重庆市金佛山甑子岩危岩的动态监测与预警预报

任幼蓉　　张军　　陈鹏
（重庆市地质环境监测总站， 重庆 400015）

[摘　要] 岩崩是基岩山区一种常见的地质灾害，具有突发性强，预见性差，危害性大的特点。笔者等对金佛山甑子岩 W12#危岩采用常规监测仪器和人工变形量测手段进行了预警预报判据研究，成功地预报了该危岩体的崩塌，避免了重大的经济损失和人员伤亡。本文探讨了岩崩系统发展演化规律，可为探索突发性地质灾害的空间预警和防灾减灾决策提供依据。

[关键词] 危岩崩塌　成因机制　动态监测　预警预报

1　前　言


图 1 W12# 危岩崩塌现场
Fig.1 Rockfalling site of W12#

2004 年 8 月 12 日中午 12 时 51 分，位于重庆市南川市金佛山甑子岩的 W12#危岩轰然崩塌。体积达 50 万 m^3 的岩体从海拔 1800 m 的崖顶南西侧倾崩坠落，瞬间，金山镇玉泉村方圆 2 km^2 的土坡上到处散落着巨大的碎裂块石（图 1）。垮塌过程共持续了约 2 分钟左右，铺天盖地的灰尘弥漫方圆近 3 km 的区域达 40 分钟。

由于预报准确及时，南川市提前启动了防灾预案，危岩波及范围内的近 500 居民已经提前搬迁。崩塌未造成任何人畜伤亡和财产损失。

2　危岩概况


图2 南川市甑子岩危岩监测点平面分布图
Fig.2 Monitoring points distributing plan of Zenziyan dangerous rock mass in Nanchuan City

金佛山甑子岩危岩群位于金山镇坭马村，地处金佛山向斜中段近轴部偏东翼部位，紧邻南川矿产品开发公司铝矿厂东侧。岩层产状（280°～300°）∠（4°～5°），出露地层为二叠系灰岩及志留系页岩，危岩沿东西转南北向展布，呈不规则的“U”字形展布，总体呈“甑子”[①1]形态展布，岩体弧形临空边缘全长近 1400m。危岩地形从上至下主要由两级陡崖组成（图 2）。一级陡崖由二叠系茅口组（P_{1m}）三、四、五段灰岩组成，海拔高程 1550m～1814m，崖高 100m～236m。二级陡崖由二叠系栖霞组(P_{1q})和茅口组（P_{1m}）灰岩组成，海拔高程 1400～1545m，崖高 80～105m；两级陡崖之间为茅口组（P_{1m}）

① 甑子：为南方居民蒸制米饭常用的木质（远古时为陶质）炊具器皿，呈圆桶状。

二段灰岩形成的斜坡，海拔高程 1700m～1800m。二级陡崖下为志留系中统韩家店组(S_{2h})粉砂质页岩构成的斜坡地貌，坡角 30°～39°，崖高 80～236m。甑子岩危岩为一个危岩群体，涉及 7 个危岩带、44 个危岩块体。其总方量达 40444.06 万 m^3。

由于该危岩群凌空高度大，体积大，一旦发生崩塌，将会带来毁灭性的灾难。危岩威胁范围纵向影响最远可达柏枝溪河床，横向影响宽度约为 1200m（赵家沟~肖家沟东侧山脊），包括流白水、新屋咀、秦家湾、赵家湾、沈家湾、响水湾（肖家沟冲沟东侧约 100m）等范围，危险区内的矿山及 150 户居民 564 人的生命财产安全，金山—头渡公路等都将受到严重影响。

3 危岩成因机制

甑子岩危岩的形成，主要受地形、岩性、软弱结构面、水、风化、根劈、人类活动等因素的综合影响所致。

（1）地形：整个危岩体为两级三面高陡临空陡崖，平面呈三面临空的“ U ”字型展布，危岩陡崖段高度 80~236m，近于直立，是危岩进一步发展的不利因素之一。

（2）岩性：二级危岩体主要由质地很纯的二叠系茅口组（P_{1m}）石灰岩构成，基座分别为梁山组(P_{1l})炭质页岩和茅口组（P_{1m}）二段页岩夹灰岩，具有典型的“ 上硬下软 ”的软垫层基座特征。是崩塌发育中的基本因素之一（图 3）。

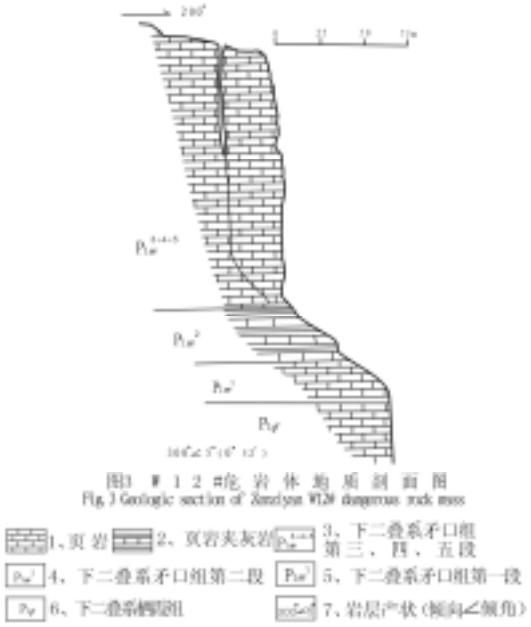


图3 甑子岩危岩体地质剖面图
Fig.3 Geologic section of Zenziyan WJM dangerous rock mass

（3）软弱结构面：据调查，岩体内发育三组裂隙，其中卸荷裂隙产状直立，沿陡崖呈带状分布，裂隙带发育宽度 20~45m，尤其在 20~30m 裂隙范围内最为明显；最大延伸长度达 200 余米，张开度一般 1~200cm，最大张开度大 6~7m。裂隙贯通性好，多无充填或充填少量的碎石，与层面组合，致使危岩体割裂分解呈形态各异的独立块体。结构面的不利组合是主导岩体稳定性降低的主要因素之一。

（4）水的作用：宽大的裂隙为水的运移提供了良好的通道，流经岩体裂隙中的水，使不稳定岩体与稳定岩体之间的侧向摩擦力减小；流动的水使岩体可溶物质溶解，同时水对裂隙内充填物质有软化作用，带走细粒物质，水的作用加速了危岩体的进一步扩展。

（5）风化作用：危岩带位于四川盆地东南缘、大娄山西脉西侧一带山地。长期裸露地表的岩石，在温度变化、大气、水溶液、生物等因素作用下，加快了岩体的差异风化，尤其对软质岩体和裂缝的充填物尤为明显，导致了龛状凹腔岩穴形成。风化作用是崩塌发育中的积极因素之一。

（6）根劈作用：树木的根劈作用，能破坏岩体整体性。生长在岩石裂隙中的树木，由于根部不断延伸和变粗，使岩石裂隙不断张开，并使岩体进一步破坏，进而导致危岩、崩塌的形成。

（7）采矿活动：危岩区底部有铝矿厂在进行采矿活动，开采面积 0.5km^2，采掘洞室的顶板埋藏深度 170~400m。在上部岩体自重力的长期作用下，采矿顶板具有逐渐向下弯曲变形迹象，致使上部岩体产生朝临空方向(S-W200°)位移的趋势。该采矿活动是加速危岩失稳的主要因素之一。

甑子岩危岩体在自重应力的作用下，临空面周围岩体发生卸荷回弹，临空面周围主应力迹线发生明显偏转，为应力重分布、应力分异的结果。在临空面附近产生应力集中带，坡脚附近形成最大剪应力增高带，从而产生与坡面平行的压致拉裂面；由于卸荷作用，坡体向临空方向回弹，使岩体原有结构松弛，陡倾角裂隙进一步加深加大，形成卸荷裂隙带。

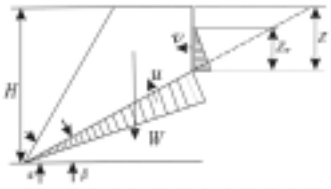


图4 基座剪切滑塌式破坏示意图
Fig.4 Sketch of foundation shearing and slumping failure mode

陡崖卸荷裂隙带的形成为进入时效变形破坏创造了条件，受风化、地下水及人类工程活动等因素综合作用，陡崖基底页岩夹灰岩或炭质页岩、粉砂质页岩被风化、软化、崩解，形成龛状凹腔；在上覆岩体自重力作用下，导致下伏矿硐顶板下沉，并使陡崖向临空方向产生变形，陡倾角裂隙进一步拉裂扩张，陡崖渐变为由多条不利结构面分割的岩柱，形成危岩。随着变形的加剧，拉张裂隙分割出来的高大岩柱下部岩体被剪裂压碎，变形向蠕滑发展。再随着蠕滑的发展，基座下沉，拉裂隙向纵深扩展，当深度达到潜在最危险的剪切点时，岩体剪断滑动并破坏（图 4）。

4 W12#危岩体稳定性研究

前已述及，南川甑子岩危岩群由二级陡崖组成，崖缘周边全长约 1400m，共涉及 7 个危岩带、44 个危岩块体。其中变形迹象尤为明显的属Ⅲ-2 号危岩带、编号为 W12#的危岩体。该危岩体分布高程 1561～1796m，体积约 56.25 万 m^3，岩性为 P_{1m}^{3+4+5} 灰岩，基座岩性为 P_{1m}^{2} 页岩夹灰岩，具有典型的“上硬下软”特征，危岩体主崩方向 200°。岩体发育三组裂

隙，其中两组产状直立的裂隙，延伸长约 200m 左右，宽 3～10m，裂隙从顶部贯穿至底部；另一组层间裂隙于危岩体中、下部形成凹岩腔。

构成 W12#危岩体的岩性为灰岩，基座岩性为页岩夹灰岩，结构面产状 310°∠90°、25°∠89°、300°∠5°，分布高程 1596~1796 米，危岩块体尺寸 235m×50m×10 m。岩层产状 300°∠5°，主崩方向 200°。危岩形状为三棱柱状，三组裂隙发育：①组裂隙 310°∠90°，延伸长度约 200m，自 P_{1m}^{2} 与 P_{1m}^{3} 的界面向上贯通直至崖顶，于危岩体顶部张开宽度 2m 左右，充填块石、碎石土，下部张开 20—30cm，无充填，裂面见钙泥质物，构成危岩体北侧边界；②组裂隙 25°∠89°，延伸长度 200m，张开约 10cm，无充填，局部充填碎石，裂面见钙质物，亦贯通至顶，构成南侧边界；③组裂隙为层间裂隙，于危岩体中部、下部形成龛状凹岩腔，高 0.50m，平距 0—10m，构成危岩体上、下边界。

根据 W12#危岩体发育的基本特征，岩质斜坡的主控结构面走向平行于坡面，结构面倾角小于坡角且大于其内摩擦角。

根据《甑子岩勘查报告》(2002 年)稳定系数计算结果表明，W12#危岩体在天然状况下，*K* 值为 1.10，处于欠稳定状态；暴雨工况下 *K* 值 1.00 为临界状态；暴雨+地震工况 *K* 值 0.67 为失稳状态。

5 动态监测分析

2001 年 11 月，在甑子岩 W12#危岩体顶部卸荷裂隙上设立了 4 个监测点，采用经纬仪观测，每 3 天观测一次，其观测结果见 2001—2002 年动态监测统计表（表 1、表 2）。2004 年 3 月对 W12#危岩体重新布置了 2 个采用人工量测方法的裂缝监测点和采用经纬仪进行水平位移量测的 1 个置镜点、2 个监测点 (其点位布置详见图 2、观测结果见表 2)。

表 1 2001—2002 年 W12#危岩体(1#－4#点)动态监测统计表

监测点编号	观测日期		累计变化量
	2001 年 11 月 8 日	2002 年 5 月 24 日	(mm)
1#	1.020m	1.048m	28
2#	3.710m	3.730m	20
3#	6.815m	6.843m	28
4#	4.480m	4.498m	18

表 2 2001—2002 年 W12#危岩体(2#3#7#8#点)动态监测统计表

监测点编号	观测日期		累计变化量
	2004 年 3 月 8 日	2004 年 8 月 11 日	(mm)
2#	0.001m	0.1m	99
3#	0.003m	0.5m	497

7#	0.005m	0.348m	343
8#	0.954m	0.78m	174

监测数据分析表明，自 2003 年起，该危岩体已进入加速变形阶段，呈欠稳定性状态。至 2004 年 6 月，危岩体顶部裂隙张开达 0.5~5m，后缘的裂隙已大部贯通，经常有零星危岩块体坠落，表明危岩变形正在加速发展，具趋强势态，已渐近临界状态，整体失稳可能性正在加大。

6 预警预报判据研究

根据在 W12#危岩体设立的 2#、3#、7#、8# 共 4 个监测点的监测系列数据研究，从 2001 年开始进行的断续监测和 2004 年以来的每日监测数据，对 W12#危岩体综合信息预报判据作以下研究。

（1） 预报对象 根据岩体的地质条件、外观形态特征、变形迹象、崩滑历史、现今位移速率及发展趋势，以及危岩体可能造成的危害，确定该危岩体为重点预报对象。

（2） 预报判据形成原则和方法 宏观地质调查与仪器监测相结合；地质定性分析与数据定量分析相结合；经验判据与理论分析相结合。险情预报以危岩体进入加速变形阶段为判据标准；临灾预报以危岩体进入急剧加速变形阶段为判据标准。

（3） 预报判据的主要依据 岩体位移监测、裂隙相对位移监测的基本数据资料和宏观地质调查危险征兆信息。

（4） 综合信息预报判据 仪器监测的危岩体位移、裂缝变化速率加快，位移曲线斜率明显增大，出现突变（拐点）或进入加速变形阶段；动态变化曲线速率连续增长，其位移曲线斜率明显增大变陡；

（5） 临灾报警状态 在警报状态的基础上，监测资料表明，危岩体位移的变形、主要裂缝的变化及深部软层的变形明显增大，均进入急剧加速变形阶段，位移曲线斜率骤增，出现拐点，曲线陡立（图 5）。危岩体边缘部位及裂缝处出现频繁坠石。

纵观 W12#危岩体变形破坏过程，在 2001 年至 2003 年间，危岩体水平位移量多在 1mm/10d，；2003 年至 2004 年 3 月底，危岩体水平位移量增为 2~10mm/10 天，呈加速变形特征；2004 年 4 月初—2004 年 6 月底，危岩体水平位移量增至 4~15mm/10 天，强加速变形特征显著，处临界失稳状态。在此期间发出了险情预报，有计划地分期组织当地居民分批搬迁，危险区内的生产矿山停止生产并关闭。

2004 年 7 月至 8 月 9 日，危岩体水平变化量多在 7—20mm/10 天，监测动态曲线斜率持续急速加大；至 8 月 9 日—8 月 10 日，2#、3#、7#、8# 各监测点动态变化曲线斜率猛增，并相继出现明显拐点：

2# 监测点：8 月 10 日变形量为 41mm，8 月 11 日变形量为 10mm（该监测点处于危险区内，已停止监测）；

3# 监测点：8 月 10 日变形量巨大，达 168mm，8 月 11 日变形量为 74mm（该监测点处于危险区内，已停止监测）；

7# 监测点：8 月 10 日变形量为 70mm，8 月 11 日变形量增至 85mm，8 月 12 日变形量则达 118mm；

8# 监测点：8 月 10 日变形量达 166mm，8 月 11 日变形量增为 248mm，8 月 12 日早 7：30 分变形量陡增，达 658mm 之多。(见图 5)

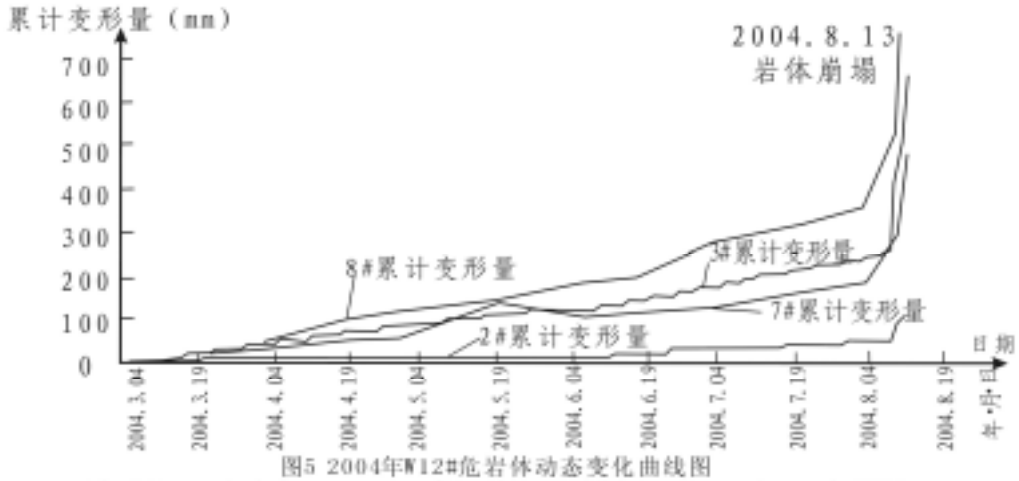


图5 2004年W12#危岩体动态变化曲线图

Fig.5 Dynamical change curves of Zenziyan W12# dangerous rock mass in 2004

根据监测数据进行分析研究，7#、8# 监测点自 8 月 9 日发生突变以来变形量急剧增大，变形活动强烈，说明该危岩体已处于急剧变形阶段，动态变化曲线出现拐点，极有可能随时出现整体崩塌。8 月 10 日对 W12# 危岩体发出临灾预报，并迅速报请主管部门和行政当局启动防灾预案，广泛进行防灾救灾宣传，划定警戒范围并设置警戒标志，维护险区重要目标的安全，进行交通管制，及时搬迁疏散危险区及影响区内的所有人员。

8 月 12 日中午 12 点 53 分，W12# 危岩体发生整体崩塌。由于成功地预报了金佛山甑子岩 W12#危岩的崩塌，及时启动了防灾预案，提前紧急疏散了危险区内的所有人员，幸未造成任何人员伤亡和财产损失。同时为金佛山甑子岩危岩带的进一步监测分析研究积累了宝贵的资料，为山体岩崩的破坏模式研究和危岩体监测预警预报提供了可靠的地质模式参考依

据，为探索突发性的地质灾害的时间、空间预警奠定了良好的基础。

目前，甑子岩地带的其它危岩体的监测和预警工作仍在继续。

参考文献：

1、 重庆地质矿产开发总公司 107 地质队． 重庆市南川金佛山甑子岩危岩勘查报告 .2002

2、 重庆市质量技术监督局． 重庆市地方标准《地质灾害防治工程勘察规范》(DB50/143—2003) . 2003

3、 张倬元． 工程地质分析原理 北京：地质出版社．1985

4、 国家技术监督局、中华人民共和国建设部． 岩土工程勘察规范 (GB 50021—94) .1994

5、 王尚庆． 长江三峡滑坡监测预报 北京：地质出版社 1999

6、 姚爱军．边坡工程稳定性耦合分析理论与方法研究[博士论文 D].北京：中国矿业大学博士论文，1999。