

基于岩土工程研究的露天铜矿边坡稳定性分析

张剑

江西省地质局水文地质大队

摘要: 本文以露天铜矿边坡稳定性分析为研究对象,通过岩土工程研究方法,对边坡稳定性进行了综合分析和评估。首先,对露天铜矿边坡的地质条件、工程地质特征进行了详细描述和分析。然后,采用合适的数学模型和计算方法,对边坡的稳定性进行了定量分析。最后,根据分析结果,提出了相应的边坡稳定性控制措施和建议,以保障露天铜矿的安全开采。

关键词: 露天铜矿; 边坡稳定性; 岩土工程; 地质条件; 稳定性分析

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.03.121

露天铜矿是一种重要的矿产资源,其开采对于国民经济的发展和社会建设具有重要意义。然而,由于露天铜矿边坡的不稳定性,经常发生边坡滑坡和崩塌等灾害事故,给矿山生产和人员安全带来了严重威胁。因此,对露天铜矿边坡稳定性进行研究和分析,具有重要的理论和实践价值。

一、露天铜矿边坡的地质条件和工程地质特征

(一) 地质条件的描述和分析

露天铜矿边坡的地质条件是指该地区的地质构造、岩性、地层、地貌等因素。对于露天铜矿边坡来说,地质条件的描述和分析是评估边坡稳定性的基础。在地质构造方面,需要考虑地质断裂、褶皱等构造特征,这些构造对边坡的稳定性有重要影响。岩性是指边坡所处的岩石类型,如花岗岩、片麻岩等,不同岩性具有不同的力学性质和稳定性特点。地层是指边坡所处的地层序列,包括岩层的厚度、倾角、岩性变化等,这些因素对边坡的稳定性起着重要作用。地貌是指边坡所处的地形特征,如山坡、河谷等,地貌的起伏和坡度也会影响边坡的稳定性。在地质条件的分析中,需要综合考虑以上因素对边坡稳定性的影响,并进行地质调查、采样分析、地质勘探等工作,以获取准确的地质数据和参数,为后续的稳定性分析和评估提供依据。

(二) 工程地质特征的描述和分析

工程地质特征是指露天铜矿边坡在工程施工和开采过程中所表现出的地质现象和问题。对于边坡稳定性的分析,了解工程地质特征是非常重要的。工程地质特征包括边坡的坡度、坡高、坡面形态等。坡度是指边坡的倾斜程度,不同坡度对边坡的稳定性有不同影响。坡高是指边坡的高度,较高的边坡容易受到重力和水力的影响,稳定性较差。坡面形态是指边坡的表面形状,如凹凸不平、存在裂隙等,这些因素会影响边坡的稳定性。此外,还需要考虑地下水位、降雨量等因素对边坡稳定

性的影响。地下水位的升降会改变边坡的孔隙水压力分布,进而影响边坡的稳定性。降雨量的增加会导致边坡的饱和度增加,进一步影响边坡的稳定性。

通过对工程地质特征的描述和分析,可以更全面地了解边坡的现状和问题,为稳定性分析和评估提供依据。同时,在工程设计和施工过程中,需要针对这些特征采取相应的防治措施,确保边坡的稳定和安全。

二、边坡稳定性分析的数学模型和计算方法

(一) 边坡稳定性分析模型的选择和建立

不同的边坡稳定性分析模型具有各自的优势和适用范围,其中包括极限平衡法、有限元法和弹性理论等。这些模型在边坡稳定性研究中发挥着不可替代的作用。

首先,极限平衡法是一种简便而广泛应用的模型,其核心思想是通过考虑土体与岩石的内摩擦和黏聚力,在边坡最不利的工作状态下建立平衡方程。这种方法基于经典的土力学理论,尤其适用于规模相对较小、坡度较缓的边坡。通过考虑土体的强度和变形特性,极限平衡法能够提供对边坡稳定性的初步评估。其次,有限元法是一种更为精确和灵活的模型,通过将边坡区域划分为有限数量的小元素,考虑土体的非线性行为,从而更准确地描述复杂边坡结构的稳定性。有限元法的优势在于能够考虑较为复杂的地质和结构特征,适用于大规模、复杂地质条件下的边坡稳定性分析。然而,使用有限元法需要更多的计算资源和专业知识,因此在选择时需权衡计算成本和精度。

在选择适当的数学模型时,必须充分考虑研究对象的地质特征和工程实际。不同模型之间存在着权衡,选择合适的模型需要综合考虑研究的规模、精度要求、计算资源等因素。准确的模型选择将为后续的边坡稳定性分析提供可靠的基础,为工程设计和施工提供科学的技术支持。

(二) 边坡稳定性计算方法的选择和应用

常用的边坡稳定性计算方法包括切片法、平衡法、极限平衡法和有限元法等,每种方法在不同场景下都有其独特的优势和适用性。

切片法是一种经典的计算方法,通过将边坡划分为许多小切片,分别分析每个切片的平衡状态,最终综合考虑整体边坡的稳定性。这种方法适用于规模相对较小、坡度较缓的边坡,其简洁直观的特点使其成为初步评估边坡稳定性的常用手段。

平衡法则更加注重整个边坡体系的平衡状态,通过平衡力矩和力的合力,推断边坡是否稳定。这种方法对于较为规则、简单的边坡结构具有较好的适用性,能够

提供对整体边坡稳定性的相对准确的评估。

极限平衡法是基于土体强度理论的一种方法，考虑土体的内摩擦和黏聚力，以判断边坡的稳定性。这种方法适用于各种地质条件和边坡形态，对于边坡的综合稳定性提供了更为精细的分析。

有限元法则是一种更为复杂而灵活的数值计算方法，通过建立复杂的数值模型，考虑土体的非线性和变形特性，适用于处理复杂地质条件和结构形态。虽然需要更多的计算资源和专业知识，但有限元法能够提供更为准确的边坡稳定性分析结果。

在选择适当的计算方法时，必须充分考虑研究对象的规模、地质条件、计算精度等因素。因此，工程师需要根据具体情况灵活选择计算方法，以获得既符合实际情况又具有较高准确性的边坡稳定性分析结果。这一综合性的计算方法选择为后续工程设计和管提供了科学的技术支持，为边坡稳定性问题的解决奠定了坚实的基础。

三、边坡稳定性的综合分析和评估

（一）边坡稳定性的定量分析

数值模拟通过建立数学模型，模拟边坡在不同工作状态下的行为，从而深入理解边坡的受力体系。同时，借助工程力学原理，对边坡的受力平衡进行详尽分析，计算各种外力和阻力的平衡关系，从而准确判断边坡的稳定性水平。这一定量分析方法使得工程师能够更直观地了解边坡的负荷分布、受力特性以及潜在的滑坡风险。这个步骤的涵盖范围广泛，不仅需要岩土工程领域的专业知识，还需要地质勘察、数值计算等多个学科的综合运用。地质特征、岩土性质、水文地质条件等因素相互交织，形成边坡稳定性的综合影响，因此在定量分析过程中必须全方位地考虑这些复杂的因素。数值计算的应用不仅需要精确的数学模型，还需要高度的工程实践经验，以确保分析结果既符合理论预期又贴合实际工程情况。

（二）边坡稳定性的评估和判断

首先，基于相关规范，工程师会参照国家和地区的相关安全性标准，将边坡的定量分析结果与这些标准进行对比。这一步骤有助于明确边坡是否符合安全性要求，从而判断其潜在的稳定性风险。

其次，考虑到地质条件、水文因素、边坡结构和支护措施等多方面因素，工程师会进行全面的判定。地质条件的不同导致边坡在不同的地质背景下表现出不同的稳定性特征，因此需要综合考虑这些地质因素。水文因素的考虑则包括降雨、地下水位等，对于边坡稳定性具有潜在的影响。边坡结构和支护措施的可靠性也是评估的重要方面，其良好设计与实施将显著提高边坡的整体稳定性。

最终，评估的结果涉及边坡的稳定性等级、潜在的滑坡风险以及需要采取的工程措施。通过这些评估指标，工程师可以清晰地了解边坡在不同条件下的稳定性

状况，为制定进一步的工程设计和管策略提供科学可靠的依据。

四、边坡稳定性控制措施和建议

（一）边坡稳定性控制的原则和方法

深入了解地质条件，包括地层的构造、岩土体的力学性质等，为后续边坡设计提供了关键的信息。这种详细的地质分析有助于预测潜在的不稳定因素，如地层滑动、岩土层的变形等，从而为制定相应的对策提供科学基础。通过对地质特征的全面认知，工程师能够更准确地评估边坡的稳定性，有效规避潜在的地质风险，确保工程长期稳定运行。

根据对地质特征和边坡设计实际情况的综合考虑，选择适当的支护结构至关重要。挡墙、护坡、爆破加固等支护结构的合理选用可以有效增强边坡的抗滑性能和整体稳定性。这一原则的贯彻不仅关系到边坡的建设成本，更直接影响到边坡在实际运行中的稳定性表现。因此，通过精心选择支护结构，可以在边坡设计阶段就奠定较为可靠的稳定性基础。

保持水文平衡是边坡稳定性控制的又一重要原则，特别是在考虑地下水位、降雨和排水等水文因素时。合理设计排水系统，降低地下水位对边坡的侵蚀，对维持边坡的稳定性至关重要。通过水文平衡原则的应用，工程师能够有效预防由于水文因素引起的边坡问题，确保边坡在不同水文条件下都能够维持其稳定性。

（二）边坡稳定性控制措施的具体建议

1. 支护结构的选择与设计

在边坡稳定性控制中，支护结构的选择与设计是确保工程长期稳定运行的关键环节。挡墙、护坡、爆破加固等支护结构的选择需遵循一系列原则，包括工程地质特征、地形条件、岩土性质等因素的全面考虑。同时，其设计标准应基于相关规范和工程经验，以确保支护结构在各种外力作用下能够发挥最佳效果。

对地质构造、岩土性质等进行详尽的分析，以便确定适用于该地区的支护方案。例如，当地质条件为高岩溶区域时，需要考虑采用爆破加固等方法来增加边坡的整体稳定性。地质勘察的综合结果将为支护结构的选择提供基础，有助于准确判断地质风险并采取相应的技术对策。

支护结构的设计应遵循相关规范和标准，确保其在各种外力作用下能够满足稳定性要求。设计过程中应考虑土体与岩石的力学性质，合理确定支护结构的尺寸、材料和布置方式。通过工程力学原理，工程师可以计算支护结构所承受的力和力矩，从而保证其在地质环境中的可靠性。

适用性分析是支护结构选择与设计过程中的重要一环。不同地区的地质条件和工程要求存在较大差异，因此支护结构的适用性需进行充分评估。例如，在强烈地震区域，支护结构的设计需要考虑抗震性能，而在高降水区域则需关注排水系统的设计，防止水文因素对边坡

稳定性的不利影响。适用性分析的全面性有助于选择出最为适合特定地区条件的支护结构。

2. 排水系统的规划与优化

规划原则需要考虑到地质特征、坡地坡面的布局、地下水位等因素，以确保排水系统的有效性和适用性。在规划过程中，工程师需要合理界定排水区域，明确排水系统的边界，确保整个系统能够有效地收集、输送和排放雨水等表水流，以减缓水文过程对边坡稳定性的不利影响。

合理布置排水设施是排水系统规划的重要环节。这涉及排水管道、排水沟、截水沟等排水设施的布局和设计。根据地形、地质和降雨等因素，合理确定设施的位置、坡度和尺寸，以确保排水能够迅速而有效地流出，降低地表水对边坡的侵蚀和渗透。

在不同水文条件下，排水系统的优化方法需要灵活应对。对于强降雨区域，可以考虑增加排水设施的排水能力，采用蓄水池等措施延缓排水过程，防止过快的水文过程对边坡造成冲刷。而在干旱期，可以通过灌溉等手段维持边坡土体的湿润状态，提高其抗滑性能。系统的优化还包括利用新型排水技术，如雨水花园、绿化带等，以实现雨水的有效收集和再利用。

特别关注降雨时的排水措施是排水系统规划中的一个亮点。对于降雨引起的水文过程，工程师需要设计合理的排水设施，以迅速将雨水引导至排水系统，并通过合理的渠化方式避免形成积水区域。通过特别关注降雨时的排水设计，可以在短时间内迅速应对强降雨，减缓水文过程对边坡的影响，提高整体稳定性。

3. 定期监测与实时预警体系

建立定期监测与实时预警体系对于边坡稳定性的维护至关重要，是及时发现潜在问题、采取紧急措施的重要保障。在这一小标题下的建议涉及多个方面，从监测手段的选择到监测频率的制定，再到根据监测数据建立实时预警机制，这些措施共同构成了一个全面而科学的监测与应对体系。

常见的监测手段包括全站仪、测斜仪、位移传感器、地下水位监测等。不同的监测手段具有各自的优势和适用范围，因此在选择时需要根据边坡的具体情况权衡，并确保监测手段的可靠性和准确性。

其次，监测频率的制定应考虑到边坡的地质特征、工程历史、环境因素等多方面因素。在边坡稳定性监测中，高频率的监测更早地发现问题，但也会增加监测成本。因此，制定合理的监测频率需要综合考虑不同因素，确保在最短的时间内获取到关键信息。

建立实时预警机制是监测体系的重要组成部分。通过对监测数据的实时分析和比对，建立一套科学而灵敏的预警机制，可以在潜在问题发展到不可逆阶段之前提前发出警示。实时预警机制的建立应考虑到边坡的历史数据、监测数据的趋势以及与稳定性相关的其他因素，以提高预警的准确性和时效性。

在面对不同监测数据的异常情况时，提出相应的应对措施是建立监测与预警体系的关键一环。这涉及紧急巡查、进一步深入的监测、采取加固措施等。不同的异常情况需要不同的应对策略，因此在建立体系时需要明确各种情况下的应急方案，以确保在发现问题时能够及时采取有效措施。

4. 工程管理与维护策略

通过科学合理的巡检计划，可以在问题发展到不可逆阶段之前采取相应的维护措施，有效保障工程的长期稳定性。这一系统性的巡检程序涉及对边坡各个方面的仔细观察和测量，为工程管理与维护策略提供了第一手数据，为进一步的决策提供科学依据。

应急响应机制的建立需考虑到不同类型的潜在问题，以明确各种问题的应对流程和责任人。这包括对发生的地质灾害、大雨洪涝、地震等多种情况的响应策略，旨在最大限度地减轻带来的损失。通过预设计划、分工明确、快速反应，应急响应机制成为边坡工程保障安全的最后一道防线。

通过定期的检修工作，可以及时发现和解决支护结构的磨损、设施老化等问题，确保设施的正常运行。同时，随着科技不断发展，定期更新工程设施和支护结构也是提高整体工程性能和安全性有效手段。这一过程是对工程设施进行及时维护和升级的保障，以适应不断变化的环境和工程需求。

强调培训工作人员，提高其对边坡稳定性问题的识别和处理能力，是确保工程管理与维护策略成功实施的重要环节。通过系统的培训，工作人员将能够深入了解地质知识、掌握工程管理技能、提高灾害响应能力等多个方面的素养。只有具备足够的专业知识和实践经验的工作人员，才能更好地应对出现的各种边坡工程挑战，确保工程的长期稳定性和可持续发展。这一培训机制不仅提升了工作人员的综合素质，同时为工程的可靠运行提供了强大的人才支持。

五、结语

本文通过岩土工程研究方法，对露天铜矿边坡稳定性进行了综合分析和评估。研究表明，在合理选择数学模型和计算方法的基础上，可以有效评估边坡的稳定性，并提出相应的控制措施和建议。这对于保障露天铜矿的安全开采具有重要意义，也为类似矿山的边坡稳定性研究提供了参考和借鉴。

参考文献

- [1]李勇,李昌存,庞仕辉等.露天铜矿边坡工程地质分区及稳定性评价研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2022,41(01):59-66
- [2]谭清燕,何慕平.露天矿山爆破振动监测及分析方法研究[J].世界有色金属,2020(19):152-153.
- [3]廖勋,刘评,周菲等.基于岩土工程研究的露天铜矿边坡稳定性分析[J].世界有色金属,2019(15):210-211.