

不良地质作用对金属矿山边坡稳定性影响及防治措施

Impact of Adverse Geological Process on Metal Mine Slope Stability and Precautions

刘双辰(中冀建勘集团有限公司,河北石家庄 050200)

摘要:随着金属资源的需求急剧增加,大型露天矿山开采范围逐渐扩大,不良地质作用对其边坡稳定性的影响日益严重,极大地增加了矿区出现地质灾害的可能性,制约了矿山的安全高效开采。基于此,本文针对影响边坡稳定性的不良地质作用进行深入剖析,分别就断层活化、地震活动、复杂采空区等不良地质作用对边坡稳定性影响的关键因素进行综合分析。根据得到的影响因素提出了削坡压脚、加强锚固等措施进行针对性防治,为相似地质条件矿山提供有效解决方案,为矿山企业安全高效生产提供可靠保障。

关键词:不良地质作用;边坡;稳定性;因素;措施

中图分类号: TD854 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)05-0079-05

Abstract: With a surge in the demand of metal resources, the exploitation range of large-scale open-pit mines gradually expands and the impact on their slope stability by adverse geological process is increasingly severe, which greatly increases the possibility of geological hazards in the mining area and restricts safe and efficient mining. In light of this, this paper conducts an in-depth analysis of adverse geological process that influences slope stability. Comprehensive analysis is carried out on key factors of adverse geological process that affect slope stability, including fault activation, earthquake and complex mined-out area. Based on these obtained factors, targeted precautions are put forward, including slope cutting, foot backfilling and anchorage reinforcing, which can provide effective solutions and a reliable guarantee of safe and efficient production for mines with similar geological conditions.

Key words: adverse geological process; slope; stability; factors; measures

1 前言

随着中国社会经济进入新一轮的高速发展,对矿产资源的需求愈发强烈,资源的开发也逐步向深部探采。在我国金属矿山的开采中,露天开采方式占比很大,约有50%的资源来自于露采矿山^[1]。随着露采矿山向深部大规模、高强度开发,高边坡带来的灾害问题极大影响了矿山的安全高效开采^[2-3]。边坡的稳定性不仅与其岩体自身强度与结构相关^[4-5],更与其所在地质条件相关^[6-9]。复杂甚至不良地质作用不仅能够破坏边坡的稳定结构,对于边坡岩体性质也产生了劣化作用。因此,许多专家学者对此开展了大量科研工作。安太堡露天矿存在较陡背斜区,易发生顺层滑坡事故,薛万海^[10]通过

采用极限平衡法分析了边坡稳定程度,提出了排土压脚,诱导应力释放等有效措施保证了生产安全。梁凯河^[11]利用钻孔摄像测试、声波测试等先进手段对甲玛铜多金属矿二期南帮高边坡岩体结构面特征、岩体质量进行了分析,评估了边坡稳定性,提出了一种有效承载边坡角。赵春波^[12]通过对乌努格吐山铜钼矿的深凹露采边坡的工程地质进行分区,划分出5个地质特征区,依据各自不同特征进行针对性防治与监测。窦思军^[13]针对大型金属露天矿山边坡灾害问题,提出了利用多种锚网喷联合支护手段为主,改善边坡自身环境为辅的治理策略。上述研究针对不良地质体对边坡稳定性的影响进行了分析,并据此提出了合理的防控措施,本文深入探讨了不同种类不良地质作用对边坡稳定性的影响因素,同时针对性地提出边坡有效处理措施。

2 不良地质作用对边坡稳定性影响的关键因素分析

不良地质作用主要是指在地球地质内应力或外

[作者简介] 刘双辰(1980-),男,汉,石家庄人,土木工程专业,本科学历,高级工程师,研究方向:岩土工程。

[基金资助] 国家自然科学基金项目(51878035)

[引用格式] 刘双辰.不良地质作用对金属矿山边坡稳定性影响及防治措施[J].中国矿山工程,2021,50(5):79-83.

应力作用下产生的对工程有危害的地质作用。对于矿山而言,主要的不良地质作用包括了断层活化、地震活动、复杂采空区等。不良地质作用在破坏边坡结构的同时,对岩体结构、节理性质都产生了不良影响。同时在多种不良因素相互作用下,边坡稳定状态可能发生破坏。

2.1 断层活化对边坡稳定性的影响

断层构造由于其赋存状态、运动形态及发育程度对边坡稳定性都存在较大影响。断层组成各要素中,断层滑移带的敏度最高,其岩性最差,破坏条件最低,在受外界干扰时,其最先发生破坏。正因为如此,在边坡中存在易发生活化的断层,易诱发行成顺层滑坡、弯曲倾倒等,图1所示为贯穿断层在边坡中的简化模型。

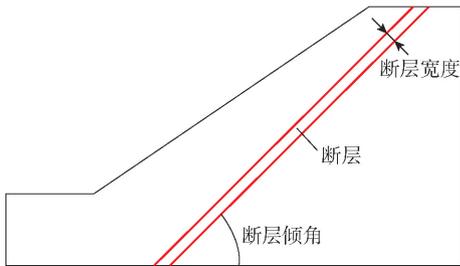


图1 简化模型

在边坡中存在贯穿断层时,断层存在平移断层、正断层、逆断层等几个不同形成形态,研究发现,当断层为平移断层时,距断层越远,边坡滑帮稳定性系数越大,在足够远处变化不再明显^[13]。而边坡中存在的断层为正断层时,能够起到抑制滑坡的孕育,逆断层则能起到促进作用。

在边坡中若断层为隐伏形态,同时存在弱面,则其边坡破坏形式形成一种组合型新形态。图2所示为隐伏断层与弱面互存时破坏示意图。在隐伏断层不直接参与作为滑面的主导因素时,其影响主要改变了弱面的性态,间接地影响了边坡的稳定性。隐伏断层参与后,潜在的滑坡模式主要表现为“断层+弱面圆弧+直线”或“断层+弱面圆弧”两种形式^[14]。

2.2 地震活动对边坡稳定性的影响

地震活动对于任何工程体均存在巨大危害,其危害主要体现在地震活动中及震后耦合破坏两个方面,特别是对于高边坡、坝体、路基等影响更大。

在分析地震影响时,从地震活动中及震后耦合破坏两个方面分别进行探讨。在活动地震对边坡稳定性的影响可以从边坡的地质条件、岩体结构、地

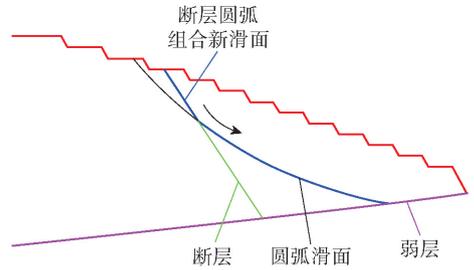


图2 隐伏断层与弱面互存时破坏示意图

形地貌等方面进行分析。而震后耦合破坏主要考虑水对破裂岩体的影响作用。

1) 边坡的地质条件

一般地震发生于大断裂带附近,如果边坡位于发生地震断层附近,则巨大的能量释放对边坡稳定性而言势必是毁灭性的。如果边坡距震源较远,且位于地震的弱传递方向或者传递方向上存在地下弱结构体,断层破碎带及弱结构体的吸能变形特性,对地震波的传播起到了缓冲甚至反向消减作用,对于维持边坡稳定性而言是有利的。

2) 边坡岩体结构

边坡岩体结构整体较好,呈现块状结构时,其力学性能好、强度高,能够在一定时间及程度上抵御地震的影响。若边坡的岩石结构较差,存在散体结构,其本身胶结程度差,力学性能及强度低,受地震影响极易形成大规模的滑坡、泥石流等灾害。

3) 地形地貌

在影响边坡稳定性的地形地貌条件主要表现在边坡的高度、坡形两个方面。在地震到达边坡时,坡度越高,其岩石受地震波影响越严重,最上部岩体破坏后向下能够引发系列破坏。而在坡形方面,据大量事故统计发现,直线坡受到地震波的影响较凹坡、凸坡要小得多。

4) 震后水-力耦合

震后部分边坡岩体发生了破坏,出现连续、贯通的节理裂隙,此时已经在边坡形成了弱面条件。如果此时在边坡出现较大规模降雨,雨水将进一步加速边坡失稳。当雨水进入破裂岩体后,其自身的静水压力增加了节理上的法向压力,加速了岩体破裂。同时流水的冲刷作用对节理中的胶结物进行了掏蚀、溶蚀作用,进一步破碎了边坡结构。此外,对于边坡中未贯通节理,降水也加速其贯通与塑性区扩展。

2.3 复杂采空区对边坡稳定性的影响

由于露天矿山规模大,金属富集集中,周围存在盗采、偷采、残采等现象,造成边坡周围存在较多形

态复杂的空区。随着开采深入,空区存在可能引发边坡变形、滑坡等灾害,将严重威胁矿山生产及人员生命安全。

随着露天开采向深部进行,应力平衡将被打破,应力重新分布。当空区位于边坡滑动面之上时,受弱滑动面影响,采空区的顶底板容易出现应力集中。如图3a所示,剪应变带出现了向采空区位置扩展现象,出现这种现象主要是由于采空区

减轻了覆岩自重,在摩擦力和黏聚力不变时,下滑力相应减小。

当采空区处于边坡滑动面下时,由于弱面的垫层作用,采空区的上下部应力出现了对称,与无空区相差不大。如图3b所示,剪切应变带与无空区条件时相差不大,主要是因为采空区与滑动弱面的距离相差较远,边坡内部的应力受采空区及采动影响甚微。

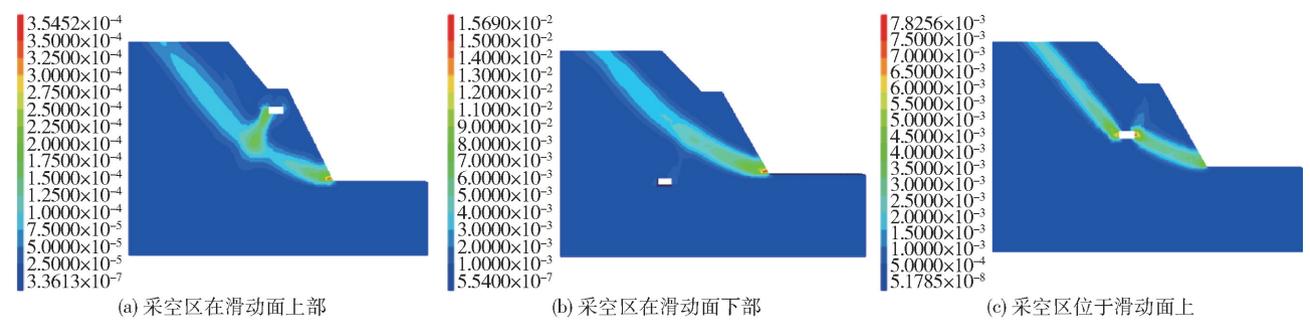


图3 采空区在滑动面不同位置剪应变增量云图

当边坡滑动面正好穿过采空区时,滑动弱面导致应力重新分布,与之垂直的顶底板连线出现较大应力集中。如图3c所示,剪应变带此时也经过采空区,能够形成明显的弱面滑动。造成这种情况的原因主要是因为采空区的存在降低了弱面的黏结力与下滑力,采空区面积越大,弱面的黏结力越差,导致边坡稳定性越差^[15]。

3 不良地质作用引发边坡灾害的防治措施

3.1 削坡压脚

不良地质作用对于边坡的影响可能引发的边坡灾害主要体现在边坡的坡面及坡脚的破坏上,如果条件允许时,应尽可能优先考虑进行削坡、排土压脚。

通过进行削坡处理能够在一定程度上缓解边坡压力,对其岩体进行有效卸压。同时改造边坡的坡形、坡度、高度,提升边坡结构稳定性,改善边坡岩体性质。在对边坡进行削坡处理后,进一步对弱面滑动体的坡脚进行加固,利用削坡排下的岩土体对坡脚进行加固处理。

使用削坡压脚处理,不仅通过削坡进行了覆岩重力的减轻,大大减少了边坡下滑力,同时利用排出的岩土体对薄弱的坡脚结构进行回填压脚提高了边坡的抗滑能力,大大提高了边坡的稳定性。如图4、5所示为某矿边坡削坡压脚处理的设计图及效果图。

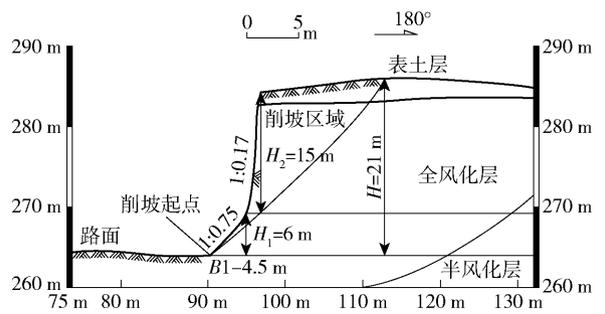


图4 削坡设计图

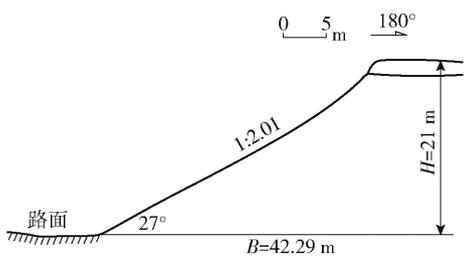


图5 削坡后剖面示意图

3.2 加强锚固

在无法进行削坡压脚处理时,应考虑通过改善边坡应力环境,提高边坡岩体强度来提高边坡稳定性。使用预应力锚索、注浆锚索、锚喷等措施能够提供有效的支护力,同时能够充分发挥边坡岩体的自稳能力。

1) 预应力锚索支护

作为边坡治理中最为有效的措施之一,预应力锚索支护方法施工简单,经济效益显著,同时能够有效改善边坡应力环境,减少治理工程量,大大增加边

坡稳定性。现有的预应力锚索支护主要有拉张、压力两种类型,通过将锚索打入深层稳固岩体,充分发挥其悬吊作用。同时需要在边坡表面设计能够承载预应力的稳固地梁,施工过程中为达到设计目标,必须严格遵循预应力锚杆施工过程中的“先固结、慢钻进、快锚固”的原则。

2) 注浆锚索加固支护

在遇到岩体条件较差的边坡时,普通锚索支护效果很差,主要原因是边坡松动区范围大,普通锚索有效锚固范围远小于其需支护范围,同时,大范围的松动区使锚索无法形成有效着力支撑,从而很难实现有效支护。

注浆能够使浆液充填松动区裂隙,将松散岩体黏结成为一个整体。同时,达到隔绝空气,防止风化目的。注浆后的围岩完整性、连续性得到一定恢复,但承载能力仍然不能恢复到原始强度。因此在注浆后,仍需采用锚索对围岩进行加固支护,改善其应力环境,提高围岩强度。

3) 锚喷支护

锚喷支护是边坡地质灾害治理中应用最为广泛治理手段之一,主要包括了两个步骤:锚固、喷射混凝土。使用喷射混凝土能够对风化岩体进行封闭,使其强度不再继续降低,同时形成的混凝土壳层为岩体形成了三维应力边界,大大提高了岩石的强度。共同使用锚索与喷射混凝土,在一定程度上恢复甚至提高了边坡岩体的岩体性质,改善了围岩应力环境。

4 工程实践

某露天矿山边坡上半部分由灰绿色英安岩构成,强度高,但易受断层、风化影响,稳定性差。下半部分由含硅流纹岩构成,同样强度高,但遇水易膨胀,稳固性极差。在矿区分布有三条大断层,并在其周围丛生许多小断层。矿区水文地质条件简单,主要以裂隙充水为主。

由于断层活化、边坡遇水膨胀等问题存在,使得边坡稳定性大大降低,边坡在开采过程中变形情况严重,需要进行大量返修工程,开采安全性难以得到保障。

因此根据矿山采矿技术条件,根据上文对不良地质条件对边坡分析影响及治理措施,在保证安全的前提下,遵循技术可行经济最优原则,提出了针对性的边坡变形失稳治理方案。主要思路是采用削坡压脚为主,辅以加强锚固,因此提出上部削坡卸载+

坡脚注浆压石+预应力锚索。

上坡段削坡主要是减小下滑力,削坡位置要达到潜在软弱面,从源头上对进行控制。坡脚注浆压石是为了增加边坡抗滑能力,通过注浆加固坡脚抗剪切强度,通过压石增加法向应力,进一步增大抗剪切强度,削坡压脚施工现场如图6所示。通过削坡压脚大大减小了边坡发生滑动的可能。同时为防止断层活化加剧边坡的整体滑移,需要对削坡的边坡进行预应力锚索加固,具体施工现场如图7所示,进一步保障工程安全。

经过实践,该方法能较好地控制边坡变形及滑移,大大减小了发生工程灾害的风险。



图6 削坡压脚施工现场



图7 预应力锚索施工现场

5 结论

(1)综合分析了不同类型不良地质作用对边坡稳定性的影响。对金属露采而言,最主要的不良地质作用包括断层活化、地震活动、复杂采空区。其中断层活化对边坡稳定性的影响体现在其赋存状态、运动形态及发育程度上。贯通断层中存在平移断层时,边坡稳定的临界倾角较大,而正断层抑制边坡失稳过程发生,逆断层则起到促进作用。地震活动对边坡稳定性的危害主要体现在地震活动发生中及震后水-力耦合破坏两个方面。在地震活动中,边坡的地质条件、岩体结构、地形地貌都会与地震活动相互作用,危害边坡稳定性;而震后水-力耦合作用则体现在施加静水压,流水掏蚀、溶蚀方面。复杂采空区的危害主要体现在空区与弱滑动面的作用耦合上,通过空区形态、位置等对弱滑动面的胶结力、下滑力产生影响从而影响边坡稳定性。

(2)通过分析不良地质体地边坡稳定性的影响因素,进一步提出针对性防治措施。不良地质作用对边坡稳定性的影响主要体现在对边坡形态及边坡内弱结构体的影响,因此提出了削坡压脚、加强锚固两项针对性措施。使用削坡压脚既改变了边坡的形态、减缓了弱结构面法向压力,减弱了下滑力,同时最薄弱的坡脚进行压脚处理,提高了抗滑力,从而保持了边坡稳定性。而使用加强锚固主要是通过主动支护,改善了边坡岩体的应力环境,提高了围岩自承能力,同时进一步加强了岩体形态,从根本上对边坡稳定性进行了维护。

(3)对存在不良地质作用的边坡进行治理,提出了上部削坡卸载+坡脚注浆压石+预应力锚索的治理方案,经实践证明,针对性方案能够有效控制边坡变形,减小灾害发生风险。

[参考文献]

- [1] 杜时贵,雍睿,陈皓扞,等.大型露天矿山边坡岩体稳定性分级分析方法[J].岩石力学与工程学报,2017,36(11):2601-2611.
- [2] 闫国杰.矿山地质灾害研究与防治探讨[J].中国矿业,2004,13(3):66-68.
- [3] 李庶林.论我国金属矿山地质灾害与防治对策[J].中国地质灾害与防治学报,2002,13(4):44-48.
- [4] 常治国.力-温度场作用下裂隙岩体损伤机理及边坡时效稳定性分析[D].徐州:中国矿业大学,2019.
- [5] 任志丹.含软弱夹层边坡的稳定性分析[D].昆明:昆明理工大学,2015.
- [6] 周永强,程永锋,朱照清,等.不同地形地质条件下岩质边坡的场地效应初步确定[J].工程科学与技术,2018,50(1):51-61.
- [7] 申国强.复杂地质条件下高边坡稳定性分析与治理方案研究[D].西安:西安建筑科技大学,2014.
- [8] 翦波.复杂地质条件开挖边坡变形及稳定分析[D].长沙:中南大学,2010.
- [9] 肖江,高喜才.复杂地质条件下露天矿边坡稳定的相似模型研究[J].岩石力学与工程学报,2006,4(S2):3661-3666.
- [10] 薛万海.安太堡露天矿过芦子沟背斜期末边坡稳定性分析及治理[J].露天采矿技术,2021,36(3):80-83.
- [11] 梁凯河,张忠坤,周东平,等.甲玛铜多金属矿二期工程露天采场边坡稳定性分析[J].黄金,2015,36(9):41-46.
- [12] 赵春波,张海涛,宋志伟.乌努格吐山铜钼矿边坡稳定及灾害防控技术研究[J].有色金属(矿山部分),2019,71(4):27-31.
- [13] 窦思军,徐兴倩,李继国,等.下覆基岩断层对边坡稳定性的影响分析[J].河北地质大学学报,2020,43(3):45-50.
- [14] 王东,宋伟豪,张岩.露天矿含断层逆倾边坡滑面确定方法及应用[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2019,38(3):212-215.
- [15] 杨晓杰,耿强,刘晨康,等.下部采空区对边坡稳定性影响的数值分析[J].矿业研究与开发,2018,38(11):71-74.

(上接第48页)

[参考文献]

- [1] 乔东亮,张永贵,商启蒙,等.露天煤矿外排土场边坡滑坡治理[J].露天采矿技术,2021,36(1):93-95.
- [2] 潘长胜,孙少锐,喻永祥,等.南京市幕府山某边坡稳定性评价及治理措施研究[J].矿业研究与开发,2021,41(2):29-33.
- [3] 王志鹏,任鹏.基于定量评价方法到界边坡稳定性控制方案优化研究[J].中国煤炭,2020,46(12):123-128.
- [4] 宋仁忠,韩兴,杨日,等.基于岩土重塑特性的排土场分层和稳定性评价方法[J].煤矿安全,2020,51(12):283-287.
- [5] 付一鸣,王珍,万峰,张洪清.含软弱夹层边坡稳定性上限分析法研究与评价[J].金属矿山,2020(12):38-43.
- [6] 徐占金,李成业,徐国俊,等.边坡稳定性动态监测装置在排土场边坡治理中的应用[J].露天采矿技术,2020,35(6):48-51,55.
- [7] 肖海平.中小型露天矿边坡稳定性动态评价方法及应用[D].徐州:中国矿业大学,2019.