

基于 CSMR 的露天坑尾矿库水位设计研究

张立博¹, 秦哲¹, 付厚利², 申科¹, 王强¹

(1. 山东科技大学, 山东省土木工程防灾减灾重点实验室, 山东青岛 266590;

2. 临沂大学, 土木工程与建筑学院, 山东临沂 276000)

[摘要]以山东三山岛仓上金矿露天坑尾矿库为研究对象,在高陡岩质边坡 CSMR 评分基础上,通过岩石力学饱水实验,对岩石力学参数进行弱化,对尾矿库边坡四个典型剖面处边坡在无水、-100m 水位、-50m 水位和 -40m 水位下的 CSMR 动态评分,将 487 和 503 剖面动态 CSMR 评分与矿坑库水位之间的关系进行指数函数拟合,研究其评分和矿坑库水位之间的动态关系。结果表明:边坡 RMR 值降低,直接致使 CSMR 值的降低;487 和 503 剖面的 CSMR 评分相较于 483 和 507 对于水位的上升更为敏感,且 487 和 503 剖面在水位的上升过程中,CSMR 评分率先跌破 40 分,使边坡处于不稳定状态;库水位在 -48.302m 时,边坡 487 和 503 剖面发生小规模滑动,与 CSMR 评分结果一致;边坡在当前 -47.643m 库水位工况下具有一定的安全性,并据此推算边坡的临界库水位在 -42.37m ~ -40.62m 之间。通过对露天矿坑库水位临界值的研究,为矿坑边坡的安全稳定性提供有力依据。

[关键词] 露天矿坑 CSMR 动态评价 岩质边坡 尾矿库 仓上金矿 三山岛 山东

[中图分类号] TU457 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2018)04-07

Zhang Li-bo, Qin Zhe, Fu Hou-li, Shen Ke, Wang Qiang. Water - level design of tailings dams at open pits based on CSMR[J]. Geology and Exploration, 2018, 54(4): 0817-0823.

0 引言

露天矿坑开采完成后形成高陡岩质边坡,由于风化以及降雨、地下水渗流等作用,对边坡岩体力学参数产生弱化作用,矿坑水位的持续升高,使边坡内的浸润线升高,边坡岩土体的下滑力增加,对边坡稳定性产生影响(石豫川等,2005;李秀珍等,2010;邹浩,2016)。

针对 CSMR 评分体系,国内学者做了大量研究,主要集中在对 CSMR 评分体系的应用和改进方面。张文杰等(2005)以锦屏水电站边坡为研究对象,在结构面连通率的基础上,引入结构面修正系数,实现对 CSMR 分类修正;曹平等(2015)针对露天开采过程中的开采频率以及周期,引入时间影响参数对 CSMR 进行修正,并且通过实例验证分析,提高分级适用性;董申家等(2013)通过建立桥基边坡稳定性模糊逻辑推理系统,运用 CSMR 评价方法对岩质边坡稳定性进行评价,与有限元软件计算结果相比较,误差相差基本吻合,发现将模糊集理论与 CSMR 评

价方法相结合,是评价桥基边坡稳定性的一种有效方法;张元才等(2010)以高寒高海拔地区的天山公路边坡为研究对象,在 CSMR 评价的基础上引入冻融系数,建立适用于天山公路的边坡岩体质量 TSMR 评价体系;胡政等(2016)通过室内试验,研究砂岩在卸荷过程中岩样的强度及变形参数发生劣化,提出考虑开挖方式、边坡形态及卸荷损伤的边坡卸荷岩体的评价体系 USMR 法;张菊连等(2011)以水电边坡为对象,分析影响边坡稳定性的 8 个因素,运用多元线性回归探索影响因素和边坡岩体稳定性之间的关系,建立边坡岩体稳定性 SRSC 分级系统;李云等(2012)将模糊推理系统与 CSMR 岩质边坡稳定性综合评价方法相结合形成 FCSMR 评价方法,将此方法评价大朝山水电站进水口边坡稳定性。

CSMR 评价体系提出后,评分系统不断优化,但仅是在水位固定情况下评价分析,未考虑库水位上升情况下的边坡动态安全性变化。结合《三山岛金矿仓上露天坑尾矿库边坡安全状态监测、分析及预

[收稿日期] 2017-10-09; [改回日期] 2017-12-18; [责任编辑] 吴磊。

[第一作者] 张立博(1992年-),男,硕士研究生,主要从事岩石力学及边坡稳定性分析等方面研究。E-mail: zhanglibo91@163.com。

[通讯作者] 付厚利(1966年-),男,教授,博士生导师,主要从事矿山及城市地下空间工程等方面研究。E-mail: fuhouli6619@sina.com。

警技术开发与应用研究》科研项目,在 CSMR 评分的基础上,对不同库水位作用下矿坑北帮边坡进行岩体质量分级,拟合库水位同 CSMR 评分函数关系并设计临界水位,以期矿坑边坡的安全稳定性提供有力依据。

1 CSMR 原理及方法

CSMR 评价体系是在经典 SMR 评分体系的基础上考虑边坡高度和结构面条件等因素改善而来,在国内涉水的高陡岩质边坡中应用广泛(程力,2012;郑文棠,2013;吴浩,2015),其计算公式如(1)所示。

$$CSMR = \xi RMR - \lambda F_1 F_2 F_3 + F_4 \tag{1}$$

式中, F_1 为边坡中不连续面倾向与边坡倾向间关系调整值; F_2 为不连续面倾角大小调整值; F_3 为边坡中不连续面倾角与边坡倾角间的关系调整值; F_4 为通过工程实践经验获得的边坡开挖调整参数; ξ 表示边坡的高度修正系数,可根据式(2)进行取值; λ 表示边坡中结构面的条件系数,可据表 1 取值。

$$\xi = 0.57 + \frac{0.43}{\zeta} \tag{2}$$

式中, $\zeta = H/H_0$; H 为边坡高度,单位 m; H_0 取 80m。

表 1 λ 取值表
Table 1 Values of λ

结构面条件	断层、夹泥层	层面	节理面
λ	1.0	0.8~0.9	0.7

2 工程地质概况

山东莱州仓上金矿露天开采,矿坑最高点海拔

4m,最低点坑底海拔 -193m,矿坑平均坡角 47°,基岩边坡总体坡角 50°,属于高陡顺层岩质边坡。矿区开采过程中的正常涌水量为 7786m³/d,采用泵机排水,雨期最大 7d 降水量和涌水量之和为 91074m³。2005 年闭坑,停采后关停排水泵机,没有采取相应防渗措施,任由降雨、地下水渗流以及地表径流使其自由蓄水,库水位稳定在 -90m 左右。2013 年作为三山岛选矿厂尾矿库使用,开始向坑内排放选矿尾砂,随着坑内矿渣的不断堆积,导致矿坑水位不断上升,已成为影响矿坑边坡安全的重要因素,边坡稳定性问题日益凸显,需要采用合理的方法确定安全水位临界点。三山岛金矿仓上露天坑尾矿库卫星图如图 1 所示。



图 1 库区周边环境卫星图
Fig.1 Satellite image of the surrounding environment of the reservoir area

通过现场岩石取样,进行室内单轴、三轴和饱水试验确定尾矿库边坡岩体在正常状态和饱水状态下的岩石力学参数,如表 2、表 3 所示。

表 2 自然状态岩石力学参数
Table 2 Rock mechanic parameters of natural state

岩性	容重 (kN/m³)	弹性模量 (GPa)	泊松比	内粘聚力 (MPa)	内摩擦角 (°)
第四系 Q	19.2	0.190	0.18	0.21	0.04
混合岩化斜长角闪质破碎岩 SHOγJH	25.2	16.75	0.212	16.99	37.12
黄铁绢英质碎裂岩 SJH	23.5	16.66	0.236	9.59	42.98
黄铁绢英岩化花岗质破碎岩 SγJH	24.6	10.5	0.282	3.912	50
黄铁绢英岩化花岗岩 γJH	25.0	15.24	0.224	13.346	40
花岗岩 γ	26.8	16.39	0.211	15.21	39.10

表 3 饱水状态岩石力学参数
Table 3 Rock mechanic parameters of saturated state

岩性	容重 (kN/m^3)	弹性模量 (GPa)	泊松比	内聚力 (MPa)	内摩擦角 ($^\circ$)
第四系 Q	19.2	0.190	0.18	0.21	0.04
混合岩化斜长角闪质破碎岩 SHO γ JH	25.2	15.2	0.214	16.99	37.12
黄铁绢英质碎裂岩 SJH	23.5	12.04	0.234	9.59	42.98
黄铁绢英岩化花岗质破碎岩 S γ JH	24.6	6.75	0.292	15.21	39.10
黄铁绢英岩化花岗岩 γ JH	25.0	12.02	0.226	3.13	47.89
花岗岩 γ	26.8	12.33	0.214	12.393	38.31

3 仓上露天矿坑北侧高陡岩质边坡动态 CSMR 评分

为了实现对露天坑尾矿库岩质边坡在不同水位下的 CSMR 动态评分,首先根据所研究区域边坡地质构造与岩体结构的不同特征,将其分成若干个区段,同一区段内岩石的结构类型应当大致相同,每个区段选择一个有代表性的断面进行研究(张登等,2014);其次,根据工程地质勘察及现场测量和室内试验等确定各个区段内岩石及结构面进行 CSMR 评分所需的参数,在此基础上进行边坡安全性的动态 CSMR 评分。根据现场实际的情况,矿坑南侧边坡稳定,北侧边坡多处出现小型的滑坡现象,因此选取

北侧边坡最不稳定的 483、487、503、507 剖面作为 CSMR 评分对象。

3.1 不同水位下的边坡 CSMR 动态评分

为充分考虑水位上升对矿坑边坡安全评价的影响,对上述 4 个剖面处的边坡都将进行无水、-100m 水位、-50m 水位和 -35m 水位 4 种工况下的动态 CSMR 评分。

(1) 无水工况下的边坡 CSMR 评分

在露天矿在闭坑后的 1 年内,矿坑底部还未出现大范围的积水,边坡岩体还未受到水的劣化影响,边坡高度主要是由矿坑深度所决定,所以高度修正系数可根据公式(2)的方法进行计算,其中边坡高度 H 取为 200m,其结果见表 4 所示。

表 4 无水工况下边坡高度修正系数计算结果
Table 4 Calculation results of slope height correction coefficients under anhydrous condition

边坡剖面编号	边坡高度(m)	ζ	高度修正系数 ξ
483	174	2.175	0.768
487	168	2.100	0.775
503	125	1.563	0.845
507	121	1.513	0.854

由于在矿坑的开挖过程中均采用预裂爆破与光面爆破相结合的方法, F_4 的取值都为 9。无水工况

下边坡 CSMR 评分结果如表 5 所示。

从表 5 中得出,在无水条件下 4 个剖面的边坡

表 5 无水工况下边坡 CSMR 评分
Table 5 CSMR scores of slope under anhydrous condition

剖面编号	高度修正系数 ξ	RMR	结构面条件系数 λ	F_1	F_2	F_3	F_4	CSMR
483	0.768	82	0.8	0.4	0.85	0	9	71.98
487	0.775	72	1	0.15	0.7	5	9	64.28
503	0.845	74	1	0.15	0.85	5	9	70.89
507	0.854	76	0.8	0.15	1	5	9	73.30

CSMR 评分均超过 60 分,处于较为稳定状态。但 487 与 503 剖面的评分要低于 483 与 507 剖面,这主要是由于后者蚀变带的分布范围要广于前者所致。

(2) -100m 水位工况下的边坡 CSMR 评分

-100m 水位是矿坑从无水到有水状态的质变,在地下水渗流作用影响下,边坡的浸润线有所提高,致使部分边坡岩体力学性质受到水的弱化作用,使岩体的 RMR 评分受到影响。该工况下的边坡 CSMR 评分结果见下表 6 所示。

表 6 -100m 水位工况下边坡 CSMR 评分
Table 6 CSMR scores of slope under -100m water level

剖面 编号	高度 修正 系数 ξ	RMR	结构 面条件 系数 λ	F_1	F_2	F_3	F_4	CSMR
483	0.768	75	0.8	0.4	0.85	0	9	66.60
487	0.775	64	1	0.15	0.7	5	9	58.08
503	0.845	61	1	0.15	0.85	5	9	59.91
507	0.854	70	0.8	0.15	1	5	9	68.18

对比表 5、表 6 结果可以看出,4 个剖面在 -100m 水位工况下相较于无水状态的 CSMR 评分均有显著下降,尤其是 487 和 503 剖面,其评分已低于 60 分,属于Ⅲ类边坡(部分稳定边坡),若没有两侧 483 和 507 剖面处于稳定状态的包夹作用,边坡可能会失稳下滑,应采取适当的加固措施。

(3) -50m 水位工况下的边坡 CSMR 评分

截止到 2017 年 8 月 28 日矿坑水位达到 -47.643m,为了对当前矿坑边坡的安全性进行研究,特选取 -50m 水位的工况进行分析。和 -100m 水位的工况相比,边坡浸润线上升,受到饱水作用岩体劣化增加,边坡整体稳定性显著降低(表 7)。

表 7 -50m 水位工况下边坡 CSMR 评分
Table 7 CSMR scores of slope under -50m water level

剖面 编号	高度 修正 系数 ξ	RMR	结构 面条件 系数 λ	F_1	F_2	F_3	F_4	CSMR
483	0.768	68	0.8	0.4	0.85	0	9	61.22
487	0.775	55	1	0.15	0.7	5	9	51.10
503	0.845	52	1	0.15	0.85	5	9	52.30
507	0.854	62	0.8	0.15	1	5	9	61.35

从表 7 中可以看出,在 -50m 水位工况下,选取的 4 个边坡剖面其 CSMR 的评分都处于 40~60 之间,属于Ⅲ类部分稳定边坡,说明随着水位的上升,边坡已经接近边坡安全的临界点。

通过 CSMR 动态评分得出,边坡在现在的库水位状态时处于部分稳定的状态,这与实际的监测结果想吻合,矿坑北帮边坡在库水位为 -48.302m 时,487 和 503 剖面出现了小规模滑坡,现场实际情况如图 2 所示。

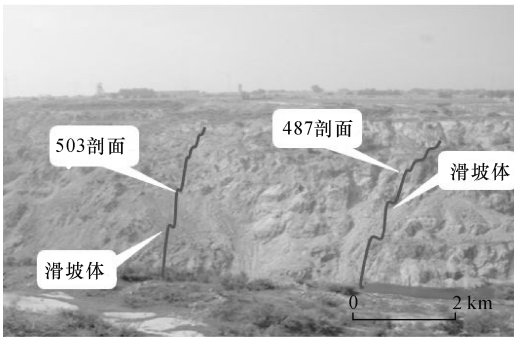


图 2 矿坑现场滑坡图
Fig. 2 Landslide at a pit

(4) -40m 水位工况下的边坡 CSMR 评分
为了继续探索边坡的水位安全临界点,设置

-40m 水位的工况对边坡进行 CSMR 评分(表 8),
利用插值法获得边坡的水位安全临界点。

表 8 -40m 水位工况下边坡 CSMR 评分
Table 8 CSMR scores of slope under -40m water level

剖面 编号	高度 修正 系数 ξ	RMR	结构 面条件 系数 λ	F_1	F_2	F_3	F_4	CSMR
483	0.768	53	0.8	0.4	0.85	0	9	49.70
487	0.775	40	1	0.15	0.7	5	9	39.48
503	0.845	37	1	0.15	0.85	5	9	39.63
507	0.854	48	0.8	0.15	1	5	9	49.39

由表 8 可以看出,在 -40m 水位的工况下,487 和 503 剖面的评分已低于 40 分,而 483 和 507 剖面也已低于 50 分,说明该工况下的边坡已处于失稳状态,故应在该水位前就应当采取必要措施以控制水位上升。

3.2 安全水位临界点的确定

从表 5 到表 8 中的评分中得到,RMR 值的降低直接导致 CSMR 评分的降低,说明矿坑水位的上升对于边坡安全的影响主要是由于饱水作用对于边坡岩体及其内部结构面力学性质的弱化。边坡

在 -47.643m 水位工况下,处于稳定与部分稳定之间的状态,但为安全起见,该工况下应加密对其关键部位的监测频率。

为了从边坡动态 CSMR 评分中找出边坡安全水位临界点,根据前述 4 种工况下边坡 4 个剖面的评分状况,挑选出对于水位变化较为敏感且评分率先低于 40 分的 487 和 503 剖面进行分析。通过对其动态 CSMR 评分随矿坑水位上升的衰减规律(图 3),设计出安全水位的临界点。

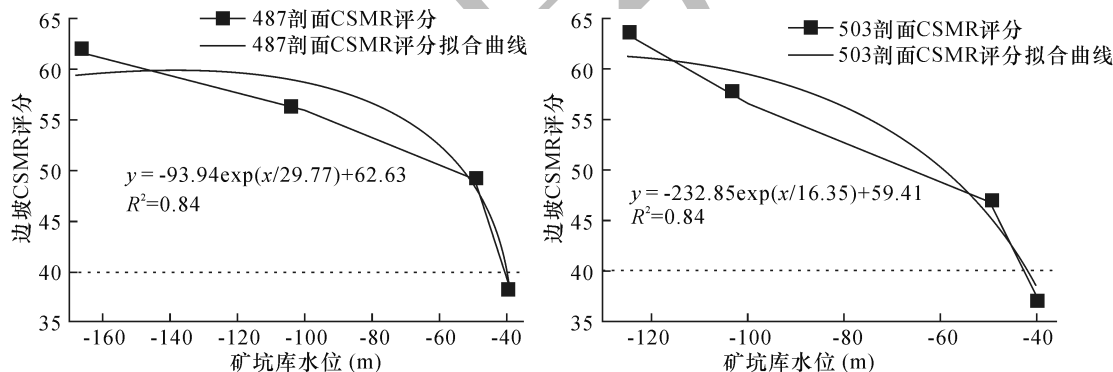


图 3 边坡动态 CSMR 评分随矿坑水位上升变化规律

Fig.3 CSMR scores of slope dynamics changing with rise of water level in the pit

从图 3 中可以得出,边坡的 CSMR 评分随矿坑水位的升高不断下降。按照边坡稳定评价的界定,对 487、503 剖面的评分曲线用指数函数来拟合,画一条 CSMR 值等于 40 的直线,其与拟合曲线交点所对应的矿坑水位值即为该断面下边坡的安全水位临界点,该临界点也可以由拟合函数令 $y=40$ 求解方程获得。

(1) 求解 $40 = -232.85\exp(x/16.35) + 59.41$ 得, $x = -40.62\text{m}$, 即 487 剖面的安全水位临界点为 -40.62m。

(2) 求解 $40 = -93.94\exp(x/29.77) + 62.63$

得, $x = -42.37\text{m}$, 即 503 剖面的安全水位临界点为 -42.37m。

由于实际工程充满着各种不确定性因素,显然将边坡临界水位限定在某一个区间内是比较切合实际的。因此根据上述求解结果,将三山岛金矿仓上露天坑尾矿库边坡的安全临界水位限定于 -42.37m ~ -40.62m 之间较为合理。

4 结论

(1) 矿坑 483、487、503、507 四个边坡剖面在无

水条件、-100m 水位、-50m 水位和 -40m 水位 4 种工况下的动态 CSMR 评分表明,随着水位的上升,导致边坡岩体、结构面受到水的弱化作用,使边坡的 RMR 值降低,最终导致 CSMR 值的降低;

(2)487 和 503 剖面的 CSMR 评分相较于 483 和 507 对于水位的上升更为敏感,且 487 和 503 剖面在 -40m 水位的工况下,CSMR 评分率先跌破 40 分,使边坡处于不稳定状态;

(3)通过现场监测发现,库水位在 -48.302 时,边坡的 487 和 503 剖面边坡出现了小规模滑动,这与 CSMR 动态评分所确定边坡处于稳定与部分稳定的状态相适应,同时也证明了 CSMR 评分对边坡的实用性;

(4)将 487 和 503 剖面动态 CSMR 评分随矿坑库水位上升的变化曲线进行指数函数拟合,并求得 CSMR 评分为 40 分时所对应的库水位,并最终将三山岛金矿仓上露天坑尾矿库边坡的安全临界水位限定于 -42.37m ~ -40.62m 之间较为合理。

[References]

- Cao Ping, Liu Di-xu. 2015. Application of improved CSMR method in open pit slope [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 37(8): 1544 - 1548 (in Chinese with English abstract)
- Cheng Li. 2012. Stability analysis of excavation slope of open pit mine and Study on safety distance of dumping site [D]. Changsha: Central South University: 1 - 98 (in Chinese with English abstract)
- Hu Zheng, Liu You-rong, Wang Ping-yi, Tian Mao-zhong. 2016. The macro mechanical parameters of slope rock mass based on excavation and unloading deterioration USMR analysis, evaluation method and verification [J]. Rock and Soil Mechanics, 37(12): 3491 - 3498, 3505 (in Chinese with English abstract)
- Li Xiu-zhen, Kong Ji-ming, Wang Cheng-hua. 2010. Continuous function correction and its application [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering Rock Slope Stability Classification, 29(s1): 3439 - 3446 (in Chinese with English abstract)
- Li Yun, Liu Ji. 2012. Rock slope stability analysis of fuzzy set theory and based on CSMR [J]. Journal of Central South University (natural science edition), 43(5): 1940 - 1946 (in Chinese with English abstract)
- Shi Yu-chuan, Wang Zhe, Wan Guo-rong, Wang Zhen-yu, Chen Qian-ying, Tang Chuan-heng. 2005. Study on rock mass classification of high grade highway slope in mountain area [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 24(6): 939 - 944 (in Chinese with English abstract)
- Tong Shen-jia, Hu Song-shan, Yan Xian-li. 2013. Evaluation of Shimen bridge foundation slope stability CSMR and fuzzy set theory [J]. Civil Engineering Journal, 46(9): 91 - 97 (in Chinese with English abstract)
- Wu Hao. 2015. Study on slope safety evaluation of near dam reservoir [D]. Beijing: China Academy of Water Resources and Hydropower Research: 1 - 95 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Deng, Jian Wenbin, Ye qi, Lin Wei. 2014. Time varying analysis model of tailings dam slope and its application [J]. Rock and Soil Mechanics, 35(3): 835 - 840 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Ju-lian, Shen Ming-rong. 2011. Study on rock slope stability classification system [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 30(s2): 3481 - 3490 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Wen-jie, Zhou Chuang-bing, Rong Guan. 2005. Jinping hydropower station left abutment slope rock mass quality classification of CSMR [J]. Rock and Soil Mechanics, 26(s2): 95 - 97, 102 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Yuan-cai, Huang Run-qiu, Zhao Li-dong, Fu Rong-hua, Pei Xiang-jun. 2010. Study on TSMR system for slope rock mass quality evaluation of Tianshan highway [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 29(3): 617 - 623 (in Chinese with English abstract)
- Zheng Wen-tang. 2013. Seismic checking and reinforcement design of high slope of nuclear power plant [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 32(s2): 3961 - 3971 (in Chinese with English abstract)
- Zou Hao. 2016. Study on quality evaluation system and application of toppling deformation body rock mass in Western hydropower project [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan): 1 - 166 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 曹平,刘帝旭. 2015. 改进 CSMR 法在露天采矿山边坡中的应用 [J]. 岩土工程学报, 37(8): 1544 - 1548
- 程力. 2012. 露天矿开挖边坡稳定性分析及排土场安全距离的研究 [D]. 长沙: 中南大学: 1 - 98
- 胡政, 刘佑荣, 王平易, 田茂中. 2016. 基于开挖卸荷劣化的边坡岩体宏观力学参数 USMR 分析评价方法及验证 [J]. 岩土力学, 37(12): 3491 - 3498, 3505
- 李秀珍, 孔纪名, 王成华. 2010. 岩质边坡稳定性分级方法的连续函数修正及其应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 29(s1): 3439 - 3446
- 李云, 刘霁. 2012. 基于模糊集理论与 CSMR 的岩质边坡稳定性分析 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 43(5): 1940 - 1946
- 石豫川, 王哲, 万国荣, 王振宇, 陈谦应, 唐胜传. 2005. 山区高等级公路边坡岩体分级研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 24(6): 939 - 944
- 童申家, 胡松山, 闫仙丽. 2013. 基于 CSMR 与模糊集理论的石门大桥桥基边坡稳定性评价 [J]. 土木工程学报, 46(9): 91 - 97
- 吴浩. 2015. 近坝库岸边坡安全性评价研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院: 1 - 95
- 张登, 简文彬, 叶琪, 林威. 2014. 尾矿库边坡时变分析模型及其应用 [J]. 岩土力学, 35(3): 835 - 840
- 张菊连, 沈明荣. 2011. 水电边坡岩体稳定性分级系统研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 30(s2): 3481 - 3490
- 张文杰, 周创兵, 荣冠. 2005. 锦屏一级水电站左坝肩边坡岩体质量 CSMR 分类 [J]. 岩土力学, 26(s2): 95 - 97, 102
- 张元才, 黄润秋, 赵立冬, 傅荣华, 裴向军. 2010. 天山公路边坡岩体质量评价 TSMR 体系研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 29(3): 617 - 623

郑文堂. 2013. 核电厂高边坡抗震验算和加固设计[J]. 岩石力学与工程学报, 32(s2): 3961–3971

邹浩. 2016. 西部水电工程倾倒变形体岩体质量评价体系与应用研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉): 1–166

Water – Level Design of Tailings Dams at Open Pits based on CSMR

ZHANG Li-bo¹, QIN Zhe¹, FU Hou-li², SHEN Ke¹, WANG Qiang¹

(1. Shandong University of Science and Technology, Shandong Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao, Shandong 266590; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Linyi University, Linyi, Shandong 276000)

Abstract: This work studied a tailings dam at the pit of a gold mine, which is located in the Sanshandao of Shandong Province. Based on CSMR scores of high steep rocky slopes, a water saturated rock mechanic experiment was made to weak the rock mechanics parameters. Then scores of CSMR dynamic tailings slope of four typical profiles were evaluated in the conditions of without water, –100m, –50m and –40m water levels, respectively. The relationships between dynamic CSMR scores and pit reservoir levels on the 487 and 503 profiles were fitted using a exponent function. The results show that the reduction of the RMR of the slope can directly result in the decrease of CSMR. The CSMR scores of profiles 487 and 503 are more sensitive to the rise of water level than profiles 483 and 507. During the rising process of the water level in the profiles 487 and 503, CSMR scores first went down below 40 points, making the slope unstable. When the water level was at –48.302m, sliding occurred on the profiles 487 and 503, consistent with the CSMR scoring. The slope has a certain degree of security in the condition of –47.643m water level. From this feature, it is inferred that the critical water level of the slope should be between –42.37m and –40.62m. Such a study on critical values of water level in open pits provides a strong basis for assessment of the safety and stability of pit slopes.

Key words: open pit, CSMR dynamic evaluation, rock slope, tailings dam, Cangshang gold deposit, Sanshandao, Shandong Province

