

# 汶川 8.0 级地震对紫坪铺左岸坝前堆积体 稳定性影响的监测分析

汪家林, 徐湘涛, 汪贤良, 黄小凤

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

**摘要:** 钻孔倾斜仪观测成果表明, 紫坪铺水库蓄水至汶川 8.0 级地震前, 左岸坝前堆积体处于稳定状态, 坡体测位移无明显变化且计算的位移矢量无明显的方向性。汶川 8.0 级地震给距震中仅 17 km 紫坪铺工程带来了明显影响。根据监测成果及现场调查分析, 汶川 8.0 级地震对紫坪铺左岸坝前堆积体产生了一定程度的影响: 灯盏坪前缘浅表部局部崩塌与裂缝; 基覆界面受地震影响产生了明显错动, 位错增量最大值为 60~70 mm; 在错动面以上坡体位移随高程增加而增加, 地表累计合位移增量为 55~100 mm, 局部高达 206 mm。地震使坡体位移形成了明确的方向, 震后地表位移矢量与汶川地震断裂带走向大致垂直。地震使堆积体内部土体产生了明显的倾斜变形, 钻孔倾斜率变化最大值为 1.873%。坡体的变形异常主要表现在主震时, 后期的余震对坡体变形影响很小。从震后连续的监测成果分析, 紫坪铺左岸坝前堆积体目前仍处于整体稳定阶段。

**关键词:** 水利工程; 汶川 8.0 级地震; 紫坪铺水利工程; 堆积体; 库岸边坡; 变形监测; 稳定性; 测斜仪

**中图分类号:** TV 641.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2009)06 - 1279 - 09

## MONITORING ANALYSIS OF INFLUENCE OF WENCHUAN 8.0 EARTHQUAKE ON TALUS SLOPE STABILITY AT LEFT BANK IN FRONT DAM OF ZIPINGPU HYDRAULIC PROJECT

WANG Jialin, XU Xiangtao, WANG Xianliang, HUANG Xiaofeng

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

**Abstract:** The borehole inclinometer monitoring results indicate that the talus slope at the left riverbank in front of the dam of Zipingpu hydraulic project is stable until Wenchuan 8.0 earthquake, for no significant changes of displacements are observed in the slope and no obvious direction is found in the calculated displacement vectors. The Wenchuan 8.0 earthquake has brought negative effect on Zipingpu hydraulic project, which is only 17 km from the epicenter. According to the monitoring results and field investigation, the influence of the earthquake on the talus slope can be summarized as follows. Some local collapses and cracks appear on the surface of the front slope of Dengzhanping plateau, and an obvious dislocation was produced in the joint surface between bedrock and overlying talus. The maximum offset of the joint surface is 60 to 70 mm; above the surface, the displacement increases as the elevation and reaches ground with a range of 55 to 100 mm, and the maximum value is 206 mm. The displacement is formed at a specific direction due to the earthquake; and the vector is vertical approximately

**收稿日期:** 2009 - 02 - 18; **修回日期:** 2009 - 03 - 13

**基金项目:** 四川省重点科技攻关项目(02SG023 - 037)

**作者简介:** 汪家林(1963 - ), 男, 硕士, 1984年毕业于重庆大学采矿工程专业, 现任教授, 主要从事岩土工程、地质工程及工程安全监测方面的教学与研究工作。E-mail: geostar@cdut.edu.cn

to the fault of Wenchuan 8.0 earthquake. The inclination of the observed hole is remarkable with a maximum rate of 1.873‰. The deformation was influenced mainly by main shock and hardly by the aftershock. The continuous monitoring data of post-earthquake show the talus slope is globally stable.

**Key words:** hydraulic engineering; Wenchuan 8.0 earthquake; Zipingpu hydraulic project; talus slope; bank slope of reservoir; deformation monitoring; stability; inclinometer

# 1 引言

据中国地震台网测定, 2008年5月12日14时28分04秒, 四川省汶川县映秀镇(北纬31.0°、东经103.4°)发生里氏8.0级特大地震<sup>[1]</sup>, 该次地震具有震级高、震源浅、破坏性强、次生地质灾害严重等特点, 产生了很多规模较大的崩塌、滑坡及堰塞湖等地质灾害, 且距离发震断裂越近地质灾害发育密度越高<sup>[2~5]</sup>。该次地震对距离震中仅17 km的紫坪铺水利枢纽工程产生了较大程度的影响, 枢纽区地震烈度高达IX~X度<sup>[6]</sup>, 引起了社会各界的广泛关注。

紫坪铺水利枢纽工程位于岷江上游映秀—都江堰河段, 距都江堰市9.0 km、距成都市67.0 km, 是一座以灌溉和供水为主, 兼有发电、防洪、环保等综合效益的大(I)型水利工程<sup>[7]</sup>。枢纽工程坝址以上控制流域面积 $22.662 \times 10^3 \text{ km}^2$ , 坝型为面板堆石坝, 最大坝高为156.0 m, 正常蓄水位为877.0 m, 总库容为 $11.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。左岸坝前堆积体位于库首沙金坝以上, 规模巨大, 处于引水系统进水口正前方, 经多方论证<sup>[7~9]</sup>, 认为堆积体在蓄水后存在潜在失稳的可能, 故采取了堆碴反压前缘坡体和坡脚的治理方案。

汶川8.0级地震发生后, 坝前堆积体成为抗震救灾的生命通道。堆积体在地震后的变形特征及稳定性将直接影响到大坝安全和水库正常运行, 并可能危及下游人民的生命财产安全。因此, 有必要对其震后的稳定性进行研究。堆积体内埋设的监测仪器记录了汶川地震对坡体变形的影响, 分析其变形特征对地震作用下堆积体类斜坡的稳定性研究具有较高的参考价值。

## 2 堆积体基本概况和治理措施

### 2.1 左岸坝前堆积体的基本概况

紫坪铺坝前堆积体发育于岷江河谷左岸, 距离大坝618.0 m, 距离右岸引水系统进水口最近处仅

250.0 m; 上游界线在汤家林沟至桃子坪一线, 下游边界止于贾家沟, 后缘分布接近分水岭, 前缘直抵岷江, 顺坡长1 600.0 m, 宽300.0~870.0 m, 平面分布约 $1.0 \text{ km}^2$ ; 空间展布特征为前缘窄、向山内变宽, 后缘为基岩陡壁, 陡壁下方<sup>[7, 9]</sup>由数个不同高程的平台和连结其斜坡构成(见图1)。堆积体厚度一般为24.9~103.0 m, 总方量为 $(3.50 \sim 4.50) \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

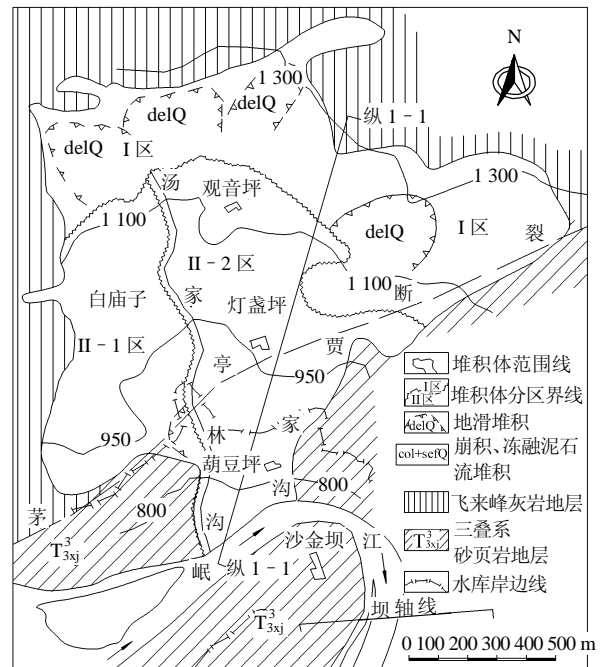


图1 堆积体工程分区图<sup>[7]</sup>(单位: m)

Fig.1 Geological zoning of talus slope<sup>[7]</sup>(unit: m)

紫坪铺堆积体在平面上具有明显的分区性, 上部I区由基岩座落体构成, II-1区土体沿岷江向下游无临空面, 水库运行期间均不会产生失稳滑动。II-2区位于观音坪、灯盏坪和葫豆坪一带, 最大厚度达128.0 m, 方量为 $(2.50 \sim 3.00) \times 10^7 \text{ m}^3$ , 该区上游侧为汤家林沟, 下游侧为贾家沟, 前缘直抵岷江, 三面临空且灯盏坪前缘曾产生过数次次生蠕滑<sup>[7, 9]</sup>。水库蓄水后葫豆坪和灯盏坪前缘将淹没在正常水位以下, 水库运营条件下整体安全裕度甚少。

堆积体典型地质剖面(见图2)呈台阶状, 坡体中

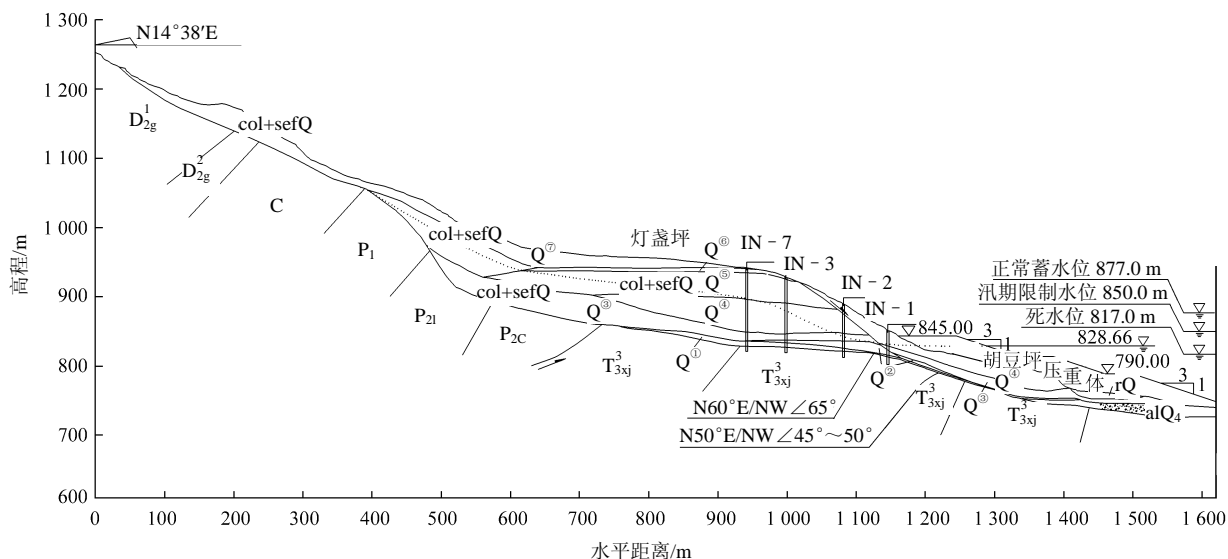


图 2 堆积体纵 1-1 地质剖面图

Fig.2 Geological profile of longitudinal cross-section 1-1 of the talus slope

后部相对较厚, 基覆界面上陡下缓。基岩底座主要由中生界上三叠统须家河组( $T_3xj$ )含煤系的砂页岩含煤地层组成, 堆积体物质在垂向上具有明显的分层性, 从新至老依次为:  $Q^7$ (块碎石夹黏土),  $Q^6$ (黏土夹少量块碎石),  $Q^5$ (块碎石夹黏土),  $Q^4$ (块碎石夹黏土),  $Q^3$ (块碎石土),  $Q^2$ (块碎石夹黏土)以及  $Q^1$ (土夹少量块碎石)。其中,  $Q^1$ 层处于块碎石与基岩接触部位, 该层始于灯盏坪下部基岩接触面, 向前缘延伸直达胡豆坪前缘, 工程性状很差, 是控制堆积体稳定性的关键层位。

### 2.2 坝前堆积体治理措施

经综合前人研究结果<sup>[7~10]</sup>, 堆积体的治理措施采用堆碴反压前缘坡体和坡脚的方案, 并保留上游围堰进行压重体布置与设计(见图 2), 以加强支挡效果, 从而确保堆积体、压重体和上游围堰的整体稳定性。压重体长度约为 470 m, 底宽最大为 330 m, 顶宽为 60 m, 最大高程为 845 m, 在垂直河流方向分为 3 个台阶: 高程 845, 815 和 790 m, 台阶与台阶之间按 3.0 : 1(高度 : 长度)的坡度设计; 在沿河流方向按 2.5 : 1(高度 : 长度)的坡度设计压重体的形态。估计压重体总方量为  $90.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。治理后, 堆积体的稳定性得到了较大的提高。

## 3 监测仪器布置及震前变形特征

### 3.1 监测仪器布置

为监测堆积体的整体稳定性动态变化特征, 共

布置了 7 个测斜孔(编号为 IN-1~IN-7), 皆穿过基覆界面, 其中 IN-1 孔在蓄水前改造为固定式倾斜仪进行遥测(见图 3); 同时, 为监测地下水位的变动情况, 在 7 个测斜孔底部各安装了 1 支渗压计(编号为 PD-1~PD-7)。

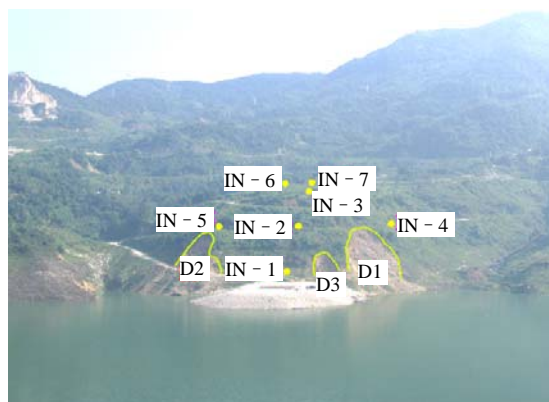


图 3 堆积体监测仪器布置图

Fig.3 Monitoring instruments arrangement of the talus slope

### 3.2 震前变形特征

自 2003 年 12 月开始, 各仪器逐次安装, 2005 年 9 月 30 日水库蓄水, 截至 2008 年 5 月 12 日地震前, 各测孔的孔口累计合位移均较小(见图 4 以及表 1), 位移随时间有少量波动增加, 最大值为 46.24 mm(IN-6 部位), 平均位移速率最大值为 0.038 mm/d。从位移与孔深的关系看, 累计合位移随高程的增加而增加, 这主要是误差累积的结果(倾斜仪观测误差为 7 mm/(25 m))。各测孔均未出现明显错动面, 地表未发现变形开裂等异常情况。各测孔位

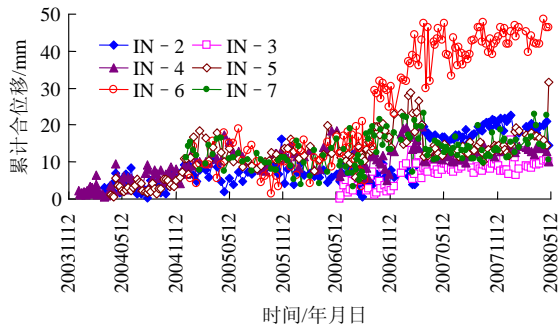


图 4 震前各测孔的孔口累计合位移 - 时间关系

Fig.4 Cumulative displacement-time curves in ground of observation holes before Wenchuan 8.0 earthquake

表 1 震前各测孔的孔口位移特征统计

Table 1 Displacement characteristics of the monitoring portholes before Wenchuan 8.0 earthquake

测孔编号	累计合位移		平均速率/(mm · d <sup>-1</sup> )
	量值/mm	方向/(°)	
IN - 2	14.66	15~360	0.010
IN - 3	10.09	16~353	0.014
IN - 4	10.00	186~299	0.006
IN - 5	31.65	132~360	0.021
IN - 6	46.24	0~360	0.038
IN - 7	10.72	62~202	0.009

移矢量方向比较杂乱、无明显规律,说明堆积体在蓄水后至汶川 8.0 级地震前处于稳定状态。

## 4 汶川 8.0 级地震引起的变形破坏特征

### 4.1 地表变形破坏特征

#### 4.1.1 局部崩塌与地表裂缝

汶川 8.0 级地震后,在堆积体灯盏坪前缘高程 845~890 m 部位发生了 3 处小规模的地表崩塌(编号为 D1, D2, D3),在 890 m 公路外侧产生了多条连续的裂缝(见图 3, 5, 6)。崩塌物质为块碎石夹黏土,方量分别约为 600, 400, 150 m<sup>3</sup>。产生该 3 处崩塌的原因在于施工道路开挖形成局部陡峻边坡,其自稳能力较差,在地震力作用下产生局部崩塌,该崩塌区后期在余震或降雨条件影响下有所扩大,且将来在库水位波动下有可能继续扩展,但尚不至于影响堆积体的整体稳定性。堆积体受地震影响产生的破坏主要表现在灯盏坪前缘的局部区域,其他部位无明显异常现象。

#### 4.1.2 地表变形监测成果



(a) 前缘高程 890 m 地表裂缝



(b) D2 地表滑塌

图 5 震后地表崩塌破坏现象

Fig.5 Surface failure phenomena of the talus slope after Wenchuan 8.0 earthquake

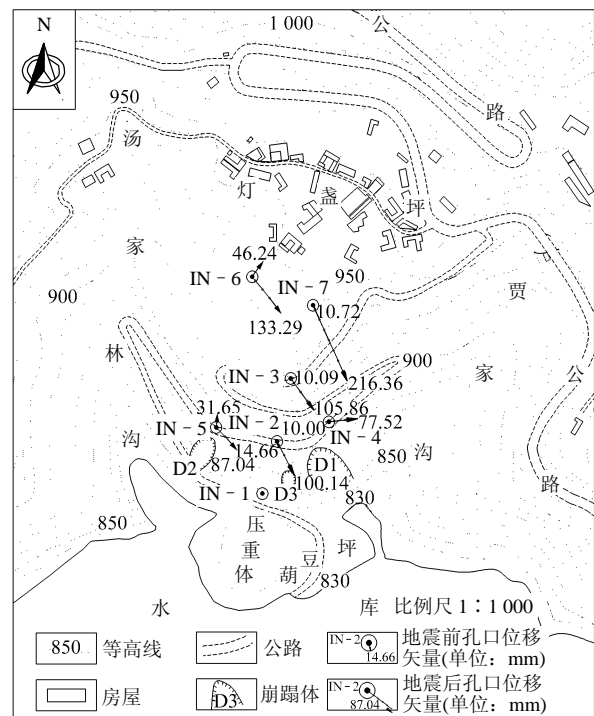


图 6 地震前后孔口位移矢量图(单位: m)

Fig.6 Displacement vectors of the monitoring holes before and after Wenchuan 8.0 earthquake(unit: m)

根据倾斜仪监测成果, 汶川 8.0 级地震使堆积体产生了明显的变形(见图 6), 孔口位移增量范围为 55~96 mm, 局部达到 206 mm(IN - 7)(见表 2)。地震前坡体变形无明确方向, 计算的位移方位角主要受观测误差的影响, 但震后地表位移矢量方向表现出较好的一致性, 其平均值为 135°, 偏向下游方向贾家沟侧, 与汶川地震断裂带走向 229°大角度<sup>[1]</sup>相交, 两者夹角大致为 94°, 说明堆积体的变形方向除受基岩底座及临空面影响外, 主要受汶川 8.0 级地震控制, 坡体的位移矢量方向与北川—映秀断裂带走向基本垂直。

表 2 地震引起的各孔口位移特征统计

Table 2 Displacement characteristics of various monitoring holes after Wenchuan 8.0 earthquake

测孔编号	位移增量/mm	震后方向/(°)
IN - 2	85.48	152
IN - 3	95.77	143
IN - 4	67.52	84
IN - 5	55.39	135
IN - 6	87.05	140
IN - 7	205.65	155

从倾斜仪孔口监测数据看, 坡体位移的突变及位移矢量方向的趋同性是堆积体对汶川 8.0 级地震的突出反映。

### 4.2 堆积体内部变形破坏特征

#### 4.2.1 基覆界面位错及内部变形分析

对于堆积体斜坡, 基覆界面常常是失稳的滑动面<sup>[11]</sup>, 坡体滑动时可在滑面剪断测斜管或产生大变形导致探头不能下放, 这可利用固定式测斜仪予以解决。由固定测斜仪 IN - 1 累计合位移 - 时间关系可知, 见图 7(以 2006 年 9 月 7 日为基准, 基覆界面埋深为 35 m), 汶川 8.0 级地震前, IN - 1 的位移主要受库水位波动影响而随时间有非常微小的增加, 但基本趋于平稳(平均速度小于 0.01 mm/d); 地震发生后, IN - 1 的累计合位移增量为 30.67 mm, 位移 - 时间曲线存在明显的台阶状跃变。位移矢量方向为 154.69°, 与汶川地震断裂带走向 229°之间的夹角为 74.31°。主震后尽管余震不断, 但位移 - 时间曲线趋于平稳, 说明坡体变形受主震的影响较为明显。

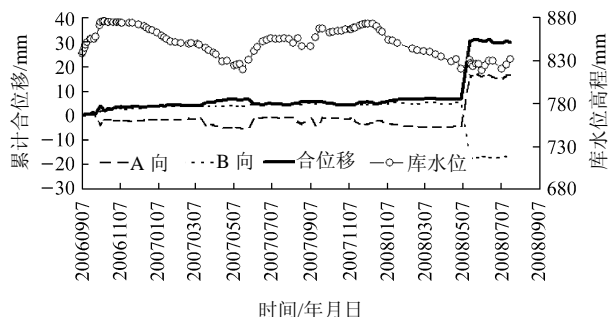
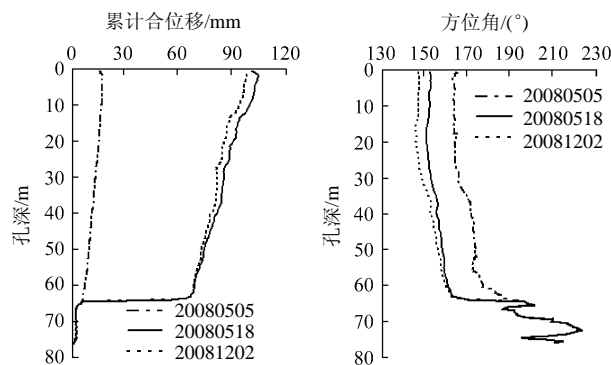


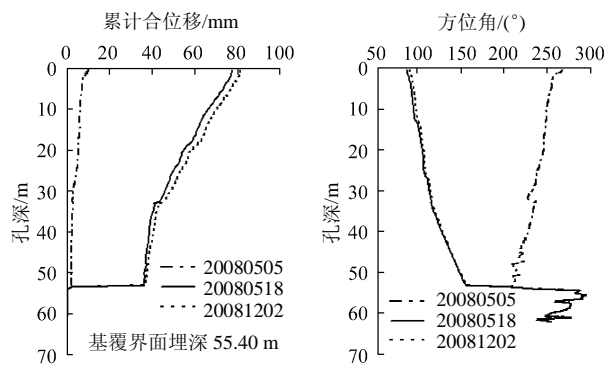
图 7 固定式倾斜仪 IN - 1 累计合位移 - 时间关系

Fig.7 Relationship of accumulative displacement-time curves of fixed inclinometer IN - 1

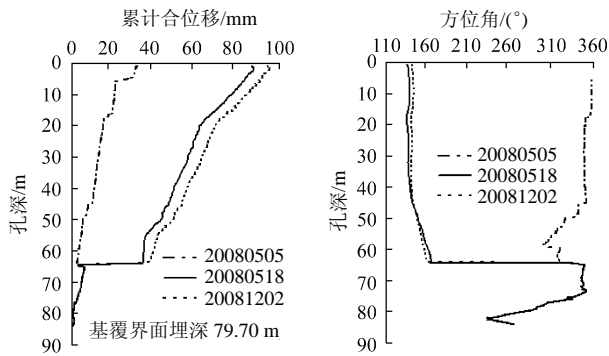
汶川 8.0 级地震导致堆积体基岩与覆盖层界面发生了错动, 滑动式倾斜仪的监测成果很好地反映了这一变形特点。从观测成果看, 除 IN - 3(后期损坏未达基覆界面)外, 地震后各测斜孔均形成了较明显的错动面。典型的滑动式测斜仪累计合位移 - 孔深以及方位角 - 孔深关系见图 8 和表 3, 其中 IN - 2, IN - 4, IN - 7 测斜孔错动面出现于基覆界面附近, 错动面处位移增量范围为 34~50 mm, 位移矢量方向为 153°~170°。IN - 5, IN - 6 孔在覆盖层内形成了次级错动, 位移增量范围为 15~32 mm, 位移方向为 163°和 100°。



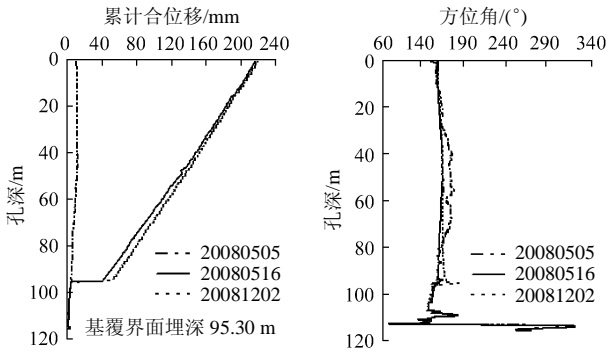
(a) IN - 2 累计合位移 - 孔深以及方位角 - 孔深关系曲线



(b) IN - 4 累计合位移 - 孔深以及方位角 - 孔深关系曲线



(c) IN - 5 累计合位移 - 孔深以及方位角 - 孔深关系曲线



(d) IN - 7 累计合位移 - 孔深以及方位角 - 孔深关系曲线

图 8 各测孔深部累计合位移 - 孔深以及方位角 - 孔深关系曲线

Fig.8 Accumulative displacement vs. depth and direction vs. depth curves of various monitoring holes

表 3 各测孔滑面处累计合位移特征

Table 3 Displacement characteristics of various monitoring holes' accumulative resultant displacement in slip surface

测孔 编号	2008年5月5日		2008年5月18日		2008年12月2日	
	累计合位移 /mm	方位角 /(°)	累计合位移 /mm	方位角 /(°)	累计合位移 /mm	方位角 /(°)
IN - 2	5.82	191	55.25	170	56.05	170
IN - 4	2.16	209	36.47	153	37.23	154
IN - 5	2.30	319	34.05	163	35.75	160
IN - 6	18.13	43	33.95	100	34.54	96
IN - 7	5.62	155	41.86	157	52.65	165

在错动面以上，坡体的位移随测点高程的增加而增加，在累计合位移 - 孔深曲线上基本表现为一条斜线，表明地震对堆积体变形的影响与高程有密切关系。

地震不仅引起了坡体位移量值的突变，而且使坡体位移产生了明显的方向趋势。震前由于坡体无明显变形发展且存在误差影响，计算的位移矢量方位角波动很大。地震动力的作用使堆积体边坡的变

形方向产生了趋同性，各错动面处位移矢量方位角较地震前均有较大改变(如 IN - 4 测孔)，利用方位角 - 孔深曲线进行错动面判断也是一种直观、有效的方法，见图 8。

4.2.2 基覆界面以上坡体的倾斜程度分析

基覆界面以上坡体各测孔沿深度方向的累计合位移特征统计见表 4。一般而言，坡体内部除在基覆界面产生明显错台外，在坡体内部随高程的增加累计合位移增加，在地表累计合位移达到最大值，这表明在地震作用下坡体发生了明显的倾斜变形。

表 4 各测孔深部累计合位移特征表

Table 4 Accumulative deep resultant displacement of various monitoring holes

测孔 编号	2008年5月5日 (地震前)		2008年5月18日 (地震后)		2008年12月2日	
	累计合位移 /mm	方位角 /(°)	累计合位移 /mm	方位角 /(°)	累计合位移 /mm	方位角 /(°)
IN - 2	5.82~16.96	163~191	55.25~104.21	151~170	56.05~97.79	146~170
IN - 3	0.18~10.22	29~81	0.47~105.86	130~158	0.48~104.78	140~171
IN - 4	1.99~10.00	208~267	36.21~77.52	84~153	36.97~81.55	87~154
IN - 5	2.30~10.11	300~367	34.05~87.97	135~164	35.75~95.49	140~160
IN - 6	18.13~32.99	35~43	33.95~133.81	97~140	34.54~118.63	95~133
IN - 7	5.39~12.90	146~173	41.86~216.36	155~161	52.65~219.49	156~166

注：IN - 3 未达基覆界面，其监测数据以孔底为基准。

由于各个钻孔的深度差异引起累积合位移的差异，从位移总量上还不能判断坡体的倾斜程度。堆积体边坡在地震过程中的倾斜变形程度可用钻孔倾斜量与钻孔深度的比值(见表 5)来表示，从表 5 可看出，灯盏坪前缘坡体的 IN - 2，IN - 4 和 IN - 5 部

表 5 堆积体内部各测孔倾斜变化

Table 5 Inclination rates of various monitoring holes inside talus

测孔编号	孔口高程/m	倾斜率/%	倾斜角/(°)
IN - 2	890.9	0.600	0.034
IN - 3	929.2	1.321	0.076
IN - 4	890.9	0.820	0.047
IN - 5	889.2	0.870	0.050
IN - 6	942.1	1.279	0.073
IN - 7	944.3	1.873	0.107



位倾斜率相对较小, 为 0.60‰~0.87‰(倾斜角变化为 0.034°~0.05°), 而处在堆积体中部 IN-3, IN-6 和 IN-7 部位的倾斜变形率相对较大, 其倾斜率为 1.279‰~1.873‰(倾斜角变化 0.078°~0.107°)。产生这一差异的原因估计与观测部位的高程有关, 一般而言随高程增加地震荷载的放大作用越明显。

## 5 地震后堆积体稳定性的监测评价

### 5.1 震后基覆界面位错变化过程分析

汶川 8.0 级地震发生后, 堆积体边坡加强了监测工作, 并拟根据监测成果评估坡体的整体稳定性。为消除累计误差的影响, 可对特定界面的位错进行分析。基覆界面的位错变化特征可选择在滑面上上下相距 5 m 的位移变化较稳定的部位进行研究。由各测孔基覆界面位错 - 时间关系图(见图 9)可看出: 汶川 8.0 级地震发生后, 各测孔基覆界面相对位错发生了较大突变, 在位错 - 时间关系上形成了一个明显的台阶状增加, 相对位错最大值高达 61.46 mm。震后的监测表明, 基覆界面的位错并没有随时间而持续发展, 位错 - 时间曲线基本保持平缓, 说明堆积体在主震以后仍处在稳定状态。据中国地震信息网, 从 2008 年 5 月 12 日~12 月 10 日, 映秀—北川断裂共发生 5.0 级以上地震共计 42 次<sup>[1]</sup>。主震后堆积体基覆界面的相对位错最大值为 3.83 mm, 远小于主震发生时的位错最大值, 且基覆界面的相对位错与已发生的余震震级之间没有明显的相关性, 可见堆积体的变形主要受汶川 8.0 级地震的主震影响, 余震对基覆界面的位错影响极小。

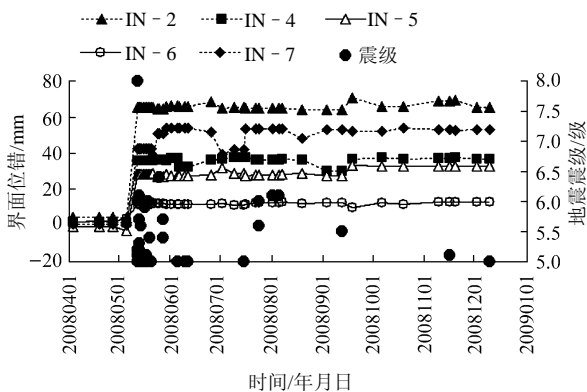


图 9 震后基覆界面位错 - 时间关系曲线  
Fig.9 Dislocation-time curves of the slip surfaces after Wenchuan 8.0 earthquake

### 5.2 震后孔口位移变化过程分析

由各测斜孔的孔口累计合位移 - 时间的关系(见图 10)可看出, 在汶川 8.0 级地震发生后坡体的变形呈台阶状增加, 但随后的观测表明坡体的变形保持在主震发生后的水平, 没有随时间进一步发展。从变形总量看, 堆积体目前的最大位移为 220 mm, 远小于丹巴县城后山滑坡<sup>[12]</sup>及小湾饮水沟堆积体<sup>[13]</sup>的变形总量, 可见坡体仍处在稳定状态。

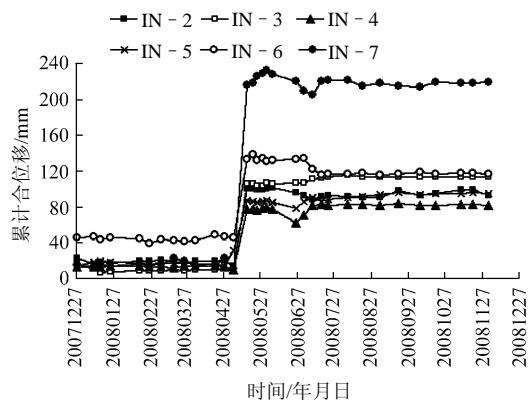


图 10 各测孔的孔口累计合位移 - 时间关系曲线  
Fig.10 Accumulative displacement-time curves in ground of various observation holes

对现有堆积体滑坡的统计结果表明, 堆积体滑坡的临界变形速率差别较大, 如新滩滑坡<sup>[14]</sup>加速变形阶段的月变形速度达 171.9 mm、临滑前达 584 mm/d, 丹巴滑坡<sup>[12]</sup>加速下滑阶段坡体的位移速率最大达 33 mm/d。由紫坪铺左岸坝前堆积主震后的位移速率与时间关系(见图 11)可知, 震后孔口位移速率在 -2.37~+2.52 mm/d 范围内波动, 并逐渐趋于 0, 位移速率的波动更多地反映了观测误差的影响, 且位移速率的大小和已发生的余震震级无明显

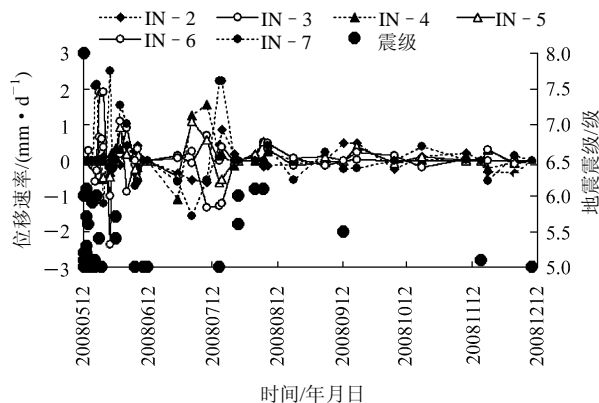


图 11 震后各测孔的孔口位移速率 - 时间关系曲线  
Fig.11 Displacement speed rate-time relation curves of various monitoring holes after Wenchuan 8.0 earthquake

相关性。在汶川 8.0 级地震后,堆积体边坡的变形与地震前相比无明显异常。

堆积体滑坡的发展演化是一个累进性变形破坏的过程,在演化过程中主要特征表现为位移与滑动随时间延续呈现不同的阶段性<sup>[15]</sup>,一般可分为 4 个阶段:蠕变阶段、挤压阶段、滑动阶段和稳定阶段。综合震后基覆界面位错特征和震后孔口位移变化特征,汶川 8.0 级地震发生后,堆积体受地震作用在基覆界面产生了一定的错动,但错动总量不大(最大值为 60~70 mm),地表巡视表明:尽管在灯盏坪前缘发生了局部崩塌,但方量很小,地表裂缝也显示为灯盏坪前缘的浅表层破坏,后缘未发现拉裂缝。监测与巡视表明,紫坪铺左岸坝前堆积体边坡在汶川地震期间仅在前缘局部产生了少量崩塌、基覆界面有轻微错动,但对堆积体的整体稳定性并未带来明显影响与恶化,堆积体经过自身应力调整后,目前仍处在整体稳定阶段。

## 6 结 论

(1) 自仪器安装、水库蓄水至汶川 8.0 级地震前,堆积体各测斜孔累计合位移最大值为 46.24 mm,平均位移速率最大值为 0.037 6 mm/d,矢量方向无明显规律,各测孔均未出现明显滑移面,地表未发现变形开裂等异常情况,地震前堆积体处于稳定状态。

(2) 汶川 8.0 级地震引起了灯盏坪前缘部位发生了 3 处小规模的地表崩塌,崩塌原因在于施工道路开挖而形成了局部陡峻边坡,该崩塌后期有可能继续扩大,但尚不至于影响堆积体的整体稳定性。

(3) 地震后,各测孔均形成明显错动面,IN-1, IN-2, IN-4 以及 IN-7 孔错动面位于基覆界面附近,位移增量最大值为 60~70 mm; IN-5, IN-6 孔错动面产生于覆盖层内,位移增量最大值为 32mm。错动面以上坡体的变形量随高程的增加而增加。

(4) 汶川 8.0 级地震后,各测孔位移均发生了较大突变,各测孔位移最大值均发生于孔口或孔口附近,位移增量为 55~100 mm,局部可达到 206 mm,震后位移无明显增加。

(5) 地震动力的作用使堆积体边坡的变形方向产生了趋同性,震后地表位移矢量方位角平均为 135°,与汶川地震断裂带走向大致垂直。

(6) 地震使堆积体边坡内部的钻孔发生了明显的倾斜,其最大倾斜率可达 1.873%,钻孔的倾斜程度与钻孔部位的高程有一定关系。

(7) 监测与巡视表明:堆积体的变形异常主要表现在主震时,主要的异常现象为前缘局部少量崩塌及基覆界面有轻微错动。主震后坡体的变形无明显发展趋势,余震对堆积体的稳定性无明显影响。

总体而言,汶川 8.0 级地震对紫坪铺左岸坝前堆积体边坡的稳定性产生了一定的影响,但后期的观测表明,堆积体目前仍处于整体稳定阶段。

## 参考文献(References):

- [1] <http://www.csi.ac.cn/sichuan/index080512.htm>[EB/OL]. 2009 - 01 - 16.
- [2] 黄润秋, 李为乐. “5.12”汶川地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2 585 - 2 592. (HUANG Runqiu, LI Weile. Research on development and distribution rules of geohazards induced by Wenchuan earthquake on 12th May, 2008[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(12): 2 585 - 2 592.(in Chinese))
- [3] 周荣军, 黄润秋, 雷建成, 等. 四川汶川 8.0 级地震地表破裂与震害特点[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(11): 2 173 - 2 183. (ZHOU Rongjun, HUANG Runqiu, LEI Jiancheng, et al. Surface rupture and hazard characteristics of Wenchuan earthquake with magnitude 8.0 in Sichuan Province[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(11): 2 173 - 2 183.(in Chinese))
- [4] 谢和平, 邓建辉, 台佳佳, 等. 汶川大地震灾害与灾区重建的岩土工程问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(9): 1 781 - 1 791. (XIE Heping, DENG Jianhui, TAI Jiajia, et al. Wenchuan large earthquake and post-earthquake reconstruction-related geotechnical problems[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(9): 1 781 - 1 791.(in Chinese))
- [5] 崔鹏, 韦方强, 何思明, 等. “5.12”汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 280 - 282. (CUI Peng, WEI Fangqiang, HE Siming, et al. Mountain disasters induced by the earthquake of May 12, 2008 in Wenchuan and the disasters mitigation[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(3): 280 - 282.(in Chinese))
- [6] 郑声安, 王仁坤, 章建跃, 等. 汶川地震对岷江上游水电工程的影响分析[J]. 水力发电, 2008, 34(11): 5 - 9. (ZHENG Sheng'an, WANG Renkun, ZHANG Jianyao, et al. Influence analysis of Wenchuan earthquake on the hydropower projects in the upstream of the Minjiang river[J]. Water Power, 2008, 34(11): 5 - 9.(in Chinese))



- [7] 杨建, 彭仕雄. 紫坪铺水利枢纽工程: 重大工程地质问题研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 40 - 61.(YANG Jian, PENG Shixiong. Research on major geological issues for Zipingpu hydraulic project[M]. Beijing: China Water Power Press, 2006: 40 - 61.(in Chinese))
- [8] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 495 - 501.(CHEN Zuyu. Soil slope stability analysis—theory, methods and programs[M]. Beijing: China Water Power Press, 2003: 495 - 501.(in Chinese))
- [9] 徐湘涛, 汪家林, 黄润秋. 紫坪铺水利枢纽工程左岸坝前堆积体变形破坏机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(增 1): 2 642 - 2 650.(XU Xiangtao, WANG Jialin, HUANG Runqiu. Research on deformation and failure mechanism of the talus slope located at the left riverbank ahead of the dam of Zipingpu hydraulic project[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(Supp.1): 2 642 - 2 650.(in Chinese))
- [10] 邹波忠, 汪家林, 徐湘涛, 等. 紫坪铺水利枢纽工程左岸坝前堆积体治理措施评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 19(4): 101 - 104. (ZOU Bozhong, WANG Jialin, XU Xiangtao, et al. Evaluation on treatment measure of the talus slope located at the left riverbank ahead of the dam of Zipingpu hydraulic project[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2008, 19(4): 101 - 104.(in Chinese))
- [11] 贺可强, 阳吉宝, 王思敬. 堆积层边坡位移矢量角的形成作用机制及其与稳定性演化关系的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(2): 185 - 192.(HE Keqiang, YANG Jibao, WANG Sijing. Study on forming mechanism of displacement vector angle and stability evolution relation of accumulative-formation slopes[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(2): 185 - 192.(in Chinese))
- [12] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433 - 454.(HUANG Runqiu. Large-scale landslides and their sliding mechanisms in China since the 20th century[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(3): 433 - 454.(in Chinese))
- [13] 邹丽春, 王国进, 汤献良, 等. 复杂高边坡整治理论与工程实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.(ZOU Lichun, WANG Guojin, TANG Xianliang, et al. Theory and engineering practice on treatment of complicated high slope[M]. Beijing: China Water Power Press, 2006.(in Chinese))
- [14] 王尚庆. 回顾新滩滑坡预报[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, (增): 11 - 19, 26.(WANG Shangqing. Review on prediction of Xintan landslide[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1996, (Supp.): 11 - 19, 26.(in Chinese))
- [15] 秦四清, 王思敬. 斜坡滑动失稳演化的非线性机制与过程研究进展[J]. 地球与环境, 2005, 33(3): 75 - 82.(QIN Siqing, WANG Sijing. Advances in research on nonlinear evolutionary mechanisms and process of instabilization of planar-slip slope[J]. Earth and Environment, 2005, 33(3): 75 - 82.(in Chinese))

## 第三届全国水工岩石力学学术会议征文通知(第一号)

(2010 年 8 月 上海)

由中国岩石力学与工程学会主办的“第三届全国水工岩石力学学术会议”将于 2010 年 8 月 28~29 日在上海市召开, 现发出会议的第 1 号征文通知。

- 1 **主办单位:** 中国岩石力学与工程学会
- 2 **承办单位:** 同济大学(其他承办单位待定)
- 3 **协办单位:** 中国岩石力学与工程学会岩体物理与数学模拟专业委员会; 中国岩石力学与工程学会测试专业委员会; 中国岩石力学与工程学会青年工作委员会; 《岩石力学与工程学报》编辑部
- 4 **会议时间与地点:** 会议时间: 2010年8月28~29日; 会议地点: 上海
- 5 **会议议题:** (1) 岩石、结构面力学和渗流性质; (2) 岩体工程勘察、测试、探测与试验新技术、新方法及新设备; (3) 岩体工程物理与数值模拟方法与工程应用; (4) 岩体工程数字化技术与健康诊断理论; (5) 高坝坝基设计理论与分析方法; (6) 岩质边坡工程稳定性分析与治理; (7) 大型地下洞室群设计与安全控制; (8) 深埋长隧洞及 TBM 施工中的岩石力学问题; (9) 岩体及坝基和边坡的动力特性及响应; (10) 环境岩土工程问题。
- 6 **会议论文与出版:** 提交的论文组织专家评审, 对评审合格的论文, 出版在论文集上。经专家评审后录用的优秀论文将在《岩石力学与工程学报》2010 年正刊和增刊上发表。论文请严格按照《岩石力学与工程学报》投稿要求编排(登陆网站: <http://www.rockmech.org>, 点击“投稿须知”一栏, 下载论文模板)。
- 7 **重要安排日期:**
  - 2010 年 1 月 10 日: 提交论文全文的截止日期;
  - 2010 年 3 月 31 日: 论文评审结果返回作者;
  - 2010 年 4 月 20 日: 正刊和增刊论文返回修改稿的截止日期;
  - 2010 年 5 月 20 日: 会议论文集返回修改稿的截止日期。
- 8 **承办单位联系方式:** 上海市杨浦区四平路 1239 号同济大学地下建筑与工程系 邮政编码: 200092  
 联系人: 张国柱, 夏才初 电话: 021 - 65980670 传真: 021 - 65985140  
 手机: 15921736198, 13601726265 E-mail: zhangguozhu240101@163.com, tjxiacbb@126.com
- 9 **会后考察:** 会将组织考察上海世博会。