

四川某矿山边坡失稳机理及稳定性评价

胡卸文¹, 吕小平¹, 李廷强²

(1. 西南交通大学, 四川 成都 610031; 2. 四川省地质工程勘察院, 四川 成都 610071)

摘 要: 四川某矿山开采边坡迄今已有 30 余年, 随采区规模的逐渐扩大, 在矿区南坡构成一典型的顺层开挖边坡, 因矿层中央有不同数量的软弱夹层, 在边坡前缘破坏坡角、并加上降雨及爆破振动影响, 时常发生顺层滑坡, 不仅给矿山人民生命财产带来严重危害, 而且也严重制约矿山的正常发展。通过对典型开挖边坡所在部位的工程地质条件调查, 在确定影响边坡稳定的主要控制因素和边界条件的基础上, 考虑四种工况条件下的稳定性分析和评价, 为矿山下一步施工提出了较为合理的开挖方案。

关键词: 矿山边坡, 顺层, 失稳机理, 稳定性

中图分类号: P694, P642

文献标识码: A

四川某矿山开采边坡迄今已有 30 余年, 现采场南北长 300~350 m, 东西宽 1 100 m, 形成标高 670~720 m 4 级采台。伴随矿山的开采, 采区逐渐向南推进。由于靠南侧边坡坡向与坡体岩层倾向一致, 且地形坡度与岩层倾角相近, 加之岩体节理裂隙发育, 在斜坡前缘顺层开挖、爆破震动下, 在矿区标高 700~860 m 范围内, 相继多次发生了不同规模的顺层滑坡和局部崩塌, 给矿区的生产设备和人身安全带来了严重的威胁, 直接影响矿山的安全生产。特别是 2002-03-15 西采区发生的滑坡, 更是造成了矿难事件。尽快查明矿区采场内已有和潜在滑坡成因及稳定性, 探明矿区不稳定边坡及影响斜坡稳定性的软弱夹层空间分布, 在此基础上提出边坡的处理措施和治理方案, 为矿山安全生产和边坡科学施工无疑具有重要的实际工程意义。

1 地质环境条件概述

1.1 地形地貌

矿区所在边坡地形南高北低, 呈单斜山形态, 沿 NW 向展布, 海拔高程 500~1 000 m, 相对高差 200

~300 m, 最大近 500 m, 属低中山区。为溶蚀、侵蚀断块山地貌, 地表发育有 3 条较大的冲沟, 冲沟纵向切割矿山开采区的斜坡, 其中黄洞儿沟、干溪沟构成矿区东、西边界, 为山区季节性流水沟。地表还发育有溶洞, 溶蚀漏斗和落水洞、溶沟、溶槽等喀斯特特征地貌。

1.2 地层岩性

矿区内出露地层有奥陶系下统大乘寺组、二叠系, 其中奥陶系下统大乘寺组(O_{1d})为页岩夹薄层~中厚层泥灰岩、结晶灰岩, 顶部为 2~13 m 厚的粉~细粒石英砂岩, 构成矿山矿床底板。而二叠系下统阳新灰岩(P_1)为中厚~厚层致密块状灰岩, 中央灰黑、深灰色薄~中层状砂屑生物碎屑泥质灰岩, 其中前者为主要含矿层, 而后者则构成矿层内的软弱夹层, 部分软弱夹层因构造错动成泥化软弱夹层, 并成为边坡下滑的底界。阳新灰岩(P_1)层与下伏奥陶系地层呈假整合接触, 总厚度 297.49~525.38 m。勘察表明, 该层可按 12 个地层单元划分。

1.3 地质构造

矿区位于二峨山穹隆背斜 NW 翼端部, 以单斜构造为基本形态, 岩层走向 NW, 倾向由西至东渐变

收稿日期(Received date): 2003-08-07; 改回日期(Accepted): 2003-12-11。

作者简介(Biography): 胡卸文(1963-), 男, 博士, 教授, 博士生导师。现在西南交通大学从事工程地质、环境地质及岩土工程的教学和研究, 在国内外发表论文 40 余篇。[Author brief: Hu Xiewen, men, 40 years old, doctor, professor, graduating from Chengdu University of Technology, experting in teaching and researching of engineering geology or environmental geology.]

为 $20^{\circ} \sim 38^{\circ}$, 倾角从山顶到山脚逐渐变陡, 由 $20^{\circ} \rightarrow 30^{\circ} \rightarrow 40^{\circ} \rightarrow 60^{\circ}$ 。受断层影响, 矿山平台下部岩层倒转, 产状为 $212^{\circ} \sim 235^{\circ} \angle 78^{\circ} \sim 56^{\circ}$ 。

矿区外围发育两条断层: 黄山断层和鱼洞口断层。两断层对矿区地层产状有一定影响。受构造影响, 矿区岩体裂隙较为发育, 主要有两组, 一组产状 $200^{\circ} \sim 220^{\circ} \angle 57^{\circ} \sim 63^{\circ}$; 另一组产状 $110^{\circ} \sim 122^{\circ} \angle 59^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 和 $300^{\circ} \sim 305^{\circ} \angle 75^{\circ} \sim 79^{\circ}$ 。裂隙组成平面“X”型节理, 并成为边坡下滑的侧缘或后缘边界。

1.4 水文地质条件

矿区发育有 3 条较大的冲沟, 东侧为甘溪沟, 西侧为黄洞儿沟, 两沟构成矿区左右自然边界, 矿区中部为罗沟, 3 沟呈平行排列。因矿区山高坡陡, 地形有利于大气降水的自然排泄, 3 条溪沟除甘溪沟常年有水外, 另外 2 条为间歇性小溪。

矿区属于二峨山背斜喀斯特储水构造水文地质单元, 为碳酸盐岩裂隙喀斯特水区, 以喀斯特水和部分基岩裂隙水为主。局部尚存有上层滞水。

2 矿山边坡失稳机理

如上所述, 从开挖边坡坡面与岩层倾向关系上看, 采矿开挖边坡属典型的顺向坡。由于坡体内岩层本身存在软弱夹层, 再加上岩体内节理发育, 在不合理开采方式下, 采石对斜坡的破坏较为强烈, 边坡岩体的失稳方式以沿软弱夹层带发生的滑坡为主。部分厚层岩体因裂隙切割呈零星崩塌。

2.1 滑坡形成条件分析

矿区边坡稳定性与其特定的地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水活动、爆破振动等人类工程活动因素有关, 但主要的影响和诱发因素是边坡的开挖、爆破振动和连续的下雨。

2.1.1 特定的地质条件

矿区边坡由层状分布的石灰岩组成, 在标高 720 m 以上岩层倾角变化不大, 倾角为 $22^{\circ} \sim 31^{\circ}$, 岩层倾向与坡向一致, 构成单斜顺向坡; 且横向上冲沟发育、切割较深。同时层状灰岩在 P_1^7 底部、 P_1^6 下部和底部、 P_1^5 上部地层中存在错动程度各异的软弱夹层, 力学性质较差, 这样的岩层结构本身就有利于岩层的顺层滑动。显然, 这些原生软弱层面是滑坡形成及影响矿区现有边坡稳定的内在因素之一。

矿区岩层受外围构造的影响, 山体被强烈挤压, 裂隙发育且密度大, 其中西采区滑坡后缘的破裂壁

即因垂直层面的一组张性节理经溶蚀加宽所致。这些构造节理的发育一方面使层状岩体的完整性被破坏, 岩体被切割成块状结构, 另一方面则构成潜在边坡失稳的后缘或侧缘边界。因此, 各种近陡倾构造节理是边坡失稳的另一内在控制因素。

2.1.2 不合理的开挖方式

矿山自 1970 年投产以来, 伴随着露天矿山的不断开采, 形成现有矿山边坡。顺层斜坡前缘的不合理开挖, 形成高陡临空面, 致使边坡岩体原有的应力平衡状态遭受破坏, 特别是当层状灰岩中的软弱夹层暴露时, 加上其他诱发因素作用(如爆破和降雨), 很容易导致斜坡失稳。矿山开采原来一直采用洞室大爆破, 一方面使边坡岩体遭到破坏, 闭合裂隙张开; 另一方面爆破振动相当于地震, 给边坡增加了水平推力, 触发边坡失稳。因此不合理开挖是矿山边坡失滑的主要触发因素。

2.1.3 特殊的水文条件

矿区地形陡峭, 不利于地下水的补给, 多数以迳流的方式排泄于矿区之外。但喀斯特及节理裂隙发育, 为大气降水的渗入提供了良好的条件。灰岩中的弱可溶岩组富含泥质, 在地下水作用下被软化, 抗剪强度大大降低。2002-03-05 西采区滑坡就是连续两天半的连绵小雨后发生的。因此连续降雨及其所导致的地下水的作用是边坡失稳的又一诱发因素。

综上所述, 影响采矿区边坡稳定性的内在因素是坡体内普遍存在的软弱岩层和喀斯特发育, 以及其他陡倾结构面, 它们构成边坡稳定的潜在边界; 而外在因素则是人工采矿的不合理削坡方式, 天然降雨的作用和爆破震动作用。但是造成边坡失稳的最主要因素还是人工采矿的不合理削坡方式, 它是直接的触发因素。

从边坡失稳机理看, 矿区边坡以滑移-拉裂为特征, 且以牵引式滑坡为表现形式。

2.2 滑坡发育特征

从目前边坡现状看, 平面上由西向东共有 4 个较大规模的滑坡, 依次是磨环沟滑坡、西采区滑坡、累子槽滑坡和东采区滑坡。

磨环沟滑坡地形坡度 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 上缓下陡, 因矿山在滑坡前缘开挖, 平面上呈很不规则的弧形。滑坡前缘位于 700 m 平台, 宽 160 m; 后缘呈弧形, 宽约 50 m, 高程 871.72 m, 相对高差 171 m, 长约 250 m, 面积 $3.25 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。滑体厚度 5~12 m, 体积

$22.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

西采区滑坡滑体由 P_1^4 上段厚层块状灰岩构成, 垂直厚度 30~40 m, 厚层灰岩之下存在 I 类已泥化软弱夹层, 并在坡体下方 720 m 采矿平台内侧坡脚被剥露; 坡体右侧被罗沟切割临空, 左侧被溶蚀沟槽切割, 坡体中有走向为 $45^\circ \sim 135^\circ$ 区域构造裂隙发育, 构成后缘拉裂边界。720 m 平台与坡上陡壁平面上相距约 120 m, 与顶部形成高差 $> 100 \text{ m}$ 的高陡边坡。因此, 在 2002-03-15 连续 3 d 的连绵小雨和采矿作业中上方坡体突然下滑, 形成了西采区滑坡。滑体高速下滑 160 m (平距) 堆积在 720 m 平台上, 前缘抵达 670 m 平台, 平面呈舌状。滑落的坡体平面上呈三角形, 面积 $12\,440 \text{ m}^2$, 体积 $37.32 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

累子槽滑坡地形坡度约 28° , 平面呈不规则长方形。滑坡前缘位于 725 m 平台, 宽 125 m, 后缘呈弧形宽约 50 m, 高程 845 m, 相对高差 120 m。长约 230 m, 面积 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。滑坡已下滑, 后部滑床裸露, 在中部和前部残留大部分滑体, 滑体厚度 4~12 m, 残留的滑坡体积约 $10.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

东采区滑坡地形坡度 26° 左右, 平面形态为三角形。滑坡前缘临空位于 720 m 平台终了边坡陡壁上, 高程 743.5 m, 宽 240 m; 后缘宽约 35 m, 高程 890.8 m; 前、后缘相对高差 147 m, 坡长约 310 m, 滑坡面积约 $5.05 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。滑体大部分已下滑, 后部滑床裸露, 在前部残留部分滑体, 滑体厚 5~10

m, 残留的滑坡体积约 $19.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

3 典型开挖边坡稳定性的分析与评价

3.1 计算工况的确定

根据上述边坡失稳机理分析, 以每一大段边坡选择一条代表性剖面, 按每一剖面岩质边坡下伏不同的软弱结构面作为潜在滑面进行稳定性计算。计算时, 考虑地震和开采爆破同时发生的可能性很小, 因此计算将考虑以下 4 种工况, 即: 1) 天然状态; 2) 天然状态 + 开采爆破; 3) 持续降雨 (饱水); 4) 持续降雨 (饱水) + 开采爆破。

在计算过程中, 特别是对埋深比较大的潜在滑面, 除对现状边坡稳定性作分析外, 还对现状边坡在各种不同工况下, 达到极限平衡状态时的坡脚部位所需的最小水平安全厚度值进行确定。用以指导下一步坡脚施工开挖的放坡位置、以及各坡面宽度、高差等。

3.2 计算参数的确定

据现场大剪及配套的物理性质试验成果, 并结合反演计算, 可综合确定计算所需的岩体及结构面的物理力学性质, 见表 1。

3.3 计算结果及分析评价

边坡计算以 II-II' 剖面为实例, 稳定性计算见图 1、结果见表 2、3; 其余地段稳定性计算结果见表 4。

表 1 边坡稳定性计算参数

Table 1 Physic and mechanic parameter of slope rock or soil mass

岩土类型	密度 (t/m^3)		天然状态强度参数		饱水状态强度参数	
	天然含水	饱水	C (MPa)	$\varphi (^\circ)$	C (MPa)	$\varphi (^\circ)$
灰岩	26.8	26.9	1.5	43.53	1.0	36.50
粉屑砂屑灰岩、 含泥质粉屑灰岩 (含 II 级软弱面)	26.7	26.8	0.8	35.75	0.4	34.99
岩块岩屑型 (I 级软弱面)	20.2		0.09(0)	33.42 (32.62)	0(0)	25.17 (24.23)

注: 括号内为残余强度参数, 其余均为峰值强度。

3.3.1 II-II' 剖面以第 1 层潜在滑面为底边界的岩质边坡稳定性分析

计算结果显示, 在 4 种工况中, 以第 1 层 I 级潜在滑面为底边界的岩质边坡稳定性系数在各种工况下相差较大, 即从工况 1 (天然含水) 的 2.010 → 工况 2 (天然含水 + 开采爆破) 的 1.886 → 工况 3 (持续降

雨 (饱水)) 的 1.074 → 工况 4 (持续降雨 (饱水) + 开采爆破) 的 1.005; 降低幅度 (以工况 1 的 2.010 为准) 依次为 6.17%、46.57% 和 50.00%。从中可见, 该段现状边坡在天然含水条件下是稳定的; 但一旦处于持续降雨 (饱水状态), 边坡将处于极限状态并失稳下滑。从中也可看出持续降雨所引起的潜在滑

表 2 矿山边坡Ⅱ-Ⅱ'(①潜在滑面)剖面稳定性计算结果数据表
Table 2 Computational results of Ⅱ-Ⅱ' section slope stability (① potential slip surface)

条块 编号	工况①					工况②					工况③					工况④				
	抗滑力	下滑力	传递	剩余	稳定	抗滑力	下滑力	传递	剩余	稳定	抗滑力	下滑力	传递	剩余	稳定	抗滑力	下滑力	传递	剩余	稳定
	R_i (kN/m)	T_i (kN/m)	系数 \square_i	推力 (kN/m)	系数	R_i (kN/m)	T_i (kN/m)	系数 \square_i	推力 (kN/m)	系数	R_i (kN/m)	T_i (kN/m)	系数 \square_i	推力 (kN/m)	系数	R_i (kN/m)	T_i (kN/m)	系数 \square_i	推力 (kN/m)	系数
1	22317.09	10339.23	0.00	0.00	2.01	22146.49	10929.74	0.00	0.00	1.89	11143.09	10377.81	0.00	0.00	1.07	11021.15	10970.53	0.00	0.00	1.01
2	37669.48	20527.71	1.00	0.00		37330.77	21700.13	1.00	0.00		22123.72	20604.31	1.00	0.00		21881.62	21781.10	1.00	0.00	
3	10512.80	5732.49	1.00	0.00		10418.21	6059.89	1.00	0.00		6178.18	5753.88	1.00	0.00		6110.57	6082.50	1.00	0.00	
4	4744.65	835.55	1.00	0.00		4730.86	883.27	1.00	0.00		900.51	838.66	1.00	0.00		890.66	886.56	1.00	0.00	

表 3 矿山边坡Ⅱ-Ⅱ'(②潜在滑面)剖面稳定性计算结果数据表
Table 3 Computational results of Ⅱ-Ⅱ' section slope stability (② potential slip surface)

条块 编号	工况①					工况②					工况③					工况④				
	抗滑力	下滑力	传递	剩余	稳定	抗滑力	下滑力	传递	剩余	稳定	抗滑力	下滑力	传递	剩余	稳定	抗滑力	下滑力	传递	剩余	稳定
	R_i (kN/m)	T_i (kN/m)	系数 \square_i	推力 (kN/m)	系数	R_i (kN/m)	T_i (kN/m)	系数 \square_i	推力 (kN/m)	系数	R_i (kN/m)	T_i (kN/m)	系数 \square_i	推力 (kN/m)	系数	R_i (kN/m)	T_i (kN/m)	系数 \square_i	推力 (kN/m)	系数
1	54323.84	27697.62	0.00	0.00	1.83	53866.82	29320.24	0.00	0.00	1.72	30619.04	27800.97	0.00	0.00	1.05	30292.38	29429.65	0.00	0.00	0.99
2	47191.41	26763.66	1.00	0.00		46749.81	28327.78	1.00	0.00		29515.19	26863.53	1.00	0.00		29199.54	28433.49	1.00	0.00	
3	41099.74	24721.97	1.05	0.00		40691.83	25921.47	1.05	0.00		22634.76	24814.21	1.05	2179.45		22343.19	26018.19	1.05	3675.00	
4	4002.07	2357.87	1.02	0.00		3963.17	2463.00	1.02	0.00		1983.78	2366.67	1.02	2597.10		1955.97	2472.19	1.02	4249.82	
5	1763.13	33.94	0.66	0.00		1762.52	40.44	0.66	0.00		970.61	34.07	0.66	0.00		970.01	40.59	0.66	1908.67	

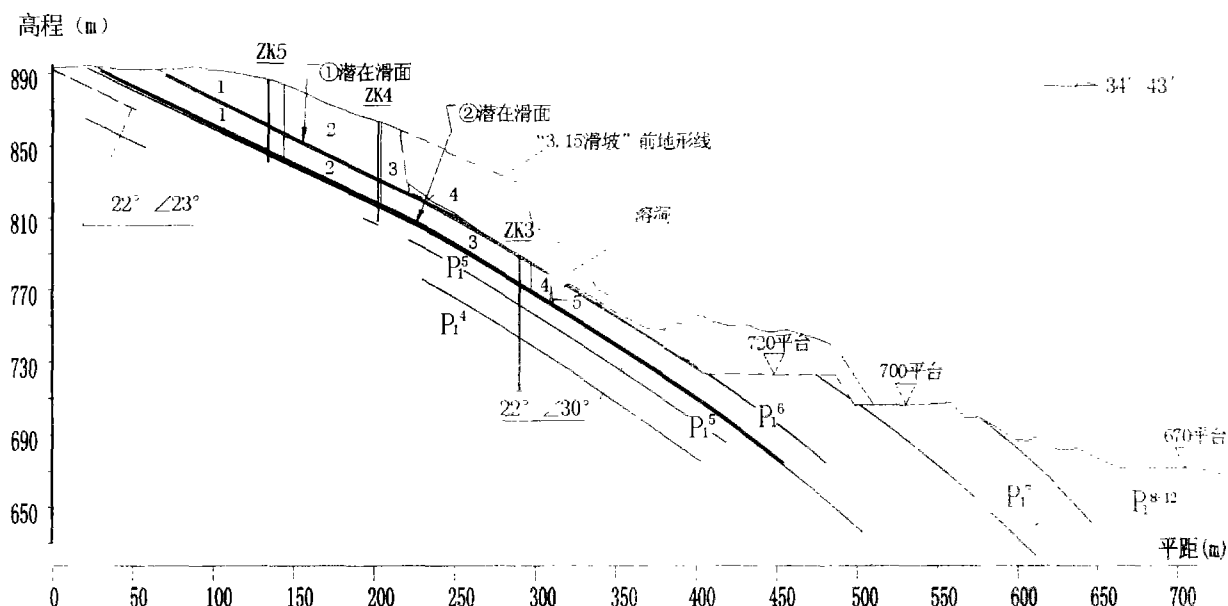


图1 II-II'计算剖面

Fig.1 Computational figure of II-II' section slope stability

表4 稳定性系数及边坡设计表

Table 4 Computational results of slope stability

剖面	稳定性系数				边坡设计			计算状态
	工况 ①	工况 ②	工况 ③	工况 ④	开挖平 台高度 (m)	预留水 平距离 (m)	开挖 坡率 (m)	
I-I'	3.45	3.24	2.11	1.98				①潜在滑面
I-I'	2.06	1.94	1.21	1.14	20.00	16.75	1:0.75	①潜在滑面设计开挖(700 m 平台)
II-II'	2.01	1.89	1.07	1.01				①潜在滑面
II-II'	1.72	1.83	1.05	0.99				②潜在滑面
III-III'	3.16	2.98	1.88	1.77				①潜在滑面
III-III'	2.28	2.16	1.24	1.17	20.00	12.82	1:0.75	①潜在滑面设计开挖(710 m 平台)
IV-IV'	2.34	2.21	0.96	0.90				①潜在滑面
IV-IV'	1.91	1.80	1.09	1.03				②潜在滑面

面饱水,将导致稳定性系数急剧降低,降幅达46.57%。这还是表明在其它条件相同或相近情况下,边坡含水状态是影响其稳定性的主要因素。

3.3.2 II-II'剖面以第2层潜在滑面为底边界的岩质边坡稳定性分析

以第2层I级潜在滑面为底边界的岩质边坡稳定性系数在各种工况下相差仍然明显,即从工况1(天然含水)的1.830→工况2(天然含水+开采爆破)的1.719→工况3(持续降雨(饱水))的1.053→工况4(持续降雨(饱水)+开采爆破)的0.987;降低幅度(以工况1的1.830为准)依次为6.07%、

42.46%和46.07%。从中可见,该现状边坡在天然含水条件下是稳定的;但一旦处于持续降雨(饱水状态),边坡也将处于极限状态并失稳下滑。其中持续降雨所引起的潜在滑面饱水,将导致稳定性系数降幅达42.46%。表明在其它条件相同或相近情况下,边坡含水状态是影响其稳定性的主要因素。

综上所述,以II-II'剖面为代表的所在边坡,在天然含水条件下是稳定的,但遇持续降雨导致潜在滑面饱水,则处于临界状态并失稳下滑,边坡总体稳定性差。

3.3.3 I-I'剖面在700 m台面坡脚处的最小安

全水平宽度的确定

如表 4, I - I' 剖面所在现状边坡在 4 种工况下均是稳定的。根据这一计算结果,以及在第 1 层潜在滑面以上有 25~30 m 厚的灰岩的具体情况,考虑在确保稳定系数 $K \geq 1.05$ 情况下,求得了第 1 层潜在滑面在 700 m 台面坡脚处的最小安全水平宽度。另外基于此段边坡宽度及规模均较大,计算时为保证可靠和安全,设定稳定系数 K 大于等于 1.10。具体计算时,考虑最极端工况 4(持续降雨(饱水)+开采爆破)下,当稳定系数 $K = 1.14$ 时,对应的 700 m 台面坡脚处预留的最小安全水平宽度为 16.75 m。显然这一结果对 I - I' 剖面所在现状边坡及相关类似边坡施工开采放坡具有重要的指导意义。

4 结语与讨论

1. 边坡稳定性分析计算结果显示,整个矿区现状边坡,以 I - I' 剖面(磨环沟)和 III - III' 剖面(老鹰嘴)所在边坡稳定性最好,在各种工况下均保持稳定;而 II - II' 剖面(西采区)和 IV - IV' 剖面(东采区)所在边坡稳定性则较差,天然含水状态均稳定,但一旦处于饱水,稳定性急剧降低并失稳。

2. 针对矿山现状边坡稳定状况,综合分析表明,对顺层边坡采用由坡脚向上开采是不合理的。建议今后开采边坡的采用“两上、两下”开挖方案。

具体为:磨环沟和老鹰嘴从 700 m 高程附近由下向上削坡开采,并充分利用削坡平台,形成未来采矿通道;而东、西采区则在从现 650 m 高程平台由上往下降台开采,以确保在磨环沟和老鹰嘴从 700 m 高程附近由下向上削坡开采的同时,有足够的开采量供生产急需。可以讲,二者各自错开、同时进行,相互照应,即考虑在现有平台的开采,更须注重对后部不稳定边坡的清理,又使各自开采最大限度的互不干扰,使之协调行动,达到规范采场的目地。

参考文献(References):

- [1] Zhou Weiyuan. Advanced Rock Mechanics [M]. Beijing: Water Conservancy Publishing House, 1990. [周维垣. 高等岩石力学 [M]. 北京:水利出版社,1990.]
- [2] Hu Xiewen, Zhong Peilin. Effect of weak interbed thickness on deformation modulus of rock mass with quasi-lamellar structure [J]. *Chinese journal of rock mechanics and engineering*, 2002, 21(4): 1302~1306. [胡卸文,钟沛林. 似层状结构岩体变形参数的软弱层带厚度效应[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(4):1302~1306.]
- [3] Hu Xiewen. Shear strength parameter of no-clay weak interbed [J]. *Journal of mountain science*, 1999, 18(1): 52~56. [胡卸文. 无泥型软弱层带的强度参数[J]. 山地学报,1999,18(1):52~56.]
- [4] Hu Xiewen, Chen Mingdong, Liu Hanchao et al. Developed characteristics and stability evaluation of Zhengzhuba landslide on Jinsha River [J]. *The Chinese journal of geological hazard and control*, 1996, 7(3): 60~65. [胡卸文,陈明东,刘汉超,等. 珍珠坝滑坡发育特征及稳定性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报,1996,7(3):60~65.]

Sliding Mechanism and Stability Evaluation for Mining Slope at a Mining Area of Sichuan

HU Xiewen¹, LU Xiaoping¹, LI Tingqiang²

(1. Department of Engineering Geology, Jiaotong University of Southwest, Chengdu, 610031 China;

2. Geological Engineering Exploration Institute of Sichuan Province, Chengdu, 610071 China)

Abstract: There are 30 years for mine excavating at the mining area of Sichuan Province. Along with mining area expanding, a typical bedding slope is formed in the south mining region. Because weak interbeds in ore beds, in combination with the slope-toe failure and continuous rainfall and blasting vibration, the slope slides frequently. Based on the investigation of exploratory boring and mechanical testing of slip layer clay, the slope stability is analyzed under 4 different conditions. The reasonable excavation scheme is suggested for next construction procedure.

Key words: mine slope; bedding; sliding mechanism; stability