

# 金 龙 山 地 区 滑 坡 研 究<sup>\*</sup>

陈自生 李 沛

任连城

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

(二滩水电开发公司)

**提 要** 金龙山地区位于四川省雅砻江二滩水电站库首左岸。区内海拔 1000—2700 米;重点研究区海拔 < 1730 米,面积近 1.3 平方公里。本区滑坡顺层发育,以蠕滑方式为主,成条成群分布,新老俱全,厚度各异(巨厚—表层),规模不一。控制坡体蠕滑和滑动的主要是层面(或似层面)、层间错动带和中缓倾角裂隙。据滑坡活动状况的不同,将全区分为三个滑坡区:Ⅰ区是多级古滑坡区(方量约 200 万立方米);Ⅱ区是蠕滑区(方量约 2000 万立方米);Ⅲ区是浅-表层残坡积层滑坡区。

**关键词** 金龙山 滑坡 蠕滑 滑面

金龙山地区位于四川省雅砻江二滩水电站库首左岸,与坝区以金龙沟相隔。该沟沟口距水电站坝轴线 570 米,距上围堰 250 米,距左岸导流洞入水口 80 米。当地又是攀枝花钢铁公司二滩粘土矿(以下简称粘土矿)所在地。

金龙山地区滑坡早已引起重视,先后开展了滑坡重点研究区的地质地貌详细测绘工作,完成:钻孔 38 个(总进尺 3516 米)、平硐 8 个(总长度 1548 米)、竖井 6 口(总深度 324 米)、探槽 5 条(总方量 750 立方米)<sup>1)</sup>。经综合分析、对比上述勘测成果,粘土矿地质资料和彩红外遥感影像判读结果后,对金龙山地区滑坡的形成条件及特征的认识比以往更为深入。

区内雅砻江水流向南东。坡体坡向 210°,平均坡度 30°左右。本区海拔 1000(雅砻江江边,在南缘)—2700 米(分水岭,名叫老鹰岩,在北缘);海拔 < 1400 米处坡体坡度约 25°,1400—2700 米为 35°—40°。金龙山地区西东两侧分别是阿布郎哨沟和金龙沟。滑坡重点研究区海拔 1050—1730 米,坡体平均宽度约 700 米,面积近 1.3 平方公里。

## 一、滑坡形成条件

金龙山地区的坡体不仅具备了滑坡形成的三个基本条件,而且还存在着地震和水体等诱发因素。

### (一) 基本 条 件

<sup>\*</sup> 参加研究工作的还有王少东、卢鑫煜,承担土工试验、分析工作的有唐家洪、冯维敏、刘建华、杨国彬等,参加录像工作的有饶志友、胡康宁,配合本课题工作的是中国人民解放军 00300 部队敖水生、汪仁喜、谭新彦等,对此一并谨致谢意。

注:请参阅刊前附图,即金龙山地区滑坡平面图,金龙山Ⅰ区古滑坡 A—A' 剖面,金龙山Ⅱ区巨厚层蠕滑体 B—B' 剖面。

1) 勘探工作由中国人民解放军 00300 部队和能源部、水利部成都勘测设计院完成。

本文收稿日期:1991-07-25。

## 1. 地层岩性

本区处于南北向的阿布郎哨背斜南倾伏端东翼,自西向东依次出露有:震旦系灯影组白云岩( $Z_{bd}$ ),石炭系灰岩(C),下二叠统梁山组粘土岩( $P_{11}$ ,以下简称梁山粘土岩)、阳新组灰岩( $P_{1y}$ ,以下简称阳新灰岩),以及上二叠统峨眉山组玄武岩( $P_{2B}$ ,以下简称峨眉玄武岩)。阳新灰岩顶底面分别与上覆下伏地层呈假整合接触。各层系均有脉岩侵入。第四系主要为残坡积层和滑坡堆积层( $Q_{del}$ )。兹略述某些层系如下。

1)梁山粘土岩 其厚度12—15米,以中-厚层状为主,岩相稳定,分布连续。层内常有乳白色致密的厚度不一的变质叶腊石。其软化后具强烈滑腻感。本层的顶底部均为泥化层,属良好隔水层,性软塑。据粘土矿采场反映,每逢雨季呈混凝土状物质从矿洞天窗中漏下来。

2)阳新灰岩 其厚度约20米,中厚层状。局部地段阳新灰岩已大理岩化,并夹炭质条带;个别地段薄层理亦很发育。

3)峨眉玄武岩 其厚度约200米。本层易风化,底部含厚度约0.5—1.0米的绿泥石质铁质粘土岩,分布连续。在绿泥石质铁质粘土岩内部还含厚度约10厘米的夹粘土破碎带。

4)脉岩 在金龙山地区,仅粘土矿勘探时就发现有60余条以辉绿岩为主的脉岩。脉岩在坡体浅部以顺层注入为主,在坡体深部以高角度( $70^\circ$ 左右)斜交注入为主。脉岩走向多为 $120^\circ$ — $140^\circ$ (与坡向垂直),最大厚度达13米,一般1—2米。脉岩致密性脆,裂隙发育。它以斜交方式注入岩层者,与围岩多呈突变接触,围岩破碎,影响宽度0.5—1.0米。风化作用沿脉岩破碎带极易向坡体深部发展至200余米。

由上可见,梁山粘土岩(尤其顶部)和阳新灰岩均是极易发生剪切破裂的层位,而脉岩则是分割坡体并促使坡体失稳的又一重要条件。

## 2. 坡体结构面

金龙山地区坡体主要发育有下列五组结构面。

第一组为层面(或似层面) 其产状 $170^\circ$ — $190^\circ \angle 35^\circ$ ,倾向与坡体坡向之间的夹角 $30^\circ$ 。有些层面(或似层面)间相隔1.0—1.2米。似层面延伸性好;单个长度5—8米,甚至达30米,间距0.5—1.0米。似层面若彼此错列组合而又密集成带者,则延伸长度可达百米以上。本组结构面大多粗糙,硿中多见结构面内充填着次生泥化层(或泥膜),厚度0.2—0.5厘米。本组结构面不仅易发展成滑坡主滑段,且与第二组结构面相组合而发展成滑坡抗滑段。

第二组结构面 其倾向与坡体坡向一致,或同第一组结构面的倾向,倾角( $10^\circ$ — $20^\circ$ )则更缓。本组结构面一般指的是中缓倾角裂隙。其性状同第一组结构面性状,但有的波状起伏,倾角有所变化。峨眉玄武岩构成的坡体中,本组结构面极易发展成滑面。油库古滑坡的滑面即为一例。

第三组结构面 其产状 $300^\circ$ — $310^\circ \angle 60^\circ$ — $65^\circ$ 和 $30^\circ$ — $50^\circ \angle 65^\circ$ — $70^\circ$ 。两者构成共轭X节理。前者更为发育,有时成小断层。它们一旦与其他各组结构面相连通,就构成滑坡的纵向切割面。

第四组结构面 其产状  $0^\circ \angle 60^\circ-80^\circ$  和  $180^\circ \angle 40^\circ-70^\circ$ 。它们对坡体有横向切割作用。

第五组结构面 这即为脉岩及其破碎带。此组结构面沿层面或似层面发育(在坡体浅部),或与岩层斜交(在坡体深部)而将金龙山地区的坡体分割开来,因而是一组重要的坡体结构面。

### 3. 有效临空面

构成本区坡体的地层层面走向大体为东西向,倾向南(略偏向雅砻江下游),平均倾角  $35^\circ$ 。层面倾向与坡体坡向之间的夹角  $30^\circ$ 。层面倾角陡于坡体坡度  $5^\circ$ ,而中缓倾角裂隙倾角却缓于坡体坡度  $15^\circ-25^\circ$ 。这就是说,坡体内部的层面(或似层面)与中缓倾角裂隙相配合,就能发育成巨厚层蠕滑体抗滑段,并构成折线型滑面。所以境内雅砻江左岸坡面成了金龙山地区坡体的主要有效临空面。再者金龙沟右岸因出露有峨眉玄武岩似层面和节理面,则成了本区坡体的次要有效临空面。

## (二) 诱发因素

### 1. 地震

二滩地区的基本地震烈度为  $7^\circ$  或  $7^\circ$  稍强<sup>1)</sup>。据有关研究<sup>2)</sup>推断,地震惯性力对滑坡的形成有着诱发作用。

### 2. 水体

金龙山地区坡体具有顺坡向层状结构。以粘土岩为界,将坡体内的地下水分隔为裂隙水和岩溶承压水两个基本类型;并有四个含水单元,即在坡体上由表及里分别为:峨眉玄武岩裂隙水(其下是第一隔水层:峨眉玄武岩底部绿泥石质铁质粘土岩)、阳新灰岩岩溶裂隙水(其下是第二隔水层上部:梁山粘土岩顶部泥化层)、梁山粘土岩局部裂隙水(其下是第二隔水层下部:梁山粘土岩底部泥化层)和石炭系灰岩岩溶承压水。如此含水层与隔水层相间出现的层状水文地质结构,加之地下水顺坡向(由北东向南西)汇流后注入雅砻江,这些都利于滑坡的形成<sup>[1]</sup>。

降雨对当地滑坡的形成影响很大。如1986年8月28日降雨80毫米,在Ⅲ区触发了大量的浅-表层滑坡,并使金龙沟暴发了泥石流,其毁房三幢,冲断沟口过境公路。

上述滑坡形成条件决定着当地滑坡具有一系列特色:顺层,蠕滑,滑动新老俱全,厚度各异(巨厚—表层),规模不一,滑坡成条成群等。

## 二、滑 坡 特 征

### (一) 滑坡一般特征

金龙山地区的滑坡地貌形态独特。这表现在:1. 海拔  $< 1800$  米处坡面显得支离破碎。而且与邻区坡体相比,区内坡体一般要低  $60-80$  米。尤其是与东侧的金龙沟上游两

1) 中国科学院能源研究委员会、中国科学院成都分院,1983,雅砻江二滩水力开发可行性若干问题综合研究报告,第11页。

2) 中国科学院成都地理研究所,1978,地震与滑坡,第7页。

条支沟间的分水岭相比,则更显得低矮。2. 海拔 1600—1400 米处坡体陡峻而平直, 1400—1250 米处变缓,至 1250 米处又变陡。3. 海拔 1550 米和 1640 米两处各有一条横向槽谷,两者均由滑体后缘裂缝发育而成。4. 海拔 < 1300 米处发育的小冲沟,在 1300—1600 米间就不明显,但至 > 1600 米处又显冲沟上段,这表示坡体变动过。5. 海拔 1200—1400 米一带发育有多个台地:每个台地的前后缘相对高度 20 米左右,各台地高度不等,互不对应,台地组成物质均为坡积物或滑坡堆积物。由此可见,金龙山地区滑坡活动状况相当复杂。

实地调查结果显示,易滑地层和主滑控制面在西侧完全出露,往东侧倾伏于雅砻江河床下。据滑坡活动状况的不同,可将本区分为 I, II, III 三个区。各区内滑坡成群。

I 区在西部,地貌上表现为顺坡向槽谷。由滑坡地貌形态、主滑控制面的层位,以及海拔 1050—1080 米公路边坡处峨眉玄武岩与阳新灰岩在垂直横剖面上重复出露等得知, I 区是一个多次滑动过的古滑坡区。区内海拔 1350 米处和 1150 米处分别发育有后期的木材厂滑坡和机选车间滑坡。两者之后方暴露在外面的滑坡后壁一直延伸到海拔 1540 米左右。I 区滑坡方量约 200 万立方米。

II 区在东部,属发育有浅-表层的残坡积层滑坡群区。区内滑坡除危及公路和住宅外,对水电站建设的影响不大。但应注意滑坡物质进入金龙沟后,可能转化为泥石流,危及左岸导流洞入水口。

对 I 区巨厚层蠕滑体作如下专门论述。

## (二) I 区巨厚层蠕滑体特征

地质地貌详细测绘和勘探资料分析结果显示,目前 I 区坡体正处在滑坡形成的初期阶段。

坡体内生成的巨厚层蠕滑体滑向  $210^{\circ}$ — $220^{\circ}$  (大体与坡体坡向一致),运动缓慢。蠕滑体长 1200 米,平均宽 200 米,方量约 2000 万立方米。

I 区内粘土矿的采矿硐和钻探,以及平硐揭示了种种蠕滑迹象。

### 1. 粘土矿采矿硐内所见的蠕滑迹象

I 区内海拔 1430—1550 米间,粘土矿采矿硐:1973 年投产的有四个,分别称为 1460 矿硐、1490 矿硐、1520 矿硐和 1550 矿硐;1986 年投产的一个,即称 1430 矿硐。矿硐深度各在 500 米以上。这些矿硐内见有如下蠕滑迹象。

1) 梁山粘土岩顶部发育着厚约数十厘米至 1 米的层间错动带,其大多已泥化,呈软塑状。梁山粘土岩顶面多成片顺层光面或镜面,面上具有大量顺坡向 ( $210^{\circ}$ — $220^{\circ}$ ) 擦痕(其方向与层间错动方向间的夹角  $30^{\circ}$ — $40^{\circ}$ )。

2) 直立脉岩在梁山粘土岩顶面处被上覆阳新灰岩所错断而向下运动;错断处的梁山粘土岩顶面和阳新灰岩底面往往成光面或镜面,其上有有时见擦痕(方向  $220^{\circ}$ )。脉岩错断面上有羊屎般砾石和软泥。

3) 梁山粘土岩顶部具层间劈理带,带厚数十厘米,其间发育 S 型滑劈理,并有滑动剪切(产状  $190^{\circ} \angle 38^{\circ}$ ),擦痕方向  $215^{\circ}$ — $220^{\circ}$ 。S 型滑劈理间距 5 厘米左右,有泥膜。阳新灰岩底面上有阶坎,这表示岩体顺坡向下运动过。此处海拔 1470 米,垂直向上延伸至坡

体坡面,海拔约 1660 米。

4)1460, 1490, 1520 三个矿洞中阳新灰岩底面处,采矿洞拱圈都发生开裂,而洞壁裂缝呈阶梯状,属张剪性,垂直面张开,水平面剪切,岩体运动方向与坡向一致。1430 矿洞中阳新灰岩底面处,采矿洞拱圈也发生严重开裂,1986—1989 年底已裂宽 19 毫米,现尚未停止。

5)采矿洞的局部地段,梁山粘土岩顶部散布着由泥质胶结的卵砾石,其成分复杂,表面有擦痕、铁染和镜面。这些卵砾石可能原在坡体坡面上,后经垂直裂缝抵梁山粘土岩顶部处;卵砾石表面性状正是蠕滑的佐证。目前,海拔 1770 米处仍分布着冲积卵砾石层,层厚约 5 米。采矿洞内的卵砾石可能来自该层。

## 2. 粘土矿钻孔中所见的蠕滑迹象

粘土矿在搞勘探时,先后布置有 14 条勘探线,100 多个钻孔。从这些钻孔中,不难发现有关的蠕滑迹象,如地层重复或局部缺失或变薄,不同岩性的岩块混生,局部破碎带,裂隙或裂隙充填物,以及岩层破碎以至成岩粉,在钻孔记录中甚至出现不具有溶洞充填物特征的“溶洞充填物”或“裂隙溶洞充填物”等。

## 3. I 区前段平洞中所见的蠕滑迹象

### 1) 洞。(海拔 1220 米)中破碎松动带

洞深 256—277 米处破碎松动带上界,是发育在峨眉玄武岩底部绿泥石质铁质粘土岩中的破碎带(宽 3—10 厘米)。本带上盘绿泥石质铁质粘土岩垂直节理发育,下盘主要表现为洞深 261—277 米处阳新灰岩内发育的垂直裂隙带。

洞深 293—299 米处阳新灰岩内发育有多条破裂面而成的破碎松动带,其水平宽度 4 米,产状  $200^{\circ} \angle 65^{\circ}$ 。该带靠洞口一侧的破裂面将脉岩下错 40 厘米,呈正错断性质。本带上盘大理岩化灰岩层面擦痕指向  $215^{\circ}$ ;下盘的垂直节理发育,规模较大。在洞顶的垂直张性节理间距 10—20 厘米,滴水,由黄泥充填。

上述两个破碎松动带之间发育着一系列张裂缝(组合后成带)。缝宽 3—5 厘米,裂面波状起伏,渗水、滴水或流水。整条张裂缝带宽约 18 米。

### 2) 洞。(海拔 1140 米)中峨眉玄武岩底部滑动错碎带

其由糜棱岩及黄泥组成。本带下盘阳新灰岩裂隙发育,其间夹次生黄色泥质物。更多的蠕滑迹象出现在上盘:(1)峨眉玄武岩底部厚约 20.0 米的岩层中张裂缝极发育。裂缝走向  $150^{\circ}$ — $155^{\circ}$ ,宽 3—10 厘米;20.0 米中约 16.5 米为严重松动带。裂面上由黄泥充填,滴水。(2)峨眉玄武岩底部的似层面均为磨光面,面上发育着指南或南西的擦痕或擦沟。

洞深 262 米西壁深约 10 米的支洞(方向  $295^{\circ}$ )中,峨眉玄武岩岩体更为松弛,北西向张裂缝极为发育,缝宽一般 5—10 厘米,最宽 20 厘米,裂缝间距数十厘米至 1 米余。支洞内有一条走向  $220^{\circ}$ — $230^{\circ}$  的垂直破碎带,带宽数十厘米。此带两侧岩体结构不同:东侧岩体相对完整,与主洞相似;西侧岩体已经松动、开裂。主洞内的水流在此处转入洞底,并发出扑哧、扑哧的渗水声。

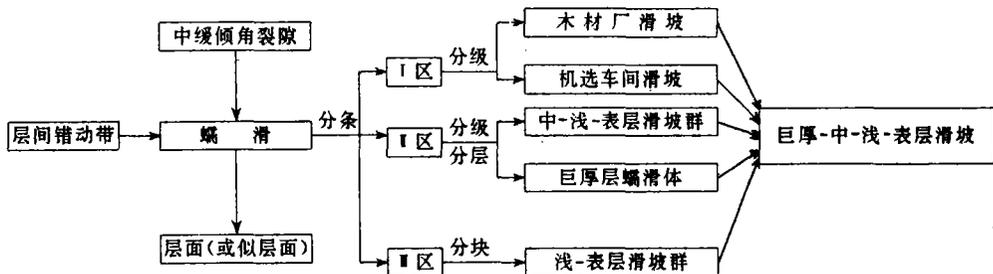
由上可见, I 区巨厚层蠕滑体的蠕滑带由后段向前段发展:先沿梁山粘土岩顶部发

育,在硐<sub>5</sub>中已转入并斜切阳新灰岩。在硐<sub>4</sub>中则循峨眉玄武岩底部绿泥石质铁质粘土岩中的滑动错碎带发育,后穿入峨眉玄武岩岩体中。后者标志着蠕滑带已逐渐进入切层为主的转折区(扩容区),即蠕滑带由主滑段转入抗滑段。由探槽揭示,Ⅰ区巨厚层蠕滑体剪出口位于海拔1080米。

再则,由4口竖井、3个钻孔、硐<sub>7</sub>和地层露头等资料证实,Ⅰ区巨厚层蠕滑体前段已发育了玄武岩滑坡——油库古滑坡。其左界为Ⅰ,Ⅲ两区之间的界沟,右界与Ⅰ区古滑坡相接,后缘位于海拔1270米上下,剪出口(即前缘)与Ⅰ区巨厚层蠕滑体剪出口相重合(海拔1080米)。油库古滑坡方量约200万立方米,它形成于雅蓉江Ⅰ级阶地侵蚀期(由地貌分析得知)。

### 三、滑坡发育过程

金龙山地区坡体的蠕滑和滑动主要沿层面(或似层面),层间错动带和中缓倾角裂隙发育。若蠕滑带逐渐发展而连通者,本区坡体沿梁山粘土岩与阳新灰岩之间的接触面及其层间错动带,以及峨眉玄武岩岩体中的似层面和中缓倾角裂隙便先后出现分条解体。鉴于Ⅲ区前段下伏岩体的砥柱作用,Ⅰ-Ⅰ区与Ⅲ区之间就有差异性滑动,从而两者之间作长条形解体(附图)。



附图 金龙山地区滑坡发育过程

Figure The landslide development process in the Jinlongshan region

Ⅰ-Ⅰ区内横剖面方向上东侧摩阻力始终大于西侧摩阻力,Ⅰ区内梁山粘土岩顶面出露于有效临空面,而Ⅰ区内中缓倾角裂隙出露于有效临空面,Ⅰ,Ⅰ两区各自的滑坡形成条件有所差异,从而两者之间也会作分条解体。

滑坡活动性较强的Ⅰ区内还要作进一步分级解体,因为其中的前段机选车间滑坡比后段木材厂滑坡的活动性更大。

此外,Ⅰ,Ⅲ两区内各自的残坡积层均普遍发育着众多的中-浅-表层滑坡。它们虽单独活动,但也同Ⅰ区巨厚层蠕滑体相关联,从而据坡体物质、结构的不同还会作分层或分块解体。

此上可见,金龙山地区存在着一个复杂的滑坡群体。它既发育着巨厚层蠕滑体,还发育有许多中-浅-表层滑坡。这些滑坡的生成时代、形成机制、运动变形特征各不相同,呈现出多条、多级、多层、多块和多期的复杂特性。

#### 四、滑坡稳定性趋势分析

现在二滩水电站已正式开工。若水电站建成而到水库运营期,Ⅰ区古滑坡将有一半被淹,松散滑坡堆积体因饱水而较有可能出现牵引式复活,不过对水电站施工和运营不会造成灾害性事故。

再则,目前Ⅰ区滑动变形相对集中于阳新灰岩的顶底面,蠕滑迹象众多。Ⅰ区前段(海拔 1080—1110 米)因沿层面(或似层面)发育的主滑控制面与中缓倾角裂隙相配合,应力便逐渐集中,并向前顶推而使中-浅层岩体扩张松弛,由此原来不连续的结构面逐步连通,Ⅰ区的滑坡稳定性要降低。

到水电站施工期,因围堰回水位低于油库古滑坡剪出口(海拔 1080 米),蓄水对Ⅰ区巨厚层蠕滑体和油库古滑坡的水文工程地质条件均无多大改变,故Ⅰ区是稳定的。

到水电站运营期,油库古滑坡大部在水库高水位(海拔 1200 米)之下,滑体内部的水文工程地质条件变化很大,处于饱水状态,而使岩土体物理力学性质大为改变。当水库水位消落时,强大的地下水静动水压力可能导致油库古滑坡复活,促使Ⅰ区深部蠕滑加剧而恶化巨厚层蠕滑体的稳定性,这对水电站运营安全有潜在威胁。

此外,Ⅲ区的水库水位以下部分虽也有水文工程地质条件的改变,但总的说来坡体是稳定的,可能只发生些浅-表层残坡积层滑坡,这对水电站无多大影响。然而应注意的是:残坡积层滑坡有可能转化为泥石流,故对金龙沟泥石流应及时采取工程措施加以治理,防患于未然。

#### 参 考 文 献

- [1] 李沛、陈自生,1989,对雅砻江二滩水电站金龙山地区滑坡发育规律的认识,一九八七年全国滑坡学术讨论会滑坡论文选集,四川科学技术出版社,第 95—102 页。

## A RESEARCH ON THE LANDSLIDE IN JINLONGSHAN REGION

Chen Zisheng Li pei

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences*  
& *Ministry of Water Conservancy*)

Ren Liancheng

(*Ertan Hydroelectric Development Corporation*)

### Abstract

Jinlongshan region beside a dam area is located on the left bank of the reservoir at Ertan Hydropower Station of the Yalongjiang River, Sichuan Province. Altitude is at 1000—2700m. The main research region is 1.3km<sup>2</sup> (< 1730m).

The research region is divided 3 Landslide area. The I area is old and multistep landslide. There are a great many landslides of the eluvium and deluvium in the II area.

The I area is a creeping slide area. The creep-slide phenomena in the mine blocks of the claystone ore district (1520—1430m) presented; 1. the shear zone on the top surface of the claystone; 2. the vertical dikes are shared, and they slid along the top surface of the claystone; 3. the story ckeavage zone on the top surface of the claystone; 4. the cracking arch ring of the mine blocks on the top surface of the claystone; 5. the alluvial gravels with groove and slikeness in the mine bock. According to the explortion data in the front of I area, the creep-slide sureface on the top surface of the claystone cross obliquely the overlying limestone and basalt. At the present time, the creep-slide sureface occurred along the unloading cracks is developing into a slide plane.

The length of the creep-slide body in the I area is 1200m, the average width is 200m, the average thickness is 80m, the volume is about 20Mm<sup>3</sup>.

Jinlongshan region exists a complex landslide groups. The landslide characteristics are multi-layer, piece-wise, blocking, multi-stage, and multistep.

**Key words** *Jinlongshan, landslide, creeping slide, slide plane*