

露天矿开采中边坡的稳定性研究

王榕康(山西煤炭进出口集团河曲旧县露天煤业有限公司, 山西 忻州 036500)

摘要:在矿山开采过程中, 露天矿占比较大, 露天矿开采过程中有别于非露天的诸多特点, 其中边坡本身的不稳定特性以及在开采过程中边坡安全系数不断变化, 给露天矿的开采带来了诸多困难和安全生产的不确定性; 同时露天矿的开采面临着环境保护的重大责任, 由此要更加细化边坡工程在安全生产过程中操作的系统性、统一协调性以及应用新科技抗风险的能力。本文从背景目的、边坡稳定性研究介绍、实例分析以及露天矿滑坡安全防护措施等多角度展开研究, 以期对露天矿安全生产有所帮助。

关键词: 露天矿; 边坡; 稳定性

0 前言

近年来, 政府部门对于安全生产投入的精力越来越多, 尤其是矿山开采这种危险系数较高的领域, 特别是矿山开采中的露天矿的开采, 开采的过程中矿体条件不断发生变化, 同时露天矿也更容易受到外界的影响, 由此研究露天矿的边坡稳定性对露天矿的安全生产及稳定产生经济效益具有非比寻常的意义。

本文主要针对露天矿边坡的稳定性展开针对性的研究, 也更精细化; 主要原因有以下两点, 一方面是因为目前矿山工程揭露的地层层数更多, 研究的范围和空间更大, 另一方面是目前的数据采集和分析的手段更多, 可以形成稳定的供安全参考的参数系统。边坡研究起源于 100 年前, 涉及 20 余个国家和多个学科, 国际争论仍然存在两种主要学派。

1 边坡的特性分析

1.1 稳定性不断变化

露天矿在开采过程中稳定性发生持续性变化的, 随着堑沟逐渐加深、出入坑线逐渐降低、岩体逐渐变形导致操作平台的复杂程度不断增加。露天矿边坡的稳定性也势必会不断发生变化。边坡的稳定性与边坡的安全系数直接相关, 露天煤矿边坡安全系数在可控范围其危害等级主要分为三个等级, 等级一的具体情况为有人员伤亡、直接经济损失超过 100 万, 间接经济损失超过 1000 万。等级二的具体情况为有人员受伤、直接经济损失在 50 万和 100 万之间, 间接经济损失在 500 万和 1000 万之间。等级三的具体情况为没有人员受伤、直接经济损失不高于 50 万, 间接经济损失不高于 500 万。

1.2 影响边坡稳定性的内因和外因

对影响稳定性的所有因素进行归类, 主要含内因和外因两种; 内在因素主要指岩体的性质、结构、风化以及初始应力, 边坡的坡度以及地质构造等。外在因素包含环境因素和相关的人为因素。目前根据国家标准, 露天矿边坡等级具体分为以下四个具体等级: 一是超高边坡, 其边坡高度大于 500m; 等级二高边坡的高度在 300m 和 500m 之间; 等级三位中边坡, 其边坡具体高度在 100m 至 300m 之间; 等级四为低边坡, 边坡高度普遍不超过 100m。

1.3 边坡滑动方式

根据作用机理及最终破坏方式, 边坡滑动方式主要有以下三种类型: 类型一是圆弧形下滑, 最终边坡形状呈现的状态为圆弧状; 类型二是楔体下滑, 下滑时岩体与边坡成楔体形相交, 可能是两组相交也可能是两组以上相交; 类型三是平面直线型下滑。

2 边坡稳定性研究

边坡稳定性在研究的过程中主要包括七种途径, 具体说有极限评价方法、工程地质评价方法、结构评价方法、概率评价方法、可靠性评价方法、神经网络评价方法以及图解评价方法。在研究和分析的整个过程中, 首先是坡面选择和建立的计算, 根据矿山工程项目文件标准, 坡面选择和建立的计算一般选择岩体结构有代表性、数据明晰的坡面进行直接计算。其次是根据各种测量、计算、统计或者概算数据进行专项系统的分析; 针对荷载情况主要考虑自重、地下水、爆破以及地震几种情况的两项、三项或者四项情况的荷载结果进行组合性分析。现针对具体的研究方法进行详细的阐述和解释:

2.1 极限法

这里所说的极限评价法, 主要是将露天矿的边坡看做是服从流体法则的理想材质, 在假定极限状态下消耗的能量为基础条件, 预估该条件下岩体自重及滑裂面阻力所消耗的能量极限, 从而对安全的极限值做临界判断的一种评价方法。这种分析评价方法最早是 20 世纪 50 年代提出的, 继而在 70 年代相继对该种方法做出了解释。很明显该种评价方法适合流体状态以及外界影响因素都非常理想的状态, 在该种状态下得到的安全系数不一定很精准, 但完全可以作为考虑到安全的参考值。边坡安全系数的控制有以下常用数值, 一般安全系数的最高限制为 1.5, 具体到临时露天矿区的边坡系数不能低于 1.1, 针对永久边坡该系数不能低于 1.2, 针对外界环境比较恶劣的情况, 边坡系数不低于 1 但也不能超过 1.1 以最大限度进行安全开采。控制好安全系数的前提下, 不会出现大面积滑坡, 但是局部的滑坡出现时很正常的, 在开采过程中形成的新的边坡均视为非公共边坡。

2.2 工程地质法

该方法主要是通过工程地质的勘察对可能存在的安

全影响因素、破坏方式做推理性分析,给安全隐患做合理的推演和解释说明,以原有的地质体成因以及工程地质等基础性理论为背景,此种方法对地质条件复杂的露天矿有建立模式上的优势。

2.3 结构法

该种方法的理论基础为结构力学原理,对结构面的结构、不同结构面之间的受力关系进行详细的剖析,根据露天矿边坡形状及受力模式数据的通断变化,预判潜在的安全危险,在实际应用中很常用。根据多次实际工程测算,露天开采边坡叫的控制与安全生产密切相关,同时边坡角与岩体构造、空间层次以及边坡存在时间等诸多因素息息相关,由此边坡角的掌握是变量且尤为重要,根据大量工程资料总结推荐以下露天矿最终边坡角度:上盘主要通过矿体的地板线进行控制,下盘及端帮推荐如下:100m内控制在 $43.5^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 范围内,200m内控制在 $41.5^{\circ}\sim 43.0^{\circ}$ 范围内;以上数据均有利于矿山开采安全生产,在后期生产中,可以根据具体情况适当将角度放小,保证操作安全。

2.4 概率评价方法

该方法主要通过对影响露天矿的元素的动态变化的规律,不断测量掌握动态数据从而确定每个元素的概率分布情况,事实证明变量概率分布评价比单纯的数据评价更客观,该方法综合了以上三种方法的优点,同时携带以上方法的局限性。在实际生产过程中常用变量主要包含容重、长度、水压力以及岩体的抗剪切能力等诸多因素。具体需要根据不同边坡位置的剖面图,结合岩石特征开展概率计算,建立概算模式可能是2D的也可能是3D的,主要借助相关分析软件,应用普遍适用的逻辑思维开展概率性评价分析。

2.5 可靠性法

概括的说,可靠性法是以之前诸多的变量数据模型为变量,结合破坏边坡度的分布函数理论体系,构建起更加可靠的研究方法;该方法常用的函数方法有矩阵法、随机有限元法等。计算图层常用的物理学参数主要有重度 γ (kN/m³)、饱和重度 γ (kN/m³)、粘聚力 C (kPa)以及内摩擦角 Φ (°)。提到露天矿中工程设计安全系数,国家标准中有不同边坡工程安全等级的划分和界定,边坡工程安全等级Ⅰ中边坡工程设计安全系数有1.25~1.2、1.23~1.18、1.20~1.15三个荷载组合等级;边坡工程安全等级Ⅱ中边坡工程设计安全系数有1.20~1.15、1.18~1.13、1.15~1.10三个荷载组合等级;边坡工程安全等级Ⅲ中边坡工程设计安全系数有1.15~1.10、1.13~1.08、1.10~1.05三个荷载组合等级。

2.6 神经网络法

该方法在实际应用过程中精准而及时的预测滑坡的具体空间定位,具体应用原理是模仿人类大脑的神经网络结构和功能,所谓更加精准和及时具体指在岩体的固有、结构、知识等诸多特性上,多个特性数值反复输入反复比对,最终得到最合理的结论。

3 实例分析

下面以山西省某边坡不稳定矿区为例,对各种影响因素进行测量和分析。主要针对以下内容开展研究:一是工程地质勘察,针对断层、节理、相互交割关系进行系统性的分析;二是针对岩石的特性、水文地质条件对岩样的影响等相关问题开展系统研究;三是选取代表性剖面做整体性分析,以小见大提出整体治理措施。开展以上研究的依据主要是中国地震动参数区划图》(GB18306-2001,2008修订)等16项相关国家标准、行业标准或者地方标准。

3.1 地质构造条件

目前,影响边坡稳定性的因素主要有地址构造特性、水文环境、外界天气变化等自然环境以及人为相关干扰等诸多因素;其中对边坡稳定性起到决定性作用的因素是地质构造、岩体的受力情况以及矿体本身的能力三种最重要的因素,经过调查,该矿区边坡可以概括为4个主要的特性化岩层,最上层为残坡积层、第二层是冲积堆积层、第三层是千枚岩、最后一层是花岗闪长斑岩体。每一层在岩体组成、结构、厚度、颜色上均有不同特点;相对来说上层岩体颜色较浅、结构相对松散、完整程度较差;下端岩体颜色较深、闭合度较高、整体强度稍强。在分析每个岩层平台时,主要通过倾向、清缴、出漏位置以及其他推测数值做岩石断层的编号。几种影响因素中影响较大的地质结构,由此我们重点分析一下地质结构:

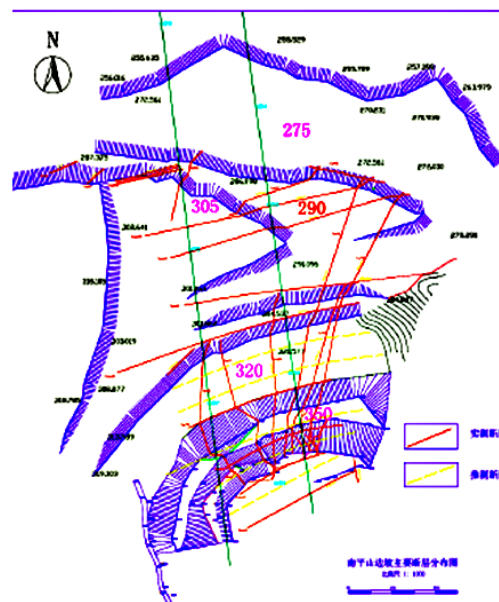


图1 断层分布示意图

首先要对岩体的质量等级进行具体的划分和界定,岩体的质量等级具体包括优势节理数量,节理间的距离,结构面的含水量,主要填充物,是否有破碎物,破碎程度,破裂结构等诸多数字特性综合界定岩体质量等级。构造层级中控制性结构面主要包括以下主要类型:一是“片理面”,该控制性结构面的特点是倾角较小一般小于 45° ,同时该种结构面的强度普遍不高;二是“断层”,如图1为断层的分布示意图(图中具体断层成数

为5条)。不同岩土层与矿层之间的主要力学参数有容重(t/m^3)、凝聚力(kPa)以及内摩擦角($^\circ$)，目前实践中常见的岩性也主要有粉质黏土、粉砂岩、砂质泥岩、灰岩等9种岩性。三是“节理”，通过节理不同的赤平投影分析，判断岩体节理的发育情况，对节理之间的交叉、滑动可以给出更直观的评价和判断图2和图3是根据图1的断层分别投影的320m平台节理赤平投影和350m平台节理赤平投影的示意图。对边坡进行区域的划分是很重要的一项工作具有重要意义。

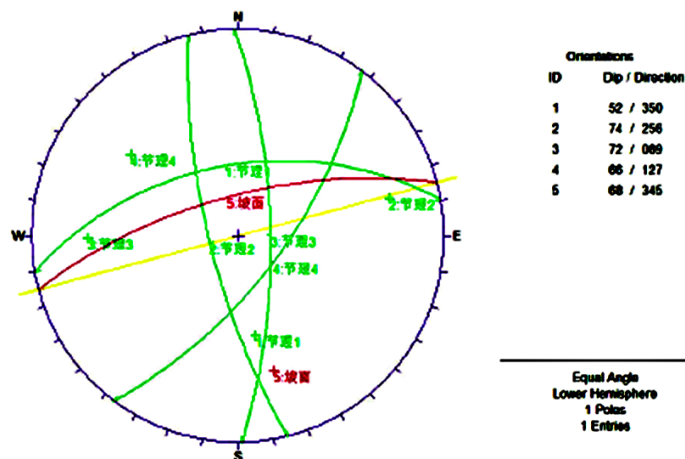


图2 320m平台节理赤平投影示意图

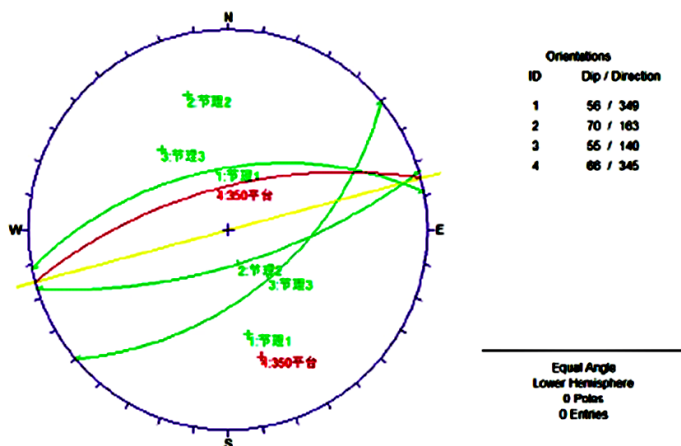


图3 350m平台节理赤平投影示意图

3.2 边坡变化模式分析

变化模式，即不同因素主导的变化机制，需要充分的分析稳定性因素和不稳定因素。从气象水文的角度上说，该矿区四季分明，雨量充沛，但是边坡去地势高，排泄条件优良，水文影响因素相对较小；相关地质史料人为该矿区属于地震强度不高的地域，地震因素不应该作为着重考虑；但是矿区常有崩塌、滑坡和泥石流等不良现象，经过数据推算对该矿区的边坡滑动影响较大，需要提前做好预计预算。

4 露天矿滑坡的防治措施

4.1 水治理

水治理主要针对地表水以及地下水进行处理。地下水的主要来源是在露天开采过程中的大气降水，从而致使地下水位大幅度上升，同时间接引起岩土体重出现水

压力引起的空隙，一旦出现空隙岩土强度快速下降，边坡也会大概率出现滑动。针对以上原因，应高度重视由大气降水引起的滑坡问题，一旦留在地表，地表水的长期存在可以直接引起滑坡，日常操作主要通过两条途径开展地表水的水处理，或是将地表水处要是在上盘、下盘边坡顶部建造排水沟槽，同时地表水经过裂缝处充分填充，填充时注意分段，沟底必须采用水泥进行保护，两侧最好选择块石浆砌，根据当地的最大暴雨洪水量确定排洪容量。

4.2 边坡爆破的控制

采矿必然要进行爆破处理，这是规避不了的环节，众所周知爆破本身的强大作用力的影响，可以直接引起破题结构变化受损甚至引起滑坡问题。至少加剧了可能滑坡的进程，如果外界的作用力例如风化等力量稍强，必然导致滑坡现象，由此边坡爆破尽量做到科学和严格控制。一是爆破工艺的选择，要尽量选择安全系数高，震慑力小的爆破工艺；二是考虑的安全生产问题对爆破点、用药量进行反复研究；三是采取灵活用药的爆破机制，根据生产实际情况，持续调节爆破用药量，最大限度的减少爆破引起的岩体破坏。

4.3 边坡监测

一是为了最大限度的保证边坡数据的及时与清晰，在监测边坡数据时应注意，由此要注意边坡监测位置的变化，根据监测数据的走势，及时调整监测位置预防事故发生。同时，从全局考虑整体情况展开布点，在电测法、视准线法、全站仪法等方法中选择适宜的方法进行监测，尽量考虑减少用工量和操作方便的全站仪法。二是在边坡应力的监测过程中，主要充分利用锚杆的作用，具体说有尾部监测法、杆体串接振弦监测法以及表层贴片监测法。传感器也有机械、电气和液压等多种方式。三是针对渗漏问题的监测，之前也提到水渗透和水压力是边坡安全问题的主要原因，由此采用水压计对裂痕水压和孔隙水进行及时全面的监控是十分必要的。

4.4 其他问题

裸露的矿区易产生自燃现象，进一步影响矿层构造通常利用靠帮内排的方法实施处理工作，尽量减少裸露，加大安全系数。

参考文献：

- [1] 刘学志. 露天开采边坡稳定性研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2019(5):4442.
- [2] 郝全明, 杨振增, 武利平. 某露天煤矿边坡稳定性分析[J]. 煤炭技术, 2015, 34(1):237-239.
- [3] 乔新民, 王智荣. 露天煤矿边坡稳定性分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(1):101, 113.
- [4] 王婉青, 陈印, 杨溢. 某露天煤矿采场边坡稳定性分析[J]. 煤矿机械, 2016, 37(12):63-65.

作者简介：

王榕康(1993-), 男, 汉族, 山西太原人, 本科, 助理工程师, 从事露天煤矿采矿技术管理工作。