，涉及岩土体的力学性质、结构特征以及外部环境的综合作用。从力学本质来看，边坡滑坡的发生是由于边坡岩土体所受的剪切应力超过了其抗剪强度，导致原有平衡状态被打破，从而引发边坡大面积滑动。

1.2 边坡滑坡影响因素

边坡滑坡影响因素主要包含以下两方面：（1）自然因素。地形是基础条件，坡度越大、坡高越高，坡体稳定性越差，陡峭边坡更易因重力失衡引发滑坡。气候通过降水和温度作用影响坡体，持续降雨或暴雨使岩土体含水量骤增，降低抗剪强度，冻融循环则破坏岩土体结构，加剧风化剥落。水文因素中，地表水冲刷坡脚会削弱坡体支撑，地下水上升产生的孔隙水压力会减小有效应力，两者共同作用易诱发滑坡。地质构造如断层、裂隙发育会破坏岩土体完整性，为滑坡提供滑动空间。（2）人为因素。采剥施工过程中，工作面扰动、不按设计施工等活动会改变坡体形态，破坏原有平衡，易引发滑坡。采矿活动尤其周边矿区地下开采会形成采空区，导致坡体应力重新分布，引发地表沉降和边坡失稳。植

被破坏使坡面失去保护，雨水直接冲刷岩土体，降低其抗蚀能力，同时根系固坡作用消失，加剧坡体松散化，增加滑坡风险^[1]。

2 边坡滑坡工程治理的地质勘查主要内容

2.1 地形地貌勘查

需掌握边坡形态特征，包括边坡角、坡高、坡长及走向、倾向等，通过地形图测绘和现场观测明确整体轮廓，分析几何形态与滑坡潜在区域的关联。同时关注坡顶、坡脚及中部的平台、陡坎等微地貌，这些能反映坡体变形历史和应力分布，为判断滑坡边界及滑动趋势提供线索。

2.2 地层岩性勘查

查明坡体范围内岩土体的种类、成因、分布规律及物理力学性质。对岩体，确定其类型、矿物组成、结构构造、风化程度和完整性；对土体，明确类别、颗粒组成、密实度、含水量等。重点分析岩土体强度差异，尤其是抗剪强度低的软弱夹层、泥化夹层的分布，因其常成为滑坡滑动面或软弱带。

2.3 地质构造勘查

查明坡体及周边褶皱、断裂、节理等构造的分布特征，记录断裂带的走向、倾向等及充填物性质，分析对岩土体完整性和渗透性的影响。详细调查节理的发育程度、组数等，密集节理会降低岩体强度，形成潜在滑动通道，其分布规律与滑坡发生机制密切相关。

2.4 水文地质条件勘查

明确坡体水文地质特征，包括地下水类型、埋藏深度、水位变化规律及补给、径流、排泄条件。通过钻孔抽水试验等测定岩土体渗透系数，分析地下水对岩土体力学性质的软化作用。同时调查地表水体的分布和动态，评估其对坡体的冲刷、浸润、补给等影响。

2.5 不良地质现象勘查

全面排查坡体及周边的崩塌、泥石流等不良地质现象，记录其分布范围、规模等及与边坡滑坡的关联性，分析对坡体稳定性的叠加影响。此外关注人类工程活动引发的次生不良地质问题，为综合判断滑坡成因提供依据^[2]。

3 边坡滑坡地质勘查的技术方法

3.1 地质测绘

地质测绘通过野外观察记录，对勘查区地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件及不良地质现象开展全面地质调查与测绘。工作比例尺依勘查阶段而定：初步勘查采用1:10000至1:5000，以把握区域地质背景；详细勘查用1:2000至1:500，精准圈定滑坡范围、识别滑动面痕迹及分析坡体结构。其核心内容包括：测量坡体表面形态，如坡顶坡脚位置、坡度坡向变化，绘制地形剖面图反映几何特征；鉴定描述地表出露岩土体，记录岩石种类、风化程度及土体成因类型、分布范围，圈定岩土层边界；测量断层、节理等地质构造的产状、密度及相互关系，分析对坡体稳定性的影响；调查地表水体分布、泉水动态及地表裂缝等滑坡变形迹象，为后续勘查提供线索。

3.2 物探方法

物探方法利用岩土体物理性质（密度、磁性等）差异，通过仪器探测地下地质体分布，推断坡体内部结构等，常用以下电法、地震、磁法勘探及地质雷达。（1）电法勘探通过测量电阻率差异判断地质情况，直流电法中对称四极剖面法、电测深法应用较多。滑带土因含水量高、孔隙大电阻率低，完整基岩则较高，据此可圈定滑坡范围、确定滑动面深度；激发极化法能区分含水体与干体，助于查明地下水位及富水带。（2）地震勘探基于弹性波速差异，人工激发地震波后接收反射波或折射波，分析其传播特征推断地下界面。浅层地震反射法在边坡勘查中应用广，可探测岩土层分界面、滑动面形态及松散层厚度，分辨率较高，但受地形影响大，陡峭边坡需数据校正。（3）地质雷达利用高频电磁波传播与反射原理，发射并接收反射波，依其特征推断地下介质分布。该方法分辨率高、速度快，适用于探测30米以内浅层结构，如滑动面、裂隙带等，在覆盖层薄或岩质边坡效果显著，但易受电磁干扰和岩土体导电性影响，高阻或低阻地层可能出现信号问题。（4）磁法勘探用于探测磁性差异地质体，可辅助圈定含磁性矿物岩层、断层破碎带等，应用范围有限，多作为补充手段。

3.3 钻探方法

钻探通过机械或人工钻孔获取岩芯、土样及水样，直接了解坡体内部情况。依深度、岩土体类型及要求，

常用以下回转、冲击、冲击-回转及地质雷达钻探等方法。（1）回转钻探靠钻头旋转切削岩土体，适用于各类岩土层，尤其坚硬岩层和粘性土层，钻进效率高，岩芯采取率超80%，能反映岩土体完整性和层理结构，常用于获取深部岩芯，确定滑动面位置、形态及滑带土性质，分析坡体风化、裂隙及强度指标。（2）冲击钻探利用钻头冲击破碎岩土体，适用于松散土层、砂层及卵砾石层，钻进快但岩芯采取率低，主要了解地层分布、厚度及地下水位，常与回转钻探配合，在覆盖层厚区域快速划分地层界限。（3）冲击-回转钻探结合两种钻进方式，适用于软硬交替、破碎岩层等复杂岩土层，兼顾效率与岩芯采取率，处理复杂地质条件下的钻探工作。钻探中需详细编录，记录孔内岩土体类型、颜色等，按规范取样送实验室分析，还可在钻孔中进行标准贯入、动力触探等原位测试获取力学参数。

3.4 试验测试

试验测试通过以下室内试验和原位测试，获取岩土体物理力学等参数，为边坡稳定性分析等提供定量依据。（1）室内试验针对岩芯样、土样，分物理和力学性质试验。物理试验测土的含水量、密度等及岩石的密度、孔隙率等，确定土的分类状态及岩石致密程度；力学试验是核心，土体做直接剪切、三轴剪切试验测抗剪强度，岩石做单轴、三轴抗压等试验定抗压、抗剪强度及弹性模量，还需做土的渗透试验和岩石的耐久性试验。（2）原位测试在野外直接进行，避免样品扰动，更真实反映岩土体原位性质。常用标准贯入、动力触探、静力触探、现场直剪、十字板剪切及渗水试验等。标准贯入试验依锤击数判断土层密实度和承载力；动力触探靠贯入阻力评估岩土体强度和均匀性；静力触探通过测量锥尖和侧壁阻力划分土层、估算参数；现场直剪试验是测定滑动面或软弱夹层抗剪强度的关键，直接获取指标，对稳定性分析意义重大；渗水试验测包气带土层渗透系数，评估地表水下渗能力^[3]。

4 边坡滑坡工程治理的防治措施

4.1 排水措施

排水措施通过控制坡体水分维持边坡稳定，分以下地表排水和地下排水。（1）地表排水拦截疏导坡表径流，防止渗入坡体。截水沟设于坡顶边缘，沿等高线或与坡顶线平行，深度和宽度依汇水面积确定，沟底设坡度保证排水，沟壁用浆砌片石或混凝土砌筑防冲刷。排水沟分布坡体表面，汇水引至坡脚或指定区域，布置适应地形形成网状系统，高差大处设跌水或急流槽。坡面排水还包括平整坡面、铺防渗膜，松散堆积体边坡结合

植被增强防渗。(2)地下排水排除内部地下水,降低孔隙水压力。盲沟用碎石等透水性材料填充,埋于滑动面或含水层,通过集水管引水至排水沟,走向与地下水水流向一致,断面按排水量设计。排水孔钻孔施工,孔径和孔距依渗透性定,孔内装透水管并包滤布防堵塞,可垂直或倾斜布置至含水层或滑动面下。渗井适用于地下水位深且含水层分散处,竖井汇集地下水后由井底通道排出,井壁设滤层。

4.2 支挡措施

支挡措施通过结构物抵抗下滑力,包括以下挡土墙、抗滑桩及组合结构。(1)挡土墙分重力式、悬臂式和扶壁式。重力式靠自重抵抗土压力,浆砌片石或混凝土砌筑,梯形截面,底宽依抗滑和抗倾覆要求定,墙后设排水反滤层。悬臂式由立壁、底板和墙趾组成,借底板上土重平衡土压力,适用于墙高较大且地基承载力低的情况,钢筋混凝土浇筑,施工要求高。扶壁式在悬臂式基础上加扶壁连接立壁与底板,增强整体性,适用于更高边坡,扶壁间距经受力计算。(2)抗滑桩为埋入坡体的柱状结构,将下滑力传至稳定地层。钢筋混凝土材质,截面有圆形、方形等,桩长需穿滑动面入稳定岩层,间距依滑坡推力和单桩承载力计算。施工用钻孔灌注桩或挖孔桩,桩顶可设冠梁连成整体,大型滑坡采用抗滑桩与锚索联合支护,锚索一端锚固稳定岩层,一端连桩顶张拉预应力。(3)其他支挡结构有格构梁、喷锚支护等。格构梁由横梁和纵梁组成坡表网格,内填植被或块石,适用于缓坡。喷锚支护通过喷射混凝土与锚杆结合,锚杆锚固坡体,混凝土封闭坡面,适用于浅层滑坡或加固。

4.3 减重与加载措施

减重与加载通过调整坡体自重稳定边坡,含以下减重和加载两方面。(1)减重移除坡体上部岩土体,降低坡顶荷载。部位选滑坡体后缘或剪出段,移除岩土体需在滑动面以上且能降低重心。坡度依剩余坡体稳定性计算,避免过度开挖,开挖分层分段进行,做好临时支护和排水。移除岩土体可用于坡脚加载或运至弃渣场,禁堆坡体附近。(2)加载在坡体下部堆岩土体增加抗滑力。材料选透水性好、强度高的土石混合料,分层碾压夯实保证稳定,范围和高度经力学计算,兼顾抗滑力矩和地基承载力,加载体与原坡体间设过渡层,做好排水。

4.4 植被固坡措施

植被固坡利用植物根系和冠层增强稳定,成本低且可持续,具体措施如下:(1)植被选择依边坡类型、气候和土壤,优先用根系发达、耐旱耐贫瘠的乡土植物,采用草本、灌木和乔木组合。草本如狗牙根等,根系浅密,快速覆盖防表层流失;灌木如紫穗槐等,根系较深增强土壤凝聚力;乔木如杨树等适用于缓坡,枝叶减缓雨水冲刷,忌种滑动面附近。(2)种植方式有喷播、植生袋、客土喷播等。喷播将草种、肥料等混合后高压喷洒,适用于缓且平整的坡面;植生袋装土壤和种子沿坡分层铺设,适用于陡坡或岩坡;客土喷播先铺营养客土再喷种子,适用于土壤贫瘠或岩石裸露边坡。(3)实施中需后期养护,定期浇水施肥,确保植被成活形成稳定群落。

4.5 其他辅助防治措施

辅助措施补充主要措施,含以下坡面防护、坡顶管理、监测预警等。(1)坡面防护保护坡体免受风化冲刷,铺土工格栅约束土颗粒,适用于土质边坡;浆砌片石护坡形成刚性保护层,适用于岩坡或易受冲刷段,留排水孔;喷射混凝土封闭岩面防风化,与锚杆形成复合体系。(2)坡顶管理除排水外,限制荷载和禁止不合理活动,禁堆重物、建筑施工、爆破及过度农耕灌溉。(3)监测预警设监测点掌握坡体变形、地下水等情况,监测内容有表面和深部位移、地下水位等,用全站仪等仪器,数据定期分析,超预警阈值启动应急响应^[4]。

结束语:本文系统研究了边坡滑坡工程治理的地质勘查与防治措施,明确了滑坡概念及影响因素,梳理了勘查的核心内容与技术方法,提出了多种有效的防治手段。这些成果为滑坡治理提供了实践依据。未来需结合具体工程实际,优化勘查技术与防治方案,加强动态监测与管理,持续提升治理效果,以更好地应对边坡滑坡灾害,保障工程与人员安全。

参考文献

- [1]吴自立.论边坡滑坡工程治理的地质勘查与防治措施[J].建筑工程技术与设计,2020(16):5001.
- [2]李茂源.边坡滑坡工程治理的地质勘查与防治措施[J].户外装备,2020(11):517.
- [3]谢淘.浅析滑坡工程中的地质勘察及治理方法[J].建筑工程技术与设计,2020(25):3900.
- [4]侯跃航.地质灾害治理工程施工中边坡稳定问题及滑坡治理方法研究[J].数码·移动生活,2022(5):112-114.