

西安翠华山古崩塌性滑坡体的 沉积特征及其形成过程

南 凌, 崔之久

(北京大学城市与环境学系, 北京 100871)

摘 要: 西安翠华山风景地貌由古崩塌性滑坡体高速运动堆积而成, 堆积体存在一些反映其运动和动力状况的沉积特征。将崩塌性滑坡体的平面堆积体划分出5个平面相带: 中央相带、边缘相带、抛掷相带、气浪溅泥相带和特殊的残留相带, 各带有不同的沉积特征, 反映出高速运动中的崩塌式滑坡体动力过程和沉积过程在平面上分布的差异。通过研究该古堆积物的粒径变化、砾石组构和沉积结构、构造的差异, 认为该崩塌式滑坡体在运动和沉积过程, 存在前后部位动力过程的差异: 滑坡体从后部到前部, 运动方向和方式发生了改变, 粒径减小, 混杂度增大, 动力稳定性强度增大; 后部以块体整体性滑动和振动的不完全解体动力为主, 前部以块体碰撞大量分解动力为主; 推测运动动力来源于崩塌性滑坡体的后部。作者根据其所处的地质、地貌和构造环境, 结合沉积特征所反映的运动和动力学特性, 复原其形成过程。

关键词: 古崩塌性滑坡; 平面相带; 沉积特征; 形成过程; 西安翠华山

中图分类号: P642. 21; P642. 22; P534

文献标识码: A

翠华山旅游风景区位于西安市南近40 km的秦岭北麓山中, 山峰海拔高度多在1 100 m~1 300 m, 与谷地相对高差300 m~400 m, 谷沟宽度30 m~100 m。山体陡峻, 倾角约 50° ~ 70° 。本区属于温带半干旱一半湿润季风气候, 降雨量600 mm左右。地层为中粗粒花岗岩, 垂直节理发育。

本区风景地貌主要是由巨型杂乱的花岗岩砾石堆积而成。含有大量的“石洞”的巨型堆积块体, 如“冰洞”、“风洞”、“石林”等风景点, 主要分布在风景区的西部。东部风景主要是由巨石堆积体和山坡围成的湖泊。北部为乱石陡坡, 形成“十八盘”盘山路风景区。

作者研究认为, 组成翠华山风景骨架的地貌类型是一套古基岩崩塌性滑坡堆积体^[1~4]。基岩崩塌性滑坡体是基岩坡体(或者夹有部分土体)由于各种因素使稳定性遭到破坏, 快速滑动, 随即块体发生崩解、碰撞, 以高密度碎屑流的形式, 凌空或沿滑面倾泻向下运动, 它具有强大的冲击力和侵蚀力, 冲距较远, 在多次爬坡或转弯冲程后沉积下来, 具有特殊的沉积特征和地貌形态^[5~9]。利用其沉积特征和其反映出的运动学和动力学特性, 结合实际地质、地貌、水文和构造环境, 可以有效地推断崩滑体的运动过程, 分析其形成环境。这是对混杂堆积研究的一种新尝试^[7]。

1 古崩塌性滑坡堆积体的平面分布特征

在平面上, 古崩塌性滑坡堆积体基本上呈散开的扇状(图1)。后缘宽约100 m~200 m, 前缘宽约1 500 m, 总体呈东—西向分布, 可见高度20 m~150 m不等。整个堆积体体积约为500~800万 m^3 , 属大型滑坡体。

在滑坡体后部残留有由巨型碎块组成的小型山丘, 为本区巨砾集中区, 组成物质为巨型花岗岩块体。最大的块体(鬼门关)长100 m, 宽50 m, 高20 m, 基本保持原始形态, 上部保留原始地面的土壤层, 巨

收稿日期: 2000-03-01; 改回日期: 2000-06-01。

作者简介: 南凌(1965-), 男(汉族), 博士, 陕西华县人。1998年7月在北京大学城市环境学系获得博士学位, 后在北京大学遥感与信息系研究所从事博士后研究, 主攻环境地貌和环境灾害研究。现为深圳勘察测绘院副总工程师, 环境地质所所长, 高级工程师。TEL: 0755-3755365 E-mail: nanling@263.net。

块间隙形成洞穴, 如冰洞、幽洞等风景地貌。

整个滑坡体最大落差约400 m, 最大堆积长度约1 500 m。后壁(scars)高度约200 m。滑坡体上表面总体坡度较平缓, 约为 10°; 在垂直剖面上滑坡体形态为楔状, 沿东西向展布, 堆积在原始沟谷中, 阻塞、封闭原河道, 使滑坡体南部形成堰塞湖(天湖); 在北部(十八盘)形成侧向堆积扇体, 总体坡度约 32°~40°, 高差约150 m。

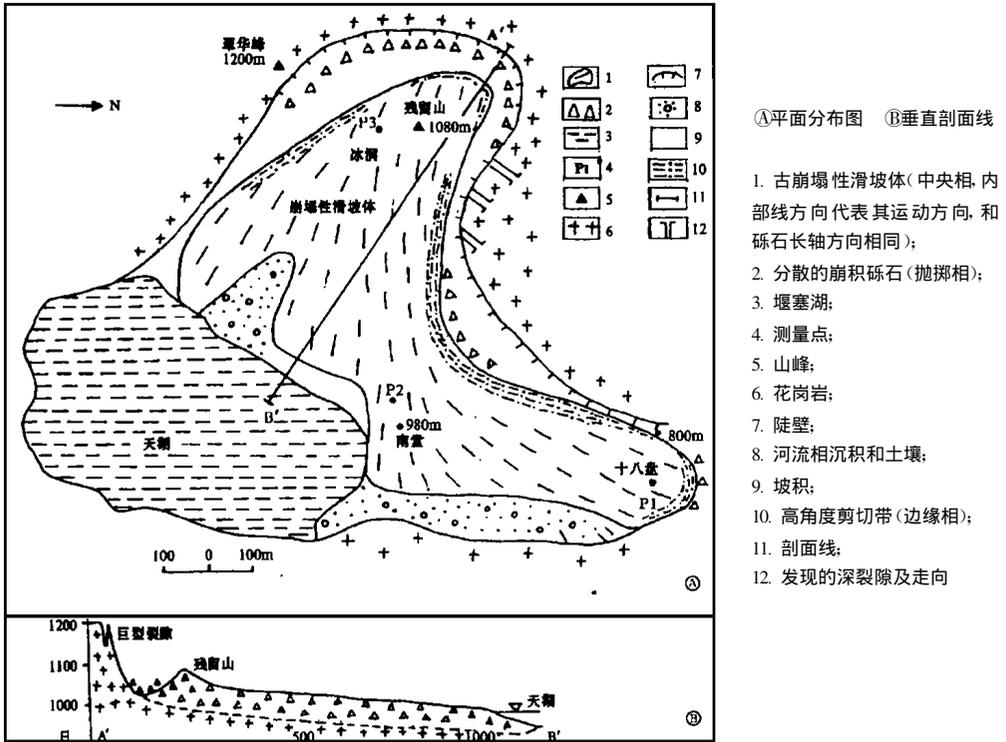


图1 翠华山崩塌性滑坡堆积体平面相带分布示意图

Fig. 1 Sketch map showing plane facies belt location of the paleo-rock avalanche-landslide in Cuihua mountain

从沉积特点来看, 作者将典型意义上的、以高速滑动和碰撞分解运动为主的崩塌性滑坡堆积体分为中央相带、边缘相带、抛掷相带、气浪溅泥作用相带以及特殊的残留相带。

中央相带指高速崩塌性滑坡体运动和沉积的主体部分, 是连续分布的厚层堆积。一般来说, 本相带中, 粒径多变, 组构复杂, 是块体碰撞、分解和堆积作用的主要场所。翠华山崩塌性滑坡体大部分为中央相带的沉积, 中央相带的砾石长轴多指向其主运动方向, 最大扁平面 AB 面多低角度平行坡面, 反映其高速运动的特点。

边缘相带环绕在中央相带边缘, 和中央相带连续沉积, 以高角度剪切面发育为特征, 砾石最大扁平面 AB 面以高角度环绕倾向中央相带, 长轴 a 轴多指向剪出方向, 反映堆积体边缘相受强烈剪切挤压的应力状态。边缘相带最上部存在一些 AB 面平行坡面, a 轴指向坡下的砾石薄层, 是崩塌性滑坡体边缘剪切带的运动剪出物。翠华山古崩塌性滑坡体的边缘相带较为发育, 尤其在滑坡体运动方向转弯处。一般厚度几米至十几米; 前缘和两侧也有分布, 但宽度较小些。

抛掷相带是由运动块石遇阻后, 快速碰撞分解, 被抛离主滑坡体, 向前方、两边散射, 坠落形成。抛

掷距离和原块体运动惯性与初速有关。本相带的发育程度反映出促使块体分解的能量和运动速度。抛掷相带是高速运动滑坡体作用所特有的现象,遇阻高速碰撞振动是其产生的条件。翠华山崩塌性滑坡堆积体的抛掷相主要分布在滑体的后部残山后缘,那里有大量巨石围绕残山分布,也存在和滑体运动方向相反的抛掷砾石带,宽度约20 m~60 m。是该滑体在形成初期高速运动后,块体向四周分解、抛掷过程中形成的。在滑坡体边缘或者运动转弯地带和前缘地带,也有抛掷砾石,如在十八盘下部在距离堆积体前缘10 m~20 m远,有滚动和跳跃作用下形成的分散分布的巨石体。

一般来说,气浪和溅泥(mud splatter)相带中有大量的泥质成分,作用范围比抛掷带要远。翠华山崩塌性滑坡体由于形成时间久远,粘土成分又少,本带不发育。特殊的残留相主要指崩滑作用后缘形成区的残留散石和堆积体与流通区特殊部位残留堆积体,翠华山崩滑体西部小分支崩滑体属于这种类型,其它地区基本上不发育。

翠华山崩塌性滑坡体由于运动不久就直接受到横向的高角度山坡的阻挡,能量以解体形式快速释放,迅速沉积,故主要为中央相带沉积堆积体,部分地区保留抛掷相和边缘相的堆积体。

2 砾石粒径变化和组构所反映的运动和动力特性

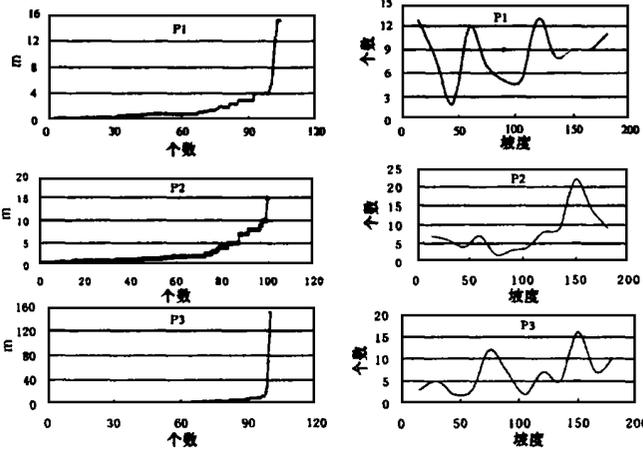
古崩塌性滑坡体在粒径分布上有其规律。P1点a、b、c三轴平均为1.71 m、1.19 m、0.82 m;P2点分别为2.62 m、1.98 m、1.42 m;P3点分别为5.58 m、2.99 m、1.97 m。无论是a轴,还是b、c轴,平均粒径存在从前部(东)向后部(西)增大的趋势,在P3点(冰洞)处,增长最快,幅度最大,反映出滑坡体后部解体程度急剧下降,块体分解作用不占优势,整体的运动增强。

作者统计了前部、中部和后部的砾石(a轴)粒径累计频度和其走向分布图(图2)。从粒径累计频度图中,P1点累计曲线增长比较均匀,反映本区砾石粒径不存在优势粒径,相对混杂度较大,说明崩塌性滑坡体运动后期沉积比较均匀分异。P2点粒径基本上分为两个累计区,<2.5 m和2.5 m~10 m区间,前者占65%,后者占35%,反映在此部位,粒径沉积有不均匀的分异,可能和崩塌性滑坡体在此受阻于东部陡壁而运动转向北部有关,动力条件比较复杂。P3点,粒径分异现象存在,50%为<2 m的粒径,2 m

粒径,尤其是巨石比重增大,反映此处的块体的解体不完全性。总之,从滑坡体下部到上部,大粒径的块石,所占的比重增大,说明滑坡体的动力来源于后部。

高速运动的崩塌性滑坡体砾石组构多少能保留和反映其运动和动力学信息。高速运动颗粒为了达到动态平衡稳定状态,其形态必须和受力方向、大小相适应,使动力能量在此消耗达到最小(稳定态)。此外,有否调整空间也和组构发育特点有关。作者认为,一般来说,高速运动的崩塌性滑坡体的长轴a轴方向,在非限制情况下,基本代表其运动方向,受到阻力后可以发生多种变化。

在长轴走向定向统计中,P1点定向并不明显,有多个优势方向,反映其运动较为多样,其中南北向、南东东向稍微占优势,南北向为其运动方向,南东东向可能和运动体整个在此转向和



P1. 前缘地区(十八盘), 样本数 105 个; P2. 中部地区(南堂), 样本数 101 个; P3. 后部地区(冰洞), 样本数 105 个, 左列三图为 P1~P3 点 a 轴粒径累计频度图; 右列三图为 P1~P3 点对应的走向频度图(以 0°~180°为统计区间)

图2 翠华山古崩塌性滑坡体砾石 a 轴大小频度统计和方向统计

Fig. 2 Statistics graph of frequency of block's a-axis length and direction in Cuihuashan rock avalanche landslide

地形限制有关; P2点主要优势方向为东南向, 也为块体运动方向, 基本无其它优势方向, 反映此处滑坡体整体定向性较好, 动力条件变化不大; P3点优势方向也主要为东南向, 是块体实际运动方向, 南北向也发育, 再次为北北东、北东东向, 反映在该处, 优势动力方向明显, 但其它方向的动力过程也存在。

作者认为, 高速运动中的砾石的最大扁平面 AB 面倾向一般代表被动性(推挤式运动)的块体最大受压应力方向, 角度大小可以反映块体水平受压大小大于垂直受压大小的比值, 角度越大, 反映水平应力越大, 反之, 越小。

在组构分布上(图 3), P1点 AB 面主要倾向北, 和运动方向一致, 角度多数小于 30 度, 基本上平行于下伏地面, 砾石呈自然“冲泻”后的停积状态, 反映动力条件稳定。P2点位于滑坡堆积体的中部, 滑体在此运动方向为南南东向, AB 面优势倾向也主要为东南方向, 但优势并不太明显。倾角以低角度为主, 多在 20°以下, 部分高角度直立, 前者是块体“冲泻”运动状态的反映, 后者块体前方受阻后成高倾角度分布, 反映动力条件已有变化和分异。P3点位于滑体后部, AB 面以东—东向为主要优势方向, 指示滑体主要动力来源于西部—西南方向。倾角除了 60°附近没有分布外, 其它倾角频度分布比较均匀, 说明此处动力比较复杂, 变化较大, 不稳定。

总之, 崩塌性滑坡体粒径和组构特征说明翠华山滑坡体从上部到下部, 运动方向发生改变, 由东南向转为东北向; 运动方式也有变化, 由整体运动为主转为以解体运动为主; 粒径减小, 混杂度增大, 动力稳定性强度增大; 砾石大小和产状方向的变化主要受运动冲力和阻力的影响, 运动动力来源于崩塌性滑坡体的后部。

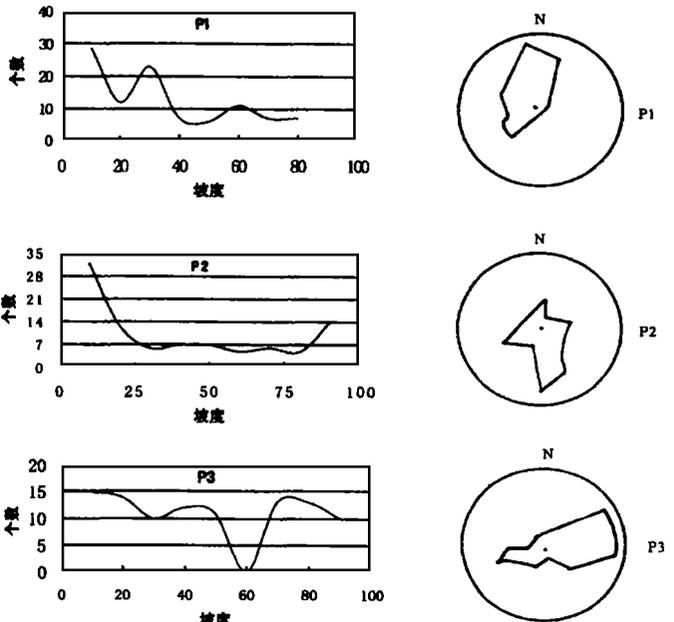
3 沉积结构、构造特点

翠华山崩塌性滑坡体是一种缺少粘土成分, 强烈受控于地貌形态的砾石堆积体。为颗粒支撑类型, 粗碎屑混杂、叠置和碎裂等结构发育, 反映一种快速堆积的动力过程。

遍在性(指擦痕平行密集分布而有规律)和非遍在性的擦痕(方向和大小变化很大)发育。两种擦痕代表不同的块体运动方式和接触方式: 前者反映两个大小差不多的块体或者同一块体分裂后在相互较长时间里, 挤压摩擦、滑动, 形成“似断层”擦痕, 从砾石表面可以看出, 有热变结晶体析出, 代表滑坡体强烈的高能挤压滑动过程。后者为小颗粒以快速方式刮蚀块体表面, 又迅速分离, 反映滑坡体的运动以碰撞动力类型

为多。前者规模很大, 集中分布在堆积体的后部(即块体整体运动区); 后者主要分布在崩滑堆积体的中前部(即块体分散运动区和砾石散落地), 反映出滑坡体的运动前后部位的差异: 中前部以块体碰撞大量分解为主, 后部以块体整体滑动(滑面发育)和振动的不完全分解为主。

由于崩塌性滑坡体的运动被局限在河谷中, 主体部分运动直抵对岸陡峭的山坡, 加上细粒物质的稀



P1 前缘地区(十八盘), 样本数 70 个; P2 中部地区(南堂), 样本数 101 个; P3. 后部地区(冰洞), 样本数 105 个。图中包括 P1~P3 的 AB 面倾向频度图(左列三图), P1~P3 的 AB 面倾向玫瑰图(右列三图)

图3 翠华山古崩塌性滑坡体的砾石组构统计图
Fig. 3 Statistic graph showing the block attitude, in Cuihuashan rock avalanche landslide

少,并没有形成多冲程的运动堆积体。主要构造有撞击构造、压砸构造、空洞构造和碰撞环状断口群、剪切滑动构造和剪出构造,反映出滑坡体主要以碰撞分解、滚动、剪切等动力过程为主。

4 翠华山古崩塌性滑坡堆积体的形成过程分析

现在古崩塌堆积体的后缘的大陡壁,坡角 $> 60^\circ$,陡壁北端可见有三组平行的垂直深裂隙, $210^\circ \sim 240^\circ$ 走向。这些裂隙使花岗岩基整体性得到破坏,是崩塌性滑坡作用发生重要条件之一。

两岸山体原高度在海拔1 200 m左右,河谷800 m左右,现在古堆积体上部表面分布高度约为1 000 m左右,看不到滑坡的剪出口。由于堆积体上表面较平整,未见大型陡坎的存在(一般为剪出口的位置),再考虑到原始山峰在滑体后缘近垂直陷落200 m,整体块体厚度又为200 m,因此,推测古崩塌性滑坡体的剪出端口的高度和原河谷高度差不多。这是一种存在低位剪出口但又高速运动的特殊崩塌性滑坡类型;也有可能不存在剪出口,即倾倒型崩塌常有的现象。

由于后部滑坡体呈整体下落运动状态,故崩落巨石上仍保留有原古代山顶面,所以,又排除崩滑体以倾倒形式的解体过程,而以块体沿滑动面(大型节理面)低位剪出,前端部分分解堆积形成的可能性最大。

高出河谷约400 m高耸的原陡壁,由于北东向垂直裂隙的存在,在重力和振动触发力的作用下,向东—东南方整体快速下落和剪出,其运动方式为陷落—剪出型。后缘部分块体下降约200 m,故下降的结果,使崩体后部保持有原始地面和土壤层,也产生高出现在地面约10 m~20 m的残峰山。碰撞崩开的巨石,相互交错叠置,形成大型空洞,组成壮观的“石林”地貌;剪出的结果是使剪出块体前部分振动分解成较小块体继续向前“倾泻”,以高速碰撞、分解、滚动、压砸、摩擦剪切等动力形式,向前运动约1 000 m后,受阻于对岸陡壁,快速沉积填满河谷,堵塞河道,形成高位堰塞湖—天湖(现在湖水高度低于崩滑堆积体高度约10 m~15 m,推测湖面被抬高约150 m)。碰撞碎屑体继续转向北运动,堆积在河谷中,形成“堆积裙”,稳定坡角为 $35^\circ \sim 40^\circ$,高出河谷150 m~200 m。其前缘有滚动砾石和少量抛掷砾石堆积。

该崩塌性滑坡作用发生的时代不易确定,但是由地貌、覆盖和植被等因素综合考察,认为其时代应为历史时期。至于形成原因,还有待继续考证。据史书记载,在周幽王二年(公元前780年),距今约2780 a,关中发生过大地震^[4],有“三川(泾、渭、洛)皆震,三川竭、岐山崩”的描述。作者初步认为,滑坡不能排除有地震成因的可能性。

参考文献:

- [1] Crandell D. R. . Avalanche[A] . In: R. W. Fairbridge. Encyclopedia of geomorphology [C] . New York; NY Rheinhold , 1968. 41 ~ 42.
- [2] Evans, S. G. Rock avalanche run-up record [J] . *Nature*. 1989, 340 (6): 231 ~ 271.
- [3] Evans, S. G. , et al. The Pandemonium Creek rock avalanche, British Columbia [J] . *Can. Geotech.* 1989, 26(3): 427 ~ 446.
- [4] Voight. B. . Rockslides and Avalanches I. [M] . New York; Elsevier Scientific Publishing Company. 1978. 1~ 833
- [5] Plafker, G &Erickson, G. E. Nevados Huascaran avalanches, Peru [M] . In: Voight. B. . Rockslides and Avalanches. I [M] , 1978. 277 ~ 314.
- [6] 崔之久. 混杂堆积与环境 [M] . 北京: 科学出版社, 2000(即将出版).
- [7] 崔之久, 熊黑钢. 论混杂堆积与混杂沉积岩的成因判别原理与标志 [J] . 地质论评, 1988, 34(3): 369 ~ 376.
- [8] 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录(公元前23世纪—公元1911年) [M] . 北京: 地震出版社, 1995. 3.

THE DEPOSIT CHARACTERISTICS OF THE PALEO-AVALANCHINE LANDSLIDE IN XI' AN CUIHUA MOUNTAIN AND ANALYSIS OF ITS GENERATIVE PROCESS

NAN Ling, CUI Zhi-jiu

(*Department of Urban and Environment Science, Peking University, Beijing 100871 PRC*)

Abstract: The tourist landscape in Xi'an Cuihua Mountain, is generated from a large paleo-avalanchine landslide, with the special deposit structures showing indirectly information of high speed block movement. In the article, the author divided five plane phases in the rock avalanchine landslide deposit: the center phase, the boundary phase, the projectile phase, the airblast and mud splatter phase, and some remnant phase. Every phase has the special deposit characteristics that showing the differences in plane distributions, when the avalanchine landslide was moving and depositing. Based on studying on the changes in grain size, gravel fabrication, and deposit structures, we discovered that there are some dynamical differences between in the front of deposit and in rear of deposit of the avalanchine landslide: from the rear to the front, the moving direction and mode had changed. The grain size was getting decreased; intemixing degree and dynamical stability increased. In the rear of deposit, the blocks integrally slid and were little detached. But in the front, they collided and detached in great lot. We deduced that the power came from the rear of the landslide. Study on the geological and geomorphologic environment, on characteristics of the deposit that may reflect the trail of movement and dynamics, we discussed the generative process of this landslide.

Key words: paleo-avalanchine landslide; plane phases; deposit characteristics; generative process; Xi'an