

水公河特大桥梁岸坡稳定性分析

田学军¹, 段利媛²

(1. 贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550081; 2. 贵州轻工职业技术学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 水公河特大桥梁为中国西部典型深切峡谷地区修建的桥梁, 本文采用地质调绘、钻探、物探、槽探、测量、取样试验等综合勘察手段, 查明桥区工程地质条件, 并采用 UEDC 离散元软件, 分析在不同工况下两岸岸坡的稳定性, 为桥梁设计方案提供支持。本文对深切峡谷地区桥梁岸坡稳定性评价具有一定的参考价值。

关键词: 水公河特大桥梁; 岸坡; 数值模拟分析

中图分类号: U675.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0137—03

随着贵州高速公路的飞速发展, 在地形高差大、地质条件差的深切峡谷区建桥将不可避免, 峡谷岸坡的稳定性直接影响桥梁方案是否可行, 因此对桥梁岸坡稳定性评价变得非常重要。本文将依托水公河特大桥梁, 采用综合勘察手段, 评价岸坡的稳定性, 来支撑桥梁设计方案。

1 工程概况

拟建水公河特大桥梁主跨 200m 刚构, 桥面净宽 1×11m, 设计时速 60km/h。桥区全貌照片如图 1。

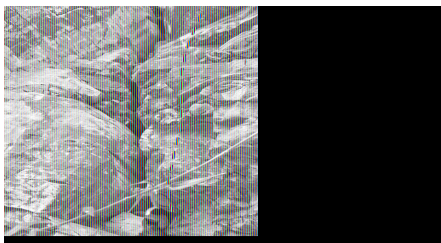


图 1 桥区全貌照片

2 桥区工程地质条件

2.1 地形、地貌

场区属溶蚀-侵蚀低中山地貌单元。桥梁横跨水公河, 河谷宽约 120~140m, 深约 70~96m。百兴岸、张家湾岸均为陡坡-陡崖。桥梁基线通过地段的标高为 1347.5~1568.5m, 相对高差 221.0m, 桥面距离沟底 216.9m。

2.2 水文

项目区属长江流域乌江水系三岔河支流。场区发育水公河, 勘察期间流量为 1~2L/s, 测时水位标高为 1344.4m, 调访最高洪水水位标高为 1347.4m。

2.3 地层岩性

场区出露地层为第四系残坡积层 (Qel+dl) 含碎石

粉质黏土、冲洪积层 (Qal+pl) 卵石土; 下伏基岩为三叠系下统夜郎组第三段 (T1y3) 灰岩、粉砂质泥岩夹泥灰岩, 三叠系下统永宁镇组第一段 (T1yn1) 灰岩。

2.4 地质构造与地震

场区无断层通过, 岩层单斜, 岩层产状 $5^{\circ} \sim 31^{\circ} \angle 5^{\circ} \sim 11^{\circ}$ 。场区地震动反应频谱特征周期为 0.4s, 地震动峰值加速度值为 0.05g, 为 VI 度区。

3 桥区工程地质问题

桥区不良地质为危岩体、岩溶和卸荷裂隙。

危岩体 W2 分布于 K11+790~K11+984 右 2~122m 陡崖一带, 发育高程介于 1404.2~1460.5m, 位于 10# 主墩上部, 危岩体切割深度 10~15m, 形成长约 365m、宽约 8~15m, 高约 15~30m, 对桥梁结构安全有影响, 建议进行清除并锚固处理。

岩溶: 两岸主墩共施工 22 个钻孔, 仅 1 个遇溶洞, 采用了高密度电法对两岸主墩进行物探测试, 未发现大规模低阻异常。岩溶对桥梁岸坡稳定性无影响。

百兴岸卸荷裂隙:



图 2 百兴岸卸荷裂隙和探槽照片

百兴岸前缘发育卸荷裂隙带, 陡倾节理 J1 张开, 最大张开可见 10cm。主墩已避开该卸荷裂隙带。

张家湾岸卸荷裂隙:



图 3 张家湾岸卸荷裂隙和探槽照片

百兴岸前缘陡崖发育卸荷裂隙带，裂隙带宽度 5 ~ 10m，深度约 10m，基本与陡崖平行发育，主墩已进行避让。

4 岸坡稳定性评价

4.1 稳定性计算参数

采用室内试验、规范推荐相结合的方式，并结合现场工程地质条件，综合确定岩土体参数取值详见表 1。

表 1 水公河特大桥梁岩土体物理力学参数取值

物理力学参数	重度 γ (KN/m ³)		粘聚力 C (kPa)		内摩擦角 φ (°)	
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
强风化粉砂质泥岩夹泥灰岩	22	23	55	45	17	16
中风化粉砂质泥岩夹泥灰岩	24	25	380	340	36	34
强风化灰岩	24	25	90	80	21	20
中风化灰岩	26	27	500	450	48	46
强风化粉砂质泥岩夹泥灰岩层面	-	-	30	25	14	12
中风化粉砂质泥岩夹泥灰岩层面	-	-	70	55	25	23
强风化灰岩层面	-	-	45	35	18	16
中风化灰岩层面	-	-	110	90	30	28

4.2 百兴岸岸坡地质分析及稳定性计算

4.2.1 百兴岸岸坡地质分析

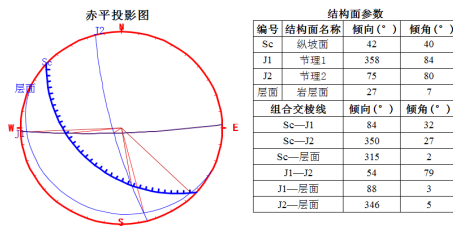


图 4 百兴岸赤平投影

顺向坡，倾角为 7°，岸坡存在一组陡倾节理 J2，倾向坡外。①前缘岩体受卸荷裂隙带及节理 J2（同时考虑层面）综合控制的稳定性；②受桥梁加载，岸坡顺节理 J2 和层面控制，前缘岩体发生破坏。

4.2.2 百兴岸岸坡稳定性计算

根据定性分析，岸坡稳定性主要受节理、层面控制，计算选用 UEDC 离散元软件，地质模型如图 5，计算结果见表 2。

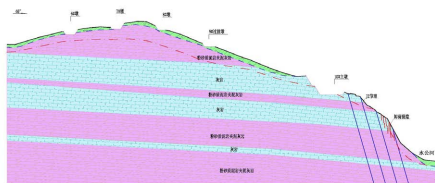


图 5 百兴岸纵桥向地质模型

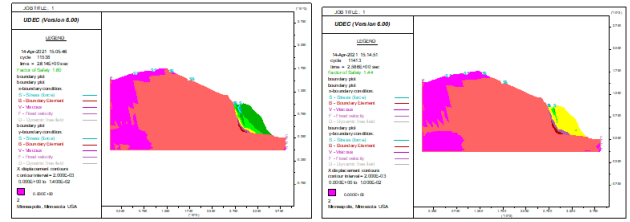


图 6 百兴岸正常工况稳定性 (Fs=1.60) 图 7 百兴岸暴雨工况稳定性 (Fs=1.44)

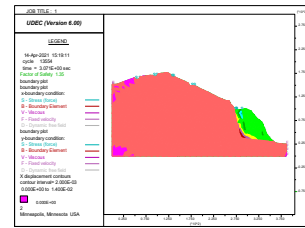


图 8 百兴岸地震工况稳定性 (Fs=1.35)

表 2 百兴岸稳定性计算成果表

工况	稳定系数	控制标准	备注
工况 I：岸坡自重	1.60	1.35	
工况 II：岸坡自重+暴雨	1.44	1.25	
工况 III：岸坡自重+暴雨+地震荷载	1.35	1.15	

4.2.3 百兴岸岸坡变形数值模拟

采用 UEDC 离散元软件，以莫尔-库伦为本构模型，综合地质条件和桥梁荷载，各工况变形均为毫米级，满足控制要求。

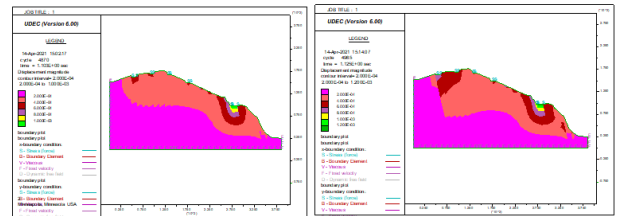


图 9 百兴岸正常工况总位移矢量云图 图 10 百兴岸暴雨工况总位移矢量云图

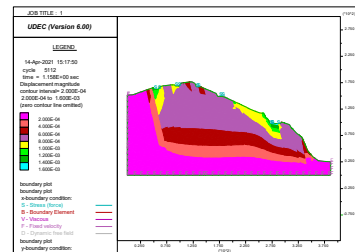
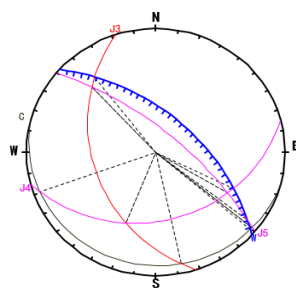


图 11 百兴岸地震工况总位移矢量云图

4.3 张家湾岸岸坡地质分析及稳定性计算

4.3.1 张家湾岸岸坡地质分析

张家湾岸地层产状 15° ~ 35° ∠ 5° ~ 8°，发育三组规律性结构面，J3 节理 72° ∠ 38°；J4 节理 345° ∠ 32°；J5 节理 220° ∠ 70°。



参数汇总表			
编号	结构面名称	倾向(°)	倾角(°)
W	开挖层面	222	56
C	岩层面	15	5
J3	节理面1	72	38
J4	节理面2	345	32
J5	节理面3	220	70
组合交线			
编号	倾向(°)	倾角(°)	
W-C	311	2	
W-J3	142	15	
W-J4	296	22	
W-J5	308	6	
C-J3	348	4	
C-J4	70	3	
C-J5	309	2	
J3-J4	22	27	
J3-J5	137	18	
J4-J5	301	24	

图 12 张家湾岸赤平投影

岸坡为反向坡, J5 节理顺坡向, 但坡度较陡, 大于自然坡面。①前缘岩体受卸荷裂隙带控制的稳定性; ②受桥梁加载, 岸坡顺节理 J5 剪断前缘岩体发生破坏。

4.3.2 张家湾岸岸坡稳定性计算

定量计算采用 UEDC 离散元软件进行, 地质模型如图 13:

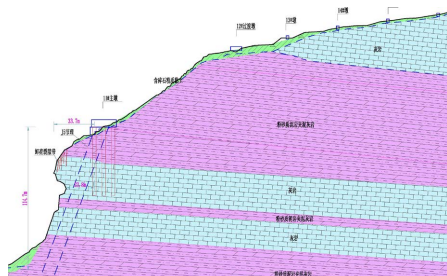


图 13 张家湾岸纵桥向地质模型

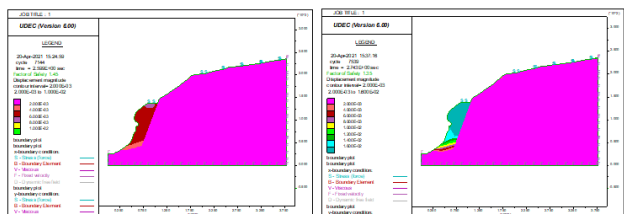


图 14 张家湾岸正常工况 ($F_s=1.45$) 图 15 张家湾岸暴雨工况 ($F_s=1.35$)

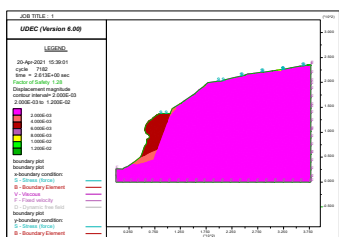


图 16 张家湾岸地震工况 ($F_s=1.28$)

表 3 张家湾岸稳定性计算成果表

工况	稳定系数	控制标准	备注
工况 I: 岸坡自重	1.45	1.35	
工况 II: 岸坡自重+暴雨	1.35	1.25	
工况 III: 岸坡自重+暴雨+地震荷载	1.28	1.15	

4.3.3 岸坡变形数值模拟

采用 UEDC 离散元计算软件, 以莫尔-库伦理论作为计算本构模型, 计算结果表明, 各工况变形均满足控制要求。

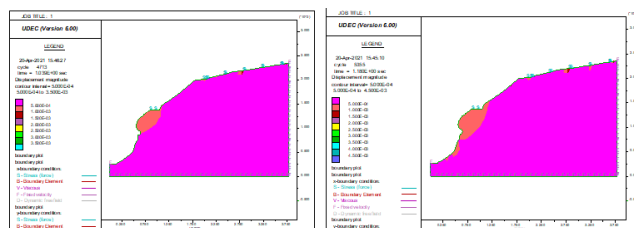


图 17 张家湾岸正常工况总位移矢量云图 图 18 张家湾岸暴雨工况总位移矢量

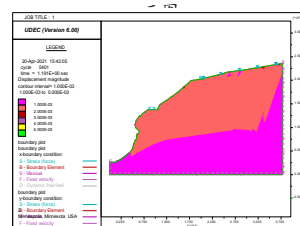


图 19 张家湾岸地震工况总位移矢量云图

5 结论与建议

- (1) 百兴岸和张家湾岸主跨 200m 刚构方案在各工况下岸坡稳定性均满足安全控制标准。
- (2) 在桥梁荷载作用下, 两岸岸坡变形均为毫米级, 变形满足控制标准。
- (3) 百兴岸于 K11+943 ~ K11+984 范围内的危岩体 W2 威胁 10# 主墩安全, 建议局部清除并锚固。
- (4) 边坡、墩台基础开挖应采取相应的爆破控制措施减少对岩体的震动及破裂破坏。

参考文献:

- [1] 罗勇, 李春峰. 含软弱夹层顺倾岸坡稳定性评价技术研究 [J]. 中外公路, 2013(5).
- [2] 陈祖煜, 汪小刚, 杨健. 岩质边坡稳定分析 [J]. 原理、方法、程序, 中国水利水电出版社, 2005.
- [3] 周松, 田学军等. 深切峡谷大跨径桥梁勘察及岸坡稳定性研究 [J]. 中外公路, 2021, 41(S2)