

节能环保

绿色矿山资源与环境平衡体系： 水资源循环利用平衡研究

Green Mine Resource and Environment Balance System: Water Balance Study

王亮, 杨森, 赵伟伟(中关村绿色矿山产业联盟, 北京 100089)

摘要:为减轻矿产资源开发对生态环境的负面影响,实现资源可持续利用与环境保护的双重目标,构建资源与环境平衡体系成为推动我国矿山企业向高质量绿色发展转型的关键路径,本文通过对矿山用水和取水流程的全面剖析,明确了水资源循环利用平衡的概念,构建了相应的平衡关系模型,并提出了具体的水平衡计算公式。此外,本文还详细阐述了水平衡系统的各个组成部分,并提出了一系列优化建议,旨在帮助矿山企业实现和提升水资源循环利用效率,为推动我国绿色矿山的全面建设提供有力支持,加速矿山企业的转型升级进程。

关键词:绿色矿山建设; 水平衡; 生态文明建设; 高质量发展

中图分类号: TD823 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2024)06-0077-06

Abstract: In order to reduce the degree of damage to the ecological environment during the development of mineral resources, and to realize the coordination of resource development and environmental protection, the establishment of a resource and environmental balance system is the only way to promote the high-quality green development of China's mining enterprises. As an indispensable part of the green mine resources and environmental balance system, it is urgent to conduct an in-depth study of the water balance. This paper analyzes the water consumption and water extraction of mines, clarifies the definition of water balance, and establishes the relationship between water balance on this basis, proposes the corresponding formula for calculating the water balance, and at the same time, details the components, and puts forward suggestions and ideas to help realize and optimize the water balance, which will help China's green mine to build comprehensively, and promote the transformation and upgrading of China's mining enterprises.

Key words: green mine construction; water balance; ecological civilization construction; high quality development

1 前言

矿产资源开发是指对矿产资源进行探测、开采和利用的过程,矿产资源开发为人类提供了解决问题或达成某个目标时所需的各种资源,以此满足人类的发展需求^[1]。环境保护是指保护和改善自然环境,维护生态平衡,达到使人类和自然和谐共生的目的,环境作为人类生存和发展的基础,维护其生态系统的稳定和可持续发展是百年大计^[2]。

在资源开发过程中,由于可能引发土地破坏、

水源污染、大气污染、生态系统破坏等问题,难免对生态环境造成一定的影响^[3],因此在资源开发过程中,需要采取一系列的环境保护措施,以减少对环境的负面影响。建立绿色矿山可在资源开发过程中最大限度保护环境,实现资源开发与环境保护相协调,而建立资源与环境平衡体系,是推动高质量绿色建设的重要路径^[4]。

水资源循环利用平衡(简称为“水平衡”)是资源与环境平衡体系的重要组成部分,在矿山资源开发过程中,水的供给和消耗点多、耗水量大^[5],与水相关的成本较高,充分利用采矿涌水(疏干水)、循环水以及雨水,减少市政供水取水、建立循环用水体系,在实现节约地下水资源、减少环境污染的同时,还能够降低生产成本,提高企业经济效益。本文以金属矿山为例,介绍矿山的水平衡。

[作者简介] 王亮(1990—),男,高级工程师,主要从事绿色矿山产业研究。

[引用格式] 王亮,杨森,赵伟伟.绿色矿山资源与环境平衡体系:水资源循环利用平衡研究[J].中国矿山工程,2024,53(6):78-82.

2 矿山水平衡基本概念

2.1 水平衡的重要意义

矿山企业在日常生活生产经营过程中,需要用到大量水资源,同时矿区绿化、生态修复、草木种植等过程也需要利用水资源,水资源主要来源于市政供水以及可收集到的待处理污水(废水),例如矿井水(疏干水)、生产废水、生活污水以及矿区雨水等^[6]。做好水资源统筹规划,可实现水资源及时供应,避免水资源短缺,可将多余水资源合理选择排放或储存,降低环境影响,减少企业处理成本。因此,建立矿山企业水平衡体系,做好水平衡测试工作,根据企业实际需求,分质利用水资源,在降低废水对环境的影响的同时,实现节约用水、减少企业成本的目的,将“水”这一约束因素转变为矿业绿色发展动力。

2.2 水平衡的流程

根据矿山生产过程中各用水环节以及污水(废水)产生环节,对污水(废水)处理再利用以及供水资源利用等实际的业务过程建立了水平衡流程图,具体如图1所示。

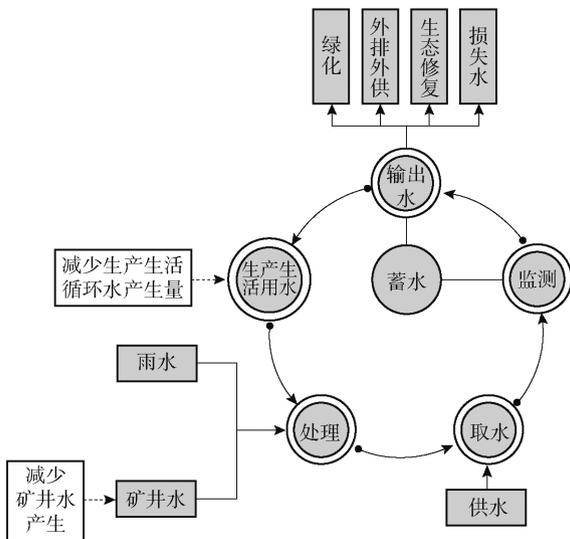


图1 水平衡流程图

2.3 水平衡的定义

根据建设水平衡的意义以及水平衡流程图的分析,我们得出矿山水平衡定义:矿山企业各用水系统的取水量之和等于供应水量之和,是供水、用水、蓄水、循环用水之间的平衡。

3 水平衡计算方法建立

3.1 水平衡输入输出分析

水平衡由输入、输出以及中间三个过程组成^[7]。输入端表示矿山水的供应,即市政供水、矿井水、生产污水、生活污水、雨水等;输出端代表水的使用情况,即生活用水、绿化种植、生态修复、生产新水、消耗等;中间端主要体现水的收集、处理过程。水平衡输入输出关系如图1所示。

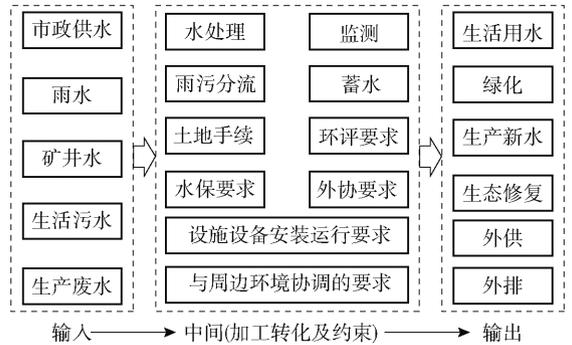


图2 水平衡输入输出关系图

1) 污水处理

污水处理是指为使污水达到排入某一水体或再次使用的水质要求对其进行净化的过程。其处理方法包含生物处理、物理处理、化学处理、其他处理等几类方法。

(1)生物处理:利用微生物的作用将有机物质分解为无机物质,常见的方法有活性污泥法、生物膜法、人工湿地等。

(2)物理处理:通过物理方法去除污水中的悬浮物和固体颗粒,如格栅、沉砂池、过滤器等。

(3)化学处理:利用化学药剂对污水中的有机物和重金属进行沉淀、氧化还原等反应,如混凝剂、氧化剂等。

(4)其他处理:对生物处理后的污水进行进一步处理,以去除残留的有机物和营养物质,如活性炭吸附、紫外线消毒等。

2) 废水处理

废水处理是利用物理、化学和生物的方法对废水进行处理,使废水净化,减少污染,以使废水达到回收、复用的水质要求,充分利用水资源。

(1)物理处理法:通过物理作用分离、回收废水中不溶解的悬浮状态污染物(包括油膜和油珠)的方法,分为重力分离法、离心分离法和筛滤截留

法等。

(2)化学处理法:通过化学反应和传质作用来分离、去除废水中呈溶解、胶体状态的污染物或将其转化为无害物质的废水处理法。

(3)生物处理法:通过微生物的代谢作用,使废水中呈溶液、胶体以及微细悬浮状态的有机污染物,转化为稳定、无害的物质的废水处理法。

3)雨污分流

雨污分流是指将雨水和污水分开,各用一条管道输送,进行排放或后续处理的排污方式^[8]。雨水通过雨水管网直接排到河道,污水则通过污水管网收集后,送到污水处理厂进行处理,避免污水直接进入河道造成污染。且雨水的收集利用和集中管理排放,可降低水量对污水处理厂的冲击,保证污水处理厂的处理效率。

4)水质监测

水质监测是测定水体中污染物的种类及其浓度,并监视其浓度变化趋势,评价水质状况的过程^[9]。其评价指标主要分为两大类:一类是反映水质状况的综合指标,如温度、色度、浊度、pH值、电导率、悬浮物量、溶解氧量、化学需氧量和生化需氧量等;另一类是一些有毒物质的浓度,如酚、氰、砷、铅、铬、镉、汞和有机农药等。

3.2 水平衡计算公式建立

1)计算公式

(1)输入端总量,公式为

$$T_1 = I_{\text{供水}} + I_{\text{雨水}} + I_{\text{污水}} + I_{\text{矿井水}} + I_{\text{生产水}} \quad (1)$$

(2)输出端总量,公式为

$$T_2 = O_{\text{生活}} + O_{\text{矿井生产}} + O_{\text{加工生产}} + O_{\text{绿化种植}} + O_{\text{生态修复}} + O_{\text{外供}} + O_{\text{外排}} + O_{\text{损失}} \quad (2)$$

(3) $T_1 = T_2$,可以得出:

$$I_{\text{供水}} + I_{\text{雨水}} + I_{\text{污水}} + I_{\text{矿井水}} + I_{\text{生产水}} = O_{\text{生活}} + O_{\text{矿井生产}} + O_{\text{加工生产}} + O_{\text{绿化种植}} + O_{\text{生态修复}} + O_{\text{外供}} + O_{\text{外排}} + O_{\text{损失}} \quad (3)$$

式中, T_1 为输入水总量; T_2 为是输出水总量; $I_{\text{供水}}$ 为包含市政供水和民水,市政供水指的是用于城市市政道路、绿化、消防等方面使用的供水,而民水则是指供居民生活用水的水; $I_{\text{雨水}}$ 为通过雨水收集系统收集起来的雨水; $I_{\text{污水}}$ 为矿区日常生活中排出的污水水量; $I_{\text{矿井水}}$ 为流入露天矿坑和井下巷道中的各种水; $I_{\text{生产水}}$ 为矿物加工过程中产生的废水(循环水除外); $O_{\text{生活}}$ 为矿区日常生活所需用的水; $O_{\text{矿井生产}}$ 为矿

区在生产过程中所耗用的水量; $O_{\text{加工生产}}$ 为矿物加工过程中所耗用的水量; $O_{\text{绿化种植}}$ 为矿区绿地、种植区所需要用的水量; $O_{\text{生态修复}}$ 为生态修复区所需要用的水量; $O_{\text{外供}}$ 为为外单位提供的水量; $O_{\text{外排}}$ 为排到环境中的水量; $O_{\text{损失}}$ 为在用于过程损失的水量。

2)水平衡公式物理含义解释

1. 矿井水类型

矿井水的水质特征受到地质构造、矿物组成和降水量等多种因素的影响^[10],根据水质特征,矿井水可分为以下几类。

(1)酸性矿井水:含有大量的酸性物质,如硫酸、铜、铁等。这种水通常具有腐蚀性,会对地下设备和环境产生不良影响。

(2)中性矿井水:pH值在7左右,不具有腐蚀性。一般情况下水中含有一些金属物质,如锌、铅等,对生态环境会产生影响。

(3)硬度较高的矿井水:含有大量的钙、镁等矿物质,会导致水垢的形成,对水管和设备产生影响。

(4)含有高浓度氯化物的矿井水:由于矿物质的溶解而形成的矿井水,会对环境和生态系统产生极大的影响。

2. 生产废水类型

矿物加工废水包括矿物加工工艺排水、尾矿池溢流水和矿场排水等。

(1)碎矿过程中湿法除尘的排水,碎矿及筛分车间、皮带走廊和矿石转运站的地面冲洗水:这类水主要含原矿粉末状的悬浮物,一般可经沉淀后即可排放,沉淀物可进入选矿系统回收其中的有用矿物。

(2)洗矿废水:此类水含大量悬浮物,通常经沉淀后澄清回用于洗矿,沉淀物根据其成分进入选矿系统后排入尾矿系统;有时洗矿废水呈酸性并含有重金属离子,此时需作进一步处理,其废水性质与矿山酸性废水相似,因而处理方法也相同。

(3)冷却水:碎、磨矿设备冷却器的冷却水和真空泵排水,此类废水仅水温较高,可直接外排或直接回用于选矿。

(4)石灰乳及药剂制备车间冲洗地面和设备的废水:此类废水主要含石灰或选矿药剂,应首先考虑回用于石灰乳或药剂制备,或进入尾矿系统与尾矿水一并处理。

(5)选矿废水:选矿厂排出的尾矿液、精矿浓密

机溢流水、精矿脱水车间过滤机的滤液、主厂房冲洗地面和设备的废水,有时还有中矿浓密溢流水和选矿过程中脱药排水等,是选厂废水的主要来源,其有害成分基本相同,此外尾矿液还含有大量的悬浮物。

3. 水质标准

根据矿井水、生活污水处理后的用途,水质标准分为三类,即一类、二类和三类水。

一类水是最高水质标准,适用于国家级自然保护区、重要水源地和直接供人饮用的水源地。一类水要求水质清洁、无异味、无色、无有害物质和病原体,能直接供人饮用,并且适用于水产养殖和游泳等。

二类水是次高水质标准,适用于一般农田灌溉、工业用水、城市景观用水等。二类水要求水质清洁,能满足一定的农田、工业和城市用水需求,但不适宜直接供人饮用。

三类水是较低水质标准,适用于农业和工业生产、景观水体、渔业养殖等。三类水允许一定程度的水质污染,但不能对生态环境和人体健康产生重大危害。

4. 采暖季与非采暖季水平衡

非采暖季与采暖季相比气温较高、雨水较多,绿化种植、生态修复所需的水也较多,同时蒸发的水量和进入尾矿库的雨水也较多,因此两个季节水平衡的重点有所不同。

4 优化水平衡关系及措施

研究矿井水平衡,其目的是在矿山企业生产过程中,动态调整供水与用水之间的关系,实现节约用水、减少排放、降低成本之间的动态平衡,提高企业效益、保护生态环境。

4.1 水平衡图

水平衡图是由矿山各环节所有取水和用水量组成的二维表,定期(每年、每半年、每季、每月)填写一次,并分析平衡关系,对标行业先进指标并进行改进。也可以建立计算机软件系统,形成分析报告,为企业水平衡提供决策。应根据实际情况编写矿山水平衡图和水平衡表。

水平衡图如图3所示。

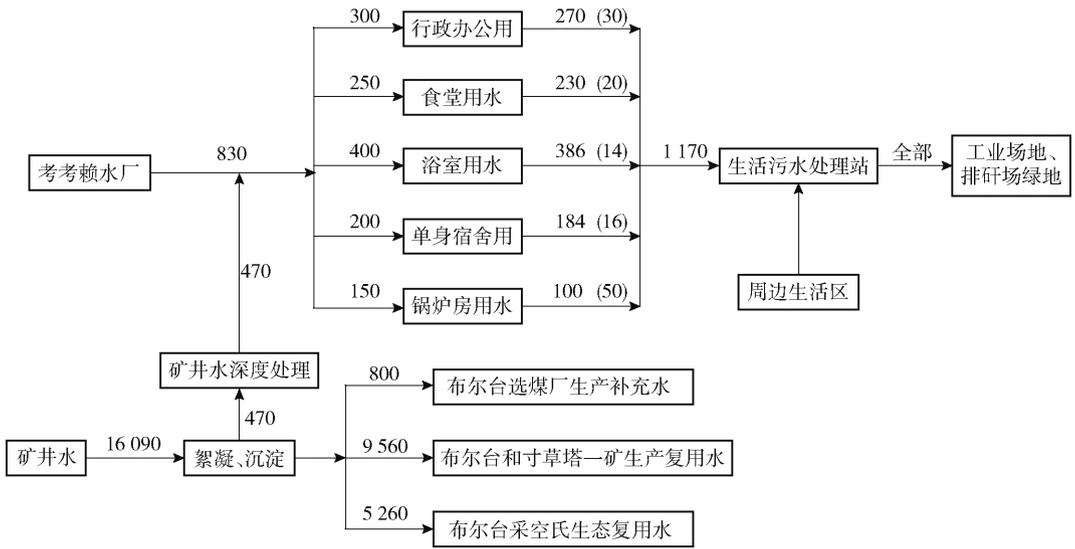


图3 某矿山水平衡图

4.2 水平衡优化措施

从公式(3)可以看出,通过以下几种方式可调整水平衡关系,从而实现对矿井水、生产废水、雨水资源利用最大化,环境污染最小化。

1) 做好水平衡测试工作

通过水平衡测试能够全面了解矿山企业管网状况,各部位(单元)用水现状,画出水平衡图,依据测定的水量数据,找出水量平衡关系和合理用水程度,

采取相应措施,挖掘用水潜力,达到加强用水管理、提高合理用水水平的目的^[11]。水平衡的测试工作还可找出单位用水管网和设施的泄漏点,并采取修复措施,解决跑、冒、滴、漏等问题,同时还可较准确地把用水指标层层分解下达到各用水单元,把计划用水纳入各级承包责任制或目标管理计划,定期考核,调动各方面的节水积极性。

通过企业水平衡测试,企业的取水量和排水量

大幅减少,重复利用率得到很大程度提高,对促进水资源保护和循环经济起到重要的作用。

2) 实现矿山水的分质利用

绘制矿山水平衡图和水平衡表,明确矿区用水的总供应和总输出,根据用途制定出三类水的需求量,对矿井水、污水、雨水按照水质要求进行净化,实现“分质用水、一水多用”^[12],既能达到保护环境的目的,也可降低水处理成本。

3) 由输出变化因素调整供给变化因素

根据公式(3)可知,矿物加工新水、矿井生产用水、矿山生活用水、绿色种植、生态修复、外供用水是输出过程中基本不变的要素,而外排和损失是输出部分可变的因素。我们计算出可变部分的用水可变空间,再调节雨水、市政供水等供给部分中可变水量,从而降低单位产品水耗和用水成本。

4) 由输出变化因素调整供给变化因素

利用矿区地形修建蓄水坑,建设矿区蓄水工程利用蓄水池汇集集水区的地表径流是水平衡的重要手段^[13],由于通过蓄水工程收集的自然径流雨水只需沉淀即可,因此其不但成本低而且还可重复利用^[14];通过调节水资源平衡,把原来平衡关系中可变因素转变为固定因素,从而实现水资源的稳定平衡。

5) 采用节水技术减少水的使用量

推广使用节水新工艺、新技术、新设备,开展节水技改,提高工业用水重复利用率,减少污水排放。

(1) 生产工艺改进^[15]:改进生产工艺,使用封闭式生产系统,减少水的使用量,优化生产过程,减少或避免产生废水。

(2) 循环水利用^[16]:通过建设废水回收系统、循环冷却水系统等废水处理系统,将废水经过处理后再次利用于生产过程中,减少对新鲜水的需求。

(3) 治理污染源^[17]:安装污染物收集器、油水分离器等设备控制和治理污染源,对废水进行预处理,减少废水中的污染物排放。

(4) 节约用水^[18]:通过优化生产过程中的水使用方式等提高用水效率,减少水的浪费和损耗,降低废水排放。

(5) 绿色技术应用^[19]:采用环保型技术和设备,使用低污染原材料,引入清洁生产技术,提高废水处理效果,减少废水排放^[20]。

6) 水平衡与企业成本的平衡

传统矿山在建立水平衡关系时所需考虑的因素相对较少,而绿色矿山建设在增加可用水资源量的同时,因必须对损毁的土地、破坏的生态系统进行治理和修复,也增加了水资源的使用量,此时需通过引入蓄水、节水技术对冲因绿色矿山建设而增加的用水量,由于在此过程中需要增加相应的蓄水和节水设施,因此增加了矿山企业的成本。

5 结论

建设绿色矿山需要系统性规划资源开发和环境保护的关系,实现资源开发与环境保护相协调。本文从资源开发过程中的水平衡来分析矿山企业如何实现在资源开发过程中节约用水、减少用水、降低企业成本以及减少对环境的破坏,实现企业的可持续发展,主要结论如下:

(1) 提出了水平衡定义。通过从对矿区取水、用水各环节进行分析形成水平衡流程图,进而提出水平衡定义,水平衡是矿山企业各用水系统的取水量之和等于用水量之和。

(2) 建立了水平衡计算公式。基于建立的水平衡输入输出模型图,研究处理加工过程的关键的技术,建立了水平衡计算公式,为节约用水提供了计算依据。

(3) 给出了水平衡表的优化建议。基于水平衡计算公式,优化水平衡关系图,提出水平衡的优化方向和措施,使水平衡朝有利于经济效益提高、污(废)水排放量减少和有益于环境保护的方向优化,实现经济效益、生态效益、社会效益的平衡。

[参考文献]

- [1] 汤旋,钟石玉,张小波,等.湖北省铁矿开发利用现状、供需形势及勘查开发对策建议[J].资源环境与工程,2023,37(4):481-487.
- [2] 王亮,王勇.从生态环境修复角度浅析矿产资源开发与环境保护关系[J].绿色矿冶,2023,39(6):68-73.
- [3] 王永卿,张均,王来峰.我国矿山固体废弃物资源化利用的重要问题及对策[J].中国矿业,2016,25(9):69-73+91.
- [4] 邓久帅,王亮,王若含.绿色矿山资源与环境平衡体系研究:资源平衡篇[J].绿色矿山,2024(2):130-135.
- [5] 胡婷婷,王亮,邓久帅.基于高质量发展的绿色矿山建设路径研究[J].现代矿业,2022,38(2):246-248+

- 254.
- [6] 王亮, 邓久帅, 李文涛, 等. 浅谈绿色矿山规划任务要点[J]. 绿色矿冶, 2024, 40(3): 20-25.
- [7] 王亮, 王勇, 那庆. 建设“一体系五平衡”模式, 推进绿色高质量矿山建设[J]. 有色金属(矿山部分), 2023, 75(3): 1-4.
- [8] 徐卫娟, 李守爱, 温文等. 青阳县白云岩矿矿区雨污分流改造[J]. 现代矿业, 2022, 38(12): 210-213.
- [9] 王亮, 邓久帅, 王若含. 绿色矿山科学内涵的演进与重构[J]. 绿色矿山, 2023, 1(1): 178-185.
- [10] 张鑫. 矿井水处理及运行实践研究[J]. 山西化工, 2023, 43(9): 178-180.
- [11] 吴海军, 王亮. 浅析绿色矿山建设关键点[J]. 采矿技术, 2023, 23(1): 202-204.
- [12] 何绪文, 张晓航, 李福勤等. 煤矿矿井水资源化综合利用体系与技术创新[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(9): 4-11.
- [13] 周翔. 金属矿山初期雨水收集与处理方式探讨[J]. 工程技术研究, 2020, 5(18): 41-42.
- [14] 王亮, 胡婷婷, 邓久帅. 绿色矿山评价指标实践研究[J]. 现代矿业, 2023, 39(1): 255-260.
- [15] 刘坤坤, 程继军, 郝毅仁等. 冶金矿山水资源综合利用规划实例分析[J]. 冶金经济与管理, 2019, 198(3): 10-13.
- [16] 陈忠. 提高矿山水重复利用率的探讨[J]. 有色冶金设计与研究, 2018, 39(5): 39-42.
- [17] 赵丽琼. 某铜矿山尾水综合利用实验研究[J]. 节能与环保, 2022, 331(2): 75-77.
- [18] 左其亭, 胡德胜, 窦明, 等. 基于人水和谐理念的最严格水资源管理制度研究框架及核心体系[J]. 资源科学, 2014, 36(5): 906-912.
- [19] 胡平, 许金萍, 朱果. 选矿厂水平衡控制系统的研究[J]. 工业控制计算机, 2016, 29(10): 149-150.
- [20] 吴海军, 王亮. 小型绿色矿山建设浅析[J]. 现代矿业, 2022, 38(4): 222-224+252.

(上接第76页)

(4) 抗震与排水措施: 设计中应考虑抗震加固, 防止地震和雨水渗透对边坡稳定性的进一步影响。

5 结论

通过对露天采场边坡的稳定性进行全面的有限元法分析, 准确计算了边坡在不同荷载条件下的应力、位移分布及安全系数。结果表明, 有限元法在复杂地质条件下的边坡稳定性评价中具有良好的适用性, 可以有效识别边坡的潜在失稳风险。未来的研究方向为进一步优化数值模型, 考虑更多动态工况下的边坡响应, 并结合智能监测系统, 实现对边坡稳定性的实时监控与预警。

[参考文献]

- [1] 陈强, 张雪萍. 采动作用下黑岱沟露天矿区岩土边坡稳定性研究[J]. 能源与环保, 2023, 45(5): 137-143.
- [2] 王宇晨. 黑龙江某铜矿山露天采场边坡现状特征及稳定性评价[J]. 冶金与材料, 2024, 44(1): 172-174.
- [3] 张龙. 某露天钨矿采场边坡稳定性分析及监测技术[J]. 矿产勘查, 2024, 15(z1): 109-114.
- [4] 张华超, 张成良, 吴泽鑫, 等. 荷载作用下采场边坡稳定性及参数敏感性研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2023, 75(6): 66-73, 87.
- [5] 张伟星. 有限元法和极限平衡法结合的某边坡稳定性分析[J]. 山西建筑, 2021, 47(18): 79-83.