维普资讯 http://www.cqvip.com

贵州开阳县龙井湾崩塌地质灾害评估及防治

丁坚平[1],李 扬[2],褚学伟[1],丁振超[1]
(1.贵州大学资源与环境工程学院,贵州 贵阳 550003;2.贵州省建筑工程勘察院,贵州 贵阳 550003)

摘要:龙井湾崩塌是磷矿开采引发和加剧的,龙井湾沟谷分布有崩塌6处。文章通过对崩塌区地质环境的勘查,阐述了该区的地质构造、岩性条件、水文地质条件及当前存在的采空区范围及特点,继而采用概率法对采空区上覆的岩体稳定性进行分析,得出了磷矿层的开采将在其上方相应的地表造成一定的变形与移动的结论,阐明了该区崩塌产生的机理,评估了崩塌体的引发和加剧对磷石膏堆场工程的危害性,提出了禁采区范围、清理危岩体(壁)等防治的工程措施。

关键词:开采磷矿;采空区稳定性;崩塌;分析和评价;贵州开阳龙井湾
文章编号:1003-8035(2006)04-0021-04 **中图分类号**:P642 **文献标识码**:B

1 概述

贵州开阳磷煤化工基地年产120万t磷酸二铵,公司拟在开阳县金中坝镇龙井湾修建磷石膏堆场。该堆场总体呈北西-南东块状展布,填埋高程945m,有效库容约2120万m^3,用地面积92hm^2。

龙井湾沟谷以东为开磷矿业公司极乐矿段,年开采量35万t,主平巷为890平硐。自1988年开采以来,开采标高已至875m。沟谷以西为民采区,年开采量8万t,开采平硐54个,分布高程803~896m。

通过地质勘查,龙井湾沟谷东部斜坡进行的磷矿层开采,已经形成面积约0.8km^2地下采空区。沟谷西部斜坡进行的磷矿层30个开采平硐,平硐深度80~120m,地下采空区约0.17km^2,使磷矿层上覆灯影组($Z_b dn$)白云岩地层的岩体产生位移,在斜坡地段引发6处崩塌地质灾害(图1)。随着采矿活动的不断进行,将加剧崩塌发生,直接危害堆场建设[1]。

根据因采矿引发的崩塌地质环境条件,采用概率法对采空区上覆的岩体稳定性进行计算分析,评估了崩塌的引发和加剧的对工程的危害性,提出了圈定合理的禁采区范围、清理危岩体等防治的工程措施,为磷石膏堆场工程建设中地质灾害防治提供了依据。

2 崩塌区地质环境条件[2]

崩塌区位于长江流域乌江水系二级支流的两岔河右岸一级斜坡分水岭的沟谷地带,海拔标高789.0~1120.6m,汇水面积2.3km^2。龙井湾沟谷呈狭长形岔状,两岸坡不对称。主沟南东-北西向发育,沟底宽10~70m,长2150m,支沟4条,近南北向发育,长200~600m,河床纵比坡降12%~28%。受下降泉及890平洞排水补给,沟中常年有水,沟底冲积物、崩积

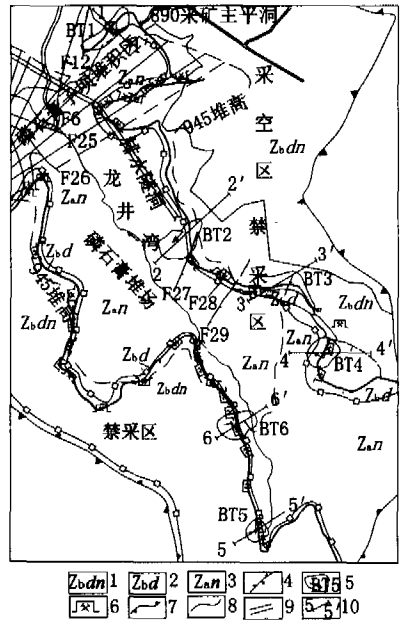


图1 龙井湾崩塌分布示意图

Fig.1 Plan of Longjingwan rock fall

1-震旦系上统灯影组;2-震旦系上统陡山沱组;3-震旦系下统南沱组;4-断层;5-崩塌体及编号;6-开采平洞;7-地表分水岭;8-采空区禁采区分界;9-采空主巷道投影;10-剖面线及编号

收稿日期:2005-11-21;**修回日期**:2006-01-23

作者简介:丁坚平(1956—),男,浙江宁波人,教授,硕士,国家注册岩土工程师,从事水工环地质30a。

维普资讯 http://www.cqvip.com

物零星分布，沟谷两侧斜坡坡度一般为 22°～35°，龙井湾崩塌区沟谷东、南及西面 850～890m 高程以上为岩溶陡崖地貌类型，陡崖坡度 > 60°，高度 40～70m，临空面为陡崖和崩塌危岩[2]。

出露地层：震旦系为灯影组（$Z_b dn$）中厚－厚层白云岩，厚 250m，陡山沱组（$Z_b d$）磷矿层 13.5m，南沱组（$Z_a n$）泥岩、砂质页岩，厚 70～90m；第四系（Q）为大块岩体、块石、碎石夹粘土崩塌堆积（Q^{col}），残坡积红粘土、粘土（Q^{el+dl}），厚度 0～12m。

龙井湾沟谷，NNE 向断裂主要有 F_1、F_{10}、F_6、F_2 四条，其中 F_1 逆断层和 F_{10} 正断层规模最大，F_6 和 F_2 正断层斜断距也在百米以上。断层、节理裂隙使风化、岩溶作用十分发育，导致了岩体完整性遭受破坏。

拟建场地主要为岩溶裂隙含水系统，灯影组（$Z_b dn$）白云岩地层溶蚀裂隙及节理裂隙十分发育，岩溶泉流量 10～25l/s，最大 384.1l/s，地下水径流模数 8.06l/s·km²，含水性强，为富水含水层，含水层出露位置高，高程 850～890m 以上，龙井湾东部地下采空区，890 平洞的矿坑排水为 10.9 l/s。含水层动水位的降低，导致了地表岩溶塌陷和斜坡卸荷裂隙的发育。

3 崩塌地质灾害评估

3.1 采空区及采矿平洞

崩塌区东部，极乐矿段的 890（高程）平洞进行磷矿层开采，已经形成大范围的地下采空区，面积约 0.8km²；崩塌区南西部，沿出露的矿层有民采平洞 54 个，分布高程 803～896m，断面 2.2m×2.5m～4.5m×10m，延伸长度 80～120m，折算采空区面积约 0.15km²。采空区使上覆灯影组（$Z_b dn$）白云岩地层的岩体产生位移，地表发生岩溶塌陷，斜坡卸荷裂隙发展快，引发了崩塌地质灾害。

3.2 采空区稳定性分析

开磷矿业公司采用走向长臂采矿法，工艺为炮采及民矿的无规则开采。采空区及高密度分布的采矿平硐，已经形成面积约 0.8km² 地下采空区及民矿采空区 0.17km²。

按磷矿层厚 7m，矿层平均倾角 18°（图 2），采用概率积分法进行地表移动和变形分析评价，计算式[3] 如下：

①最大下沉值 $W_{max} = \eta \times M \times \cos\alpha$（mm）

②最大倾斜值 $T_{max} = W_{max}/r$（mm/m）

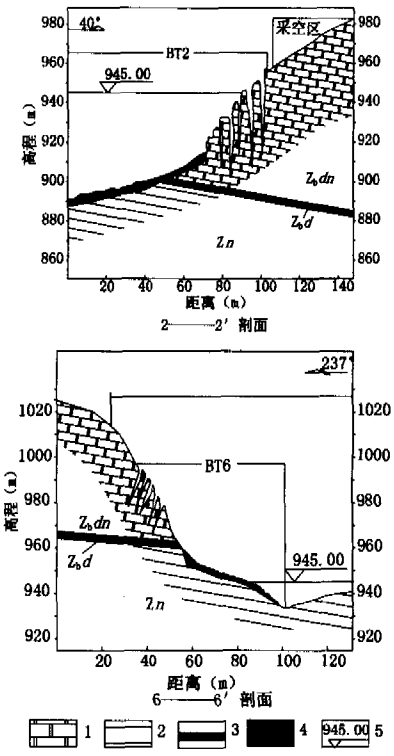


图 2 崩塌剖面图

Fig.2 Cross section of Longjingwan rock fall

1－震旦系上统灯影组白云岩；2－震旦系下统南沱组泥岩；3－磷矿层（采空平洞）；4－崩塌堆积物；5－堆场废水高程（m）

③最大曲率值 $K_{max} = \pm 1.52\ W_{max}/r^2$（mm/m²）

④最大水平位移 $U_{max} = b \times W_{max}$（mm）

⑤最大水平变形值 $\varepsilon_{max} = \pm 1.52\ W_{max}/r$（mm/m）

式中（系数的引用根据贵州煤矿开采的观测资料）：

η—下沉系数，根据平洞开采条件及类比相似矿井资料，此处取 $\eta = 0.48$；

M—开采磷矿层厚度，$M = 7$m；

α—开采磷矿层的平均倾角，$\alpha = 18°$；

r—主要影响半径，$r = H/\mathrm{tg}\beta$，m；

H—开采磷矿层距地面垂高（m），H 取 50～400m；

$\mathrm{tg}\beta$—主要影响角正切，根据磷矿层倾角，采深及岩性取 $\mathrm{tg}\beta = 2.0$；

b—水平移动系数，取 $b = 0.3$；

θ—开采影响传播角，$\theta = 90° - 0.78\alpha = 76°$。

鉴于采空区范围内的地形高差大，井下磷矿层开采后，上覆岩层虽然要发生变形和移动，但地表通常不会出现规整的移动盆地，仅考虑最大的移动和变

维普资讯 http://www.cqvip.com

形。

按照极乐矿段 890 平巷（高程）及采空区的地质条件及上述参数，采空区变形值估算结果见表 1。

由表 1 可看出，磷矿层的开采将在其上方相应的地表造成一定的变形与移动，特别是斜坡地段水平变形值最大，导致斜坡卸荷裂隙发育，引发崩塌。

表 1　极乐矿段采空区移动变形值计算结果

Table 1　Calculation result of the displacement and deformation in the mined area of Jile ore

磷矿层厚度（m）	最大移动变形（mm） \ 采深（m）		50	100	150	200	250	300	350	400
7.0	W_{max} = 3192 U_{max} = 957.6	T_{max}	127.68	63.84	42.56	31.92	25.54	21.28	18.24	15.95
		K_{max}	7.76	1.94	0.57	0.49	0.20	0.10	0.10	0.08
		ε_{max}	194.07	97.04	64.69	48.52	38.82	32.35	27.72	24.24

W_{max} - 最大下沉值；U_{max} - 最大水平位移；T_{max} - 最大倾斜值；K_{max} - 最大曲率值；ε_{max} - 最大水平变形值。

3.3　崩塌特征

自 20 世纪 90 年代采矿活动以来，先后在龙井湾冲沟两岸斜坡上引发了 6 处崩塌（图 1）。至 2005 年 8 月雨季崩塌仍在加剧发生。形成崩塌的斜坡地段，崩塌高 40 ~ 70m，岩层节理裂隙发育，岩体被卸荷裂隙拉裂，裂缝开口宽度 0.4 ~ 1.5m，深度延伸至下伏隔水层（泥岩地层），

裂缝之间形成连续叠瓦状危岩体（块），随时有崩落的危险（图 2、表 2），将危及磷石膏堆场库区及排水隧洞的稳定。堆积崩塌体为大块岩体、块石、碎石夹粘土堆积体。

表 2　崩塌特征表

Table 2　The basic features of the rock fall

编号	崩塌高度（m）	卸荷裂隙深度（m）	岩体结构及节理裂隙发育等级	崩塌底面边界条件	崩塌体体积（万 m^3）	稳定性评价
PT1	42.5	34.2	块状结构，Ⅲ ~ Ⅳ级，线密度 15 条/m，延伸 1 ~ 3m	软岩层（泥岩）	1.2	存在加剧发生的隐患
PT2	70.0	56.1	块状结构，Ⅲ ~ Ⅳ级，线密度 18 条/m，延伸 1 ~ 5m	软岩层（泥岩）	2.8	最近发生崩塌的时间 2005 - 06
PT3	41.7	34.6	块状结构，Ⅲ ~ Ⅳ级，线密度 14 条/m，延伸 1 ~ 3m	软岩层（泥岩）	1.1	存在加剧发生的隐患
PT4	45.5	37.7	块状结构，Ⅲ ~ Ⅳ级，线密度 16 条/m，延伸 1 ~ 2m	软岩层（泥岩）	0.9	存在加剧发生的隐患
PT5	44.2	38.6	块状结构，Ⅲ ~ Ⅳ级，线密度 15 条/m，延伸 1 ~ 3m	软岩层（泥岩）	0.12	存在加剧发生的隐患
PT6	58.8	42.8	块状结构，Ⅲ ~ Ⅳ级，线密度 20 条/m，延伸 1 ~ 5m	软岩层（泥岩）	0.94	最近发生崩塌的时间 2005 - 07

3.4　崩塌机理分析

沟谷斜坡 870m 高程以下为南沱组（Z_n）泥岩，坡度 22° ~ 35°；870m 高程以上为（$Z_b dn$）厚层白云岩形成岩溶陡崖，高度 40 ~ 70m，坡度 > 70°。断裂、节理裂隙发育，使白云岩地层风化、岩溶作用发育，破坏了岩体的完整性。采矿产生的采空区使地表产生了移动变形。通过计算斜坡地段水平变形值最大（ε_{max} = 194.07mm），使垂直发育的节理裂隙及卸荷裂隙贯通至崩塌底板边界。卸荷裂隙使巨大的岩体与稳定岩体分开，并不断倾斜，在强烈采矿活动作用下，引发和加剧了崩塌地质灾害。

4　崩塌危害性及防治措施

4.1　崩塌对磷石膏堆场的危害

崩塌除对磷石膏堆场的堆积子坝、废水库区及排洪隧洞工程造成毁坏外，还使库内废水外泄，对地下水、两岔河及乌江水源造成严重污染，在建设过程中还可能危及员工生命安全。

4.2　防治措施

4.2.1　圈定禁采区

崩塌地质灾害是由采空区引发和加剧的。为确保堆场库区斜坡稳定，遏制崩塌地质灾害，必须采取

维普资讯 http://www.cqvip.com

的有效和可靠的措施是圈出禁采区范围。

依据采空区影响传播角 76°及民采平洞密度大，延深长(80～120m)的特点，堆场废水库区东侧由矿层露头至采空区边界，西侧为矿层露头至斜坡分水岭圈定为禁采区(图 1)。

4.2.2 工程措施

对 6 处崩塌中将稳定岩体外的大危岩体预先作爆破清除，破碎岩体沿崩塌壁进行人工清理，斜坡顶部设截洪沟等。对崩塌后缘的延伸长和深度大的卸荷裂隙长期监测。

5 结论

5.1 龙井湾崩塌是由磷矿开采产生的采空区使地表产生了移动变形引发和加剧的倾倒崩塌。

5.2 崩塌除对磷石膏堆场的堆积子坝、堆场废水库区及排洪隧洞造成毁坏外，还使库内废水外泄，对地下水、地表水源造成严重污染。

5.3 依据采空区影响传播角，圈出库区东侧由矿层露头至采空区边界，西侧为矿层露头至斜坡分水岭为禁采区。工程措施上预先对危岩体和破碎岩体进行爆破及人工清理，确保岸坡稳定，才能保证磷石膏堆场的安全运行。

参考文献：

[1] 贵州工业大学勘察设计研究院.龙井湾磷石膏堆场水文地质及工程地质勘察报告[R].2005.

[2] 贵州省建筑工程勘察院.龙井湾磷石膏堆场地质灾害危险性评估报告书[R].2005.

[3] 《工程地质手册》编写委员会.工程地质手册(第 3 版)[M].北京：建筑工业出版社，1992.612－613.

Evaluation and prevention of rock fall in Longjingwan, Guizhou Province

DING Jian-ping[1], LI Yang[2], CHU Xue-wei[1], DING Zhen-chao[1]

(1. College of Resources and Environment, GU, Guiyang 550003, China;
2. Guizhou Institute of Geotechnical Investigation Survery, Guiyang 550003, China)

Abstract: There are six rock falls in the Longjingwan gulley and they were caused and aggravated by the phosphorite exploitation. By investigating geological environment of the phosphorite area, expatiating geologic setting, lithology, hydrogeological condition, the range and characteristic of the current mined-out area, adopting the probabilistic approach to analyze the stability of the rock masses which cover the goaf, reaching a conclusion that exploiting phosphorite can cause the displacement and deformation of the earth's surface over the mined-out area, clarifying the mechanism of the rock fall, and evaluating the harmfulness caused by rock fall to the phosphogypsun stock project. Besides, the engineering claims the measure of the prevention including the range of non-mining field and clearing the instable rock (cliff).

Key words: mining of phosphorite, stability of subsurface mined areas; rock fall; analyze and evaluate; Longjingwan, Kaiyang, Guizhou Province

---

(上接第 20 页)

remote sensing and GPS for extracting the information of the geological hazards. On the basis of background and cause analysis of the geological hazards, and combining with the GIS and evaluation theory of the geological hazard, a new model for geo-hazards distribution parameter was established based on the ArcEngine & NET platform. As a test area, a susceptibility zonation map of Yanqing in Beijing was drawn by this model with calculation of the distribution parameter values of the grid. The paper introduces correction coefficient in the calculation, obtains the gradient value of gird from the DEM data in Yanqing, and determinates the investigation data according to the zone of gradient value in order to overcome the limitation of the investigation data. Following this, there is a clustering of the calculation result of distribution parameter to carry on the susceptibility zonation and get a good coherency with the reality. This successful test exhibits that the model based on the analysis of geological condition and 3S technique is a useful high-resolution model for susceptibility zonation and can provide significant information for the hazard reduction.

Key words: geological hazard; remote sensing; GIS; risk evaluation; susceptibility zonation; distribution parameter model; Yanqing County of Beijing