

# 国道 212 线福津河段滑坡发育特征及成因分析

张帆宇, 刘高

(兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

**摘要:** 因处于复杂而特殊的地质环境, 国道 212 线新改线大(岸庙)姚(渡)中的福津河段滑坡非常发育, 表现为集中性、规模大、两岸不对称性和严重性等显著特征。分析和研究表明, 与所有滑坡一样, 本段滑坡是各种地质环境因素(地形地貌、构造运动和新构造运动、地质构造、地层岩性等)综合作用的结果, 但上述显著分布和发育特征主要受控于新构造运动、地震和千枚岩层产状及其与山坡坡度的组合关系。研究结果为本段新建和改建公路的规划和设计提供指导性参考意见。

**关键词:** 滑坡; 工程地质环境; 新构造运动; 地震

**中图分类号:** P642; P642.22 **文献标识码:** A

## 1 前言

国道 212 线(兰州—重庆)是连接我国西南至西北的重要交通枢纽, 其中甘肃境内陇南段地处青藏高原东北缘, 地质条件复杂。断裂发育, 岩体破碎, 地震活动频繁。该区山高谷深, 相对高差 1 000~1 500 m, 山体走势自西向东逐渐由 NWW 向过渡近 EW 向, 地势总体西高而东低。受地形等方面的影响, 降雨分布不均匀, 一般高山明显高于河谷地区; 降雨量主要集中在雨季, 而且雨季多暴雨<sup>[1]</sup>。因此, 本段各种地质灾害严重, 特别是滑坡和泥石流。对公路沿线的城镇、村庄和人民生命财产造成了极大的威胁, 尤其是对公路设施破坏非常严重, 如毁坏路面和路基, 堵塞桥涵等, 经常造成长时间的堵路现象。总之, 受地质条件和本地区经济水平的制约, G212 线一直是低等级公路, 运营能力差。随着我国经济飞速发展和西部大开发战略的实施, 在国家的大力支持下, 拟将国道 212 线(G212 线)由低等级公路改建为二级公路。

在规划的 G212 线改建工程中, 大姚路(大岸庙—姚渡)为新改线路, 其中白龙江一级支流福津河段(大岸庙—麻崖子)为其重要和关键路段。受地形条

件的制约, 线路总体沿河床左岸展布。初步调查表明, 本段滑坡非常发育, 对拟建公路的建设和运营造成极大的隐患。本文拟从工程地质环境及形成和影响因素等方面, 探讨本段滑坡的发育特征和成因, 为该段线路的规划和设计提供参考。

## 2 滑坡发育和分布特征

### 2.1 分布密度大

福津河段滑坡极为发育, 分布密度相当大, 平均每公里即有 1 处滑坡, 全长 13 km 段内共发育了 15 个滑坡群, 共有大小 32 个滑坡(图 1)。其中三河—玉皇段发育密度更大, 在全长 8 km 内, 滑坡段总长大于 4 km, 占总长的 50% 以上。根据现场实测, 滑坡面积约占流域面积的 34%, 平均分布密度达 1~3 处/km<sup>2</sup>, 密集处更多。

### 2.2 滑体规模大

根据现场实测, 福津河段滑坡规模非常大, 大中型滑坡所占比例大, 且大型滑坡居多。滑坡厚度在 15~90 m 之间, 面积都在数万平方米以上, 甚至超过百万平方米, 体积普遍达到几十万立方米以上, 有的多达上千万立方米, 如陈家坝滑坡面积达到了 160×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>, 体积达到了 6.4×10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>(表 1)。

收稿日期: 2004-09-16 改回日期: 2004-12-06

基金项目: 西部交通建设科技项目(2002 318 000 36)

表 1 福津河段部分滑坡规模统计表

Table 1 Scale of landslides in the Fujin valley

滑坡名称	岸别	长度 /m	宽度 /m	厚度 /m	面积 / $\times 10^4 \text{ m}^2$	体积 / $\times 10^4 \text{ m}^3$
玉皇	左岸	250	600	70	7.5	150
大坪	右岸	310	500	90	15.5	775
窄峡子	左岸	120	200	20	2.4	36
石家坝	左岸	300	400	40	7.5	150
陈家坝	左岸	800	2 250	40	160	6 400

### 2.3 两岸分布不对称

本段滑坡呈现出明显的两岸不对称性分布特点(图 1)。统计结果表明,福津河左岸(南岸)发育的滑坡远较右岸(北岸)为多,南岸的滑坡是北岸的 5.4 倍。南岸共有 13 个滑坡群,共 27 个大小滑坡,且大中型滑坡居多,对公路危害极大;北岸仅有 2 个滑坡群,大小 5 个滑坡,除规模较大的大坪滑坡外,其他滑坡对公路的影响都不大。根据对白龙江的统计,在

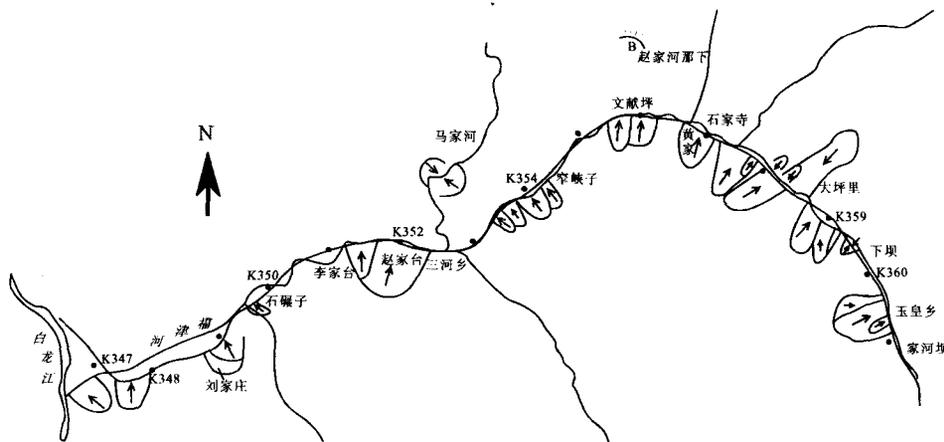


图 1 国道 212 线福津河段滑坡分布特征

Fig. 1 Distribution of landslides developed on both banks of the Fujin river of the national highway G212

整个白龙江流域,滑坡的这种两岸不对称分布特点也十分明显<sup>[2]</sup>。左岸(北岸)滑坡是右岸(南岸)的 3.5 倍,左右两岸滑坡面积和流域面积比分别是 8%和 48%(表 2)。

表 2 白龙江流域滑坡统计表

Table 2 Statistics of landslides in the Bailong river basin

岸别	沟谷数 /个	流域面积 / $\text{km}^2$	山坡坡度 / $^\circ$	滑坡数 /个	滑坡面积 / $\text{km}^2$	滑坡坡度 / $^\circ$
北岸	42	790.46	28	137	379.42	30.5
南岸	12	49.17	34	39	4.17	37

### 2.4 严重性

初步研究表明,虽然福津河段目前大多滑坡暂时处于稳定状态,但是它们极易因公路施工或者其他原因而复活,如此大规模的滑坡群一旦复活,不仅直接威胁公路的正常施工,还对建成后的安全运营以及两岸人民生命财产造成威胁。况且该段历史上曾经发生过严重的滑坡堵江事件,如果滑坡一旦失稳,形成滑体坝,将堵断福津河,给福津河上游和下游带来严重灾害。

此外,本段坡体长,滑体内及侧边冲沟发育,滑体物质较破碎,在暴雨情况下,极易爆发泥石流,形成灾害链,也给公路建设和运营带来严重危害。

## 3 滑坡形成和影响因素分析

### 3.1 地质构造格架与新构造运动

在大地构造上,G212 线陇南段位于青藏高原东北缘,处于我国南北构造带与东西构造带的交汇处,横跨中国中央大陆造山系的西秦岭造山带,属于秦岭地槽褶皱带的西翼,西秦岭是东秦岭在微成盆地以西的西延,北部与北秦岭褶皱带和祁连山褶皱体系为邻,西部和南部与滇藏地槽相邻。

在古构造格架的基础上,受青藏高原隆升<sup>[3]</sup>的影响,本区新构造运动十分强烈,主要表现在显著的垂直差异性运动、水平断裂活动和地震等方面。强烈的新构造运动也导致气候条件的变化<sup>[3~4]</sup>。它们的综合作用,形成陇南地区乃至青藏高原东北缘地区特殊且复杂的地质环境,如断裂发育、地层以断裂为界呈条带状展布、河流强烈下切及山高谷深、岩体软弱破碎以及巨厚的第四纪覆盖层等。因此,新构造运动是本区滑坡及其他地质灾害发育的最根本因素。

### 3.2 地质构造特征

在新构造运动的作用和影响下,陇南地区断裂构造十分发育。在 NEE 向压力的作用下,形成了与应力场状态相适应的构造体系,尤以 NWW—EW 向断裂带最为显著,其他方向断裂构造也较发育。这

些断裂带往往规模巨大,多为地层和地貌的分界线。断层多为活动断层,甚至地震断层。受断裂作用的影响,不仅断裂带内而且两侧岩体均十分破碎。因此,地质构造(尤其是断裂构造)为滑坡的发育提供了有利条件,在一定程度上控制本区滑坡的分布特征及

类型,在陇南地区,一系列滑坡往往沿断裂带展布。

就福津河段而言,虽然无区域性大断层(图 2),但仍受邻近断裂带活动的影响,如基岩(千枚岩)中小断层较发育,岩体变形(揉皱)强烈,这也是本段岩体破碎及滑坡发育的原因之一。

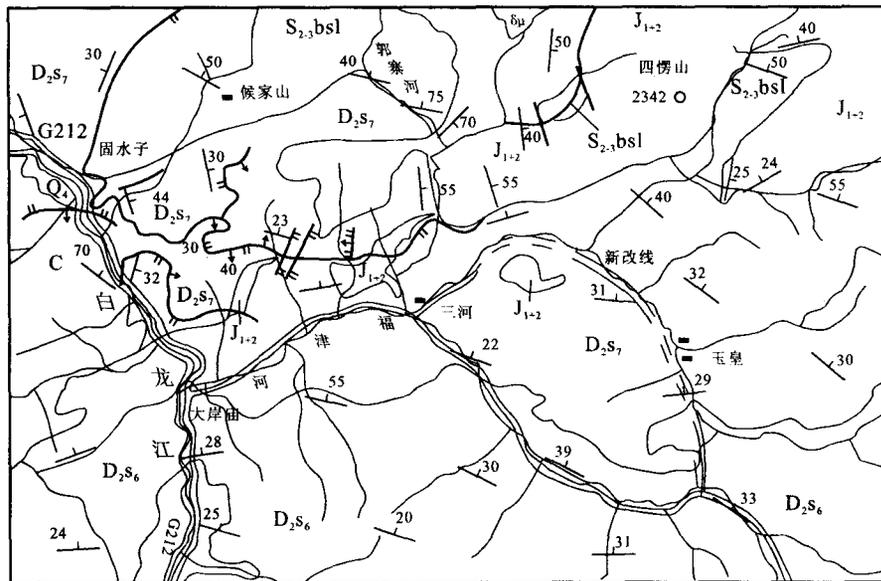


图 2 福津河段地质图

Fig. 2 Geological map of the Fujin river basin

### 3.3 地形地貌

在地貌上,陇南地区属于西秦岭山系西段,包括长江水系的白龙江和西汉水中下游地区,地处青藏高原、黄土高原和四川盆地三大地貌单元之间。强烈的新构造运动,引起本区地壳强烈抬升和河流急剧下切(第四纪以来白龙江的下切深度至少在 140 m 左右),塑造了本区差异性地貌。本区自然景观垂直变化明显<sup>[5]</sup>,沟谷与峰顶的相对高差较大<sup>[2,5]</sup>,武都约在 500~1 000 m,舟曲超过 3 000 m,文县在 1 000~2 000 m。此外,河谷两岸较发育的阶地、狭陡的 V 形沟谷,也均为地壳强烈抬升和河流急速下切的显示。

除区域地貌条件(如河流和沟谷的密度、地形总体起伏等)外,滑坡的地貌条件主要考虑两个方面,即坡度和坡高以及坡形对滑坡的影响。研究表明,坡度和坡高的影响远大于坡形<sup>[6]</sup>,因为合适的坡度和坡高能为滑坡的发育和形成提供必需的势能和物质积累条件<sup>[7]</sup>。陇南地区滑坡的统计分析表明,大多数滑坡(约 88.8%)发育于 20°~40°的山坡,其中发育在 35°~40°山坡者占 35%,表 2 也证明了这一点。

大岸庙—玉皇段,福津河与岩层走向呈小角度相交并穿越本区,两岸山坡相对高差大部分在 500~1 000 m,左岸(顺向坡)坡度一般为 20°~40°,右

岸(反向坡)较陡。由上分析可知,本段具备滑坡最易发育的坡度和坡高条件,尤其是左岸,因此,本段滑坡集中发育且左岸明显多于右岸。

### 3.4 岩层分布特征

福津河段地层包括中泥盆统和侏罗系(参见图 2)。侏罗系后者主要为砂岩、砾岩、砂砾岩,仅在左岸局部及右岸山顶附近出露。中泥盆统主要为千枚岩,夹中厚层砂质灰岩及石英岩脉,局部含较大规模石灰岩捕虏体<sup>[8]</sup>。千枚岩呈薄层状,因岩体变形强烈、揉皱褶曲普遍,岩体挤压紧密,表层岩体风化强烈,局部见有小断层发育。

受区域构造的控制,福津河段地层以断裂带为界呈条带状展布,岩性较软弱的千枚岩和软硬相间组合的层状岩体,岩层走向 NWW,倾向 NEE,倾角多不稳定,总体上上陡下缓。福津河以 NE—SE 向贯穿其间,与岩层小角度相交。尤其在文献坪—玉皇段,河流走向更是与岩层走向一致(参见图 2),因此福津河左岸(南岸)山坡为顺向坡,而右岸(北岸)为反向坡。

福津河段河流下切严重,强烈掏蚀山坡的坡脚,使坡脚极易形成临空陡壁。一方面,松散堆积物失去平衡,导致滑坡失稳<sup>[2]</sup>,另一方面,在河流下切过程中和上覆体自重长期作用下,形成应力集中,顺向坡



- 坡泥石流学术研讨会文集[C]. 兰州: 兰州大学出版社, 1998, 58-65.
- [10] 王赞军, 江志萍, 张家庆, 等. 滑坡危险性分析中地震动的概率性估算及地震滑坡的危险性评判[J]. 高原地震, 1998, 10(1): 40-45.
- [11] 毛彦龙, 胡广韬, 赵法锁, 等. 地震动触发滑坡体滑动的机理[J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(4): 45-52.
- [12] 宋立胜. 历史地震与滑坡灾害[J]. 山西地震, 1994, 2(7): 55-57.
- [13] 畅益锋, 李仁华. 白龙江泄流滑坡变形特征及成因分析[J]. 中国地质灾害, 1999, 10(1): 93-95.
- [14] 李连弟. 武都县的滑坡成因分析[A]. 见: 滑坡文集[C]. 北京: 中国铁道出版社, 1988: 79-84.
- [15] 姜加虎, 窦鸿身. 文县天池环境调查[J]. 海洋湖沼通报, 1997(1): 13-17.

## CHARACTERISTICS AND MECHANISM OF LANDSLIDES ALONG THE FUJIN RIVER SECTION OF THE NATIONAL HIGHWAY G212

ZHANG Fan-yu, LIU Gao

(College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The highway along the Fujin river, a division of the Bailong river, is a planning road of the national highway G212 to be reconstructed. In this section, there are lots of landslides with such significant characteristics, such as concentration, large scale, non-uniform distribution on both banks, because of its special and complicated geological environment. It is demonstrated that these landslides specially are controlled by neotectonic movements earthquake, lithology the characteristics and attitude of phyllite mass with thin layered structure. These understandings can provide guides for planning and designing the new G212.

**Key words:** landslide; engineering geological condition; neotectonic movement; earthquake

**作者简介:** 张帆宇(1983— ),男,硕士研究生,2004年毕业于兰州大学资源环境学院地质工程专业。