

削坡减载法在白云铁矿边坡治理中的应用

付永魁, 郭希静

(包头钢铁(集团)有限责任公司白云鄂博铁矿, 内蒙古 包头 014010)

摘要:白云鄂博铁矿主采场D区4[#]滑体处于采场主干线1458 m至1430 m固定运输通道上方,且滑体以堆积松散碎石、块石为主,形成了较大规模极不稳定的边坡结构,直接威胁下部安全生产,如不及时处理,必将导致全采场停产。通过对4[#]滑体现状实际调查分析,制定了以1542 m平台为分步治理划分线,上部采用削坡减载,下部采用边坡清理加固的治理方案。实施后完全达到了预期目标和效果,有效地改善了下部安全生产条件,在以后的边坡治理中具有借鉴和参考价值。

关键词:滑体;边坡治理;削坡减载;稳固性

中图分类号:U418.5⁺²

文献标识码:B

文章编号:1009-5438(2022)06-0006-05

Application of Method of Cutting Slope and Reducing Load in Slope Treatment of Bayan Obo Iron Mine

Fu Yong-kui, Guo Xi-jing

(*Bayan Obo Iron Mine of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The 4[#] slip mass in area D of the main stope of Bayan Obo Iron Mine is above the fixed transport corridor of 1458 m to 1430 m of the main line of stope as well as it is mainly composed by piling up loose gravel and dimension stone so that the larger and extremely unstable slope structure is formed, which directly threatens the safety production of lower part. If it is not treated in time, it will cause to suspend production in the whole stope. The treatment scheme of taking the 1542 m platform as dividing line of step by step governance, adopting the method of cutting slope and reducing load at upper part as well as adopting the cleaning and reinforcement of slope at lower part is established through actual investigation and analysis of current situations for 4[#] slip mass. The expected goals and effects are completely achieved after implement the treatment scheme so that the conditions of safety production at lower part are effectively improved, which could be as reference in future slope treatment.

Key words: slip mass; slope treatment; cutting slope and reducing load; stability

白云鄂博铁矿是一种多成因的内生铁矿,地质条件复杂,同时也是一大型的铁、稀土、铌等多种有用矿物共生矿床。自1957年建矿以来,距今已开采

65年,目前已进入露天矿深深部开采阶段,暴露出的边坡具有高、陡、广的特点,主采场边坡高度有300 m以上,东采场更是高达400 m。边坡岩体日积

月累地受边坡卸荷、风化以及频繁的爆破震动的影响逐步改变了原始形态,采场最终边邦的部分区段失稳,呈现出滑落、坍塌、滑坡等现象,对下部安全生产构成了极大威胁。主采场D区4[#]滑体正处于采场主干线1458 m至1430 m上方,严重威胁下部安全生产,构成重大危险源,如不及时治理,极有可能造成整个采场停产。针对该问题,白云铁矿采用削坡减载的方法,及时组织边坡治理,稳固了边坡,消除了安全隐患。

1 滑体概况

1.1 滑体现状描述

白云鄂博主采场D区4[#]滑体位于D区1626 m至1430 m平台,岩体以板岩及大理岩岩脉为主。板岩、大理岩岩脉风化严重,松散破碎。另外该区域分布有F10断层,受其影响在1626 m平台出现多条拉张裂缝,部分裂隙与坡面斜交的裂缝延伸至采场内部坡底线附近,滑落松散岩石自上而下堆积至1430 m平台,将1570 m、1542 m、1514 m清扫平台填满、截断,严重位移产生段在1542 m平台以上,初步判断贯通的1570 m清扫平台可能由此截断。滑体周界在平面上呈簸箕状,滑体东西宽约300 m,北沿台阶坡面延伸长约150 m,滑体厚度约15 m。滑体以松散堆积碎石、块石为主。主要粒径范围为3~35 cm。堆积体自然分级,分选明显,上细下粗。堆积体底部大粒径块石较为集中,块石最大粒径可达0.5~1.0 m。上部大理岩块较完整,滑塌过程中以整体块体的形式发生位移,且滑动距离较短,多处堆积大型岩石块体,最大块径可达2~3 m,支撑于下部堆积体之上。滑塌现状见图1。

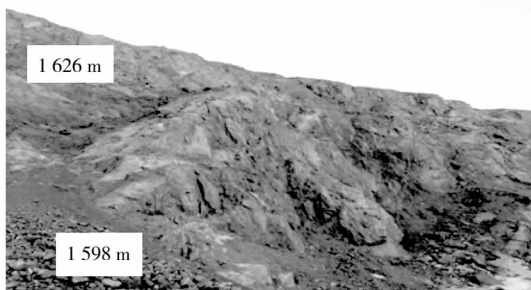


图1 D区4[#]滑体滑塌局部现状

1.2 滑体成因分析

D区4[#]滑体滑塌、脱落石块分布区段主要集中在

在1598 m至1542 m区段,受此影响在1626 m平台出现多条拉张裂缝,裂缝如波纹衍射后移,间距不等,整体裂缝区分布宽度约13 m以上,结合该区域地质构造、气候环境、水文地质等因素,分析确定D区4[#]滑体成因有以下几点。

(1)滑体坡顶以南地形平缓,有多处大气降水汇集区,水系流径延伸至矿区深部,雨季1542 m以下边坡可见多处基岩裂隙水出露点,涌水量较大,部分呈线状流水,长期流水侵蚀对边坡岩体有软化作用。

(2)白云矿区干旱少雨,年均降水量仅为231.6 mm,蒸发量较降水量大10倍以上,昼夜温差大。上部暴露的边坡长期承受饱水、脱水、长时间失水的周期变化,加之温差、风化、爆破震动的影响,原始岩体沿节理面脱落、蠕动、下滑、失稳。

(3)滑体发育坡段分布有F10断层,属逆断层,倾向为南西9°,倾角77°,影响带宽度为15 m,走向由东南逐渐偏转至正东方向,倾向也逐渐反转至南倾。其影响带主要岩性为云母化板岩及大理岩岩脉,岩体较破碎,破碎带宽度自上而下逐渐收窄,断层与坡面走向相近,呈小角度斜交,影响带范围较大。

(4)受顺坡结构面控制,在1626 m平台出现沿着结构面走向发展的裂缝,雨季降水的进入,进一步降低结构面的强度,并在边坡内部形成静水压力,随着裂缝逐渐扩展直至贯通,结构面强度不断降低,当抗剪切力小于下滑力后,沿控制结构面发生双平面破坏。

(5)影响不稳定体的重要因素有岩体结构、构造等内在因素和降雨、爆破震动等外在因素两方面。内在因素是导致变形失稳的首要原因,变质岩体性质差,存在不利结构面(组合),构造发育,使该区成为工程性质较差的不稳定坡段,而降雨、爆破震动等不利因素又进一步使坡体结构松散,力学强度下降,导致了坡体的滑塌破坏。

2 稳定性分析

边坡稳定性分析包含下面两个步骤^[1]。

(1)对边坡体内某一滑动面,分析其滑动与抗滑因素,确定出安全系数与其潜在滑动面的函数关系,计算出抗滑稳定安全系数。如果滑动面曲线为 $y(x)$,安全系数 F 与其潜在滑动面 $y(x)$ 的函数关系为 $F = F[y(x)]$ 。

(2) 在所有潜在滑动面中,重复上述步骤,找到相应最小安全系数 F_s 的临界滑动面 $y_c(x)$,搜索临界滑动面具体化为寻找安全系数 F 与其潜在滑动面 $y(x)$ 的函数极值,即: $F_{\min} = F_s[y(x)]$ 。

岩土工程中边坡的几何形状各异,材料通常是非均质性,纯解析的数值原理很难进行极值计算。用最优化方法并通过数值方法求解,是一个比较现实可行的途径。

D 区 4#滑体边坡发育一组顺坡缓倾结构面,可能使台阶发生单平面滑动,且存在多组不稳定结构面组合,对边坡稳定性不利结构较多,区内断层破碎带影响范围较大,造成连续的破碎岩体区,对部分坡段岩体完整性破坏较大。根据现场调查,该滑体经过滑移变形后处于压密趋稳阶段,1 542 m 下部台阶坡体以破碎板岩为主,且底部坡体受地下水侵蚀影响较大,岩体易软化,形成软弱边坡,滑体区域强变质的大理岩抗剪强度较低,且岩体常年累月受爆破震动、降雨及坡面径流等影响,风化程度不断增强,岩体性质逐渐劣化,对该区整体稳定性影响较大,应尽早对滑塌区域进行工程治理,见图 2。

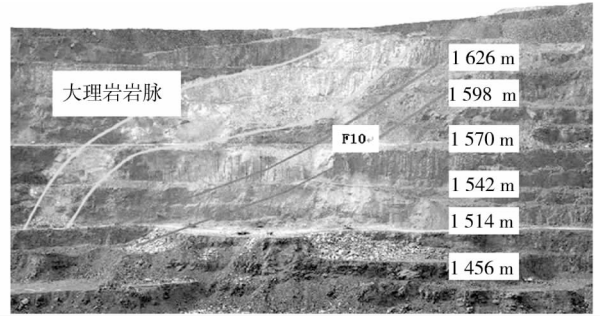


图 2 D 区 4#滑体滑体治理施工图

采用简化 Bishop 法进行边坡稳定性计算,将坡体潜在整体破坏模式确定为圆弧型滑动破坏。计算软件为加拿大 RocScience 公司的 Slide 软件,它是一款基于极限平衡分析方法的二维土质或岩质边坡稳定性的分析程序。取当前 1 570 m 至 1 542 m 平台坡体为临界状态,进行参数反演计算。另大理岩岩脉力学性质较差,整体强度低,将该段坡体的临滑状态确定为圆弧滑动。最终确定该区岩体物理力学性质参数见表 1。

表 1 D 区 4#滑体岩体参数

岩性	天然(干燥)状态			饱和状态		
	$Y/(kN \cdot m^{-3})$	C/MPa	$\varphi/(^{\circ})$	$Y/(kN \cdot m^{-3})$	C/MPa	$\varphi/(^{\circ})$
板岩	25.5	0.20	35.0	26.5	0.16	33.0
大理岩脉	26.0	0.08	25.0	27.2	0.06	23.0

经简化的毕肖普法(Bishop)计算所得,治理后边坡稳定安全系数 $K_1 = 1.280$ 、 $K_2 = 1.242$ 。同时参照《非煤露天矿边坡工程技术规范》(GB 51016—2014)^[2],治理后的安全系数 K_1 大于规范值 1.20,属于稳定, K_2 大于规范值 1.15,属于稳定。

3 治理措施

3.1 确定治理方案

综上所述提出 D 区 4#滑体治理方案有两种。

方案一。采用整体削坡减载和坡面喷浆的组合治理方法,依据滑体面积、失稳厚度、变形长度确定

治理平台宽度以及自上而下的拉运清理通道,由 1 658 m 至 1 430 m 自上而下逐层全面治理,削坡安全系数 K_1 取值 1.280,最终边坡角为 35° 。

方案二。以 1 542 m 平台为分部治理划分线,1 542 m 平台以上采用削坡减载、坡面喷浆的组合治理方法,对于 1 542 m 以下平台以工程加固为主,治理长度 200 m。待 1 542 m 至 1 514 m 平台石方清坡后,坡面采用预应力锚索、格构梁、挂网喷浆、泄水孔联合加固方式进行治理。1 514 m 至 1 430 m 为石方清理和坡面喷浆。方案对比见表 2。

表2 方案对比分析

项目	方案一	方案二
治理工程量	削坡减载拉运量 92 万 m ³ 。	削坡减载拉运量 53 万 m ³ , 滑落石方清理量 32 万 m ³ 。
对采场生产影响	削坡减载必须遵循由上自下的治理顺序, 在该区段整个治理期间, 下部平台不能推进, 处于停止状态, 限制了采场空间规划。	待 1 570 m、1 514 m、1 458 m 清扫平台疏通后, 下部平台清理便可与采场生产计划相衔接, 有利于下部各平台的有序推进, 满足采矿生产需求。
后期效应	削坡减载治理后形成的多通道有利边坡维护、监测; 边坡稳固性高。	可有效发挥 1 570 m、1 514 m、1 458 m 清扫平台截留作用。边坡坡面稳固性较高, 可通过清扫平台实时观测边坡变形状态, 利于边坡观测、维护保养。

最终确定方案二为本次边坡治理方案。

3.2 削坡减载

削方减载应遵循自上而下的顺序。工艺环节为穿孔、爆破、采装、拉运。施工先从 1 626 m 逐段向下清理, 推进至 1 542 m 平台。依据计算的安全系数将最终边坡角确定为 40°, 台阶坡面角为 60°。靠界削方采用预裂爆破, 采掘拉运由小于 2 m³ 的反铲

和小于 15 m³ 自卸车完成, 整个清理过程必须按计划执行, 拒绝计划外推进, 采掘拉运要保证足够的工作平盘宽度, 确保清理工作安全可靠。采场矿用拉运车不参与本次清理。

靠界控制爆破是削坡减载成败的关键, 爆破清理完成后, 对预裂面的要求是光滑平整、孔痕清晰, 岩体无破坏。经分析计算, 预裂爆破设计如图 3 所示。

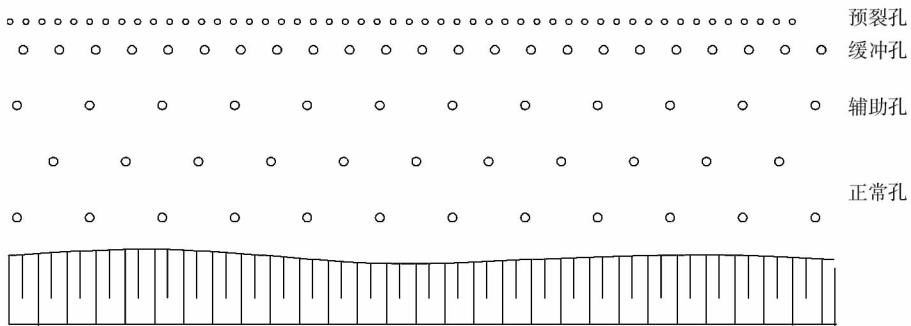


图3 控制爆破设计图

预裂孔、缓冲孔采用倾斜穿孔, 倾斜角度 60°。在实际作业中, 受该部位岩石特性影响, 钻孔后易塌孔, 成孔困难。为此建议采用灌浆穿孔法, 实操是边钻孔边注浆, 成孔后放入一定直径的 PVC 管, 确保孔深稳定。

为减弱爆破对保留岩体的破坏, 起爆方式采用排间或破浪起爆, 控制最大一段起爆药量, 预裂孔与缓冲孔延时差应确保在 550 ms 以上。钻孔直径为 120 mm, 其他爆破参数见表 3。

表3 D区4#滑体爆破设计参数

类型	孔深/m	孔距/m	排距/m	钻孔角度/(°)
预裂孔	17.0	1.2	2.0	60
缓冲孔	17.5	2.5	2.5	60
辅助孔	8.0	5.0	4.0	90
正常孔	15.0	5.0	4.0	90

爆破后效果明显, 半壁孔率可达 98%, 坡面光滑平整, 坡面扰动小, 稳固性好。爆破及治理效果见图 4。



图4 削坡减载后治理效果

3.3 工程加固

1 542 m 至 1 514 m 平台坡面清坡后, 坡面采用

预应力锚索+格构梁+挂网喷浆+泄水孔方式进行加固处理。锚索采用15-7Φ15.2 mm钢绞线,间距4 m×4 m,设计锚固力为1 200 kN,锚固角为20°,锚索长度为30 m或35 m,锚固段长度为10 m,高压灌注水泥浆,水灰比为0.4~0.6之间;挂网喷浆砼强度等级为C20,厚度为100 mm,单层钢筋网,钢筋直径为8 mm,钢筋网纵横间距均为20 cm;泄水孔孔径为110 mm,长度为30 m,间距为6 m,外倾坡度为10%,采用PVC管打孔,外裹土工布方式将坡体内水疏出,PVC管管径为90 mm,打孔孔径不小于30 mm。坡面加固自上而下逆作法施工,每次加固高度为2.5 m。

4 边坡稳定控制措施

边坡治理是事后补救措施,在矿山采矿过程中,最终边坡形成之前就应提前做好防范措施,以减弱对边坡的伤害。爆破是影响边坡稳定的主要人为因素,应采取合适的措施降低爆破震动对边坡的影响。

(1)选择合适的炸药减轻爆破震动。对于临近边坡爆破要尽可能选用低爆速、低威力的炸药。

(2)合理选择起爆方法和控制每段装药量减轻爆破震动。在一定的爆破条件下,为了减小爆破震动的影响,必须减少装药量,即炸药单耗确定后,应将这些炸药分散到数量适当的炮孔中,按适当的段差进行分段爆破,可大幅度地减轻爆破震动。因此控制每段装药量和相邻段位的延时间隔是控制爆破震动、减轻对边坡影响的最有效方法。

(3)应用控制爆破技术。采用预裂爆破、缓冲爆破、光面爆破等控制爆破技术。预裂爆破的减震效果最理想,因为预裂孔起爆后在预留区与爆破区

之间形成一定宽度的预裂缝,可有效地阻隔爆破地震波对边坡的影响,降低地震效应和对边坡岩体的破坏作用。

(4)爆破最大段药量控制。爆破地震引起岩石质点振动速度是影响边坡稳定性的重要参数。根据目前的研究成果和工程应用实例,用边坡岩体的质点振动速度作为主要指标,实测得出的振动速度衰减公式来看,最大一段爆破药量对边坡破坏作用最为直接。

5 结束语

白云鄂博铁矿D区4#滑体治理方案以削坡减载为主,通过对滑体现存状态分析,精确地确定了削坡减载部位,实施了有效的爆破、采运方案。方案实施后,D区4#滑体对采场生产的影响降到最低,满足了采矿整体规划要求,及时缓解了各生产环节矛盾,理顺了生产秩序;该方案采用的预裂爆破技术效果明显,预留岩体坡面光滑平整,半壁孔率高,坡体稳固性好;疏通的1 570 m、1 514 m、1 458 m清扫平台,更加便于机械设备及时清理坡面滚石,确保下部平台安全生产,同时也有利于建立边坡观测点,预测边坡发展状态,有利于边坡维护和治理,可适时推广至采场靠界爆破。

参 考 文 献

- [1] 王运敏. 现代采矿设计手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2012.
- [2] GB 51016—2014,非煤露天矿边坡工程技术规范[S].