

汶川地震震裂的斜坡岩体结构特征

裴向军, 黄润秋, 袁进科

(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:汶川震区震后斜坡地质灾害频发, 其中岩体震裂松动是引起震后次生地质灾害的主要原因。以震裂岩体结构精测为基础, 结合现场回弹测试与声波探测, 震裂岩体具有结构面显著张开、无充填或者少量充填和岩体架空等宏观特征, 同时具有回弹强度低、大范围的低波速带和强渗透性等变形特性。坡表岩体的回弹强度在 20~30MPa, 波速值集中在 2000~3000m/s, 完整性系数在 0.15~0.5, 完整性较差, 渗透性基本上属于强透水、严重透水段。以波速值为主要划分依据, 将震裂岩体分为严重震裂岩体、中等震裂岩体、轻度震裂岩体三个等级。

关键词:汶川地震; 震裂岩体; 宏观特征; 变形特性

文章编号:1003-8035(2013)02-0031-07

中图分类号:P642.27

文献标识码:A

0 引言

汶川地震震源浅、能量大、破坏范围广, 不仅在地表造成了数百公里的地表破裂, 而且还引发了上万次的各类地质灾害, 其中以崩塌和滑坡类地质灾害数量最多。汶川地震诱发大量斜坡地质灾害的同时, 还在坡体上造成了分布规模和潜在威胁均较大的一种潜在灾害——斜坡震裂变形体即震裂岩体。震裂岩体作为一种地质现象, 它主要是一定地质环境条件下受到地震力作用的结果^[1]。地震波在岩体内部的动力效应作用使得岩体结构被破坏, 整体结构变差。韩文峰在 1993 年就提出了松动岩体的概念^[2], 同时国内外对于松动岩体也进行了大量研究^[3-8]。这类岩体未如其它破坏形式具有的大变形、大位移等显著的宏观特征, 是一种内在的岩体损伤, 也是引起震后次生灾害频发的主要原因。结合汶川地震震裂斜坡的结构特征调查, 对震裂岩体的宏观特征和变形特性进行研究。

1 震裂岩体宏观特征研究

震裂岩体最直观的宏观特征就是结构面的松动, 包括岩体结构架空、充填物少或者无充填等特征。根据韩文峰^[2]等对松动定义的理解, 这种岩体在结构面张开类型、空间分布、发育深度等方面同普通的风化岩等碎裂松散结构岩体有明显不同。

1.1 结构面张开

地震力作用强烈部位, 震裂岩体的结构面均有不同程度张开, 表现为横向和纵向的位移错动, 基本无充填或少量充填, 以夹杂岩屑、碎石为主。结构面的

张开主要分为两个方面: 一种是岩体节理面的张开错动, 比如岩层的层面、片理面等(图 1)。



图 1 岩层层面被震裂拉开错动

Fig. 1 Bedding plane were shattered rupture and dislocation

另一种是结构面的拉裂张开。岩体裂隙面的震裂张开现象也很明显(图 2), 是岩体内部裂隙的基础上发展起来的, 裂缝不规则发育, 形成的破裂面粗糙、壁面起伏大、方向性不强。

对于结构面张开程度的分析, 从张开度上进行统计。以地震区某斜坡为例(图 3), 通过对结构面的精测调查, 结构面张开度随着坡高的增加有着明显的张开。而结构面张开度较大的位置, 往往是山脊处或者临空面较好的地方。按照地震波传播特点, 斜坡越

收稿日期:2013-02-28

基金项目:国家自然科学基金(40972195); 科技部支撑计划 B(2011BAK12B03); 四川省科技创新团队项目(2011JTD012)

作者简介:裴向军(1970—), 男, 教授, 主要从事工程地质教学与科研工作。

E-mail: peixj0119@tom.com



图2 岩体裂隙面被震裂拉开

Fig. 2 Fracture surface were shattered rupture

高,地震波放大效应越明显,地震力作用越强,受到的地震破坏越强^[9]。在低处位置,结构面张开程度总体上不明显,以1~5cm为主,说明受到的地震作用力较弱。在高位位置,结构面张开度普遍较大,说明岩体被震裂松动严重。

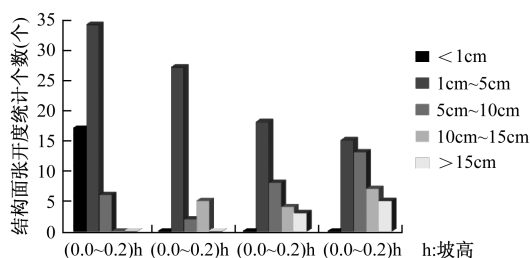


图3 张开度随坡高区间分布图

Fig. 3 Distribution map of Joint opening with the slope height interval

震裂岩体的结构面除了沿着其延伸方向的张开,还有与结构面延伸方向斜交的松动裂缝(图4)。这些裂缝切割结构面,并且具有一定程度的张开,基本上无充填,一般断续发育,贯穿性较差。



图4 松动裂缝切割结构面

Fig. 4 Loose fractures cutting structure plane

结构面在地震作用下的拉裂模式主要有:

(1)集中拉裂型

比较典型的分两类(图5):①沿原有结构面的震裂拉开,在对震后斜坡的调查过程中,这类型的破坏比较发育;②受到结构面拉裂、松动的影响,岩体裂隙贯通形成的松动裂缝贯穿、切割结构面。

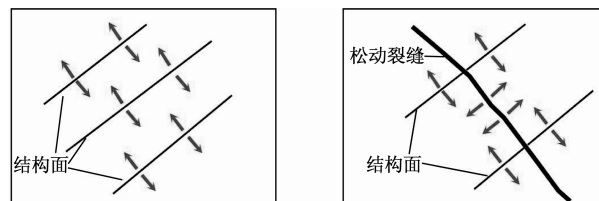


图5 结构面震裂发育模式示意图

Fig. 5 Shock development model schemes of structure plane

(2)震裂带型

对于岩体中原来就具有的密集发育结构面,在地震力作用下虽然单条结构面的张开度小,但是由于结构面的分布间距小,总体上张开度仍然具有一定的规模(图6)。对于岩体内的震裂张开具有密集展布的特征,将这一区域性的张开现象称为震裂带。



图6 密集发育的结构面被震裂张开

Fig. 6 Intensive development of structure plane were shattered rupture

1.2 岩体架空

震裂岩体除了结构面张开这一宏观特征外,还可见到岩体结构内存在架空现象。其中韩文峰、梁庆国^[2,10]等认为岩体架空是指岩体内的结构体相互搭接,在内部形成一完全自由空间或者半自由空间的结构现象。这种架空的自由空间可以不包含其他结构体,也可以包含自由的块体,体积尺寸或大或小。这种架空的自由空间未包含或者仅包含个别的块体,叫做架空岩体。

岩体架空现象在震裂岩体中普遍存在,架空的空间体积有大有小,基本无充填或者缝内堆积掉落的块石,粒径最大近1m。以龙洞子斜坡山顶(海拔1100m)处,震裂岩体中发育的架空结构为例(图7),

其架空的空间断面平均尺寸在 $50 \times 20 \times 70 \sim 90 \times 50 \times 700$ (长 $\times$ 深 $\times$ 高), 局部位置架空空间更大, 剖面形态呈楔形状、上宽下窄。在空间内只夹杂少量的块石, 粒径约 $20 \sim 30$ cm, 局部可见块体崩落的迹象。空间顶部存在一体积较大的塌落空间, 上部仍有未崩落的块体呈裂开、松动的状态, 形成危石, 体积有 $15 \sim 20$ m³。由于岩体稳定性差, 随时都有悬空的块石崩落, 因此架空空间有逐渐扩大的趋势。



图7 岩体震裂松动形成的架空结构

Fig. 7 Overhead structure formed by shocked rock loose

除了岩体自身受到地震破坏, 结构变得松动、岩体失稳形成的架空结构外, 还有一种是块体崩落后停留、堆积在原地, 块体相互堆积形成架空岩体 (图8)。



图8 崩落块体堆积形成的架空现象

Fig. 8 Overhead structure formed by block accumulation

在地震波放大作用下, 斜坡在反复的拉~剪作用过程中形成的变形破裂现象, 这些变形破裂一旦产生, 由于斜坡的振动, 在裂缝拉开的一瞬间, 一定程度上将会有潜在岩块的掉入, 岩体形成架空现象。掉入的岩块在被反压时, 一方面提供楔劈效应, 使裂缝进一步向下扩展, 架空空间逐渐增大; 另一方面由于坡顶加速度一般大于坡体下部, 一定程度上也将起到杠杆作用, 使裂缝端部向下扩展的同时产生向坡向方向的剪切作用, 从而使裂缝向坡下弯转, 形成潜在的滑移~剪裂面。该效应与重复拉~剪作用相互配合, 将使斜坡稳定性不断恶化。坡体表面不断拉开、闭合,

震裂岩体沿竖向裂缝产生大量碎屑岩块, 这些岩块滚(填)入裂缝, 又如楔子一样嵌入。上部的块碎石随着地震节律快速的沿裂缝下行, 被逐步震落掉入裂缝中, 并且在来回震荡中在裂缝中堆积起来。一些未掉落的块体遂卡在裂缝中形成悬空状态, 整个变形失稳过程如图9。

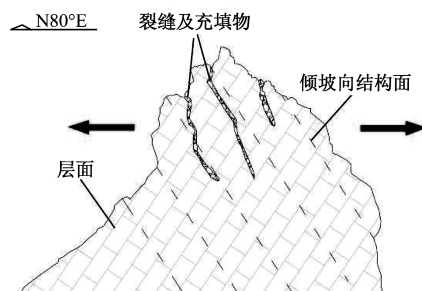


图9 岩体震动破坏模式图

Fig. 9 Rockmass shattered destruction model schemes

1.3 充填性

被震裂张开错动的层面、节理面或者裂隙绝大部分属于无充填型或者少量充填 (图10), 充填物质以岩块、碎石、岩屑为主。对于一些架空结构的岩体, 自由空间较大, 基本无充填。由于充填物质的胶结性极差, 遇到降雨因素极易引起裂缝的贯通, 导致块体的失稳。通过对结构面充填性进行的精测调查, 总体可以分为无充填型、夹泥型、泥夹岩屑型、岩屑型这四类。



图10 被震裂张开的无充填型结构面

Fig. 10 Structure plane with no filling were shattered rupture

对斜坡震裂岩体结构面进行分析, 通过典型部位布置的精测网对结构面填充类型进行了研究 (图11)。统计结果表明, 震裂张开的结构面无充填的占了近三分之一, 其次为夹杂的岩屑, 主要是因为结构面被震裂拉开时壁面的表部物质掉落形成。少量为夹泥型或泥夹岩屑型, 混杂方解石, 这部分结构面充

填泥质,胶结性差,其厚度较薄,多在 0 ~ 5mm,局部张开的结构面还能见到锈染。

有的结构面震裂张开程度较大,局部有块石、碎块充填,主要是由错动或者下坠而成。通过调查充填物质既有体积较大的岩块,也有成细颗粒状的岩屑,且棱角清晰、表面新鲜,基本为结构面拉裂错动后下落的物质,总体上分析充填物规模较小,无充填型的结构面占主要部分。

根据以上分析,震裂岩体最直观的宏观特征是结构面张开、岩体架空,结构面以无充填型为主。

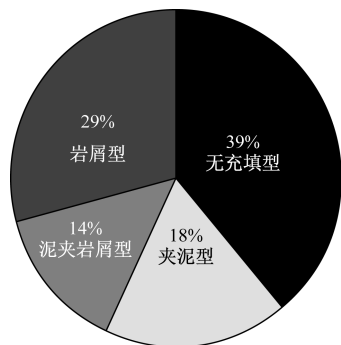


图 11 斜坡结构面物质组成统计图

Fig. 11 Slope structure plane composition statistical figure

2 震裂岩体变形特性研究

地震力对岩体结构造成的破坏除了宏观上的显著变化外,对岩体的内部结构也造成了损伤破坏。震裂岩体宏观上的特征改变是由于内部结构的变化引起,包括结构松弛、岩体结构完整性的降低,其反映在岩体强度、变形等方面。为了研究震裂岩体的变形特性,比如强度、岩体质量等,对岩体的内部结构特征变化进行调查。岩体结构的变形特性可用主要的物理指标比如岩体回弹强度值、声波波速值方面来表征。

2.1 回弹强度研究

回弹测试值与岩体的岩性及震裂松弛程度有关,包括结构面的张开和岩体的震裂松动,都能对岩体的结构造成破坏,从而降低岩体的强度。因此通过回弹测试值可以反映岩体结构的完整性,可以反映出地震力对岩体结构造成的变化趋势。

以震区某灰岩地层斜坡为例,坡表岩体震裂严重,岩体结构以镶嵌碎裂状为主,测的回弹值一般在 21 ~ 29MPa,平均值为 27.5MPa;对于内部岩体结构主要以中厚层状结构为主,回弹值一般在 33 ~

47MPa,平均值为 44.7MPa;深部岩体震裂程度较轻,岩体结构受到的地震破坏较弱,整体性较好,回弹值一般在 60 ~ 83MPa,局部回弹值甚至达到 145MPa。可见地震引起的岩体结构破坏程度在一定程度上通过回弹测试可以反映出来。

对某千枚岩地层斜坡,通过开挖平硐研究,坡表由于岩体震裂严重,岩体结构主要为镶嵌~薄层状结构,回弹值平均 25.5MPa;平硐内岩体结构完整性较好,受到的地震力破坏程度较小,回弹值平均在 81.5MPa。通过回弹测试分析得出,地震力造成岩体内部结构的损伤通过回弹值变化反映出来,同时以表明地震力造成的岩体结构破坏、强度值降低主要集中在坡表以及坡体一定深度范围内。

这种分布情况在花岗岩地层中也有反映,彻底关斜坡的块状结构花岗岩回弹值平均为 135MPa;坡表震裂严重呈镶嵌结构的岩体,回弹值在 58 ~ 73MPa。可见地震力造成岩体强度的降低、回弹值的变化跟岩体的震裂损伤程度有一定关系。

2.2 声波波速研究

选取地震区一典型的大型滑坡进行研究。该滑坡岩体震裂损伤严重,地层岩性主要由碳酸盐岩组成。该滑坡发育一长大滑面,表现为沿层面连续的滑动光面^[11],滑面上清晰可见滑动擦痕。选择滑面处作为声波测试位置,主要是由于滑面处被震裂严重,具有典型性。在滑面上沿走向由里向外依次布置三个声波测试钻孔,每个钻孔深 6m(图 12)。

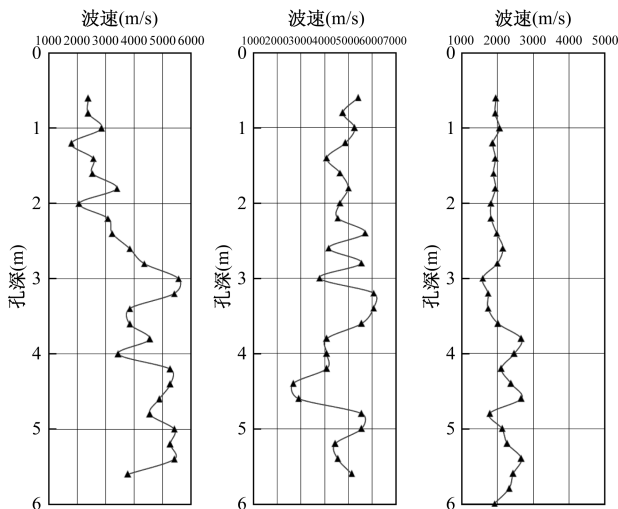


图 12 声波波速测孔柱状图

Fig. 12 Wave velocity steep chart

从声波波速变化大体可以看出,滑面表层震裂严

重,声波波速值较低,在表层深度2m左右,波速值在2000~3000m/s。总体上孔口处波速值均较低,而向岩体深部波速值逐渐增加,趋于平稳,波速值较高,基本在4000m/s以上。从波速特征上分析,滑面表层岩体结构较差,向深部整体结构变好。从完整性上分析,滑面表层岩体完整性较差,在0.15~0.5,总体上属于破碎,这一层的分布范围基本在3m左右。向岩体内部延伸,完整性逐渐提高,基本在0.6以上,整体结构较好。

从以上分析可以看出,震裂岩体的分布在滑面下一定范围内,而向岩体内部整体结构较好说明震裂损伤程度低,岩体受到的破坏较轻,然而也存在个别地段比如岩体垮塌、结构架空引起的波速值较低。从总体上分析,根据波速的大小还是能够说明震裂岩体的分布特征。

2.3 渗透变形研究

结构面张开、透水性强烈是松动岩体的水文地质特征,这就决定了它不同于一般岩体结构而具有自己独特的渗透特性^[12-13]。对斜坡滑面进行声波钻孔的同时进行了渗透性研究,采用钻孔压水性试验,用单位吸水量(ω)来反映岩体结构的渗透性^[14-15]。

现场测试钻孔的水量平均在7.5L/min,个别孔达到12L/min,算的滑面处的单位吸水量基本在0.6L/min·m·m左右,严重渗水的地段大于1L/min·m·m。按照韩文峰对渗透性的划分^[2],滑面处的岩体渗透性普遍属于强透水、严重透水段。

3 岩体松动成因对比分析

地震力作用形成的震裂岩体,不同于以往风化、卸荷作用形成的松动岩体,表现在以下两个方面:

3.1 岩体性质与风化作用的关系

岩体风化带的划分是地质勘察的重要内容之一,根据水利部按照弹性波波速完整系数对于风化带的区分,滑面处进行声波测试的岩体对应的划分标准应该分为强风化带,按照风化由表及里的分布原则,滑面处以上的岩体应该是属于全风化或者强风化带。而研究的斜坡滑面跟滑前的地形相比,高度整整矮了上百米,那么厚的风化带有可能形成吗?对于斜坡的风化程度在水平和垂直方向上都是随着深度的增加,风化程度呈逐渐减弱的趋势,即从表部的全、强风化带过渡到深部的弱、微风化带。如果按照风化带来划分,结合周围斜坡的风化程度,斜坡滑面以上上百米厚的风化深度

明显是不符合常理的,同时滑面处在震后三年间要形成如此发育的强风化带也是不可能的。另根据滑面处的回弹强度测试,强度值普遍超过100MPa,如此高的强度值正常的强风化带是达不到的,因此风化作用不是造成滑面处松动岩体发育的主因。

3.2 岩体性质与卸荷作用的关系

卸荷作用是边坡岩体浅表生改造的一种重要外生营力,在这一过程中,表部应力的降低将导致岩体回弹膨胀、结构松弛,造成岩体的卸荷。卸荷作用通常表现为改造顺坡向高陡节理,产生卸荷裂隙等形式。因此卸荷作用改造的节理主要集中在坡体浅表部,深部改造为顺坡向陡倾裂隙,一般不可能形成宽大的张开裂隙。调查斜坡的滑面处岩体结构,张开裂隙不仅宽大,还可见延伸长大的擦痕,而且局部还存在岩体被震裂松动形成的架空结构。所以只靠前期的卸荷改造作用是形成不了如此特殊的岩体结构,同时根据周边区域的岩体结构,卸荷作用的影响深度也达不到上百米的深度。

4 震裂岩体分类研究

通过前面对震裂岩体宏观特征和变形特性的分析研究,结合韩文峰、王生俊等^[2,16]对波速值的划分,将波速值低于3000m/s作为震裂岩体的主要划分依据,以此将震裂岩体分为严重震裂岩体、中等震裂岩体、轻度震裂岩体。

(1)严重震裂岩体:岩体结构面显著张开,基本上无充填,张开度一般在5~10cm,而个别震裂缝张开度甚至能达到几十公分。岩块被震裂呈架空状,岩体架空空间较大,部分形成空洞,在空洞内常夹杂粒径较大的块石,且架空空间有逐渐扩大的趋势,多见塌方。弹性波波速值<2000m/s,完整性系数<0.2,岩体渗水严重,基本为严重透水段。

一般分布在坡表或坡度陡缓交界部位,形成的危岩体遇到诱发因素极易失稳,危害性最大。

(2)中等震裂岩体:结构面张开度一般在1~5cm,局部达到10~20cm,少量充填,主要夹杂结构面被震裂拉开时壁面物质掉落形成的岩屑。发育有架空现象,但是架空空间较小,多夹杂一些碎块石,少见块石坠落、塌方。弹性波波速值在2000~2500m/s,结构完整性系数0.2~0.4。岩体渗水也很严重,属于严重透水段。

这类岩体在坡表也显著发育,分布范围较大,遇

到诱发因素也极易失稳,危害性很大。

(3)轻度震裂岩体:岩体结构面张开度普遍在 < 1cm,以夹泥型或泥夹岩屑型结构面为主。基本不发育岩体架空现象,局部有岩块掉落形成的空洞。弹性波波速值在 2500 ~ 3000m/s,结构完整性系数 > 0.4。岩体渗水也比较严重,属于强透水段。

这类岩体分布范围广泛,整体稳定性较高,具有一定的危害性。

5 结论

(1)震裂岩体结构面普遍张开,张开度较大的部位主要集中在坡表。对于张开程度,随着坡高的降低和埋深的增大,张开度逐渐减小。对于结构面张开类型,分为结构面的张开错动和拉裂张开两种。在地震作用下的张裂模式分为集中拉裂型和震裂带型两种变形模式。震裂岩体普遍存在架空现象,夹杂少量的块石。剖面呈楔形状、上宽下窄形态,局部可见块石崩落的迹象。岩体结构面绝大部分无充填或者少量充填,充填物质以岩块、碎石、岩屑为主,震裂岩体结构面主要以无充填型为主。

(2)斜坡岩体震裂严重的部分,回弹值较低,一般在 20 ~ 30MPa,主要分布在坡表。震裂岩体的波速值普遍小于 3000m/s,集中在 2000 ~ 3000m/s。岩体完整性较差,完整性系数在 0.15 ~ 0.5,渗透性基本上属于强透水、严重透水段。以波速值为主要划分依据,将震裂岩体分为严重震裂岩体、中等震裂岩体、轻度震裂岩体三个等级。

(3)地震力作用形成的震裂岩体,不同于以往风化、卸荷作用形成的松动岩体。它具有大范围的低波速带、远远超过正常的风化带深度。同时岩体震裂张开的裂隙不仅规模大,局部还存在架空结构,而且这种结构发育的范围很大,只靠前期卸荷改造作用是形成不了如此特殊的岩体结构。因此造成岩体的损伤是在强大的地震作用力下形成的。

(4)斜坡上被震裂损伤的岩体,形成潜在的灾害隐患点,遇到余震或者降雨极易失稳造成崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害。由于岩体普遍被震裂损伤程度高、范围大,引起的地质灾害不仅规模大、突发性强,而且持续性较长,在震后很大一段时间内仍具有发生地质灾害的可能性。

参考文献:

[1] 梁庆国,韩文峰. 强震区岩体地震动力破坏特征[J].

西北地震学报,2009,31(1):15-20.

LIANG Qingguo, HAN Wenfeng. Characteristics of rock mass failure under seismic loads at strong earthquake areas[J]. Northwestern Seismological Journal, 2009, 31(1):15-20.

[2] 韩文峰. 黄河黑山峡河段开发重大工程地质问题研究[M]. 北京:科学出版社,2004.

HAN Wenfeng. Study on important engineering geological problems about development of Heishan Gorge on the Yellow River[M]. Beijing: Science Press, 2004.

[3] B Nilesn. New trends in rock slope stability analyses[J]. Bulletin of engineering Geology and the Environment, 2000(2):173-178.

[4] Myer L, Cook, N G W. Effects of single fractures on seismic wave propagation[C]. Proceedings of ISRM Symposium on Rock Joints: A. A Balkema, 1990: 467-475.

[5] Leonard R J. An earth fissure in southern Arizona[J]. Journal of Geology, 1929(8):765-774.

[6] 黄理兴,陈奕柏. 我国岩石动力学研究状况与发展[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(11): 1881-1886.

HUANG Li-xing, CHEN Yi-bo. Rock dynamics in China: Past, present and future[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(11): 1881-1886.

[7] 冯文凯,黄润秋,许强. 震裂斜坡机理及变形破坏模式研究[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(6): 42-48.

FENG Wenkai, HUANG Runqiu, XU Qiang. Study on formation mechanism and deformation failure models of flatter slopes[J]. Hydrogeology and Engineering Geology. 2009, 36(6): 42-48.

[8] 卫宏,王兰生. 岷江较场台地地震裂缝形成机制及其边坡稳定影响[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(4):17-24.

WEI Hong, WANG Lansheng. Formation mechanism of the ground fissures formed by earthquake in Jiaochang platform of Minjiang River and its affect to slope stability[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, 15(4):17-24.

[9] 祁生文,伍法权,严福章,等. 岩质边坡动力反应分析[M]. 北京:科学出版社,2007.

QI Shengwen, WU Faquan, YAN Fuzhang, et al. Engineering geology analysis on stability of slope under earthquake[M]. Beijing: Science Press, 2007.

[10] 韩文峰,宋畅,梁庆国. 极震区的地震动与潜在震源区

- 内重大工程安全[J]. 工程地质学报, 2004, 12(4): 346 – 353.
- HAN Wenfeng, SONG Chang, LIANG Qingguo. Strong ground motion atmeizoseismal area & safety of important engineering project antpotential earthquake region [J]. Journal of Engineering Geology, 2004, 12(4): 346 – 353.
- [11] 黄润秋, 裴向军, 李天斌. 汶川地震触发大光包巨型滑坡基本特征及形成机理分析[J]. 工程地质学报, 2008, 16(6): 730 – 741.
- HUANG Runqiu, PEI Xiangjun, LI Tianbin. The basic characteristics and formation mechanism of Daguangbao large-scale landslide triggered by Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(6): 730 – 741.
- [12] 谌文武, 孙冠平, 宋畅. 大柳树堤址松动岩体的渗透特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(2): 2564 – 2567.
- CHEN Wenwu, SUN Guanping, SONG Chang. Permeability of relaxed rockmss in DaLiuShu dam site [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(2): 2564 – 2567.
- [13] 曹东盛, 韩文峰, 李树德. 黄河黑山峡大柳树松动岩体渗透特性研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 29 – 33.
- CAO Dongsheng, HAN Wenfeng, LI Shude. Dynam-relaxed rockmass seepage characterstics at DaLiuShu in HeiShanXia Gorge on the Yellow River[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10(3): 29 – 33.
- [14] 李茂芳. 水文地质压水试验[M]. 北京: 水利电力出版社. 1987.
- LI Maofang. Hydrogeology water pressure test [M]. Beijing: Water conservancy power press. 1987.
- [15] Neuman S P. Trends, prospeets and challenges in quantifing flow and transport through fractured rocks[J]. Hydrogeologyjournal, 2005(1): 124 – 147.
- [16] 王生俊. 大柳树坝址松动岩体发育深度研究[J]. 土工基础, 2006, 120(5): 49 – 51.
- WANG Shengjun. Study on the depth of dynam-relaxed rock mass at Daliushu dam site[J]. Soil Engineering and Foundation, 2006, 120(5): 49 – 51.

Features of shattered rockmass structure of slopes by the Wenchuan earthquake

PEI Xiang-jun, HUANG Run-qiu, YUAN Jin-ke

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

Abstract: Slope geological disasters takes place constantly at long period after earthquake by WenChuan earthquake, and the shattered rockmass is the main reason for cause the secondary geological disasters. Some detection means such as precise measurement、rebound testing、acoustic testing were used in site, the shattered rockmass has the characteristics such as open structural planes、fillings less or no、overhead rockmass and so on, then it has the deformation characteristics such as low rebound strength、large range of low wave velocity and strong permeability. Rebound strength of slope surface is between 20 ~ 30 MPa, wave velocity value common less than 3000m/s, concentrated in between 2000 ~ 3000m/s, integrity coefficient was between 0.15 and 0.5, integrity is poorer, permeability is basically high、serious. The partitioning standards of shattered rockmass is based on wave velocity value, divided into three communities: severe shattered rockmass、medium shattered rockmass and slight shattered rockmass.

Key words: Wenchuan earthquake; shattered rockmass; macro characteristics; deformation characteristics