某露天矿边坡稳定性分析及治理对策研究

张东亮,于 泽

(包钢勘察测绘研究院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 根据数值模拟分析,判断现阶段边坡潜在破坏区域及破坏模式,结合后续开挖过程中稳定性变形发展趋势,确定现阶段边坡需要治理区域和治理方案,然后通过数值模拟方法对治理方案进行设计及效果验证。

关键词: 露天矿高边坡; 稳定性; 数值分析; 治理

中图分类号: TD854⁺.6 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2018)01-0011-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.01.004

Stability Analysis and Study on Countermeasures of Open Pit Mine

ZHANG Dong-liang, YU Ze

(*Survey and Mapping Institute of Baotou Steel(Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: According to the numerical simulation analysis, the potential failure area and failure mode of slope at the present stage are judged. Combined with the development trend of stability deformation in the subsequent excavation, the governance area and governance scheme for the slope at the present stage are determined, and through the numerical simulation method, the governance scheme is designed and verified.

Key words: high slope of open pit mine; stability; numerical analysis; governance

某露天矿边坡E区位于矿坑西南角,坡顶标高为1 656 m,设计坑底标高为1 230 m,边坡终了高度为426 m[1]。现开采至1514 m平台,靠界边坡高度为142 m,由于该区地质条件极其复杂,目前已多处发生小规模滑坡,后经境界修改后,分别在1 514 m平台预留了宽度约20 m的安全平台和24 m宽的运输道路,在1 420 m平台设计了上下两条宽度24 m的运输通道,极大的减少该区边坡安全隐患,经计算,修改境界后的边坡整体稳定。但经现场监测,1 514 m平台以上边坡仍处于不稳定状态,文章将结合边坡现阶段稳定性分析发展情况进行1 514 m平台以上边坡治理方案设计,以确保1 514 m以上边坡稳定,满足下方靠帮生产的安全。

1 E区工程地质条件

通过现场调查断层以及主要节理产状测量和分析可知E区断层分布广泛且较为集中,是边坡稳定性的主控因素,具体见表1和图1。

2 数值模拟

2.1 基于数值模拟的稳定性分析

应用FLAC3D有限差分软件针对E区1 514 m平台以上边坡选取4个典型剖面对现开采阶段进行稳定性分析。将对潜在破坏区域从整体位移和塑性区进行分析,判断稳定性情况及破坏模式。1-1'至4-4'剖面位置见图2,各剖面剖切情况见图3。

* **收稿日期**: 2017-07-17

作者简介: 张东亮(1986-),男,内蒙古丰镇市人,工程师,现从事岩土工程设计与施工工作。

中国知网 https://www.cnki.net

表1 E区断层一览表

序号	断层编号	倾向/(°)	倾角/(°)	影响带宽度/m	断层特征描述
1	F15	220	65	20~30	靠近断层5 m范围内为糜棱岩,遇水泥化;其余部分岩石极破碎,为碎裂结构或碎屑结构断层内板岩为薄层状结构,层面平直,开挖面浅层岩体因水软化、风化及振动影响,局部崩落破坏。
2	F22	15	65	6~11	白云岩层间断层;层面平直;其影响带岩体较破碎,呈碎裂结构。
3	F23	12	75	5~10	出露于1 626 m平台;为白云岩层间断层破碎带;岩性及岩体结构与F22类似,有岩脉充填。
4	F24	160	65	30~50	断层带板岩呈片状,在1 570~1 514 m平台之间岩体极为破碎,且有明显的渗水。
5	F25	170	70	30	断层面较平直,见断层泥及岩脉充填;呈碎裂—散体结构;有岩脉充填。局部明显渗水。

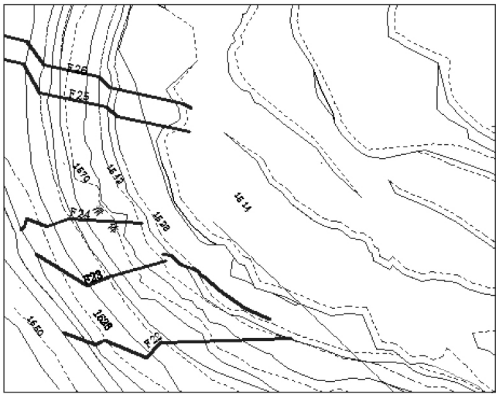


图1 E区断层分布平面图

2.1.1 整体位移量分析

图4为开挖至1 514 m平台时1-1'至4-4'剖面的整体位移量云图,从图中可以很明显的看出三个特点:①边坡位移量从坡顶至坡脚逐渐增大;②从坡体表面至内部位移量逐渐减小;③边坡下一级未开挖部分位移量较大,这是由于开挖卸荷回弹造成的。1-1'剖面可以看出断层F25破碎带在1 514~1 570 m出露位置边坡表面局部岩体整体位移量较大,向坡体内部深度整体位移量逐渐减小;2-2'剖面中断层F24破碎带在1 514~1 542 m出露位置边坡表面整体位移量较大,1 542~1 570 m平台边坡下部位置和向坡体内部深度15 mm范围内整体位移量较小;3-3'剖面中可观察到F23与F22和F15在1 514~1 542 m范围内相交汇,从整体位移量云图可见F23破碎带在1 514~1 542 m出露位置边坡向坡体内部15 m范围内整体位移量较大;4-4'剖面中揭露的F15破碎带出露位置边坡整体位移量较大[2]。

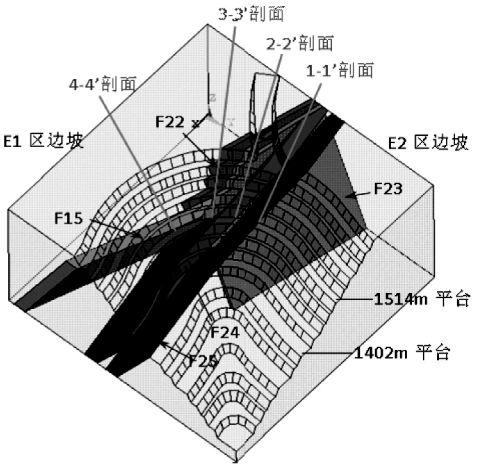
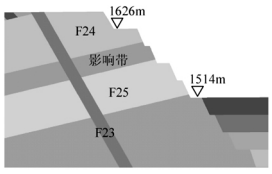
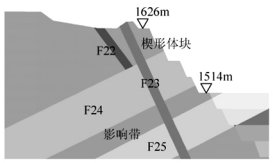


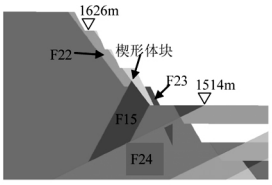
图2 1-1'至4-4'剖面位置示意图



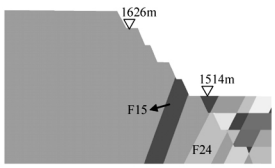
(a) 1-1'剖面示意图



(b) 2-2'剖面示意图



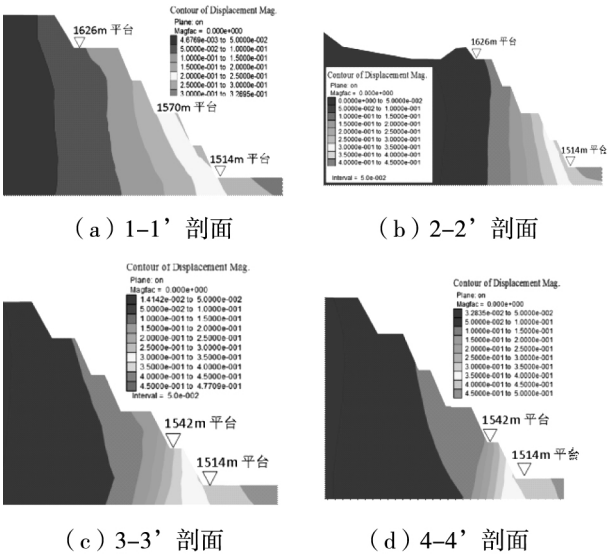
(c) 3-3'剖面示意图



(d) 4-4'剖面示意图

图3 1-1'至4-4'剖面示意图

中国知网 https://www.cnki.net



（a）1–1’剖面　（b）2–2’剖面

（c）3–3’剖面　（d）4–4’剖面

图 4　开挖至 1 514 m 各剖面整体位移云图

2.1.2　塑性区分析

将对 1 514 m 以上边坡塑性区分布情况进行分析，详见图 5 和图 6。

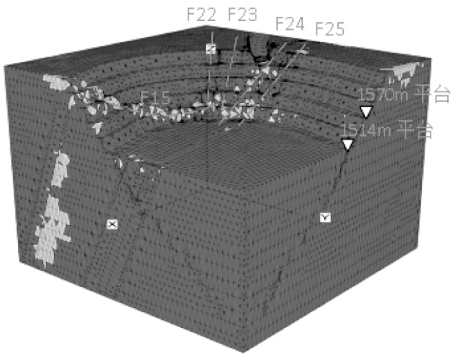


图 5　开挖至 1 514 m 整体边坡塑性区

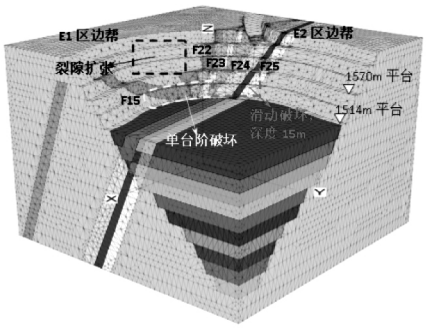
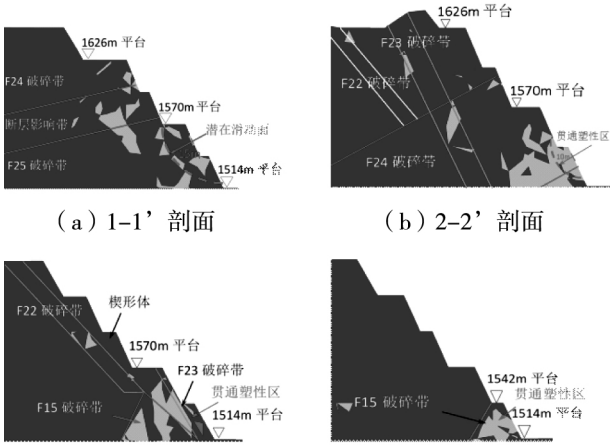


图 6　现开采阶段边坡潜在破坏区域

图 7 为的 1 514 m 平台以上边坡及 1 – 1’至 4 – 4’剖面的塑性区分布云图。可见坡表塑性区较为集中分布区域为 F24、F25 破碎带 1 514 ~ 1 598 m 段边坡出露部位，F22、F23 破碎带 1 514 ~ 1 570 m 段边坡出露部位，F15 破碎带出露部位边坡全部进入塑性区[3]。



（a）1–1’剖面　（b）2–2’剖面

（c）3–3’剖面　（d）4–4’剖面

图 7　现开采阶段边坡现状塑性区

由 1 – 1’剖面塑性区云图可见，F25 破碎带在 1 514 ~ 1 570 m平台出露位置边坡有明显的贯通趋势，塑性区贯通后将形成如图所示的潜在滑动面可能性较大。此外，1 598 ~ 1 626 m 平台边坡表面出现局部塑性区，但是与其它部位塑性区暂时无贯通趋势，说明这部分边坡出现局部破坏可能性较大，说明此时 1 – 1’剖面边坡在 1 570 ~ 1 626 m 平台出现整体滑动破坏可能性较低。

2 – 2’剖面中可见，F24 破碎带在 1 514 ~ 1 542 m平台出露位置边坡体内剪切塑性区分布密集，贯通后形成的滑动面从 1 542 ~ 1 570 m 边坡段坡脚位置附近剪入，从 1 514 ~ 1 542 m 台阶坡脚剪出。

3 – 3’剖面中，F23 破碎带在 1 514 ~ 1 542 m 出露位置边坡体内只出现了零星剪切破坏单元和张拉破坏单元，但是 F22 和 F23 所切出的楔形体和 F15 破碎带内剪切塑性区较多且连通。其潜在滑动面很有可能从 1 542 ~ 1 570 m 台阶坡脚剪入，从 1 514 m 及以下平台剪出。

4 – 4’剖面只揭露在 1 542 m 平台以下出露的 F15 破碎带，剪切塑性区主要出现在 F15 破碎带内，表明该区域边坡在 F15 破碎带出露的 1 514 ~ 1 542 m边坡发生单台阶破坏可能性较大。

中国知网　https://www.cnki.net

2.2 现开采阶段边坡潜在破坏区域

结合对E区边坡工程地质条件分析结果判断，由图7可见，现开采阶段E区1 514 m平台以上不稳定性边坡区域为F24和F25破碎带出露边坡，破坏范围为1 514～1 570 m平台，F22、F23破碎带及断层切割楔形体边坡区域，破坏范围为1 514～1 542 m平台，断层F15破碎带出露边坡在1 514～1 542 m平台边坡发生浅层破坏。

3 治理方案设计

3.1 治理方案

1#治理区域和2#治理区域Ⅰ和Ⅱ采用肋板式预应力锚索，锚索间距4 m×4 m，设计锚固力为2 240 kN，锚固角20°，锚索长度55 m、50 m相间布置，锚固长度20 m，见图8。

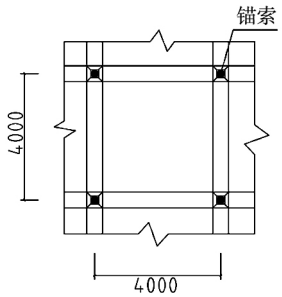


图8 1#区域与2#区域Ⅰ、Ⅱ治理方案示意图

2#治理区域区域Ⅲ和Ⅳ采用挂网锚喷进行加固，锚杆采用全长粘结锚杆，直径32 mm，间距2 m×2 m，锚固角20°，锚杆长度为15 m、12 m间隔布置，钢筋采用Φ6 mm，间距200 mm×200 mm钢筋编制，喷射C15砼，厚度15 mm，见图9。

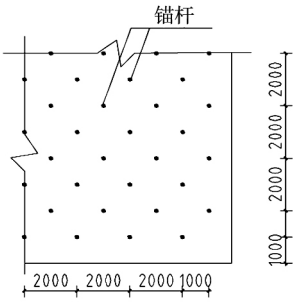


图9 2#治理区域Ⅲ、Ⅳ治理方案示意图

3.2 数值模拟验证

数值模拟验证主要通过对比加入治理方案前后开挖至1 486 m平台时1 514 m平台以上边坡塑性区分布情况，分析加固方案及时加入模型计算后塑性区在这一开挖阶段中的发展是否得到良好的控制的效果是否可靠。1#治理区域肋板式预应力锚索及2#治理区域区域Ⅲ和Ⅳ锚杆加入模型后的效果图见图10。

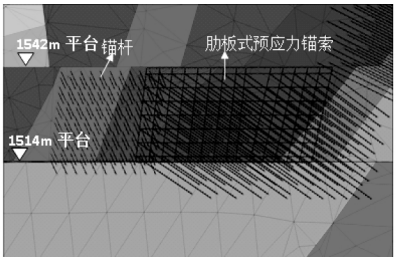


图10 三维模型治理方案效果图

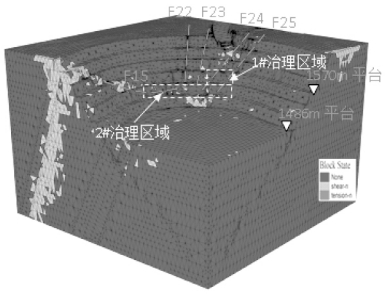
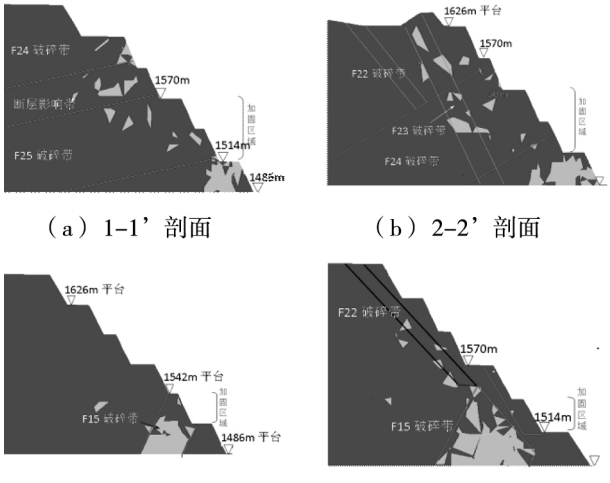


图11 整体边坡塑性区

图11、图12为对现开采阶段1 514 m以上边坡加固后开挖至1 486 m平台时边坡塑性区云图，整体边坡塑性区云图可见治理后边坡表面塑性区明显减少，只有零星分布，现结合开挖至1 486 m平台时各剖面塑性区云图来反映边坡体内部塑性区变化情况。



（a）1–1’剖面 （b）2–2’剖面

（c）3–3’剖面 （d）4–4’剖面

图12 现开采阶段加固后开挖至1 486 m塑性区云图

中国知网 https://www.cnki.net

结合加固后开挖至 1 486 m 平台的 1 -1’至 4 -4’剖面塑性区分布情况可见,由于加固模拟时在开挖后立即加入再计算达到平衡,因此可见加固区域边坡体内一定深度范围内的塑性区得到了较好的控制效果,并且比较未加固前开挖至 1 486 m 平台的塑性区云图可知,加固区域以上边坡体内塑性区的发展情况也明显减弱,说明上述治理方案不仅能够及时控制加固区域边坡体内塑性区的发展,并且还能减缓加固区域以上边坡体内塑性区的发展,从而提高整个治理区域及其以上边坡的稳定性。

4　结论

根据数值模拟分析,对现开采阶段1 514 m以上平台边坡稳定性发展情况进行分析和计算; 并以开挖至 1 486 m 平台时的潜在破坏区和稳定性情况作为依据,结合工程地质特征,进行了现开采阶段 1 514 m平台以上边坡治理方案设计; 采用数值模拟手段进行了治理方案的效果验证。

(1) 经过对现开采阶段 E 区 1 514 m 平台以上边坡稳定性分析及基于塑性区的极限平衡稳定性计算判断此阶段主要潜在破坏区域为 F24 和 F25 破碎带 1 514 ~1570 m 平台出露边坡,发生圆弧滑动破坏,潜在滑动面深度约为 15 m,F15、F22 和 F23 破碎带 1 514 ~1 542 m边坡区域,主要发生单台阶破坏,E 区 F15 破碎带 1 542 m 以上局部边坡由于下伏软弱基座影响存在发生张拉破坏可能。

(2) 结合稳定性分析结果和工程地质特征确定治理方案为 F22、F23 以及 F15 主要针对 1 514 ~ 1 542 m平台边坡浅层支护治理采用挂网锚喷支护,锚杆平均长度不低于 15 m,F24 和 F25 破碎带及影响带在 1 514 ~1570 m 平台出露部位采用肋板式预应力锚索支护,锚索长度不少于 50 m。

(3) 采用数值模拟方法对加固效果进行验证可知针对现开采阶段边坡 1# 和 2# 治理区域的治理方案不仅能够满足现阶段边坡稳定性要求,而且能够有效的控制治理区域边坡体内部塑性区在开挖至 1 486 m平台的发展,提高整个治理区域及其以上边坡的稳定性。

参　考　文　献

[1] 姬志勇,汪为平. 白云鄂博铁矿主矿采场边帮安全稳定性研究 [J]. 金属矿山,2013,446(8) : 131 -140.

[2] 江学良. 边坡动态施工的有限元模拟与稳定性评价究 [D]. 湖南: 中南大学,2004.

[3] 黄润秋. 边坡治理工程的数值模拟研究 [J]. 地质灾害与环境保护,1996,7(1) : 69 -76.

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.01.005

欢迎订阅《包钢科技》杂志

邮发代号: 16 -151　　定价: 90 元/年

地　　址: 内蒙古包头市昆区河西工业园区包钢技术中心《包钢科技》编辑部

邮　　编: 014010

联系电话: 0472 -2186065　　0472 -2183081

联 系 人: 康晓虹

《包钢科技》编辑部

中国知网　https://www.cnki.net