维普资讯 http://www.cqvip.com

浙江省某公路边坡地质灾害特点及其成因

彭社琴[1],赵其华[1],陈明东[2],袁民豪[2]
(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室,成都 610059;
2. 浙江省第十一地质大队地质灾害防治研究所,浙江 温州 325000)

摘 要:受暴雨及台风影响,位于浙江 41 省道公路里程 K54+92～K54+224 处边坡发生地质灾害。由于地形地貌、坡体岩土体组成及结构差异,使得在短短 100 m 左右宽度范围里,边坡变形破坏呈现出较为复杂的表观特征。西边主要以滑坡形式破坏,东边主要为滑塌破坏,中部则以蠕动变形为主。分区段对其成因进行了分析,得出斜坡的不同破坏方式主要与斜坡不同部位岩土体特定组成及结构、人类工程活动、台风暴雨作用等因素密切相关。在此基础上提出了边坡的防治方案。

关键词:公路边坡;地质灾害;变形破坏;成因分析
中图分类号:P694 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-3409(2006)05-0124-04

Mechanism of Geological Hazard of a Highway Slope in Zhejiang Province

PENG She-qin[1], ZHAO Qi-hua[1], CHEN Ming-dong[2], YUAN Min-hao[2]
(1. *Institute of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*;
2. *Institute of Geologic Hazard Prevention, 11th Geologic Brigade, Wenzhou, Zhejiang* 325000, *China*)

Abstract: Effecting by typhoon and rainstorm, in K54+92～K54+224 milepost of No. 41 highway of Zhejiang occurred geological hazard. Because of the difference in topographty, soil-rock mass and its structure, in only 100m width slope the deformation and failure of the slope is complicated. The slope located in the west is sliding, in the east is falling in collapse, and in the middle is deformation in squirm. The cause of the geological hazard for every zone was analyzed. There come to the conclusions that the geological hazard was mainly because of soil-rock mass and its structure in site, man engineering activity, typhoon and rainstorm etc. With this understanding, the controlling plan aiming at the hazard was proposed in the end.

Key words: highway slope; geological hazard; deformation and failure; cause of formation analysis

浙江东南沿海,每年都频繁遭受台风袭击。2005 年登陆我国 5 号台风“海棠”9 号台风“麦莎”13 号台风“泰利”、15 号台风台风“卡努”、18 号台风“达维”五次台风中,前四次均对该地区造成较大影响,引发了不同程度的山体滑坡地质灾害。

该地质灾害点位于浙江 41 省道公路里程 K54+92～K54+224 处,行政隶属浙江省永嘉县黄南乡上坳村。从 2001 年至今,特别是 2005 年 6 月,由于长时间强降雨,该边坡前缘局部地段又发生多处滑塌,曾造成交通中断。2005 年 7 月 19 日,在台风“海棠”带来的大暴雨下,该地质灾害点边坡继续发生变形破坏,滑坡进一步向后部扩展,前缘进一步垮塌,变形体进一步向前蠕动。同时整个边坡后部地表出现多条裂缝。

1 地质灾害的环境地质背景

1.1 地形地貌及地质灾害规模

地质灾害点北边为低山区,南边为黄山溪河,西侧为林坑沟槽,东侧为阶状凹地(其后部为低山区),总体地势表现为北东侧高、南西侧低的特点。(参见图 1)

地质灾害前缘位于公路内侧,宽约 150 m。西边主要以滑坡形式破坏,东边主要为滑塌破坏,中部则以蠕动变形为主。在短短 100 m 左右边坡范围里,边坡破坏形式较为复杂。由于前缘破坏,边坡变形向后波及至高程 200 m 平台处,接近于分水岭。后缘主要表现为多条地面裂缝。西侧以斜裂缝为界,在主裂缝上发育多条次级裂缝。西侧裂缝向前与滑坡的西边界相接,向后迁就后缘裂缝方向,平面上成弧状。东侧以沟槽为界。坡向长约 120 m(水平投影距离),斜坡坡度平均约 27°。

地质灾害边坡上除较平缓处被开垦耕种、坡体前缘滑塌处坡面裸露外,其余坡面被竹林、松树等乔木以及灌木覆盖,植被总体较发育。

1.2 气象水文

该地质灾害点行政隶属永嘉县。该地年平均气温 17.5℃,极端最高气温 40.2℃,极端最低气温 -5.8℃。受季风影响,月降水量差异明显。4～5 月份的梅雨季节、7～9 月份的台风季节,降雨量大,并且暴雨的次数多,强度较大。这两个季节,地质灾害暴发次数频繁。

1.3 地层岩性

该区出露的地层岩性有基岩和第四系覆盖层。基岩主要为燕山晚期第二次侵入岩钾长花岗岩,覆盖层主要有冲洪积物和残坡积物等。

(1)基岩($\xi\gamma_5^{3(2)}$)。基岩为中粒钾长花岗岩,浅肉红色,花岗

* 收稿日期:2006-01-06
基金项目:四川省杰出青年基金项目资助,编号:04-zq026-016
作者简介:彭社琴(1966-),女,河南灵宝人,在职博士,副教授,主要从事地质工程、岩土工程方面的教学、研究工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

结构或文象花岗结构,块状构造。岩体风化强烈,有全风化、强风化、中风化等。风化带厚度在空间上多变,分布极不均匀,局部表现为囊状、球状风化特点。基岩在勘查区的西侧、东侧山坡上,B2 切坡后缘斜坡上以及黄山溪右河床有零星出露,广泛出露于天然斜坡后缘以北陡壁处。

①全风化花岗岩:岩体中结构面、花岗结构依稀可辨,但强度低,上部成砂土状。砂含量 50%～80%,多为中粗砂,透水性较好,成分以石英、长石为主。该层厚度不均匀,甚至缺失,平均 5 m 左右,最厚处位于 ZK2 附近,厚达 13.7 m。

②强风化花岗岩:岩石节理、裂隙较发育,节理面可见铁锰质渲染,岩石稍硬——中硬,锤击声哑易碎。

(2)第四系覆盖层

①冲洪积层(Q^{al+pl}):主要分布在黄山溪河床,在一级阶地,山坡的平台上(高程 175 m 左右)也有零星分布,冲洪积物以卵石为主,磨圆较好,粒径较大,在 15～20 cm,岩性主要有凝灰岩、花岗岩等。

②残坡积层(Qel+dl):广泛分布在勘查区斜坡表层,分布范围较大,厚度为 0.5～1.0 m;成分主要为粉质黏土、砂土,黏粒含量较少,固结性差,呈散体状,夹棱角状碎石,碎石成分为花岗岩,含量约为 20%。

1.4　水文地质条件

地下水类型主要为第四系覆盖层孔隙水、基岩裂隙水。补给方式主要为大气降水。基岩中发育的构造裂隙、风化裂隙及地表的裂缝均有利于地下水的储存与运动。每年的梅雨、台风季节,暴雨多,且强度大,地下水位相对较高。

地表水有西侧沟溪水和斜坡前缘黄山溪河水,大气降水以地表下渗、坡面水流、沟槽径流方式向黄山溪河排泄。暴雨时坡面水流、沟槽径流对边坡不断冲蚀。

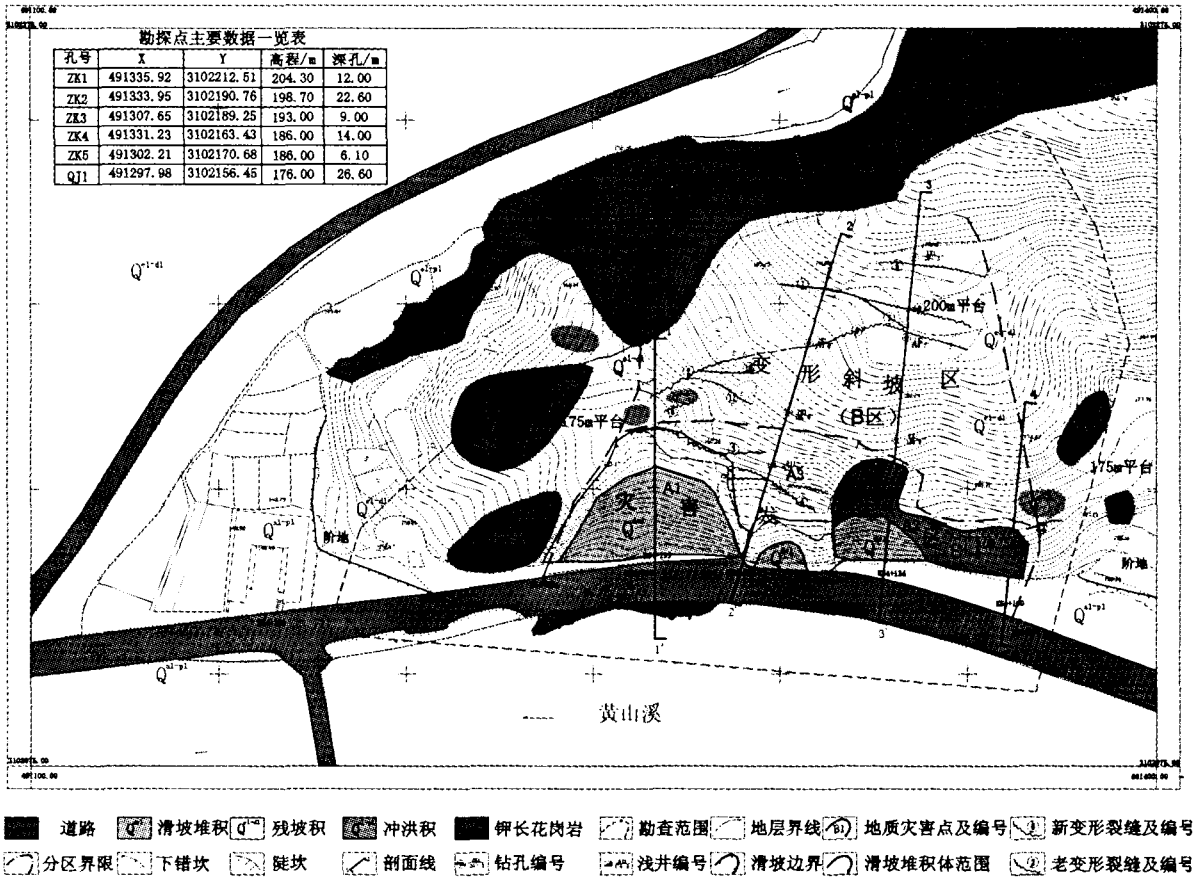


图 1　浙江 41 省道 K54+92～K54+224 段地质灾害平面图

该地质灾害在不同部位变形破坏特征有较为明显的差异。未有统一的滑动面。顺坡向及沿公路方向均具有分带性。前部坡体已出现多次滑坡、崩塌、局部变形等,故称为地质灾害发生区(A 区);受中前部变形破坏影响,后部坡体出现较大范围的整体变形,该区域则称为变形斜坡区(B 区)。两个区域的具体范围为:170～180 m 高程以下至公路的区域为地质灾害发生区(A 区),170～180 m 高程以上至分水岭的区域为地质灾害变形斜坡区(B 区)。沿公路方向,根据坡体变形破坏特征,又可将地质灾害发生区(A 区)进一步细分为 A1、A2、A3 三段边坡,其公路里程分别为 K54+224～K54+171 段、K54+146～K54+92 段、K54+171～K54+146。不同区段地质灾害的变形破坏及成因不同。

2　灾害发生区(A 区)变形破坏特征及成因分析

灾害发生区(A 区)坡体的变形破坏特征,顺公路方向,有较明显的区别。西边的 A1 区多次滑动,滑坡特征明显,称为滑坡区;东边的 A2 区破坏表现为先错动后坠落崩塌,因此称为崩塌区;中间的 A3 区,地貌上为凸向公路的山脊,目前主要处于蠕动变形阶段,称为蠕动变形区。

2.1　A1 区变形破坏及成因

A1 区变形破坏方式以滑坡为主。

(1)滑坡概貌。A1 滑坡区平面呈簸箕状,地貌上成明显的圈椅状。宽约 50 m,纵向长度约 35 m。后缘(北侧)为高程 175 m 平台,前缘剪出口位于 41 省道公路内侧挡墙底部。滑坡体高程在 155～175 m 之间。滑坡体厚度 2～6 m,平均厚度约 4 m。方量约 5 000 m^3。

滑体物质主要由块碎石土组成。堆积散乱,结构松散。滑带主要为全—强风化交界面处的全风化花岗岩。灰黄色,岩石已风化成砂土状,呈稍密—中密状,稍湿,以石英、长石

维普资讯 http://www.cqvip.com

等中粗砂为主，少量黏土。滑床则为强风化花岗岩。

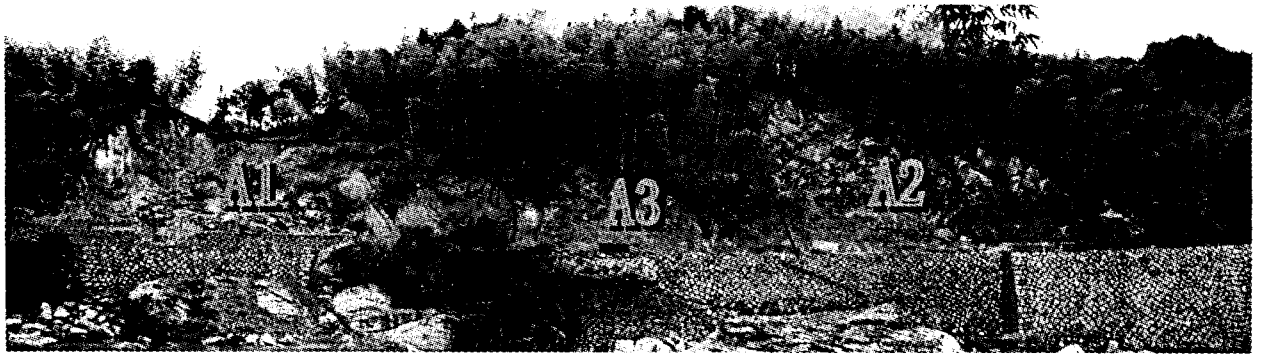


图2 地质灾害全貌

(2)变形破坏特征。A1段发生了多次滑坡。2004年7月台风期间滑坡发生，冲坏前缘公路挡土墙，形成约5 m长的缺口。在勘查期间该滑坡的变形破坏又有如下表现：

①滑坡进一步向后部发展。在2005年7月16日现场调查时，滑坡后缘上所砌坟墓仅在其右下角产生裂缝，当时并未下错。台风"海棠"及"麦莎"过后，该坟墓完全破坏。

②滑坡向东侧扩张。东侧原地面裂缝产生下错，形成新的滑坡后壁。滑坡向东向上扩张。

③滑坡体进一步下滑。除后部和东部向外扩张性破坏以外，暴雨时，滑坡堆积体进一步下滑。

总体来讲，该滑坡破坏表现为分块式下滑解体，该滑坡的西部几乎全部滑动解体，而东侧后部目前还处于未完全解体状态。上述三方面的破坏具有相互影响相互促进作用。滑坡体下滑，使后缘陡壁临空面变高，高陡坡面进一步造成后缘发生裂缝，进而产生后退式滑动破坏。

(3)A1区滑坡成因。该滑坡的发生主要与土体性质差、坡形较陡、坡脚开挖后支挡不够，以及台风暴雨等有密切关系。

①土体性质差。从滑坡壁揭露的地层情况看，残坡积层和全风化花岗岩厚度局部可达6 m左右。该土层结构松散，遇水时易软化，其物理力学性质变差。

②较陡的地形。目前，滑坡剪出口位置高程约152 m，滑坡后壁高程175 m，滑坡区纵向水平长度35 m，若恢复到滑动前地形，其坡度达33°，此坡度远远大于全风化土层和残积土的自然休止角，此地形条件下岩土体易发生滑坡。

③坡脚开挖后支挡不够。据调查41省道扩建时，对该滑坡坡脚局部开挖，然后砌筑挡墙，该挡墙高约2 m，顶宽50 cm，底宽约1.0 m。该挡墙的挡土能力有限，目前该挡墙已被滑坡剪坏，形成宽约5 m缺口。

④台风暴雨诱发作用。调查得知，该处滑坡的多次滑动，多是在台风暴雨条件下发生的。

综上所述，A1区表层为6 m厚的松散物质(残坡积物与全风化花岗岩)，黏粒含量少，结构松散，透水性好，公路开挖使坡体切脚后，斜坡内部应力重新分布，后缘坡顶附近出现拉应力集中现象，表现在坡顶附近出现拉张裂缝，当遇到强降雨时，地表水沿裂缝进入坡体，坡体内部出现较高的动水压力，致使裂缝逐渐发展、张开、直至贯通，且在地下水的作用下，坡体内岩土体抗剪强度急剧下降，最终，产生滑动，并且具有明显分块式下滑解体特点和后退式发展趋势。

2.2 A2区变形破坏及成因分析

(1)崩塌概貌。A2崩塌区边坡较陡，坡度约55°，局部达70°。呈不规则弧形凸向山内。西侧后缘高程较高，约183 m，东侧后缘高程较低，约167 m，沿公路横向上长度约48 m。从上倒下剖面可见残坡积土、全风化花岗岩、强风化花岗岩。据调查该处高陡边坡为采石废弃边坡。

(2)变形破坏。A2区边坡的变形破坏有以下形式：

①卸荷裂隙从坡面向深部发展，与顷坡外裂隙形成滑动有利组合，不稳定体错动坠落。目前坡面上仍可见错落破坏后残留的顷坡外基岩裂隙平板面。该面宽大、平直，中顷坡外，产状：NW55°/SW∠35°，上有错动痕迹。



图3 A2区边坡破坏情况

②强风化花岗岩中结构面发育，受裂隙切割，在边坡临空方向岩体中存在大小不同的潜在不稳定楔形体，当条件适宜时，极易产生崩落。

③岩体向临空方向蠕动变形，差异变形引起岩石拉裂破坏。崩塌体坡体主要由以下物质组成

(3)成因分析。A2段目前的变形破坏与原岩的结构特征、开山采石等因素有关。

①原岩建造及后期风化作用造成岩体中多组结构面交错切割(主要结构面有：NW73°/NE∠77°、NW57°/SW∠42°、NE65°/NW∠82°、NE40°/NW∠77°)，为目前边坡变形破坏奠定了基础，其中中倾坡外结构面构成了块体错动底滑面。

②据调查，该边坡为开挖采石残存坡体，目前崩落的巨块石上还可见残留炮眼。开挖采石爆破会造成岩体松动、结构面张开，更重要的开挖形成的临空面为潜为不稳定块体移动提供了空间。

另外，暴雨条件下，地下水对裂隙面产生扩张和劈裂作用，也会促进边坡进一步变形破坏。

2.3 A3区变形破坏及成因

(1)A3蠕动变形区概貌。变形体位于A1、A2之间，与两侧边的A1、A2段边坡相比，明显向公路凸出形成脊状斜坡。

维普资讯 http://www.cqvip.com

斜坡主要由上部第四系覆盖层和全—强风化花岗岩(基岩)组成。后缘高程大致在 168 m,宽度约 25 m。坡向长度约 20 m,变形岩土体平均厚度约 6 m,变形体方量约 3 000 m³。后缘为天然斜坡。前缘裸露部分边坡坡度约 75°。裸露部分高度 8～10 m,顺坡向由两组结构面切割组合形成凸起和凹槽。

(2)变形破坏。A3 段变形破坏表现为整体向外蠕动变形和前缘滑塌。

①蠕动变形:在 2005 年 7 月 16 日现场调查期间,发现该段斜坡向公路蠕动变形,具体表现为该段公路内侧排水沟靠山壁被向河方向推挤发生变形。在 8 月 8 日现场调查中发现该段边坡继续向公路位移,原挤压变形排水沟破坏,并已被越过一定距离。

②前缘滑塌:全强风化花岗岩中发育有两组结构面,产状为:NW28°/SW∠86°和 NE51°/SE∠65°,坡面表层受此结构面切割,不稳定块体塌落,坡面呈槽、脊相间状。

(3)成因分析。A3 区的变形与其本身的岩土体结构特点、地形条件以及 A1、A2 的变形破坏等因素有关。

①A3 变形体本主要由残坡积和全风化基岩构成,岩土体强度较低,自稳能力较差。

A2 的西侧壁即是 A3 的东侧壁,该处岩体发育多组结构面,其中尤以中倾坡外的结构面最为发育,由于该结构面的存在,岩体沿该结构面向坡外蠕滑变形,差异位移引起岩体产生平行坡面的竖直拉裂缝,拉裂缝贯通便会形成变形体。

②A3 区为孤立脊状地形,前缘陡,凸向公路,两侧的 A1 和 A2 地形内凹,由于 A3 凸出的地形坡体易产生较高的应力释放,出现卸荷变形。

另外,暴雨时,地表水沿裂缝下渗,使坡体内的岩土体性质急剧降低,致使松散物质沿两组控制性结构面构成的楔形槽发生向公路方向的滑塌。

3　变形斜坡区(B 区)

3.1　变形破坏特征

受前缘频繁发生滑塌的影响,天然斜坡坡体表面出现大量地表裂缝,据现场调查,天然斜坡地表共有 12 条新老裂缝,张开最大可达 15～30 cm,错距 30 cm,大致的延伸方向为 NWW 向和近 EW 向,弧形分布在灾害发生区后缘(参见图 1),各裂缝特征具体见下表。

由上述图表可见,地表裂缝的走向大致与灾害发生区的滑塌方向垂直,且贯通性较好,延伸长度较大,张开宽度大。

据调查,裂缝的发展具有以下特点:

①前缘某些裂缝随着时间及条件改变,转化为滑坡后壁或变形体后缘;如 3、4 号裂缝,在 7 月 16 日调查期间,还是坡面裂缝,而 8 月 8 日调查时已分别演变成局部滑坡后壁。

②中后部裂缝进一步发展、扩张,如 2 号裂缝原延伸长度 28 m,目前向斜上方进一步扩张,延伸长度超过 50 m,宽度也进一步加大,并且在其某些部位出现次级裂缝。

③新裂缝不断出现。如新出现 5 号、8 号裂缝。

3.2　成因分析

前缘地质灾害的发生发展、自身的岩土体条件、局部微地形条件是引起后部变形斜坡区地面裂缝的重要原因。

①调查显示,前部地质灾害发生后,后部斜坡相应会出现裂缝,并且随之加剧。这是因为,前缘滑动会在滑壁处形成陡坡,坡度过高过陡超过岩土体的自承能力后开裂,形成新的潜在不稳定坡体。

②岩土体自身的条件构成裂缝产生的另一个重要原因。从图 1 可以看出裂缝多发育在平缓斜坡或平台上。其中以高一级平台最明显。究其原因主要是这些部位覆盖层较厚,缓台前缘即是陡坡,这些物质条件和地形条件有利于坡面变形。

表 1　变形斜坡区裂缝统计表

裂缝编号	裂缝走向	张开宽度/cm	延伸长度/m	可见深度/cm
1	90°	5～15	3～4	55
2	70°	10～20	25	30～80
3	105°	20～60	35	50～150
4	95°	30～60	15	50～230
5	80°	15～30	7—8	20
6	107°	15～20	30	15
7	121°	15～20	15	15
8	276°	2～5	30	5
9	295°	3～5	35	5
10	95°	10～15	15	15
11	129°	5～10	20	10
12	75°	5～10	10	20

③暴雨作用亦不容忽视。暴雨汇入裂缝的空隙水压力、动水压力对裂缝的扩张和发展亦会起到很大作用。

4　灾害发生区(A 区)与变形斜坡区(B 区)相互作用

灾害发生区和变形斜坡区是根据地质灾害的强弱和表现形式不同所人为划定的两个区域,实际上无论从岩土体的连续性还是变形破坏的连续性看,其均具有整体的特征。他们相互作用相互影响,构成了黄南乡上坳村地质灾害的全貌。

(1)首先,坡体前缘滑坡、崩塌、变形蠕动等变形破坏,造成后部原来连续斜坡坡体应力重分布,并且提供了新的临空条件和变形边界,使后部斜坡出现变形,形成新的潜在不稳定体。即变形斜坡区裂缝主要是由前缘边坡变形破坏所引发。

(2)后部斜坡裂缝的存在,使暴雨时地表水通过裂缝迅速下渗,在坡体内形成较高的空隙水压力和动水压力,从而对前部灾害区边坡起到加载和促滑作用。

(3)从边坡变形破坏顺坡向的特征看,前部灾害强烈,斜坡后部相应部位裂缝较为发育,其中 A1、A3 后部较 A2 后部强烈。

(4)裂缝是差异变形的结果,不出现裂缝的坡面并不能断定是稳定的,如在 3—3 剖面中部斜坡带无裂缝出现,但其前缘蠕动变形强烈,后部平台上裂缝扩张明显,说明该斜坡有整体向前移动的潜在表现。这与斜坡带覆盖层较薄,斜坡主要由基岩组成有关。这种储能变形比分块滑塌引起的灾害会更大。

(5)受物质组成和结构影响,坡体的变形破坏在不同部位有不同特点:

在深厚覆盖层区,主要表现为滑坡或滑塌,以分块解体、后退式发展为其特点,已经发生此种破坏类型的区域有 A1 区,可能发生的区域为各级平台所在区域。

在结构面发育的强风化基岩被临空面切割区,如 A2 区,边坡地质灾害以由结构面切割形成的潜在不稳定块体的错落或崩落为主,如果没有临空面,该类岩体一般较稳定。

在岩体结构被中陡倾坡外结构面控制区,如 A3 区,目前以蠕动变形为主,如果发生破坏,可以是小规模的表层错动,也可能是较大规模的整体失稳。

总之,黄南乡上坳村地质灾害目前主要呈分块、分区以滑坡、崩塌、变形等不同形式破坏,滑动破坏底面一般界于全风化花岗岩与强风化花岗岩之间,但不排除在某些地段发生沿强风化花岗岩结构面产生局部破坏乃至整体破坏的可能。

(下转第 131 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

烟台共接待国际游客14.91万人次，其中韩国、日本、菲律宾、印尼分别居前四位。因此，在生态旅游服务中，对韩国重点开放胶东民俗旅游和山地生态旅游；对日本重点开辟中日友好先驱徐福东渡旅游热线和海岛生态之旅；对菲律宾重点开放齐鲁文化游和海滨生态旅游；对印尼重点开放胶东民俗旅游和农业生态旅游。在加强吸引传统客源国的同时，通过加大生态旅游宣传力度来吸引世界其他客源地游客。

同时，根据不同的生态旅游层次，进行不同的生态旅游开发和宣传。开展以农(渔)家乐、农业生态旅游为主的泛生态旅游；以胶东民俗风情游、徐福东渡游、庄园宗教酒文化等生态文化为代表准生态旅游；以森林公园科考游、海岛探险游等为代表的纯生态旅游。从中推出一系列在国内乃至国际上叫的响的生态旅游精品，如森林公园科考探险游、蓬莱仙境水城游、秦始皇东巡游、全真道教寻踪游等，从而有利于提高烟台生态旅游的国际知名度。

3.4 加大宣传力度，吸纳当地居民积极参与

媒体宣传有利于扩大旅游地的影响力，提高旅游产品的知名度，是当今旅游业促销的重要手段。它主要包括两个方面：一是对生态旅游的宣传。生态旅游是新兴的旅游形式，它需要保护资源和环境的前提下，享受自然的回报。旅游作为一种产业经济，其最终的目的是要促进当地经济的发展和人民生活水平的提高。因此，生态旅游给当地居民带来经济利益的同时，也必定会吸引他们生态旅游的开发中去，这种互动势必会促进生态旅游的良性发展；二是对旅游地的宣传，通过报纸、电视、宣传资料等各种媒体进行宣传促销，开拓国内外市场。通过“揽仙境，品美酒，来烟台”、“黄金海岸，人间仙境”等口号宣传烟台[8]。紧紧抓住2008年奥运会的有利宣传时机，实施“比赛在青岛，观光在烟台”的旅游牵动战略，创建中国最佳生态旅游城市。

3.5 确定区域旅游业的门槛人口，达到经济发展和环境保护的双赢

生态旅游是一种可持续的旅游形式，而可持续旅游强调在发展过程中建立和发展与自然及社会环境的正相关关系，减少或消除负相关关系。但是旅游业经济利益与环境保护和传统文化保护需求之间的矛盾是客观存在的和不可避免的[9]。因此要在遵循系统耐受性规律、非平衡稳态规律和系统进化的不可逆性的前提下[10,11]，寻求以最小的旅游环境与资源投入要素使用量获取最大的旅游福利总量，达到经济的有效性和世代的公平性[12]。

解决上述问题的途径之一是确定区域旅游业的门槛人口(保证不发生亏损时的最低游客人数)和旅游环境容量之间的关系，以此确定区域发展旅游业的可行性，以及对地区经济发展和环境保护可能带来的影响。这种关系的要首先实行于海岛区域。烟台的许多岛屿由旅游业所带来的环境问题比大陆区更加突出，污水排放与近海养殖之间的矛盾、垃圾处理与有限的土地空间之间的矛盾十分突出。另外，环境恢复弹性不大的生态环境脆弱区和特色鲜明的牟氏庄园和蓬莱仙阁也要实行客流限制，以维持生态旅游的可持续发展。

参考文献：

[1] 张广瑞. 生态旅游的理论与实践[J]. 旅游学刊，1999，(1)：51－55.
[2] 万绪才，朱应皋，丁敏. 国外生态旅游研究进展[J]. 旅游学刊，2002，(2)：68－72.
[3] 文军，魏美才，唐代剑. 生态旅游的可持续发展研究[J]. 生态经济，2004，(3)：115－119.
[4] 烟台市统计局. 烟台统计年鉴[Z]. 1999～2004.
[5] 王庆新，等. 迈向二十一世纪的山东旅游业[M]. 济南：山东旅游出版社，2000.
[6] 黄义雄. 厦门生态旅游及其可持续发展[J]. 生态学杂志，2003，22(1)：89－93.
[7] 李世泰. 烟台市旅游资源开发规划有关问题的探讨[J]. 烟台师范学院学报，1997，(2)：145－149.
[8] 李世泰，魏清泉，李庆志，等. 葡萄酒旅游开发研究——以烟台张裕葡萄酒旅游为例[J]. 经济地理，2005，25(1)：139－142.
[9] 牛亚菲. 可持续旅游、生态旅游及实施方案[J]. 地理研究，1999，(2)：179－184.
[10] 姜学民，等. 生态经济学概论[M]. 武汉：湖北人民出版社，1985. 114－112，94－96.
[11] 贺春艳. 从生态旅游的三大效益再论生态旅游活动的形式－兼与刘德谦先生商榷[J]. 旅游学刊，2004，19(1)：77－81.
[12] 卢云亭. 旅游业可持续发展的理论研究[A]. 中国旅游业可持续发展论文集[C]. 石家庄：河北科学出版社，1999. 64－68.

(上接第127页)

5 防治措施建议

结合边坡地质灾害特点及成因，地质灾害在不同地段应该采用不同的措施，建议如下：

(1)A1滑坡区，考虑到阻止上部滑塌物继续向前滑动，建议在切坡前缘(K54＋180～K54＋228)布置重力式挡墙进行支护；

(2)A2错落区，在(K54＋110～K54＋147)建议采用重力式挡墙进行支护，防止坡面进一步松动、拉裂、滑动和崩落，客队坡面进行锚喷；

(3)A3变形体，为防止其进一步向公路方向蠕滑变形，在前缘(K54＋147～K54＋180)建议采用桩板墙进行支护；

(4)为防治斜坡发生整体性滑动，建议沿187 m高程线弧形布置抗滑桩进行支护。

另外，对于出露的基岩危石应及时进行清理平整，防止局部崩塌及掉块；对于天然斜坡部分的地面裂缝应进行回填夯实，以防止裂缝的贯通以及地表水的入渗；防止地表水进入坡体内部，建议在自然斜坡表面就势修建排水网络。

参考文献：

[1] 张卓元，王士天，王兰生. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京：地质出版社，1994.
[2] 国家防汛抗旱总指挥部办公室，中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所. 山洪泥石流滑坡灾害及防治[M]. 北京：科学出版社，1994.
[3] 王深法，王原高，胡珍珍. 浙江山地滑坡现状及其成因[J]. 山地学报，2000，18(4)：373－376.
[4] 彭社琴，陈明东. 浙江青田某高切坡滑动破坏及对策[J]. 地质灾害与环境保护，2005，16(3)：243－245.
[5] 彭社琴，陈明东. 张溪滑坡－台风诱发滑坡成因分析[J]. 山地学报，2005，23(6)：725－728.