

文章编号: 1674—8247(2018)02—0023—04

## 顺层桥基岸坡在错落体作用下的稳定性分析

朱磊 谢强 赵文

(西南交通大学, 成都 610031)

**摘要:**受地质构造影响和长大贯通节理切割,郑万高速铁路大宁河大桥万州端桥基处于潜在错落体的顺层岸坡上。岸坡的稳定性除了受控于顺层外,潜在错落体对岸坡稳定性的影响也不容忽视。本文在对桥址区域地质和上下游岸坡现状调查分析的基础上,进一步对岸坡的稳定性进行计算分析。结果表明,顺层和错落体的安全储备均不足,其中地震和库水涨落是影响岸坡稳定性的主要因素,只有对顺层和错落体均进行加固处理,才能保证桥基岸坡的稳定和桥梁工程的安全。

**关键词:**桥基顺层岸坡; 错落体; 长大贯通节理; 库水涨落; 岸坡破坏模式

中图分类号: U442.2 文献标志码: A

## Stability Analysis of Bedding Slope of Bridge Foundation under the Action of Faulted Rock Mass

ZHU Lei XIE Qiang ZHAO Wen

(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Affected by the geological structure and long penetrative joint, the bridge foundation on the Wanzhou end of Daning River Major Bridge of the Zhengzhou-Wanzhou railway is located on the bedding slope with faulted rock mass. The slope stability is not only controlled by the bedding rock, but also by the influence of the potential faulted rock mass. Based on the investigation and analysis of regional geology condition and bank slope both upstream and downstream on the bridge site, the bank stability is further calculated and analyzed. The results show that the bedding slope and the faulted rock mass are not safe, and earthquake and water level fluctuating are the main factors to affect bank stability. In order to ensure the stability of bridge foundation and the security of the bridge engineering, it might reinforce and control both bedding slope and faulted rock mass.

**Key words:** bedding slope of bridge foundation; faulted rock mass; long penetrative joint; water level fluctuating; slope failure mode

拟建郑万高速铁路大宁河大桥位于重庆市巫山县桂花村,以(90+180+90)m的孔跨式样跨越大宁河“V”字型峡谷。受区域地质构造的影响和长大节理的切割,桥址区上游巴雾峡右岸和下游岸坡多处发育有不同规模的错落体,对顺层岸坡稳定性的影响,大宁河

大桥万州岸桥基就处于潜在大型错落体的顺层岸坡上。在三峡库水涨落、暴雨、荷载和地震等因素的影响下,桥基岸坡的稳定性除受顺层作用影响外,潜在错落体对桥基岸坡的稳定性影响也不容忽视。目前,学者蒋爵光<sup>[1]</sup>、宁振民<sup>[2]</sup>、任新红<sup>[3]</sup>、何文勇<sup>[4]</sup>及江廷柱等

收稿日期:2018-01-08

作者简介:朱磊(1984-),男,在读博士研究生。

引文格式:朱磊,谢强,赵文. 顺层桥基岸坡在错落体作用下的稳定性分析[J]. 高速铁路技术,2018,9(2):23-26.

ZHU Lei, XIE Qiang, ZHAO Wen. Stability Analysis of Bedding Slope of Bridge Foundation under the Action of Faulted Rock Mass [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(2): 23-26.

人<sup>[5]</sup>对国内一些大桥的桥基岸坡稳定性进行了分析和研究,其成果为桥基岸坡工程的治理和评价提供了重要的参考价值。但对于大宁河这类桥墩处于潜在错落体上的顺层桥基岸坡的稳定性研究还相对较少,可借鉴的工程实例不多。本文通过对桥址区区域地质分析、上下游岸坡现状调查和理论计算对桥基岸坡稳定性进行分析和评价,并提出相应的工程建议,为今后的桥基岸坡勘察设计工作积累宝贵的工程经验。

## 1 区域地质构造

大宁河大桥桥址区地层岩性为嘉陵江组三、组四段灰岩,岩层产状 $N52^{\circ}\sim 61^{\circ}W/25^{\circ}\sim 27^{\circ}N$ ,桥址区位于区域大背斜—齐耀山背斜北东端南东翼,线路从其次级褶皱东坝向斜南翼与桃子坪背斜北翼通过。桥址所处位置为次一级背斜核部倾伏端,受背斜和附近大断裂影响,背斜顶部形成了一系列近东西向放射状节理(J1)和南北走向节理(J2),如图1所示。

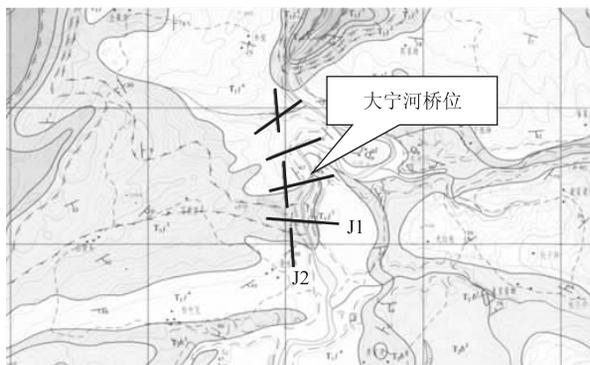


图1 桥址区区域地质构造图

在区域地质构造的影响下,万州岸桥址墩台区发育有两条长大贯通性节理 J1-1 和 J1-2(如图2所示),

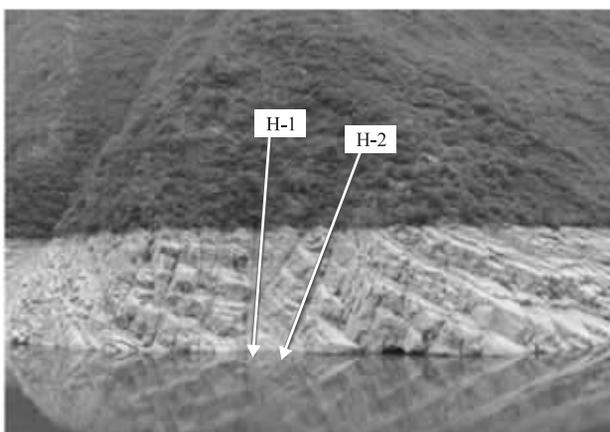


图2 万州端桥基岸坡长大贯通节理

其中左侧节理 J1-1,产状 $175^{\circ}\angle 76^{\circ}$ ,隙宽约1.2 m,由碎石填充,碎石粒径2~10 cm,迹长大于50 m,贯通性好,节理壁粗糙起伏;右侧节理 J1-2,产状 $171^{\circ}\angle 57^{\circ}$ ,隙宽约1.5 m,碎石填充,碎石粒径2~8 cm,迹长大于60 m,贯通性好,节理壁粗糙起伏。受长大贯通节理、卸荷节理 J2 和层理的相互切割作用,桥基岸坡在墩台区形成了潜在巨型错落体。潜在错落体对桥基顺层岸坡的稳定性存在极大的安全隐患。

## 2 岸坡破坏模式现状

在区域地质构造分析的基础上发现,构造节理 J1 和 J2 使大宁河大桥上、下游岸坡均发生了不同程度的破坏现象,其破坏模式基本一致。图3显示了大宁河下游岸坡数个危岩错落体形态。图4为距桥位上游约2 km处巴雾峡右岸(万州岸)发育的错落体。

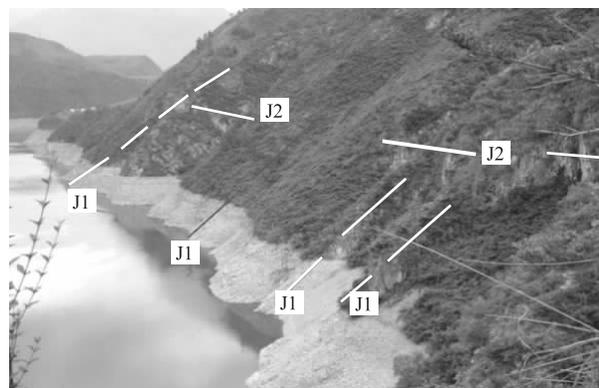


图3 桥址区下游危岩错落体形态

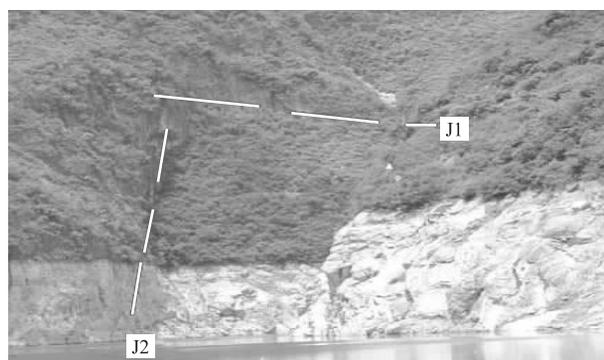


图4 万州岸大宁河上游巴雾峡岸坡破坏模式

岸坡破坏模式现状调查,结果表明,错落体的形态是岸坡在区域构造节理作用下的必然产物,拟建大宁河大桥万州岸桥墩就处在类似破坏模式的潜在错落体上,如图5所示。因此,错落体的稳定性直接影响着顺层桥基岸坡的稳定及桥梁工程的安全。

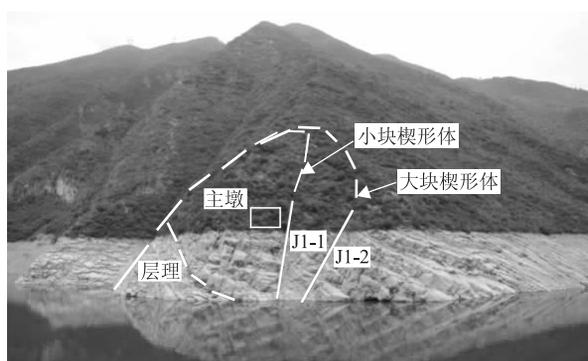


图5 桥址区潜在错落体

### 3 稳定性计算分析

根据上述分析结果,桥基岸坡的稳定性不仅取决于顺层的稳定性,同时还受控于潜在错落体的稳定性。对于顺层问题,在勘察初期,便采用了条分法<sup>[6]</sup>与Sarma法<sup>[7]</sup>对其进行计算分析,计算结果表明,天然状态下岸坡顺层滑动处于弱稳定~稳定状态,长久稳定性安全储备不足。在桥梁荷载和天然不利因素(暴雨、地震及水位降)的综合作用下,顺层岸坡稳定性可进入极限平衡状态,安全储备严重不足。且潜在错落体的稳定性同样对岸坡的稳定起着举足轻重的作用,因此需要仔细全面且深入地对错落体在库水涨落、暴雨、荷载和地震等因素影响下的稳定性进行分析,作出科学合理的判断。

#### 3.1 潜在错落体规模的确定

根据地形、工程荷载条件及赤平投影分析,桥址区万州岸岸坡在长大贯通节理切割作用下形成的错落体易沿桥基桩底的岩层面和河谷坡脚剪出的岩层面发生失稳。经分析,结构面最不利组合情况为沿河谷坡脚剪出的岩层面发生失稳,应对其进行重点研究。根据现场调查结果,桥梁主墩右侧15 m处的贯通节理J1-1与沿河谷坡脚剪出的层面相互作用形成的潜在错落体体积为 $2.59 \times 10^5 \text{ m}^3$ (以下简称为小楔形错落体);桥梁主墩右侧25 m处存在的J1-2贯通节理与河谷坡脚剪出的层面相互作用形成的错落体体积为 $5.1 \times 10^5 \text{ m}^3$ (以下简称为大楔形错落体)。

#### 3.2 计算工况

岸坡稳定性影响因素主要为地震、荷载、库水位降和暴雨。本次计算中,库水位<sup>[8]</sup>重点考虑了145 m和175 m两种水位情况,计算中除了考虑单独影响因素作用外,还考虑了各影响因素之间的相互组合,但在175 m水位时不考虑暴雨作用,145 m水位时不考虑库

水位降的影响,其中175 m水位最不利的工况组合为地震+荷载+库水位降30 m,145 m水位最不利的工况组合为地震+荷载+暴雨,计算工况共16种<sup>[9-10]</sup>。

#### 3.3 计算参数选取

计算参数通过类比三峡库区地质灾害数据库<sup>[9]</sup>中附近工点的试验参数并结合现场测试确定。计算参数 $c$ 、 $\varphi$ 取值如表1所示。

表1 计算参数取值表

参数	取值
岩体天然重度 $\gamma_1/(\text{kN/m}^3)$	25
岩体饱和重度 $\gamma_2/(\text{kN/m}^3)$	26
层理水上内摩擦角 $\varphi_1/(\text{°})$	28
层理水上粘聚力 $c_1/\text{kPa}$	80
层理水下内摩擦角 $\varphi_2/(\text{°})$	26
层理水下粘聚力 $c_2/\text{kPa}$	50
节理水上内摩擦角 $\varphi_3/(\text{°})$	30
节理水上粘聚力 $c_3/\text{kPa}$	100
节理水下内摩擦角 $\varphi_4/(\text{°})$	28
节理水下粘聚力 $c_4/\text{kPa}$	50

#### 3.4 计算结果分析

潜在错落体的计算结果表明,天然状态下175 m水位,大、小楔形错落体的稳定系数分别为1.90和1.98,当水位为145 m时,两个楔形体的稳定性系数分别为1.96和2.06,因此判定天然工况下错落体处于稳定状态。在其他各影响因素中,地震对错落体的稳定性影响最大,错落体稳定性系数降低幅度为13.1%左右,其次为水位降30 m,错落体稳定性系数降低幅度为5.8%左右,荷载作用对桥基岸坡的稳定性影响不大。在最不利工况组合下,大楔形错落体的稳定性系数为1.57,小楔形错落体的稳定性系数为1.63,错落体仍处于稳定状态。但考虑库水位反复升降对岸坡的冲刷弱化作用,潜在错落体的安全储备明显不足,建议进行加固处理。

## 4 结论

(1)区域地质构造分析结果表明,倾伏背斜形成的放射状构造节理是岸坡发生错落破坏的前提条件,潜在错落体对顺层岸坡的稳定性产生直接影响,桥基岸坡的稳定性不仅取决于顺层,同时也受潜在错落体控制。

(2)稳定性计算结果表明,地震和库水涨落是影响岸坡稳定性的主要考虑因素,桥梁荷载作用对岸坡稳定性影响不大,在最不利工况组合作用下,顺层滑动

处于弱稳定状态,潜在错落体处于稳定性状态。考虑到库水涨落的长久影响,顺层和潜在错落体的安全储备不足,只有对二者都进行加固治理,才可保证桥基岸坡的稳定和桥梁工程的安全。

## 参考文献:

- [1] 蒋爵光, 谢强, 吴光. 北盘江大桥岸坡稳定性及桥基选址的综合分析[J]. 铁道工程学报, 1995, 12(3): 75-81.  
JIANG Jueguang, XIE Qiang, WU Guang. Comprehensive Analysis of Slope Stability and Location Selection of Beipanjiang Major bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 1995, 12(3): 75-81.
- [2] 宁振民, 杨文锋. 三峡库区特大桥岸坡变形特征及稳定性评价研究[J]. 中国水运, 2008, 8(9): 220-222.  
NING Zhenmin, YANG Wenfeng. Evaluation Research of Characteristics and Stability of Slope Deformation in the Super Major Bridge of Three Gorges Reservoir [J]. China Water Transport, 2008, 8(9): 220-222.
- [3] 任新红, 荆志东, 唐宇. 澜沧江大桥桥基岸坡稳定性分析[J]. 路基工程, 2009, 23(3): 120-122.  
REN Xinhong, JING Zhidong, TANG Yu. Stability Analysis of Slope of Lancang River Major Bridge [J]. Subgrade Engineering, 2009, 23(3): 120-122.
- [4] 何文勇, 龙万学, 罗勇. 六冲河特大桥岸坡稳定性评价参数反演分析[J]. 工程勘察, 2010(S1): 540-545.  
HE Wen Yong, LONG Wanxue, LUO Yong. Inverse Analysis of Evaluation Parameters of Slope Stability of Liuchong River Super Major Bridge [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2010(S1): 540-545.
- [5] 江廷柱, 张广泽, 蒋良文. 织毕铁路架盖河大桥桥位岸坡稳定性评价[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(6): 46-49.  
JIANG Tingzhu, ZHANG Guangze, JIANG Liangwen. The Bank Slope Stability Evaluation of Jiagai River Bridge in Zhijin - Bijie Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society. 2014, 31(6): 46-49.
- [6] 张鲁渝. 一个用于边坡稳定分析的通用条分法[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(3): 496-501.  
ZHANG Luyu. Generalized Limit Equilibrium Method for Slope Stability Analysis [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(3): 496-501.
- [7] 熊将, 王涛, 盛谦. 库区边坡稳定性计算的改进 Sarma 法[J]. 岩土力学, 2006, 27(2): 323-326.  
XIONG Jiang, WANG Tao, SHENG Qian. Improved Sarma Method for Computing Slope Stability in Reservoir Region [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(2): 323-326.
- [8] 刘会. 三峡库区水位变化对库岸影响的探讨[J]. 人民长江, 2008, 39(16): 91-93.  
LIU Hui. Discussion on the Influence on Reservoir Bank from Water Level Change of the Three Gorges Reservoir [J]. Yangtze River. 2008, 39(16): 91-93.
- [9] 康景文, 谢强, 陈云. 山地蓄水地质灾害治理工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.  
KANG Jingwen, XIE Qiang, CHEN Yun. Geological Disaster Treatment Project of Water Storage [J]. Beijing: China Architecture & building Press, 2015.
- [10] 文翠英. 顺层岩质路堑边坡稳定性分析[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(5): 14-17.  
WEN Cuiying. Stability Analysis of Bedding Rock Cutting Slope [J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(5): 14-17.

(编辑:赵立红 白雪)