

渝怀铁路沿线滑坡成因分析

白云峰^{1,2}, 周德培², 王科³, 李安洪³

(1. 河南理工大学, 焦作 454000; 2. 西南交通大学土木学院, 成都 610031;

3. 第二铁道勘测设计院, 成都 610031)

[摘要] 滑坡是山区常见的一种灾害地质现象, 滑坡的发生常给人类生命财产及工程建设带来灾难性的后果。正在修建中的渝怀铁路位于滑坡灾害频发的我国中西南中山丘陵区, 全长约 600 km 范围内发育有各类滑坡 75 处。在现场勘测和调研的基础上, 总结了滑坡的发育特征, 分析了滑坡的形成原因。认为, 沿线特殊的地质构造和地形地貌条件是其形成的主要原因, 特定的地层岩性组合是其形成的物质基础, 河流的切蚀作用、人类工程活动和暴雨是其形成的重要诱发因素。

[关键词] 渝怀线 滑坡 成因

[中图分类号] TU441 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2004)06-0088-04

滑坡是山区道路和水利水电工程建设中常见的一种不良地质现象, 滑坡的发生常给人类生命财产和工程建设造成灾难性后果。斜坡稳定是山区工程建设中遇到的重要工程地质问题之一。

渝怀线西起重庆市, 东至湖南省西部的怀化市(图1), 全长约 600 km, 是连接中西部的重要交通枢纽。铁路的修建牵涉到大量的边坡稳定问题, 如何正确评价这些边坡的稳定性, 是工程建设中需要解决的主要问题之一。沿线是我国滑坡灾害发育严重的地区之一^[1], 现有滑坡是原自然和人工边坡变形失稳的结果, 二者在整个区域地质背景上具有高度的一致性, 因此, 深入地分析现有滑坡的成因, 对认识边坡的变形破坏规律、影响边坡稳定性的因素与主次关系以及选择合理的支挡加固措施都是十分有益的。

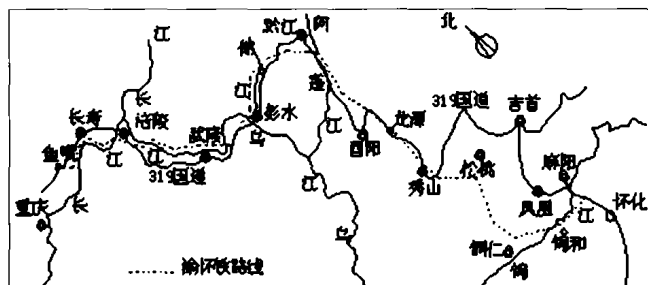


图1 渝怀铁路线位置示意图

1 沿线地质背景概况

构造体系以新华夏系为主, 分属上扬子地块和江南地块^[2]。构造线轴线走向为 NNE ~ NE 向, 与线路总体走向 NWW ~ NW 略成正交。重庆至涪陵属川东褶皱带, 为一系列的褶皱群组成, 呈有规模的带状分布, 形成向斜宽缓背斜狭窄的隔挡式排列, 主要发育有 2 条背斜和 1 条正断层; 涪陵至龙潭属川东南褶皱带, 19 条向、背斜在空间平行交替排列, 断裂构造则有 4 条正断层和 3 条逆断层组成; 龙潭至怀化属鄂湘黔褶皱带, 发育有 6 条平缓的向、背斜和 39 条断层。受构造影响, 岩体较破碎。

线路所经地区的基本地震烈度均小于或等于六度, 无大的发震构造。

鱼嘴至涪陵为长江丘陵河谷区, 江面开阔, 阶地发育; 涪陵至龙潭为深切切割、强侵蚀的岩溶化中山峡谷地形。其中, 涪陵至彭水为乌江峡谷区, 乌江岸坡陡峻, 河谷深切狭窄, 大多地段为“V”型谷, 峡谷段岸坡角度达 30° ~ 50°, 河床纵坡降 4 ~ 8‰, 阶地不发育; 彭水至龙潭为武陵山中山区, 地壳抬升高, 自然横坡 30° ~ 50°; 龙潭至锦和为中深至浅切割的岩溶化低山丘陵地形, 自然横坡 5° ~ 30°, 河谷地段有阶地发育; 锦和至怀化段为沅麻红色盆地东缘丘陵地带, 地形相对平坦。

[收稿日期] 2003-05-07; **[修订日期]** 2004-10-29; **[责任编辑]** 陈仁俊。

[第一作者简介] 白云峰(1961年-), 男, 1982年毕业于焦作矿业学院, 获学士学位, 副教授, 现为西南交通大学在读博士, 主要从事岩土工程教学工作。

地下水可分为岩溶水、裂隙水和孔隙水三大类型。碳酸盐岩分布广泛,溶洞、岩溶管道发育,受大气降水补给,沿岩溶管道径流,在乌江等河谷处以暗河、泉的形式排泄。裂隙水主要分布于碎屑岩及变质岩地段。空隙水主要分布于河流阶地及谷地堆积层中。后两种类型水水量有限。

亚热带季风性温湿多雨气候,年平均降雨量1050~1450 mm,多集中在5~8月份。日最大降雨量平均120~200 mm。

地层岩性以沉积岩的碳酸岩和碎屑岩为主。重庆至涪陵为侏罗系红色地层,岩性为不等厚的泥岩、页岩和砂岩互层,下伏三叠系灰岩夹砂、页岩地层。

涪陵至松桃为三叠、二叠、志留、奥陶和寒武系的地层相间出现,岩性以碳酸岩为主,碎屑岩为辅,部分向斜的轴部偶有侏罗系地层。松桃至怀化为寒武系、震旦系和元古界板溪群地层,岩性以页岩、砂岩和负变质岩的砂板岩为主,碳酸岩为辅。

2 滑坡发育分布特征

沿线共发育滑坡75个,总体积约3.0亿 m^3 ,发育线密度为0.125个/km。根据滑体规模可将滑坡分为6类;根据滑动面和滑坡体物质组成特征,可将沿线滑坡发育形式分为4类,见表1。

表1 渝怀线滑坡发育特征

单位:个

滑坡规模类型(万 m^3)						滑坡滑面及物质组成类型			
巨型	特大型	大型	中型	小型	特小型	堆积层	顺层	切层	错落
$>10^4$	$10^3 \sim 10^4$	$10^2 \sim 10^3$	$10 \sim 10^2$	$1 \sim 10$	<1.0				
1	2	26	30	14	2	32	25	12	6

从空间分布上看,沿线滑坡集中在以下三个区域:(1)重庆至涪陵:约125km的范围内发育有4个滑坡,占总数的5.3%,体积47.3万 m^3 ,占总体积的0.16%。发育密度0.016个/km。(2)涪陵至龙潭:约260km范围内发育有61个滑坡,占总数的81.33%,体积29093.4万 m^3 ,占总体积的98.08%。发育密度0.235个/km。(3)松桃至锦和:约100km范围内发育有滑坡9个,占总数的12%,体积509.7万 m^3 ,占总体积的1.72%。发育密度0.09/km个。

3 滑坡成因分析

3.1 地质构造对滑坡形成的影响

线路经过的乌江流域和武陵山区(涪陵至锦和)正处于中国自然地势第二阶梯东部边缘斜坡带,新构造运动比较活跃,以继承性的断裂活动和区域性大面积间歇性抬升为基本特征^[3-5]。自白垩纪以来,地壳不断抬升,河流不断下切,河流下切速度略大于地壳剥蚀速度,形成了大量有利于岩体滑动的直线坡和凸型坡。区内经历了多次构造运动,构造线走向大致呈NE~NNE向,说明最大主应力多近EW向与NW向,与大致呈南北向的河流近与直交,斜坡带的残余应力向临空方向回弹,斜坡应力失衡,是形成滑坡的一个重要原因。该区域共发育滑坡71个,约占全线滑坡总数的95%,滑坡总体积的99.8%强。沿线巨型、特大型和大部分大型滑坡均发育在这一区域内。

在构造变动过程中,岩层受力产生弯曲变形,由于软、硬岩层的抗弯刚度不同,岩层弯曲时常在软硬岩接触带处产生层间错动,在上下错动面之间多存在一层较薄的错碎带^[12]。在风化作用和地下水作用下逐渐弱化为泥化夹层,并逐步发展成为潜在的滑带。这是沿线多数碳酸岩顺层滑坡形成的一个主要原因。

3.2 地形地貌对滑坡形成的影响

地形地貌对滑坡发育的影响表现在较陡的斜坡易变形,其原因在于坡体临空面侧因弹性应变能释放而产生卸荷回弹,引起应力重分布和集中效应,坡面处出现拉应力,坡脚处形成剪应力集中,坡愈陡,集中效应愈明显,这是陡坡岩体易失稳滑动的主要原因。沿线的滑坡分布与区域地形地貌特征严格相一致,涪陵~龙潭为乌江峡谷和武陵山中山区,山高坡陡,地形切割深,滑坡最为发育。而龙潭~锦和为浅切割的低山丘陵区,虽然断裂构造极为发育,但滑坡发育较少,其线密度仅为前者的约38%。

3.3 地层岩性组合对滑坡形成的影响

地层岩性是滑坡形成的物质基础,不同岩性组合构成的斜坡,常形成不同形式的滑坡,见表2。

(1)二叠系厚层灰岩和下伏志留系软弱页岩岩组以及奥陶系中、上统厚层灰岩和下统大湾组软弱页岩岩组组成的坡体,在构造裂隙和卸荷裂隙作用下其变形破坏方式以崩塌为主,亦可形成压致拉裂型的错落型滑坡。

表 2 滑坡与地层岩性关系统计

地层	岩性	形式与个数		
		顺层	错落	切层
三叠系	嘉陵江组灰岩夹岩溶角砾岩	12		
二叠系	下统层、块状灰岩		4	
志留系	下统页岩夹粉砂岩	4		4
奥陶系	中、上统灰岩夹泥灰岩	4	2	
	下统大湾组页岩			5
寒武系	中上统灰岩,白云岩夹泥岩	4		
	下统杷榔组粉砂质页岩			3
元古界	板溪群板岩、变余砂岩	1		
合计		25	6	12

(2)三叠系嘉陵江组,奥陶系中、上统各组 and 寒武系中、上统各组地层均为中、厚层灰岩夹薄层页岩或泥岩岩组,在构造变动时易产生层间错动,常形成基岩顺层滑坡。

(3)志留系、奥陶系和寒武系的软弱页岩岩组组成的斜坡,节理、裂隙极其发育,当坡体同向时,常形成多滑面的顺层滑坡,反向时,易追踪节理裂隙而形成切层滑坡。

(4)页岩、泥岩及泥质砂岩等软岩经风化剥蚀后形成大量的松散物堆积于坡麓、坡脚和河谷阶地后缘,在地下及地表水的作用下,堆积物常沿基岩表面及堆积层内弱面蠕滑,形成堆积层滑坡。沿线地形陡峻,崩塌广布,也为堆积层滑坡的形成提供了丰富的物质来源。

3.4 软弱夹层对滑坡形成的影响

岩体中软弱夹层的存在是滑坡特别是顺层滑坡形成的决定性因素。25 个基岩顺层滑坡均为沿岩体中的软弱层滑动。沿线大量存在的软硬岩互层岩组和厚层硬岩夹薄层软岩岩组为滑坡的形成提供了物质基础。这些软岩(主要为泥岩、灰质泥岩和页岩)中含泥质或云母质成分高,易于风化和被水软化。在经历构造变动时,对应力起阻隔作用,成为应力集中带而产生层间错动。层间错动破坏了软岩的结构而使其泥化,再加上水的渗入,从而降低了层间 c 、 ϕ 值。当河流下切及人类开挖坡脚形成有效临空面时,坡体易沿软弱层滑动形成滑坡。此外,泥质岩类的风化层较厚,常和崩塌落石及风化剥落岩块形成碎、块石土堆积于斜坡脚及阶地后缘,这类碎石土泥质成分高,含水性好,力学性质差。实验室直剪试验表明,饱和含水时其 c 、 ϕ 值约下降 20% ~ 50%。加上沿线多雨的天气及河流的切蚀,使堆积体易沿其内部的软弱土层及下伏基岩面滑动,这是沿线多数堆积体滑坡形成的一个重要原因。

3.5 岩溶对滑坡形成的影响

沿线可溶岩地层分布广泛,长约 315.3km,占总线长的 54%,主要集中在涪陵 ~ 锦和。受新构造运动间歇性上升的影响,岩溶发育具有明显的成层性。单层厚度大,碳酸钙含量高的地层岩溶发育程度最高;岩溶多沿构造线发育,如背、向斜轴部、断裂构造、可溶岩和非可溶岩接触带等。岩溶对滑坡发育的影响最为明显的是涪陵左岸小溪河滑坡群,约 6km 的范围内发育了 8 个大、中型滑坡,总方量约 1700 万 m^3 。该地区地层岩性为三叠系嘉陵江组中、厚层灰岩夹薄层岩溶角砾岩及泥灰岩,构造变形时,岩溶角砾岩处产生层间错动而成为地下水的入渗通道,在漫长的历史过程中,地下水逐渐溶解错动带中的易溶岩并将其带走,留下泥质成分,形成软弱夹层。乌江的下切及 319 国道的修建使软弱层暴露出地表,形成有效临空面。沿线多久雨及暴雨天气使软弱层处于饱和状态,抗剪强度急剧下降,从而导致滑坡的发生。

3.6 河流的切蚀作用及人类工程活动对滑坡形成的影响

沿线属亚热带温湿气候,降雨量超过蒸发量,河流密度大,地下水位高。在河流的切蚀作用下,坡体不断变高变陡,形成应力集中而使斜坡的稳定性不断降低。河流的前缘切蚀为斜坡的滑动创造了有效临空面,侧向切蚀即过岭冲沟为斜坡的滑动创造了侧向自由面,同时还暴露坡体中的软弱夹层,是许多滑坡产生的重要原因。如武隆鸡冠岭滑坡^[7]、涪陵乌江左岸小溪河滑坡群即是河流切蚀诱发的滑坡。沿线滑坡主要沿乌江、郁江、诸佛江和锦江河谷带状集中分布的特点即是河流切蚀作用诱发滑坡的集中反映。

人类工程活动是滑坡形成的重要诱发因素^[8,9]。因进行采矿、修建公路、铁路、水渠及房屋等人类工程活动,开挖斜坡坡脚,改变了斜坡体的应力分布,坡脚处形成剪应力集中而易使坡体失稳滑动。如 319 国道黄草至彭水段,志留系罗惹坪组页岩广泛出露,该岩层节理裂隙发育,极其破碎,在公路的修建过程中就引发了多处工程滑坡。又如武隆县城“5·1”滑坡,斜坡体由三叠系须家河组(T_3xj)砂岩夹泥岩互层的层状碎裂岩体组成。修建 319 国道时已经切割了坡脚,当地为了修建一商业楼,又继续扩大切割的范围,形成一高十余米,坡度达 70° ~ 80° 的陡人工边坡,且没有采取有效的防护措施。2001 年 5 月 1 日边坡失稳滑动,约 1.6 万 m^3 的岩

体摧毁了该商业楼,造成了79死7伤的震惊全国的重大伤亡事故。

3.7 暴雨对滑坡形成的影响

暴雨是斜坡变形产生滑坡的重要触发因素^[10,11],暴雨时,斜坡中的含水层水量猛增,地下水位升高,增大了动、静水压力,空隙(或裂隙)水压力和浮托力,改变了暴雨前斜坡的应力状态,降低了坡体中软弱层的抗滑力,增大了下滑力,进而引起斜坡失稳滑动。沿线多暴雨久雨天气,对滑坡的形成有重要的影响,如小溪河2#滑坡就是在连续2天大雨后于96年7月10日产生滑动的。

4 结 论

通过分析总结沿线滑坡的分布特征和形成原因,得出结论如下:

(1)沿线滑坡的发育严格受地质构造特别是新构造运动的控制,集中分布在涪陵至锦和的乌江峡谷区和武陵山区,即中国自然地势第二阶梯的东部边缘地区。受新构造运动影响形成的强侵蚀深切的地形地貌条件是沿线滑坡形成的主要原因。沿线滑坡的分布与地形地貌特征密切吻合。

(2)沿线地层岩性的组合特征是滑坡形成的物质基础,不同的地层岩性组合可形成不同形式的滑坡。沿线产生层间错动的厚层硬岩夹薄层软岩的地层和志留系软弱页岩地层是该线的易滑地层。岩体中及堆积层中软弱夹层的存在是斜坡失稳滑动的重要因素。

(3)河流的切蚀作用对滑坡形成有重要影响,沿线的滑坡主要沿乌江、郁江、诸佛江和锦江河谷带状集中分布。地下水对错动层间的溶蚀、置换作用也是沿线滑坡形成的影响因素。

(4)人类工程活动和沿线多久雨、暴雨天气是滑坡形成的重要诱发因素。

[参考文献]

- [1] 中国科学院西南资源开发考察队. 西南自然灾害及其防治对策[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [2] 花友仁. 扬子板块的地壳演化与地层对比[J]. 地质与勘探, 1995, 31(2): 15~22.
- [3] 张倬元, 王士天等. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [4] 李长安. 三峡地区滑坡与构造运动、气候变化的关系[J]. 地质科技情报, 1997, 16(3): 88~91.
- [5] 曾克峰, 韩庆之等. 新构造运动及其气候变化与溶洞及滑坡演化[J]. 地质科技情报(增刊), 1998, 17(2): 54~58.
- [6] 杨新岳, 谢国源, 李志纯. 褶皱变形过程中的构造化学效应[J]. 地质与勘探, 1996, 32(1): 17~21.
- [7] 陈自生, 张晓刚. 1994-04-30. 四川武隆县鸡冠岭滑坡? 碎屑流? 堵江灾害链[J]. 山地学报, 1994, 12(4): 225~229.
- [8] 匡立新, 彭振斌, 戴自航. 相邻基础施工诱发滑坡机制研究[J]. 地质与勘探, 2000, 36(3): 91~94.
- [9] 谢建清. 滑坡治理方法及其应用实例[J]. 地质与勘探, 1995, 31(3): 58~6.
- [10] 胡明鉴, 汪稔等. 斜坡稳定性及降雨条件下激发滑坡的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 22(4): 454~457.
- [11] 柳 源. 滑坡临界暴雨强度[J]. 水文地质工程地质, 1998, (2): 43~45.

MECHANISM OF LANDSLIDES ALONG THE CHONGQING - HUAHUA RAILWAY

BAI Yun-feng^{1,2}, ZHOU De-pei¹, WANG Ke³, LI An-hong³

(1. Henan Polytechnical University, Jiaozuo 454000; 2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031;

3. The Second Survey Design Institute of Railway, Chengdu 610031)

Abstract: The Chongqing - Huaihua Railway is a vital communication line linked up the Middle and the West of China, along where there are 75 landslides. Based on the spot investigation, it is sized up that the development regularity and the mechanism of landslides are closely concerned with the stratum and the geological structure and the topographic change and the human engineering activities and the erosion action of the river and etc.

Key words: the Chongqing - Huaihua Railway landslide mechanism