首钢水厂铁矿滑坡体治理

邓敢平
(首钢矿业公司)

摘 要 以首钢水厂铁矿为例,应用极限平衡法计算了边坡在采取锚固措施前后整体、局部的稳定性,分析了滑动面的剩余滑动力以及锚杆、锚索的承载力,对边坡的加固方式进行了优化对比,确定了框格梁、锚索、锚杆混合交叉的新型加固方式。计算结果表明:未采取加固措施前,边坡安全系数低于规范值,边坡局部、整体均处于不稳定状态,破坏模式主要以滑移破坏为主;采取锚固加固措施后,稳定性增强,安全系数满足规范要求,安全储备充足,边坡处于稳定状态,显示了新型加固方式的合理性、科学性,为以后类似边坡加固治理提供了新思路。

关键词 边坡稳定性 安全系数 加固方式

水厂铁矿是一座大型火山沉积变质岩型磁铁矿床,具有矿石储量大、品位高、埋藏浅、便于露天开采的特征,采场边坡最高标高 310 m,最低开采标高 -440 m,封闭圈标高 80 m,台阶高度在标高 190 m 以上和 10 m 以下为 15 m,190 ~ 10 m 为 12 m(其中 152 ~ 166 m 为 14 m、34 ~ 44 m 为 10 m),总体边坡角为 41° ~ 46°,台阶坡面角岩质边坡 75°(终了时 65°),虚方土坡面角 38°。2016 年,皮带架子外侧边坡在 -20 m 水平按设计采装到界的过程中发生顺层滑坡,导致北采场上盘 K2 路基 59# ~ 89# 皮带架子的路基宽度由设计的 8 m 变窄为 5 ~ 7 m,其中:72# ~ 89# 皮带架子西侧水泥基础、走台呈悬空状态;89# ~ 132#、75# ~ 32# 架子水泥基础与走台衔接处以及 10 m 转运站内侧平台、-20 m 泵房水盒栏杆处间断发育多条长、宽不等的裂纹,一处裂纹长 35 m、二处裂纹长 14 m、三处裂纹长 3 m,宽度、深度 0.5 ~ 5 cm。滑坡区域走向长度 135 m、宽度 1 ~ 3 m、段高 20 ~ 28 m。滑坡严重损坏了 K2 皮带系统的安全运行,给安全生产带来严重威胁,为此,对边坡的稳定性与安全性进行了探讨,采用一种新的边坡加固方式,即框格梁、锚索、锚杆混合交叉加固方式,并取得了较好的加固效果,为类似工程的加固治理提供借鉴。

1 边坡稳定性计算

1.1 强度指标选取

岩石抗剪强度指标主要通过室内变角度直剪或三轴抗压试验求得,C、ϕ 值必须经过工程处理后才能用于工程实践,其取值见表 1。

表 1 岩石力学计算参数的选取

岩性	节理面粗糙类型	粗糙度系数 JRC	节理壁抗压强度 J_{Cs}/MPa	残余摩擦角 ϕ_r/(°)	计算峰值摩擦角 ϕ_p/(°)
混合花岗岩	①③④⑤	9.4	55.8	30.0	33.6
片麻岩	①②③	5.5	44.1	28.9	31.3
混合片麻岩	③④⑤⑥⑦	13.8	21.7	32.0	39.5
混合花岗岩	⑥⑦⑨	16.3	76.4	35.0	40.2
片麻岩	③④⑤	8.8	40.2	26.7	29.7
混合花岗岩	②③④⑤	7.9	42.9	29.8	31.9

1.2 Morgenstern-Price 法计算原理

摩根斯坦(Morgenstern)和普莱斯(Price)将条块分的很细,宽度为 dx,根据微条块的力平衡关系建立微分方程。坡面线 $y=z(x)$ 是已知的,滑面线 $y=y(x)$ 为任意形状,不一定是圆弧,推力线为 $y=h(x)$。由图 1 所示坐标系,条块上的作用力及力的作用位置建立力学平衡方程。

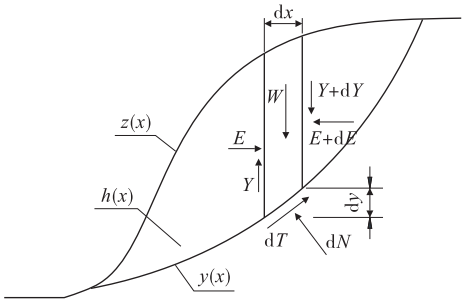

图 1 M-P 法计算原理

邓敢平(1970—),科长,高级工程师,硕士,064404 河北省唐山市迁安市。

万方数据

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m_{ai}} \{C_i b_i + [W_i - U_i b_i + (X_i - X_{i+1})] \tan\phi_i\}}{\sum_{i=1}^{n} [W_i \sin\alpha_i + K_{ci} \frac{e_i}{R}]}, \quad (1)$$

$$m_{ai} = \cos\alpha_i + \frac{\tan\phi_i \sin\alpha_i}{F_s}, \quad (2)$$

式中,E_i、X_i 分别为法向及切向条间力;W_i 为条块自重;K_{ci}为水平地震作用力;C_i、ϕ_i 分别为材料的有效黏结力和内摩擦角。

1.3　稳定性计算结果

根据现场地质条件和钻孔资料,将整个采场境界分为 6 个区,选取某个区最危险滑动面[1]进行边坡稳定性计算,结果如表 2 所示。边坡整体、局部剖面见图 2、图 3。

表 2　现状条件下坡稳定性分析结果

台阶	计算工况	高度/m	安全系数 F_s	[F]=1.30 时剩余下滑力/(kN/m)
局部	现状-无水无震	90	1.156	1 659.4
	现状-地震工况	90	1.102	2 146.6
整体	无水无震	195	1.167	5 398.8
	地震工况	195	1.081	4 683.5

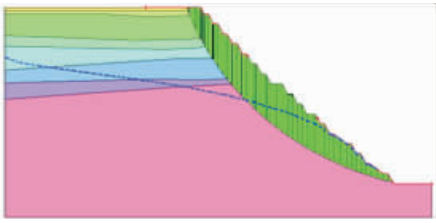

图 2　剖面整体滑动面(Morgenstern-Price 法)

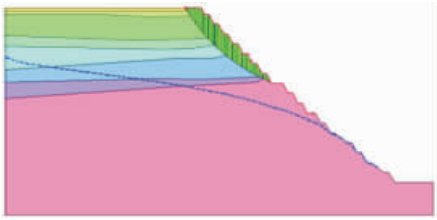

图 3　剖面局部滑动面(Morgenstern-Price 法)

从计算结果可以看出,现状边坡在无震与有震情况下处于不稳定状态,整体与局部台阶边坡最低安全系数[2]为 1.081,1.102,剩余滑动力分别为 468.3,214.6 t,边坡安全储备不足。依据现场对边坡的调查,平台面存在大小不一的裂缝,且有发展的趋势,与计算结果符合,故需对其边坡加固。

2　边坡加固

为提高边坡整体稳定性,采取预应力锚索(锚杆)+横竖梁+喷锚网方式加固。

2.1　预应力锚索、锚杆[3]

边坡稳定性计算结果显示,当[F]=1.30 时,边坡尚有剩余下滑力,由于空间限制,采用锚杆和锚索平衡该部分剩余下滑力。

2.1.1　锚索设计

拟采用 ϕj15(7ϕ5)钢绞线,其标准强度 1 720 N/mm^2,设计强度 1 220 N/mm^2,每根锚索的极限承载力为

$$P_1 = nS[\sigma] = 1\,416\ \text{kN}(8 \times \phi\text{j}15), \quad (3)$$

式中,n 为钢绞线根数,根;S 为每束钢绞线折算面积,mm^2;[σ]为每束钢绞线设计强度,N/mm^2。

2.1.2　砂浆与锚索间的握裹力

本次设计按 M30 砂浆考虑计算,单根锚索的极限握裹力为

$$P_2 = \pi d L_e \tau_2 = 2\,414\ \text{kN}(8 \times \phi\text{j}15), \quad (4)$$

式中,L_e 为锚索有效锚固段长度,L_e=8 m;d 为锚索换算直径,m;τ_2 为钢绞线与砂浆间抗剪强度,MPa;τ 取 0.8 MPa。

2.1.3　砂浆同孔壁摩阻力 P_3

$$P_3 = \pi D L_e \tau_3 = 1\,506\ \text{kN}, \quad (5)$$

式中,D 为钻孔直径,D=130 mm;τ_3 为砂浆与孔壁的黏聚力,MPa。

根据相关锚固规范,锚索(杆)安全储备取 K=2,一般来说,P_1,P_2 不控制锚索设计,只起校核作用,锚索与孔壁的摩阻力 P_3 为三者中最小,因此取 P_3 进行锚索设计,单根锚索可提供的锚固力为 P'=753 kN(8×ϕj15)。

2.1.4　抗滑阻力

按 P=750 kN 计算,则有

$$F_p = P_n \tan\phi + P_t = 843.15\ \text{kN}, \quad (6)$$

式中,P_n 为锚固力沿滑面的法向分量,kN;P_t 为锚固力沿滑面方向分量,kN;ϕ 为底角出口处岩体的内摩擦角,取 28°。

为安全考虑,将这部分增量作为安全储备,仍取单根锚索 750 kN 滑面方向的抗力进行设计。

在加固区内共布置 138 根锚索,水平间距 3 m,长度 16~22 m,钻孔孔径 130 mm。锚索上安装导正架,采用预应力锚索,孔底注浆,材料为 M30 砂浆。

2.2　锚杆设计[4]

根据边坡岩体完整性、节理构造发育和节理产状,采用水泥砂浆全长黏结型锚杆对边坡岩体进行加固。锚杆杆体采用 2 根 ϕ32 mm 螺纹钢焊接,锚

万方数据

杆上焊接导正架,采用全长黏结性锚杆,孔内注浆,材料为 M30 水泥砂浆,锚杆钻孔孔径≮90 mm,按 3 m×4 m 间距布置。

2.3 喷锚网

封闭边坡岩体表面,喷锚网内的钢筋与挂网锚杆焊接,形成整体支护效果。

在加固区范围内,可根据现场实际条件实施局部喷锚网护坡,采用 ϕ6.5 mm 圆钢,钢筋网 200 mm×200 mm,挂网锚杆选用 ϕ18 mm 螺纹钢,长度 2 m 和 4 m 交错布置,锚杆网度 2 m×2 m,钻孔孔径 42 mm,黏结剂为 1∶1 水泥浆,喷射混凝土为 C20,厚度 100 mm,在网喷坡面上设置导水孔,采用 ϕ60 mmPVC 管,网度 2 m×2 m,长度 0.20 m。

2.4 横、竖梁

为了增强边坡的整体性,使坡面受力均匀,同时达到长锚杆、锚索共同受力的目的,设置纵横连续梁,竖梁水平间距为 3 m,横梁排距根据锚杆、锚索排距而定。横竖梁采用 C30 现浇混凝土。

2.5 边坡加固效果

边坡采取框格加固措施以后,安全系数有了大幅提高,边坡稳定性安全系数提高了 13.75% ~ 33.09%,达到 1.3 以上,满足相应规范要求,边坡安全储备充足,其稳定性分析结果见表 3。

表 3 边坡稳定性分析结果

台阶	计算工况	高度/m	安全系数 F_s
局部	现状-无水无震	90	1.367
	现状-地震工况	90	1.310
整体	无水无震	195	1.359
	地震工况	195	1.322

2.6 边坡加固注意事项

由于水厂铁矿边坡坡面岩体节理构造发育[5],结构复杂,在采场爆破振动等综合因素影响下,容易在施工过程中产生一系列安全问题,为此,需采取一些安全措施来保证生产中的安全:①作业前要对周围环境、作业条件全面检查,确认安全后方可作业,不得冒险作业,施工作业过程中要随时观察、确认工作环境变化,发现边坡掉块、裂纹、崩塌、滑坡等迹象时,立即停止作业、撤离危险区域;②施工人员在脚手架上高空作业时,必须正确佩戴安全帽和安全带等劳保防护用品;③按规定处理好基层,内排柱距离构筑物不得大于 200 mm。

3 结 论

(1)未采取加固措施前,首钢水厂铁矿边坡安全系数均低于 1.15,安全储备不足,处于不稳定状态,主要以滑移破坏方式为主。

(2)通过确定滑动面的剩余滑动力以及锚杆、锚索的承载力,对边坡加固方式进行了优化分析,确定了框格梁、锚索、锚杆混合交叉的新型加固方式。结果显示,整体作用明显,加固效果较优,边坡稳定性增强,安全系数满足规范要求,安全储备充足,显示了新型加固方式的合理性、科学性。

(3)在工程实施中应注意施工安全,做好施工预案,加强雨季来临时边坡施工监测;做好施工中各项工序的检查工作,确保工程施工时边坡安全稳定。

参 考 文 献

[1] 赵尚毅,郑颖人,时卫民,等. 用有限元强度折减法求边坡稳定安全系数[J]. 岩土工程学报,2002,24(3):343-346.

[2] 赵尚毅,郑颖人,张玉芳. 有限元强度折减法中边坡失稳的判据探讨[J]. 岩土力学,2005,26(2):332-336.

[3] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京:人民交通出版社,2007.

[4] 连镇营,韩国城,孔宪京. 强度折减有限元法研究开挖边破的稳定性[J]. 岩土工程学报,2001,23(4):407-411.

[5] 郑颖人,赵尚毅. 边(滑)坡工程设计中安全系数的讨论[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(9):1937-1940.

(收稿日期 2016-06-27)

(上接第 210 页)

(2)水力冲孔钻孔封孔深度不得小于 10 m,2306 底抽巷冲孔后,实测瓦斯抽采纯量提高了 2 ~ 3 倍,钻孔抽放半径增加了 4 m 左右。

(3)从 2306 机巷煤巷掘进期间各项指标的效果检验来看,钻屑量 S_{max} < 2.5 kg/m,瓦斯涌出初速度 q_{max} < 1.5 L/min,回风流瓦斯浓度不超过 0.30%,均小于相应临界值。

参 考 文 献

[1] 李学来,刘见中. 瓦斯灾害治理新技术[J]. 中国安全科学学报,2004(7):101-104.

[2] 姚尚文. 高瓦斯低透气性煤层强化增透抽放瓦斯技术研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2005.

[3] 刘明举,孔留安,郝富昌,等. 水力冲孔技术在严重突出煤层中的应用[J]. 煤炭学报,2005,30(4):451-454.

[4] 周世宁,林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论[M]. 北京:煤炭工业出版社,1997.

(收稿日期 2016-06-23)

万方数据