

文章编号: 1008—2786(2000)05—0435—05

滑坡碰撞作用及其岸坡环境效应

卫 宏¹, 靳晓光², 王兰生²

(1. 太原理工大学(中区)矿业工程学院资环系, 山西 太原 030024;

2 成都理工学院环境工程学院, 四川 成都 610059)

摘 要: 研究发现, 高速滑坡运动到谷底时, 多数会与对岸岸坡发生碰撞, 使滑体前部及对岸受撞岩体表部碎裂, 形成滑坡碰撞构造。由于强烈的碰撞作用, 滑体内部块体之间嵌合紧密。河流下切后, 破碎但嵌合紧密的碰撞体卸荷松动, 岸坡稳定性随之降低。由此提出滑坡碰撞模式、碰撞构造成分, 并对其岸坡环境效应进行了探讨。

关键词: 滑坡; 碰撞构造; 环境效应

中图分类号: P642. 22 **文献标识码:** A

山区滑坡中, 许多滑坡都是高速滑坡, 都曾运动到沟底与对岸发生碰撞, 严重的还形成堵江事件。如 1933—08—25, 岷江上游叠溪 7.5 级地震, 诱发滑坡、崩塌数十处, 其中部分滑坡或崩塌堵塞江河, 形成十余处滑坡、崩塌堵江堰塞湖; 1967 年雅砻江康古栋降雨诱发滑坡堵江, 形成高达 200m 左右的堰塞坝体; 雅砻江官地水电站坝前江中, 至今仍残留着虎三滩滑坡堵江的巨大块石。由此可见, 高速运动的滑坡下滑至沟底时, 其动能并未完全消耗于滑动摩擦与块体碰撞等中间运动过程, 甚至中间运动过程仅仅消耗了其动能的很小部分。这些高速运动的滑坡之所以能够在沟底停滞下来, 并形成高大的天然堰塞坝, 构成堵江事件, 其根本原因在于对岸坡体的阻挡。由于对岸坡体的阻挡, 高速下滑到沟底的滑坡与对岸坡体发生了碰撞与攀升, 经过长途滑动后的剩余动能在这一作用过程中消耗殆尽。碰撞强度与攀升高度主要取决于滑坡运动速度。

滑坡与对岸坡体的碰撞过程中, 在滑体头部岩体与对岸受撞岸坡岩体中产生了一系列因碰撞而形成的特殊变形破裂现象, 即滑坡碰撞构造。滑坡碰撞构造大大改变了坡体结构, 当河谷再次下切后, 滑坡碰撞构造暴露于岸坡表面, 岸坡稳定性构成了一定的威胁。

因此, 对滑坡碰撞构造的研究具有广泛的意义。本文在野外调研的基础上, 提出滑坡碰撞模式、滑坡碰撞构造的概念, 并对滑坡碰撞构造类型及其特征进行了研究。

1 滑坡碰撞基本概念

碰撞构造指相向运动的两个地质体发生碰撞后, 在两碰撞体上新生的构造形迹。

按照碰撞体的运动速度, 地球上的碰撞构造可分为两大类, 一为快速蠕动碰撞构造, 一为高速运动碰撞构造。前者如板块相向快速蠕动(即板块运动)发生碰撞, 在碰撞板块前缘形成俯冲断裂、山前(后)盆地、岛弧等一系列巨型碰撞构造。板块碰撞构造又可进一步分为 A、B 两型, 典型的如喜马拉雅与笔乌夫板块碰撞带。后者如高速运动的陨石与地球发生碰撞, 在受撞的地球上形成碰撞坑、碰撞节理等碰撞构造, 在陨石上亦形成相应的碰撞节理, 这些节理的夹角一般 $< 90^{\circ}$, 也见有 $> 90^{\circ}$ 者^[1]。碰撞板块与

收稿日期: 2000—02—28; 改回日期: 2000—04—15。

作者简介: 卫宏(1957—), 男(汉族), 山西永济人, 博士, 副教授。主要从事构造地质、工程地质与地质灾害等方面的教学与科研工作; 联系电话: (0351)6041176。

陨石的运动速度相差甚大,一般,板块运动速度仅 10 mm/a~50 mm/a(阿尔卑斯—地中海碰撞带)^[2],因此称之为快速蠕动;而陨石的运动速度却高达 10 km/s~40 km/s,是板块运动速度的 1×10^{12} 倍,因此称之为高速运动。板块碰撞构造由地壳运动所引起,属构造型碰撞构造;陨石碰撞构造与地壳运动无关,为非构造型碰撞构造。

滑坡碰撞构造(collision structure of landslide)是地球上又一种非构造型碰撞构造。滑坡的运动速度远大于板块运动速度,又远小于陨石运动速度,高速滑坡一般指运动速度大于 10m/s 的滑坡。当山顶或半坡上的滑坡向下高速滑动到达谷底时,与沟谷对岸谷坡发生剧烈碰撞而停止运动,强大的动能转化为碰撞能,使对岸受撞坡体与滑体前部岩体破裂、隆起,滑体前部顶端临空岩体拉裂等,形成了一系列滑坡碰撞构造。对岸受撞岸坡称作被动碰撞岩体,滑坡称作主动碰撞岩体。

研究滑坡碰撞构造时,应着重解决滑坡碰撞构造成分、空间分布、成因机制以及对岸坡稳定的影响等等。

2 滑坡碰撞攀升模式

一般而言,当高速运动滑坡突然受阻,发生碰撞嘎然而止时,因惯性力作用,都可能向受撞岸坡攀升。由于滑体结构、受撞岸坡特征以及滑坡运动与动力特征不同,理论上,滑坡的碰撞攀升可分为四种模式。

2.1 碰撞弯曲隆起攀升模式

当受撞岸坡陡峻,滑体中不存在与滑动面近于平行的、易于拆离滑动的结构面时,滑坡高速运动到谷底,与陡峻受撞岸坡发生碰撞,滑体前部向上弯曲,向受撞岸坡超覆,形成类似于逆断层上盘牵引褶曲的隆起(图 1)。这种情况下,滑坡动能主要耗散于滑坡碰撞与碰撞引发的滑体弯曲攀升作用以及岩体破裂作用。岷江上游的较场前缘滑坡、马脑顶滑坡等属于这种类型。

2.2 碰撞拆离滑动攀升模式

当滑体中存在与滑动面近于平行的结构面,受撞岸坡中等倾斜或下陡上缓时,滑坡高速运动到谷底与受撞岸坡碰撞后,结构面下部滑体立即止动,上部滑体在惯性力作用下,沿该结构面发生拆离滑动,并向受撞岸坡攀升(图 2)。这种情况下,滑坡动能主要耗散于滑坡碰撞作用与碰撞引发的拆离滑动摩擦作用以及岩体破裂作用。

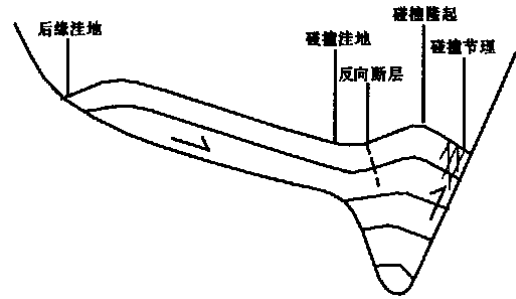


图 1 滑坡碰撞弯曲隆起攀升模式

Fig. 1 The model of the bulking and climbing by bending in the collision of landslide

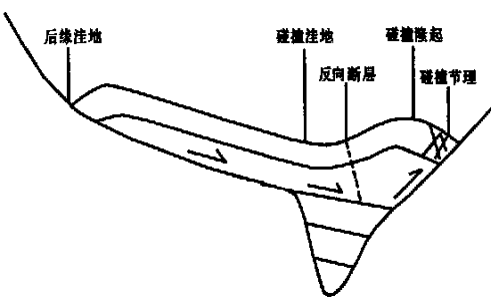


图 2 滑坡碰撞拆离滑动攀升模式

Fig. 2 The model of the climbing by detaching slide in the collision of landslide

2.3 碰撞滑动攀升模式

当受撞岸坡较为平缓时,滑坡运动到谷底后,与受撞岸坡发生碰撞,并沿较为平缓的受撞岸坡攀升滑覆(图 3)。这种情况下,滑坡动能主要耗散于滑坡碰撞与碰撞引发的攀升滑覆以及岩体破碎作用。

2.4 碰撞侧向扩展攀升模式

当滑坡为松散堆积物滑坡时,滑坡运动到谷底与受撞岸坡发生碰撞后,在惯性力作用下,松散的滑

坡物质发生侧向扩展, 沿受撞岸坡攀升(图 4)。这种情况下, 滑坡动能主要耗散于滑坡碰撞作用与碰撞引发的侧向扩展攀升作用以及块体间的相互作用。1933 年叠溪地震诱发的较场沟与干海子古崩塌堆积滑坡属于这种类型。

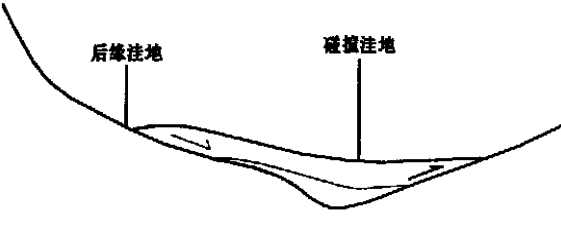


图 3 滑坡碰撞滑动攀升模式
Fig. 3 The model of the climbing by sliding
in the collision of landslide

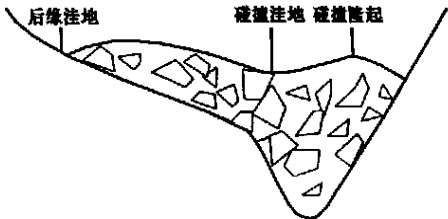


图 4 滑坡碰撞侧向扩展攀升模式
Fig. 4 The model of the climbing by laterally
expanding in the collision of landslide

3 滑坡碰撞构造成分

与地壳板块相比, 滑坡体积微不足道, 与陨石运动速度相比, 滑坡只是一架老旧的牛车, 但与板块、陨石类似, 高速滑动的滑坡也具有强大的动能, 与前方阻挡岸坡碰撞时, 同样能形成类似的碰撞构造。同时, 由于滑体结构、运动与碰撞环境的独特性, 又可形成独特的碰撞构造, 其主要构造成分及其空间组合示于图 5。

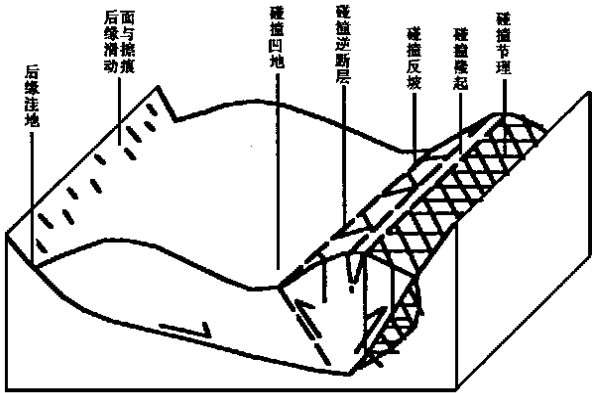


图 5 滑坡碰撞构造组合模式示意图
Fig. 5 Diagram of the constitutional model about
the collision structures of landslide

3.1 滑体头部碰撞隆起与反坡

当滑坡与岸坡碰撞攀升时, 滑坡头部运动受阻, 后面滑体物质在惯性作用下仍向前推挤, 在滑体头部拥挤上隆, 形成滑体头部隆起。隆起后部形成倾向滑坡后缘的地面反坡(图 1、2、3、4、5)。隆起带的宽度、隆起高度及反坡坡度与滑坡碰撞攀升强度有关, 滑坡滑速越大、体积越大, 滑坡运动动能越高, 碰撞作用就越强烈, 隆起规模就越大, 反坡坡度也越陡。反之, 隆起规模越小, 反坡坡度越小。据对岷江上游若干碰撞滑坡的现场调查, 隆起宽度一般略大于沟谷宽度, 隆起高度最大可达 50 m 左右, 反坡坡度介于 10°~20°。无论是岩质碰撞滑坡还是松散堆积物碰撞滑坡, 都发育这种现象, 如岷江上游较场前缘、马脑顶、水沟子等岩质滑坡, 较场沟、干海子等古崩塌堆积滑坡。

3.2 滑体头部碰撞隆起上之碰撞节理

高速运动的滑坡具有强大的动能, 当与受撞岸坡发生碰撞而停止运动时, 其部分动能转化为碰撞能, 使碰撞滑体头部破碎, 在滑体头部形成与碰撞能量及岩体强度相应的碰撞节理构造(图 1、2、5), 如较场前缘滑坡头部即发育这种构造。碰撞节理面平直、光滑, 产状陡立, 为剪切节理。两组碰撞剪节理构成与滑坡运动方向相应的共轭 x 节理对, 共轭 x 节理的共轭角多 $< 90^\circ$, 也见 $> 90^\circ$ 者。这与张淑媛在吉林双阳陨石上发现的碰撞节理^[1]有类似之处。

滑坡碰撞节理延伸不远, 仅分布于碰撞滑体头部, 与构造应力无关, 属非构造节理。据此, 可与区域构造节理相区别。

根据碰撞共轭 x 节理共轭角的大小, 按照王维襄、韩玉英^[3]提出的古构造应力计算公式, 可以估算滑坡碰撞应力的大小, 并进一步按照加速度公式推算滑坡滑动速度与动能。

3.3 滑体中前部碰撞洼地

位于滑坡头部碰撞隆起后方, 长轴基本垂直于滑坡运动方向, 是滑坡头部碰撞隆起后形成的相对洼地(图 1、2、3、4、5)。如岷江上游较场前缘滑坡、马脑顶滑坡等隆起后部洼地。滑坡碰撞洼地与一般滑坡后缘拉裂洼地不仅成因不同, 而且其分布位置与规模有所差异。前者位于滑坡前部, 隆起与洼地间高程悬殊。对滑程不远的碰撞滑坡来说, 两者可能重叠在一起, 空间上不易区别, 但滑坡碰撞作用的影响不可忽视。

3.4 滑体碰撞隆起与碰撞洼地间可能出现的碰撞逆冲断层

由于强烈的碰撞作用, 在滑坡头部碰撞隆起与滑体中前部碰撞洼地之间, 可能发生隆起岩体的反向逆冲作用, 形成走向基本垂直于滑坡滑动方向、倾向滑坡前缘的逆冲断层(图 1、2、3、4、5)。鉴于研究对象与工作环境所限, 此次现场调查中未在露头上看到这一现象。对马脑顶滑坡碰撞隆起与洼地间的甚低频测量表明, 该处存在一隐伏断裂, 很可能为滑坡碰撞逆冲断层。尽管没有得到目击证据, 但作为滑坡碰撞构造成分的理论分析, 这里仍然把碰撞逆冲断层提了出来, 有待于以后工作的进一步证实。

3.5 滑体头部顶端临空部位之突然制动拉裂构造

当高速运动的滑坡因碰撞嘎然而止时, 在惯性力作用下, 滑坡头部顶端临空岩体仍维持向前运动的趋势, 形成了上大下小、向坡外倾倒的高速滑坡突然制动拉张裂缝。这种拉张裂缝外侧岩体有向坡外倾倒变形的迹象, 内侧岩体基本正常。1933 年叠溪地震诱发的较场前缘滑坡前部就发育这种构造。

3.6 被动受撞岸坡岩体中的碰撞节理

对大型陨石坑以及受核爆冲击岩体的研究表明, 受撞击或冲击岩体中发育放射状裂隙。与此类似, 滑坡碰撞作用中, 受撞岸坡岩体亦强烈破碎, 碰撞节理发育。受撞岸坡内的碰撞节理不同于其它构造与非构造节理, 其节理面垂直于受撞坡面, 密集分布于受撞范围内, 且延伸不远也不深, 仅见于受撞岩体表层(图 5)。

4 滑坡碰撞构造的演化与岸坡稳定

滑坡碰撞构造形成之初, 由于强大的碰撞压力与沟谷岩体围限, 碰撞节理呈密闭状态, 碰撞破碎岩体镶嵌紧密。随着沟谷下切, 围限逐渐解除, 碰撞体中积聚的碰撞压力(亦即使碰撞岩体呈紧密镶嵌的压力)随之释放, 碰撞节理逐渐张开, 镶嵌紧密的碰撞岩体漫漫松散开来, 碰撞破碎岩体变为块裂乃至散体结构。

随着沟谷下切深度的加大, 碰撞破碎岩体进一步卸荷, 变的越来越松散。主动碰撞岩体(即滑坡头部)开始出现崩落掉块现象, 雨季来临时, 崩落掉块越加严重, 甚至发生局部崩塌, 堵塞河流与公路。被动碰撞岩体(即受撞岸坡岩体)上将形成浅层崩滑体, 崩滑体的厚度取决于多数碰撞节理的下延深度。岷江上游小海子坝体右岸的三个崩滑体当属此例。

参考文献:

- [1] 张淑媛, 吉林陨石的裂隙构造[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1978, (1): 143~148.

- [2] M. P. Coward & A. C. Ries. Collision Tectonics[M] . Published for the Geological Society by Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, 1986.
- [3] 王维襄, 韩玉英. 棋盘格式构造的力学分析[J] . 地质力学论丛, 1977, (4): 64~75.
- [4] 柴贺军, 刘汉超, 张倬元. 中国滑坡堵江事件目录[J] . 地质灾害与环境保护, 1995, 6(4): 1~9.
- [5] 陈自生. 高位滑坡的运动转化形式[J], 山地研究(现《山地学报》), 1992, 10(4): 225~228.

COLLISION EFFECT OF THE LANDSLIDE AND ITS INFLUENCE ON SLOPE ENVIRONMENT

WEI Hong¹, JIN Xiao-guang², WANG Lan-sheng²

(1. *Taiyuan University of Science & Technology, Taiyuan 030024 PRC;*

2. *Chengdu University of Science & Technology, Chengdu 610059 PRC*)

Abstract: The study notices that the landslide with a high velocity would collide mostly with the opposite slope when it has just slid down to the bottom of valley. This strong collision would smash the rock mass of the front of the landslide or the superficial layer of the opposite slope rock mass, and form some new structures which is named the Collision Structure of Landslide by this paper. At the same time, the strong collision force makes the blocks of the landslide combine compactly so that the collision rock mass have great ability to resist the erosion of river. But this kind of collision rock mass would be raveled by the late unloading effect of river, and the stability of the slope would reduce. In this paper, the collision models and the structural components have been posed out, and its environmental influences on slope are discussed.

Key words: landslide; collision structure; environmental influence