

# 西藏易贡崩塌—滑坡—泥石流的 地质地貌与运动学特征

任金卫<sup>1)</sup> 单新建<sup>1)</sup> 沈军<sup>1)</sup> 格桑<sup>2)</sup> 扎桑<sup>2)</sup> 邓桂英<sup>2)</sup> 张军<sup>2)</sup> 索仁<sup>2)</sup>

1) 中国地震局地质研究所, 北京, 100029; 2) 西藏自治区地震局, 拉萨, 850000

**内容提要** 2000年4月9日19时59分18.2秒, 在西藏自治区波密县境内易贡乡发生了特大崩塌—滑坡—泥石流。构造上它发生在印度板块阿萨姆楔入角复合地带的西侧, 也是高原腹地向东侧山地下降的过渡带, 重力作用明显。根据便携式GPS定位仪实地测定和滑坡前后的卫星影像分析, 崩塌—滑坡—泥石流堆积物形成了一座长约5.7 km、宽约1.5 km的“天然大坝”, 完全堵塞了易贡藏布河干流, 崩塌滑坡体总方量超过 $3.8 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ 。根据区域地震台网的记录, 其振动持续的时间为6 min, 其中最大振幅的持续时间为2 min。震相分析表明有3组较为明显的震相, 对应着3次较大的地表振动。计算获得崩塌滚落的平均速度约为48 m/s, 伴随崩塌滚落的同时, 滑坡泥石流的平均滑动速度也达到了16 m/s, 比一般泥石流流动速度要大一倍。

**关键词** 岩崩 滑坡 运动学 西藏

2000年4月9日晚8时左右, 在西藏自治区波密县境内, 距易贡茶场5 km, 距川藏公路通麦大桥17 km的纳雍嘎布山扎木弄沟, 发生了特大型山体崩塌滑坡, 并触发了泥石流, 崩塌—滑坡—泥石流堆积物形成了一座长5.7 km、宽1.5 km、高500 m的“天然大坝”, 完全堵塞了易贡藏布河干流, 致使易贡湖水迅速上涨, 使波密县易贡、八盖两乡和易贡茶场与外界交通中断, 4000多人被困, 1000多人面临洪水威胁, 部分农田、草场、茶园被淹。波密县易贡乡发生的特大型山体崩塌滑坡的规模尚属国内之最, 也属世界罕见。崩塌滑坡触发的次生泥石流的速度也较一般泥石流快得多。研究易贡崩塌—滑坡不仅对认识崩塌—滑坡—泥石流灾害的形成机理具有重要意义, 而且也是防灾减灾的一项基础工作。由于易贡地处偏远, 对于滑坡发生的准确时间和持续时间靠野外调查和访问附近村民很难获得。滑坡发生后中国地震局地质研究所和西藏自治区地震局组成联合小组, 于2000年5月下旬对崩塌—滑坡体进行了实地考察, 对滑坡体的环境地质条件进行了分析; 利用便携式GPS定位仪, 结合资源卫星一号所获得的滑坡前后的地表影像分析, 对滑坡体的分布、规模进行了定量研究; 利用西藏区域地震台网的观测记录, 通过地

震波初动到时和震相分析, 对滑坡的发生时间、持续时间和运动学过程进行了初步研究, 在此基础上对滑坡的形成机理进行了初步分析。本文重点介绍利用地震记录、GPS和卫星影像等新技术研究易贡崩塌—滑坡体的初步成果。

## 1 环境地质条件

### 1.1 地形地貌

易贡位于青藏高原向东侧山地下降的过渡带上, 在地貌上处于两大地貌单元的交界处, 其西侧为高原腹地, 东侧则为河流溯源侵蚀形成的高山峡谷(中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1983)。重力地貌作用十分明显, 属典型的地表形态不稳定的高山深切峡谷地形, 易贡地区最高点纳雍嘎布峰海拔6338 m, 易贡藏布河床在崩塌滑坡附近的海拔高程为2190 m, 易贡藏布河两岸坡度多在 $40^\circ \sim 60^\circ$ 之间。海拔4000 m以上地带冰斗、角峰、幽谷、洼地等冰蚀地貌发育; 4000 m以下主要发育深切河曲、沟谷台地、冰碛垄、泥石流或冲洪积扇、坡积裙等地貌单元。

### 1.2 地层岩性

研究区出露的地层主要有石炭系旁多群石英砂岩、板岩、灰岩以及燕山晚期和喜马拉雅早期的花岗

注: 本文为地震联合基金(编号 198015)和国家攀登计划项目“现代地壳运动与地球动力学研究”(编号 970231003)资助成果。

收稿日期: 2000-12-25; 改回日期: 2001-07-16; 责任编辑: 周健。

作者简介: 任金卫, 男, 1957年生, 1982年毕业于南京大学地质系, 现为地震局地质研究所博士、研究员, 主要从事现代地壳运动及工程地震研究, 通讯地址: 100029, 北京德外, 中国地震局地质研究所; 电话: 010-62090995; Email: jrwen@163.com。

岩。基岩分为喜马拉雅早期的花岗岩和时代不明的混合岩, 主要出露于海拔 4000 m 以上及主沟两侧的岭脊部位; 第四系松散堆积广泛分布于主沟沟床及两侧谷坡, 主要有残坡积、冰碛、冰水堆积、冲洪积、泥石流堆积及人工堆积等成因类型。在谷地和山沟内分布有第四系及现代冰川堆积物和冲洪积物, 质地较松散。

### 1.3 地质构造

易贡在构造上属于念青唐古拉块体(西藏自治区地质矿产局, 1993), 其构造变形以挤压逆冲和走滑为特征, 特别是在东南部的南迦巴瓦峰地区, 是印度板块阿萨姆楔入角形成碰撞“构造结”的部位, 变形以挤压碰撞为主, 花岗岩岩基中糜棱岩—碎裂岩较常见。易贡地处雅鲁藏布江大转弯复合地带的西侧, 其西为墨竹工卡构造带, 东为墨脱断裂带, 受区域构造活动影响, 区内花岗岩及混合岩大面积出露, 岩体极为破碎, 节理裂隙发育。主要断裂构造是沿易贡藏布分布的 WNW 向嘉黎断裂。高原本身在印度板块的推挤下向东移出并不明显(崔军文等, 2001), 嘉黎断裂在这一地段的的活动性也不强(任金卫等, 2000), 根据野外调查的结果, 这次崩塌滑坡的发生与该断裂活动并无直接关系。

### 1.4 气象水文

由于印度洋暖湿气流沿雅鲁藏布江河谷北上, 在西藏林芝一波密一带形成了温暖湿润的小气候环境。其年降水量远大于青藏高原的平均值。易贡地区属于典型的高原半湿润季风气候。降雨极不均匀, 干湿季节分明, 每年 6~9 月为雨季, 11 月至次年 2 月为旱季。据易贡气象站 1965 年至 1972 年资料统计(殷跃平, 2000), 年平均气温为 11.4℃, 最高月为 18.1℃, 最低月为 3.3℃, 年温差 14.8℃; 历年最高气温为 32.8℃, 历年最低气温为 -10.7℃。年平均降水量为 960.0 mm, 每年雨季集中全年 95% 以上的降雨量, 而 5~9 月为连阴雨或暴雨的多发季节, 此 5 个月的降雨量占全年总降雨量的 78% 左右, 其中降水量最多为 6 月份, 约占全年的 26%; 11 月至翌年 2 月为干季, 其降水量仅占全年的 4%。由于流域高差悬殊, 降雨的垂直分带性明显, 其总体趋势是随海拔高度的增加, 降雨量随之增加, 尤其是在海拔 3500 m 附近地带, 以连续多日降雨、间夹大至暴雨的灾害性降雨最频繁。绝大部分地区地质灾害的发生都在雨季, 滑坡与降雨的季节及雨量的大小密切相关。

## 2 崩塌滑坡体的主要特征

历史上易贡为滑坡多发区, 易贡湖即为滑坡堵塞易贡藏布河形成。本次发生崩塌滑坡的主要原因是扎木弄沟脑高达 5520 m 以上的岩体发生高位崩塌, 由于气温转暖, 冰雪融化, 4 月上旬以来本区连降暴雨, 使位于扎木弄沟上亿立方米滑坡体饱水失稳, 并沿陡倾岩层呈楔型高速下滑, 撞击下部老堆积体和扫动两侧山体, 转化为“碎屑流”高速下滑入江。该崩塌滑坡的发生经历了高位崩塌滑动—碎屑流—土石水气浪—泥石流—一次生滑坡等过程(殷跃平, 2000)。崩塌滑坡体堆积体主要由砂土夹石、块石构成, 最大块石体积达数百立方米。

### 2.1 崩塌滑坡发生时间

崩塌滑坡发生时, 西藏区域地震台网所属的拉萨、日喀则、山南、林芝、察隅 5 个地震台站都记录到了地面振动。其记录的特点是震相不清楚, 波形无规律, 面波持续时间长, 与典型的地震记录有明显的差别。在上述的几个台站中, 林芝地震台位于易贡滑坡点西南方向, 直线距离只有 110 km, 是距滑坡点最近的地震台站。林芝地震台所记录到的 P 波初至时间为 19 时 59 分 42.8 秒, 若以 P 波在地壳中的平均传播速度为 4.5 km/s 计, 则崩塌滑坡发生的准确时间是 2000 年 4 月 9 日 19 时 59 分 18.2 秒。振动持续的时间为 6 min, 其中最大振幅的持续时间为 2 min。

### 2.2 崩塌滑坡体平面分布

崩塌发生在纳雍嘎布山主峰(6388 m)东南侧约 10 km 的扎木弄沟沟脑, 海拔高度在 5400 m 以上。扎木弄沟走向为 S42°W, 由于沟脑附近的崩塌和高位滑动, 致使沟内碎屑物质伴随崩塌岩块一起下滑, 形成碎屑流。图 1 中崩塌滑坡体和易贡湖的分布是根据我国资源一号卫星获得的该区滑坡前后地面影像对比分析后绘出的, 崩塌滑坡体中堆积物的分区是实地调查的结果, 在崩塌滑坡堆积区, 我们利用便携式 GPS 定位仪(GARMIN GPS12XL)获得了 82 个点的经纬度坐标和高程, 基本上控制了堆积物的平面分布, 地形资料来自国家测绘局发布的 1/25 万数字地形图。由图 1 可清楚看出, 崩塌滑坡发生后在扎木弄沟口以上的区域形成了长约 5 km, 面积达 5.5 km<sup>2</sup> 的崩塌滑坡物源区。在扎木弄沟口以外, 形成了长约 5.7 km, 西南端(末端)宽约 2.3 km, 北东端(沟口端)宽约 0.5 km, 走向 S44°W 的长喇叭形堆积区, 面积达 8.5 km<sup>2</sup>。崩塌滑坡堆积物具有明显

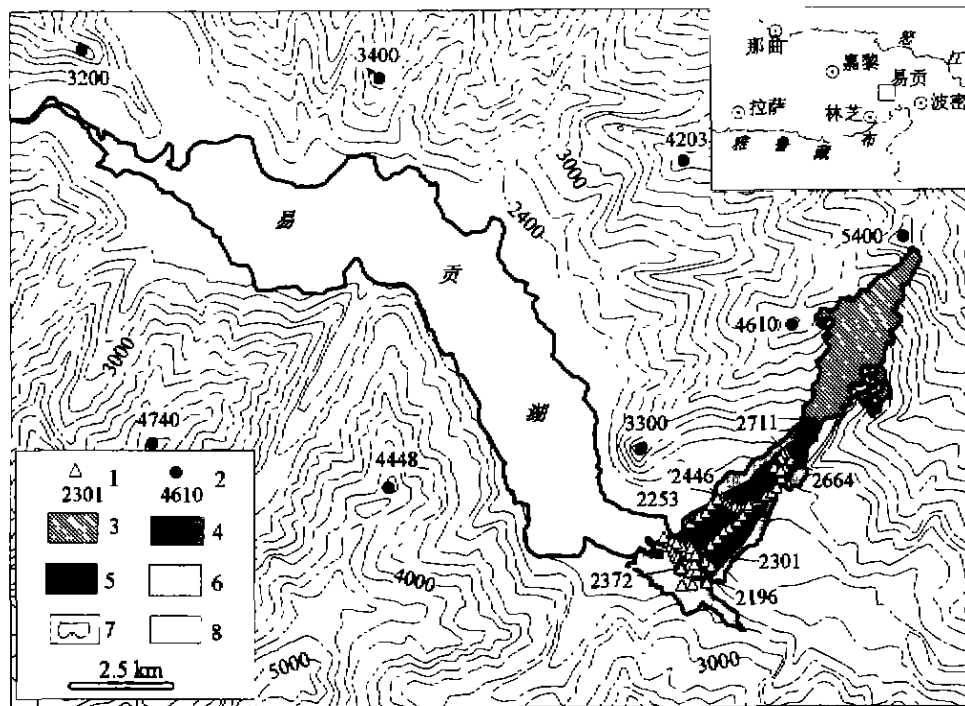


图1 易贡崩塌滑坡体及附近地貌分布图

Fig. 1 Distribution of Yi'ong landslide and the landform of its surroundings

1—GPS测量点及高程(m); 2—地形高程控制点及高程(m); 3—崩塌滑坡物源区; 4—岩屑堆积区;

5—岩土堆积区; 6—泥土堆积区; 7—地形等高线; 8—滑坡后水域

1—GPS measurement point and the elevation (m); 2—topographical point and the elevation (m); 3—erosional area; 4—rock debris;

5—rock and soil; 6—soil; 7—topographical isoline; 8—water area after the landslide

的分带性特征。

在堆积区中央,分布有长约2 km,宽约500 m,面积约1 km<sup>2</sup>的岩屑堆积区。主要为大小混杂的灰白色花岗岩碎屑岩块,大者直径有数十米,以数米到几十厘米者见多。岩块碎屑断面新鲜,应是物源区基岩崩塌、滚落所形成。

在岩屑堆积区的外围,分布有长约5 km,平均宽约600 m,面积约3 km<sup>2</sup>的岩土堆积区,主要为泥砂夹杂直径1 m以下的花岗岩屑堆积。在扎木弄沟口附近,该堆积物有明显的流动痕迹,并在沟口处形成了3道台阶地形。在其与岩屑堆积区相接的部位,可见其掩埋岩屑的现象。从其分布和堆积特征看,应是尾随崩塌之后的泥石流堆积。从平面分布可以看出,泥石流流出沟口后受到先期崩塌岩屑堆积的阻挡,便分别在其两侧流动,但主要泥石流是在岩屑堆积的东南侧,也即易贡湖的下游侧流动。

在岩土堆积区的外围,分布有宽窄不等的泥土堆积区,主要是崩塌和泥石流运动过程中形成的气浪冲起的泥砂堆积。特别是在崩塌滑坡体前缘,形成壮观的土石林现象,并在多处见到飞石撞击地表形

成的环状坑和由于振动造成砂土液化形成的小喷砂口。虽然泥土堆积区分布的面积较大,但除崩塌滑坡体前缘外,两侧堆积的厚度都不大。

从平面分布和三者的接触关系看,应该首先是崩塌滚落形成的岩屑堆积,紧随其后形成气浪冲起的泥土堆积,最后形成泥石流岩土堆积。

### 2.3 崩塌滑坡体方量

由崩塌滑坡体分布的平面面积及平均厚度可计算出崩塌滑坡体的方量。根据野外GPS定位仪测得的结果,在崩塌滑坡体前缘其顶面的高程为2301 m,而在东侧现代河床的高程为2196 m,两者的高差为105 m。说明在前缘部位,崩塌滑坡体的厚度为105 m。在崩塌滑坡体的东侧,自扎木弄沟流出的融雪水将滑坡体切出一条深达20~30 m的冲沟。在扎木弄沟口处,即崩塌滑坡体的顶端,冲沟岸边的高程为2664 m,沟深约为20 m,沟底的高程则为2644 m,冲沟西侧崩塌滑坡体顶面的高程为2711 m,由此可以算出崩塌滑坡体顶端的厚度约为67 m。可见滑坡的平均厚度为86 m。将野外实地GPS定位观

测结果与配准后的卫星影像叠加,利用 MapInfo 软件的计算功能可求得崩塌滑坡体岩屑堆积区和岩土堆积区的平面面积约为  $4 \text{ km}^2$ 。由崩塌滑坡体前缘和顶端的高差与其水平距离相比(图2),可获得崩塌滑坡体的坡度角约为  $5.7^\circ$ 。因此可以计算出岩屑堆积和岩土堆积的方量约为  $3.45 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。泥土堆积区的面积约为  $4 \text{ km}^2$ ,其中崩塌滑坡体前缘堆积的面积约占  $2 \text{ km}^2$ ,其堆积物的最大高程为  $2372 \text{ m}$ (图2),东侧现代河床的高程为  $2196 \text{ m}$ ,堆积物厚度达  $176 \text{ m}$ 。据殷跃平(2000)报道,该处原有老滑坡的堆积厚度最厚可达  $150 \text{ m}$ ,故本次滑坡堆积物的最大厚度为  $26 \text{ m}$ ,平均厚度约为  $13 \text{ m}$ ,其余  $2 \text{ km}^2$ 若平均厚度按  $5 \text{ m}$  计,则泥土堆积区的方量约为  $0.36 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。因此,此次崩塌—滑坡—泥石流的总方量超过  $3.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

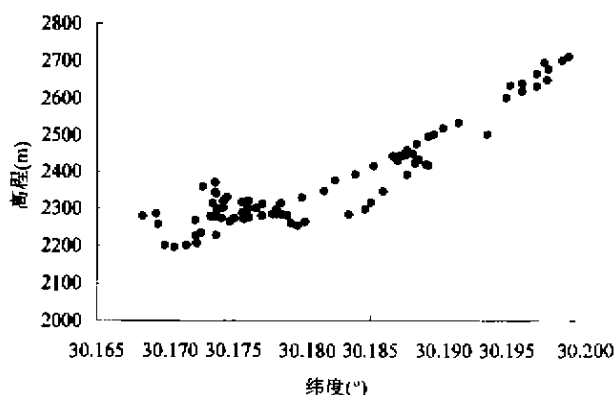


图 2 GPS 测得的易贡崩塌滑坡体纬向高程剖面图

Fig. 2 Latitudinal elevation profile of Yi'ong landslide measured by GPS

### 3 崩塌滑坡体的运动学特征

西藏林芝地震台位于易贡滑坡点西南方向  $110 \text{ km}$  处,是距滑坡点最近的台站。从地震台所记录到的地震波形分析(图3),在整个滑坡过程中,有3组较为明显的震相,对应着3次较大的地表振动,3组震相具体参数见表1。

从表1中可以看出,第一次振动所产生的能量较小,相当于2.9级地震。从图3可以看出P波波形明显为周期较长的波形与周期较短的波形叠加而成。其波形特点与岩体猛烈撞击地表产生的高频震动不同,类似两破裂面的缓慢错动所产生的波形。因此,第一组波形可以解释为崩塌开始时产生的沿破裂面的低频震动,同时,伴随着大量中小岩体的张性破裂。

表 1 崩塌滑坡体3次主要滑动所产生振动波形参数

Table 1 Seismic wave parameters of the three main vibrations from the Yi'ong landslide

地表振动	震相、到时		最大振幅(mm)		相当震级	能量(J)
	PG	SG	NS	EW		
第1次	19:59:42.8	19:59:57.4	15	27	2.9	$1.26 \times 10^6$
第2次	20:00:03.7	20:00:18.4	110	56	3.5	$1.41 \times 10^9$
第3次	20:00:16.9	20:00:31.5	104	90	3.5	$1.41 \times 10^9$

注:PG、SG 分别为直达P波和S波。

在第一次振动  $29.9 \text{ s}$  后,发生了第二次较为强烈的震动。从波形来看,具有周期短,振幅大特点。可以解释为:随着崩塌体的整体下落,速度急剧提高,巨大岩体在快速下滚过程中与地表有一次剧烈碰撞,产生巨大震动,其能量相当于3.5级地震。

第3次巨大的碰撞发生在第二次碰撞后  $13.2 \text{ s}$  时,所产生的能量与第一次相当,是巨大岩体撞击地表所产生的最后一次剧烈碰撞,如此巨大的能量在

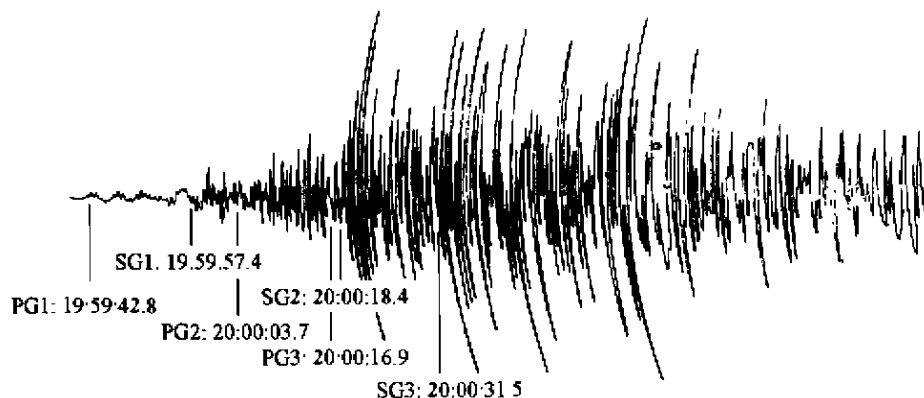


图 3 林芝地震台记录的易贡崩塌滑坡产生的地表振动记录(南北向分量局部)

Fig. 3 Seismogram of Yi'ong Landslide recorded by Linzhi seismic station

地表快速释放,将产生强烈的地表震动和强大的冲击波。通常情况,由于整体岩体下滑速度会越来越快,产生的动能也会越来越大,第三次撞击地表的能量应比第二次大。但从能量上看,第二次与第三次能量相当,这可能是在崩落下滑过程中岩体发生解体所致。

崩塌滑坡发生的部位其海拔高程为5200 m左右,崩塌滑坡体前缘岩屑堆积部位的海拔高程为2300 m,两者之间的水平距离约为5500 m,计算得到崩塌滑坡体下滑的斜距约为5800 m,根据地震记录最大振幅的持续时间为2 min,这可能代表了以崩塌下落为主的过程,由此可以计算崩塌下落的平均速度约为48 m/s。与此同时,有明显振幅的持续时间为6 min,说明伴随崩塌下落的同时,滑坡泥石流过程要长一些,其平均滑动速度也达到了16 m/s,比一般泥石流流动速度要大(胡海涛等,1965)。

#### 4 结论

西藏贡易崩塌滑坡发生的准确时间是2000年4月9日19时59分18.2秒。从地震记录看,最大振幅的持续时间为2 min,可能代表了以崩塌下落为主的过程,由此可以计算崩塌下落的平均速度约为48 m/s;振动持续时间为6 min,说明伴随崩塌下落的同时,滑坡泥石流过程要长一些,其平均滑动速度也达到了16 m/s。

崩塌滑坡堆积物具有明显的分带性特征。在堆积区中央,分布有岩屑堆积区,主要为大小混杂的灰白色花岗岩碎屑岩块,应是物源区基岩崩塌、滚落所形成。在岩屑堆积区的外围,分布有岩土堆积区,主要为泥砂夹杂直径1 m以下的花岗岩屑堆积。从其分布和堆积特征看,应是尾随崩塌之后的泥石流堆积。在岩土堆积区的外围,分布有宽窄不等的泥土堆积区,主要是崩塌和泥石流运动过程中形成的气浪冲起的泥砂堆积。岩屑堆积和岩土堆积的方量约为 $3.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,泥土堆积区的方量约为 $0.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。此次崩塌—滑坡—泥石流形成的总方量超过 $3.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

从记录到的地震波形分析,在整个滑坡过程中,有3组较为明显的震相,对应着3次较大的地表振动。第一组波形可以解释为崩塌开始时产生的沿破裂面的低频震动,同时,伴随着大量中小岩体的张性破裂。第二组波形具有周期短,振幅大特点,说明随着崩塌体的整体下落,速度急剧提高,巨大岩体在快速

下滚过程中与地表有一次剧烈碰撞,产生强烈震动。第三组波形所反映的能量与第二组相当,这可能是在崩落下滑过程中岩体发生解体,使撞击地表能量分散所致。

西藏自治区地震局王力、曹忠权、边巴次仁、巴桑卓嘎、德吉卓嘎,林芝地震台的尼玛等同志,在工作过程中提供了帮助,使野外工作得以顺利完成;资源卫星应用中心王宜礼提供了卫星影像分析结果。在此一并表示感谢。

#### 参 考 文 献

- 崔军文,李朋武,李莉,2001. 青藏高原的隆升,青藏高原的岩石圈结构和构造地貌. 地质论评, 47(2): 157~163.
- 胡海涛,项式均,1965. 关中西部滑坡的结构、构造特征及稳定性分析. 地质学报, 45(4): 435~460.
- 任金卫,沈军,曹忠权,汪一鹏,2000. 西藏东南部嘉黎断裂新知. 地震地质, 22(4): 344~350.
- 西藏自治区地质矿产局,1993. 西藏自治区区域地质志(区域地质). 北京:地质出版社.
- 殷跃平,2000. 西藏波密贡易高速巨型滑坡特征及减灾研究. 水文地质工程地质, 27(4): 8~11.
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队,1983. 西藏地貌. 北京:科学出版社.

#### References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous Region, 1993. Regional Geology of Xizang (Tibet) Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Cui Junwen, Li Pengwu, Li Li, 2001. Uplift of the Qinghai-Tibet plateau: Tectonic geomorphology and lithospheric structure of Qinghai-Tibet plateau. Geological Review, 47(2): 157~163 (in Chinese with English abstract).
- Hu Haitao, Xiang Shijun, 1965. Characteristics of the structure and the stability analysis of landslides in central and western China. Acta Geologica Sinica, 45(4): 435~460 (in Chinese with English abstract).
- Ren Jinwei, Shen Jun, Cao Zhongquan, Wang Yipeng, 2000. Quaternary faulting of Jiabi fault, southeastern Tibetan plateau. Seismology and Geology, 22(4): 344~350 (in Chinese with English abstract).
- Yin Yueping, 2000. Characteristics and hazard reduction of the rapid huge landslide occurred in Yrlong, Bomu, Tibet. Hydrogeology and Engineering Geology, 27(4): 8~11 (in Chinese with English abstract).

#### 图 版 说 明

1. 易贡崩塌滑坡体全景,中央浅色为岩屑堆积,两侧为岩土堆积,其中右侧的岩土堆积被流水侵蚀冲出深20~40m的冲沟,最外侧凸起部分为泥土堆积区(镜向东北)。
2. 崩塌滑坡体岩屑堆积区中的花岗岩屑近景(镜向东北)。
3. 崩塌滑坡体北西侧岩土堆积具有明显的流动痕迹(镜向西南)。
4. 崩塌滑坡体前缘形成的“土石林”景观(镜向东北)。

## Geological Characteristics and Kinematics of the Rock Fall-landslide in Yi'ong, Southeastern Tibet

REN Jinwei<sup>1)</sup>, SHAN Xinjian<sup>1)</sup>, SHEN Jun<sup>1)</sup>, Gesang<sup>2)</sup>, Zhasang<sup>2)</sup>,  
DENG Guiyin<sup>2)</sup>, ZHANG Jun<sup>2)</sup>, Suoren<sup>2)</sup>

1) *Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing, 100029*

2) *Seismological Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa, 850000*

### Abstract

At about 8 o'clock on April 9th 2000, a large rock fall—landslide occurred near Yi'ong, southeastern Tibet. Topographically, this region lies in a transitional zone from the highs of the Tibetan plateau to the lower mountain areas, where the gravity effect dominates the surface geological process. Tectonically, Yi'ong is located to the west of Assam where the India plate wedges into the Eurasia plate. Field investigation with the GPS 12XL combined with the analysis of satellite images taken before and after the landslide revealed that the deposits of the landslide formed a "dam" that is 5.7 km long and 1.5 km wide, which entirely blocked the Yi'ong River. The volume of the deposits is more than  $3.8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . According to the recordings of the local seismic network, the landslide occurred at 19:59:18.2 local time and the duration of the vibration is about 6 minutes. Three seismic phases were identified from the seismogram, which represent three large surface vibrations. The speed of the debris flow is about 48 m/s and that of the mud flow is about 16 m/s, which is much larger than a normal mudflow.

**Key words:** rock fall; landslide; kinematics; Tibet

(上接第595页)也会间夹有挤压运动,但其演化的总体特征是以伸展运动为主。所以,岩浆—变质杂岩与盖层之间便以持续正向拆离作用为主。在幔枝构造形成过程中,作为构造薄弱面被主拆离带所利用和改造,成为正向拆离滑脱的主要构造带,甚至可以断掉相当厚度的地层(当然也可能是下部地层的缺失),以致于中—上元古界不同岩组如常州沟组、申岭沟组、团山子组、大红峪组、高于庄组、杨庄组、雾迷山组等地层均可成为拆离带的上盘盖层。由于主拆离带及其上、下一定范围内的次级拆离带是幔枝构造外围的主要构造扩容空间,同时也是主要成矿控矿构造空间,所以哪套地层成为拆离带上盘盖层,便可成为主要赋矿围岩。

至于拆离带型金银矿的类型,可视构造条件不同、构造部位不同而可以划分出不同矿床类型。重要的是有矿质来源、迁移通道和储矿空间,因为拆离带是幔枝构造的主要应力释放带和位移滑动带,又是贯穿于整个幔枝构造演化始终的长寿断层,如果含矿岩浆呈席状沿断层带贯入,可形成斑岩型矿床;如果侵入岩席与上盘碳酸盐接触,形成较大范围夕卡岩化,可形成接触交代型矿床;如果含矿热液沿拆离带蚀变交代,可形成沿拆离带展布的透镜状矿体或构造角砾岩型矿床;如果含矿流体温度—压力条件较高,则可在拆离带的上盘形成裂隙式或断裂蚀变岩型(或隐爆角砾岩型)矿床。

但是,就整体而言,仍以构造蚀变岩型为主,宏观特征上,不管是在主拆离带的下盘变质岩中,还是主拆离带的上盘盖层中,只要主拆离带上形成了绿片岩相(下盘变质岩退

变、上盘盖层岩石进变)构造片岩,就是矿化带,而在矿化带中有明显硅化和硫化物,就已成为矿床。甚至就是较坚硬的常州沟组含砾粗砂岩照样可形成绿片岩化构造片岩,并强烈矿化。

### 3 拆离带成矿控矿作用分析

在漫长的地球演化过程中,稀土元素、放射性元素、碱金属等轻质元素向地球上部聚集,而金属元素等重质元素则往地核集中,除形成结晶内核外,外核也成为以金属元素为主的液态层圈。因此,一旦从核幔界面形成地幔热柱,便可携带大量气态金属元素向上运移,通过地幔热柱多级演化,直达地表形成金属矿床。

地球演化早、中期,尽管地热梯度大,地幔热柱活动强烈,但由于地球物质分异程度较差,金等金属元素没有非常大的浓集度,所以形成矿床数量较少,其主要矿床类型也是那些较容易浓集的金属元素。中生代以来,由于地球物质分异作用渐趋明显,金属元素主要集中在内核。但从另一角度来看,地球存在着圈层结构,存在极大的内外温度差,在地球广泛进行着重力分异作用的同时,也以地幔热柱、地幔冷柱的形式进行着重力分异作用,一旦有部分核中气态高金属含量物质进入起自核幔边界的地幔热柱系统,它便会以反重力迁移的形式随地幔热柱多级演化向上运移,并有部分金属元素直达幔枝构造,在拆离滑脱带等有利构造部位沉淀(积)成矿。同理,其他金属元素如银、铅、锌、铜、铂等也有此特征。

(章雨旭 编辑)

