

巴东长江大桥地质环境与岩土工程问题研究

刘佑荣,唐辉明,方云,贾洪彪,王亮清,童宏纲,严春杰

(中国地质大学工程学院,湖北武汉 430074)

摘要: 巴东长江大桥是连接 209 国道的特大型公路大桥,地处长江三峡地质条件最复杂的地区,桥位区滑坡崩塌较发育. 为确保大桥安全稳定并为设计提供科学依据,采用结构面网络模拟技术进行了岩体结构模拟,应用弹塑性有限元法及块体极限平衡法,对桥位存在的桥台斜坡和桥墩基础地基稳定性等岩土工程问题进行了系统的分析论述. 同时,对断裂破碎岩体及风化岩体、滑坡对大桥的影响进行了分析. 在此基础上提出了桥墩基础形式、桩基深度、持力层及承载力和桥台斜坡治理的建议.

关键词: 桥位;地质环境;岩土工程问题;斜坡;桥墩基础;稳定性.

中图分类号: TU43 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0410-05

作者简介: 刘佑荣(1955—),男,副教授,1982年毕业于武汉地质学院水文地质及工程地质专业,主要从事工程地质及岩体力学教学科研工作.

1 地质环境概况

巴东地区地形上属于鄂西中高山长江三峡河谷地貌,相对高差 220~300 m,地势上北岸较缓,坡角约 20°~35°;南岸较陡,坡角约 35°~65°,长江枯水位约 66.5 m,一般洪水位 90 m. 桥位区地处亚热带季风性气候区,雨量充沛,多暴雨,年平均降雨量 1 347.6 mm,日最大降雨量可达 193.3 mm. 桥位区基岩地层为中三叠统巴东组第三段(T₂b³)泥质灰岩与泥灰岩互层夹灰岩及第二段(T₂b²)粉砂质泥岩夹粉砂岩. 区内断层发育且规模较小,多为节理、劈理密集带,破碎带宽达 4~5 m,以近 SN 向和近 EW 向为主. 岩体中节理、劈理十分发育,计有 4 组节理和一组近 EW 向的劈理. 桥位区滑坡崩塌较发育,多以小型浅表层土石崩滑为主,未见大型深层滑坡,岩体风化较严重,岩体破碎,对大桥建设影响较大.

2 岩体结构特征及岩体工程性质

根据野外结构面实测及计算机结构面网络模拟(图1),可知:区内岩体中普遍发育4~5组节理,节

表1 桥位区岩体力学计算参数建议值

Table 1 Rock mechanics parameters proposed

岩组	I	II	III	IV
$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	2.70	2.72(2.73)	2.65(2.67)	2.35
E_m/GPa	3.31	4.00(4.50)	2.50(3.70)	1.50
泊松比 μ	0.30	0.20(0.20)	0.25(0.25)	0.35
σ_{mc}/MPa	0.30	2.40(2.70)	1.20(1.50)	0.15
σ_{mt}/MPa	0.03	0.21(0.25)	0.10(0.15)	0.01
c_m/kPa	190	400(500)	300(400)	170
$\varphi_m/(^\circ)$	23	36(38)	30(34)	20

括号内数值为南岸岩组,括号外为北岸岩组, ρ 密度; E_m 弹性模量; σ_{mc} 单轴抗压强度; σ_{mt} 单轴抗拉强度; c_m 粘聚力; φ_m 内摩擦角.

理倾角较陡;结构面连通性较好,多张开,隙宽多在 5 mm 以下,结构面线密度一般为 0.7~3.2 条/m;岩体结构主要为层状结构及层状碎裂结构^[1,2].

根据各类岩体工程地质特征及实验资料,将区内岩体划分为 4 个工程地质岩组. 分别采用 RMR 和 Q 分类方法对各岩组进行岩体分类,利用分类中的 RMR 值、Q 值和 Hock-Brown 法估算出岩体的强度方程如图 2 所示. 各类岩体计算参数建议值见表 1.

3 桥位区斜坡稳定性分析

3.1 滑坡稳定性及其对大桥的影响

根据地质调查稳定性分析,桥位区发现的滑坡

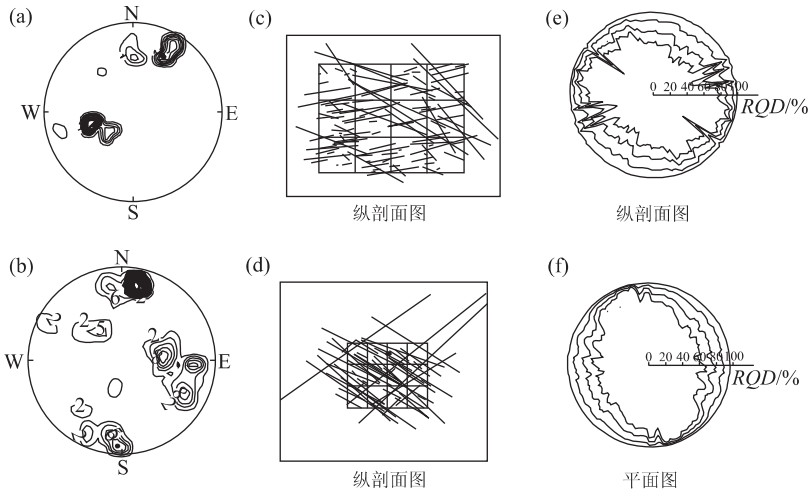


图 1 岩体结构面等密度、网络图及 RQD 分布

Fig. 1 Equal density, net and RQD distribution of rock discontinuities
a, b. T_2b^2, T_2b^3 的等密度图; c, d. T_2b^2, T_2b^3 的网络图; e, f. T_2b^2, T_2b^3 的 RQD(岩体质量指标)分布图,其中分类间距 $T=0.7, 0.5, 0.3, 0.1$ m

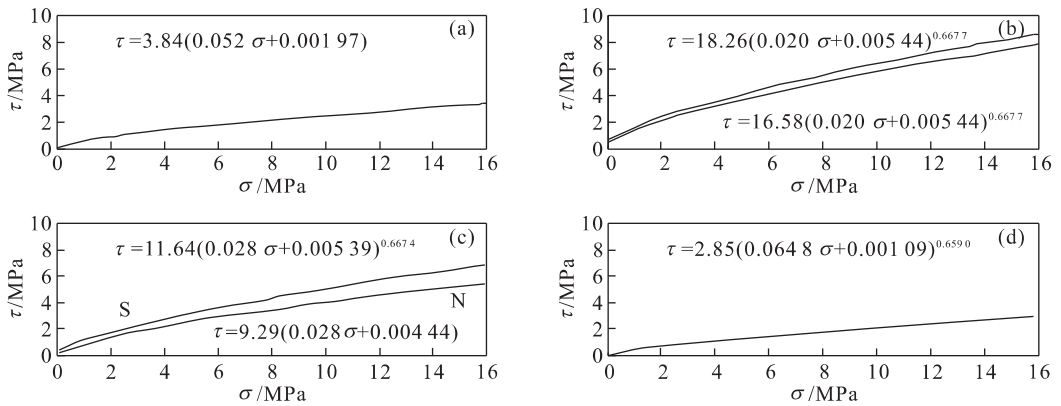


图 2 岩体 Hock-Brown 强度包络线

Fig. 2 Hock-Brown curves of rock mass strength

目前以局部浅表层碎石及土的崩滑为主,在三峡库水作用特别是当库水位反复波动及地震作用下,滑坡体中下部(太矶头东滑坡、西瀼口滑坡),甚至全部(唐家湾滑坡)处于库水浸泡下,可能诱发滑坡,对大桥有一定的影响.主要表现在当滑坡整体失稳时产生的波浪冲击桥墩及其岩基,另外桥两侧滑坡失稳后的地形变化也将对长江水流及轴线斜坡稳定性产生一定的影响.特别是西瀼口与唐家湾两处滑坡分别紧邻桥轴线东、西两侧,距轴线距离最近仅 50 m 左右,其影响尤应注意^[3].

3.2 斜坡稳定性分析

3.2.1 弹塑性非线性有限元分析 其力学模型和网格剖分见图 3.考虑岩体自重、桥荷重、水压力、长江水位变化及地震等因素组合共 10 种计算方案,结

果如图 4 所示.

(1)长江北岸.斜坡初始应力场及初始位移场由自重荷载形成,后期各种状态下的应力场及初始位移场是后期荷载作用与初始应力场叠加的结果.最大主应力方向与坡面一致;在库水位上升或下降时,坡脚、靠近坡面处应力及位移有所变化;在叠加地震力桥墩荷载作用下,应力及位移都普遍增大,主桥墩作用的应力影响深度大约 60 m 左右.稳定性分析可以看出,无江水和地下水作用时,江北斜坡稳定性较好,在坡体中几乎没有失稳的区域.仅在斜坡内部可见一稳定性系数为 1.0 的区域,这一区域没有延伸到斜坡表面,说明仅仅是斜坡内部岩体的屈服;当水位上升和骤降时,斜坡整体稳定性较好;在叠加地震

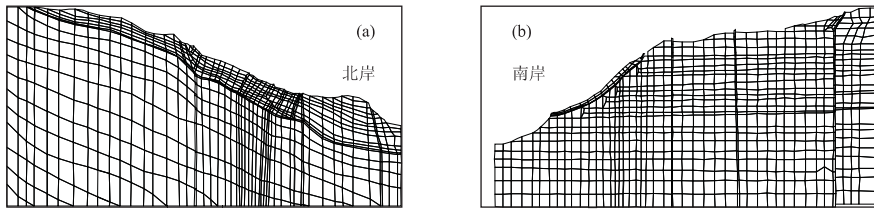


图 3 斜坡有限元力学模型及网络划分

Fig. 3 Slope mechanics FEM model and grid division

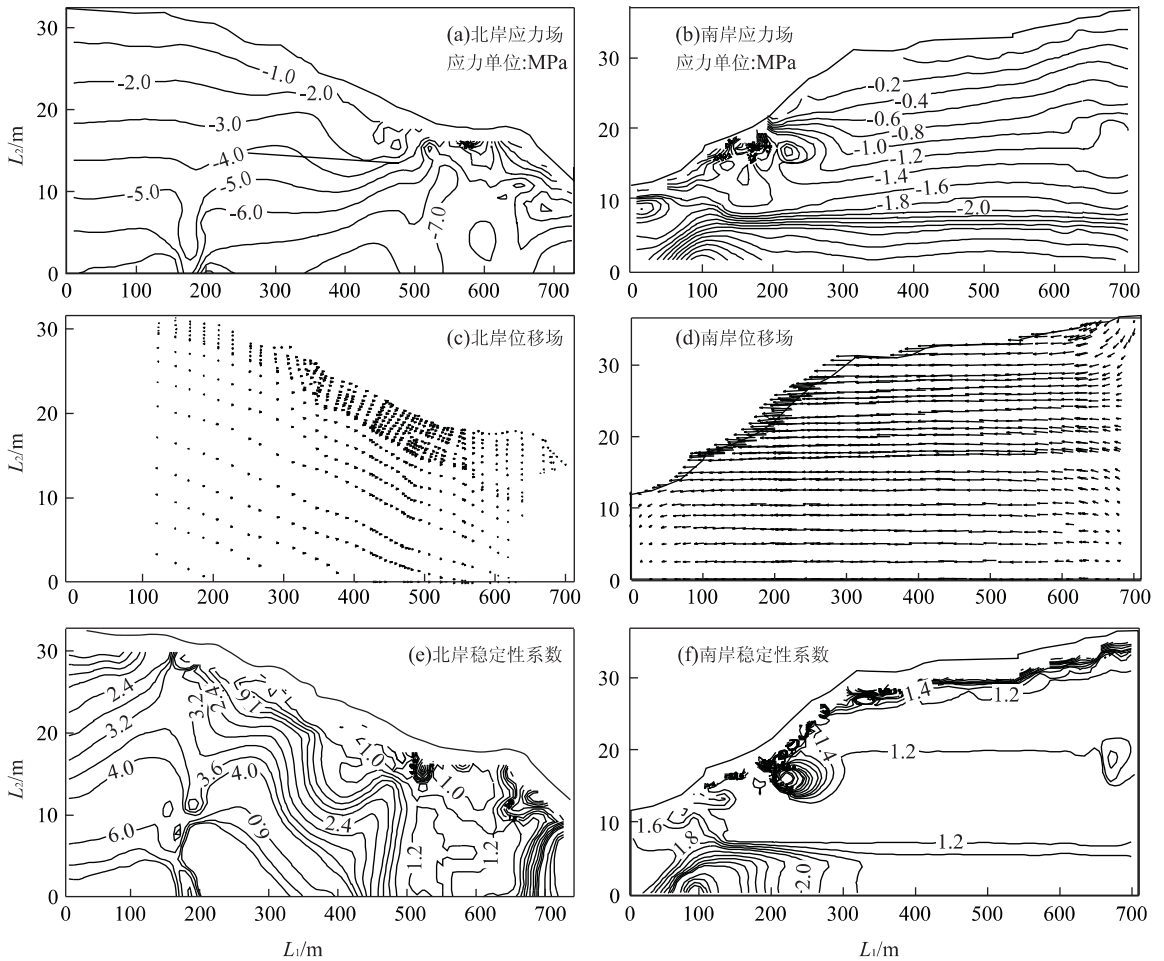


图 4 斜坡应力、位移场及稳定性系数等值线(水位 175 m 骤降至 145 m 叠加地震及桥荷载)

Fig. 4 Slope stress, displacement and stability isolines

力作用下,斜坡稳定性有所降低,但整体上也还是稳定的;在考虑桥墩荷载作用时,斜坡的稳定性系数有所减小,但对斜坡的整体稳定性影响较小;当水位骤降且叠加地震力作用时,在软弱破碎带和 T_2b^2 与 T_2b^3 界面处稳定性系数为 1 或小于 1,边坡处于不稳定状态。

(2)长江南岸. 斜坡初始应力场及初始位移场也是自重荷载形成,后期各种状态下的应力场及初始位移场是后期荷载作用与初始应力场叠加的结果。

在靠近坡面处,大主压应力方向与坡面一致. 在库水位骤降时,应力在坡脚和坡面处有减小的趋势,其他部位变化不大;在桥墩荷载叠加地震力作用下,斜坡内应力及位移明显增大;主桥墩作用的应力影响深度大约为 50 m 左右. 稳定性分析可以看出,无水作用下,斜坡稳定性较好,坡体中几乎没有失稳区域;当水位上升时,由于水的作用,使斜坡稳定性系数发生变化,但斜坡整体稳定性系数较高;当水位骤降时,斜坡整体稳定性较好;在叠加地震力作用下,斜

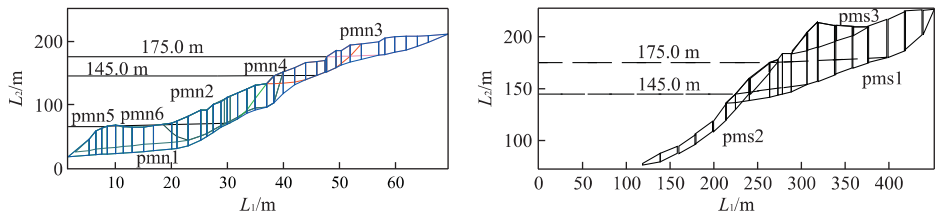


图 5 斜坡稳定性计算模型

Fig. 5 Calculate model of slope stability

pmn3—pmn6. 北岸潜在滑动面编号; pms1—pms3. 南岸潜在滑动面编号

坡稳定性有所降低,但整体上是稳定的;在桥墩荷载作用下,斜坡的稳定性系数有所减小,但斜坡仍处于基本稳定状态。

3.2.2 块体极限平衡法分析 据地质调查构成斜坡潜在滑动面的有如下几种,即 T_2b^2 与 T_2b^3 岩层交界面;软弱破碎带;第四系与基岩的接触面等。据此确定斜坡稳定性计算模型如图 5。考虑岩体自重、桥荷重、水压力、长江水位变化及地震等因素组合共 24 种计算方案。计算结果表明:北岸斜坡稳定性在天然状况下,斜坡处于稳定状态。6 个潜在滑动面的稳定性系数都大于 1.8;水库运行期间,斜坡处于基本稳定状态;考虑不同水库水位、水位骤降及所有桥墩荷载及地震力同时作用时,斜坡有发生整体失稳的可能。鉴于此,建议桥墩基础桩穿过 T_2b^3 与 T_2b^2 界面,以微风化基岩为持力层。南岸斜坡稳定性在天然状况下,处于稳定状态;水库运行期间, Q^{mc} 抛土处于失稳状态,建议对此进行清除。其他滑面处于稳定状态;当水库水位骤降且叠加地震力时,处于基本稳定状态^[3]。

4 桥墩基础地基稳定性分析

4.1 扩大墩基础地基稳定性评价

根据桥位工程地质条件,选择微风化和新鲜基岩作为桥墩台基础持力层。依据岩体力学性质参数及岩石室内试验数据为基础,提出岩体地基的承载力建议值如表 2 所示。

4.2 扩大墩基础基坑边坡稳定性评价

据设计主桥墩基础面积约 $36 \times 26 \text{ m}^2$,基础深度北岸 30 m 左右,南岸 20 m 左右。据稳定性分析:北岸基坑南帮边坡为逆向坡,边坡整体稳定性较好,不会发生大规模失稳现象;东、西帮为斜交坡,基坑稳定性相对较好;基坑北帮边坡为切脚顺向坡,边坡稳定性差,在自重作用下就可能发生失稳,须采取防

表 2 桥位区岩体承载力

Table 2 Rockmass capacity in bridge site

岩性	σ_{cw}/MPa	σ_{mc}/MPa	$\varphi_m/(\text{°})$	f_0/kPa	f_r/kPa	f_s/kPa	f_p/kPa
1	48.6	2.4	36	4 500	11 600	9 600	3 500
2	34.2	1.2	30	4 000	4 800	6 800	3 000
3	14.7	0.15	20	1 500	450	2 900	1 000
4	18.4	0.3	23	2 000	940	3 600	1 500

1. 微风化及新鲜泥质灰岩;2. 微风化及新鲜泥灰岩;3. 微风化及新鲜泥岩;4. 微风化及新鲜粉砂质泥岩。 σ_{cw} . 岩块单轴饱和抗压强度; σ_{mc} . 岩体单轴抗压强度; φ_m . 岩体内摩擦角; f_0 . 按规范(JTJ024—1985)^[4]的承载力; f_r . 按 $\sigma_{cm}[\tan 2(45^\circ + \varphi_m) + 1]$ 计算的极限承载力; f_s . 按规范(GBT7—1989)的承载力^[5]; f_p . 地基承载力建议值。

护加固措施。南岸主桥墩处岩层平缓,基坑边坡除可能沿人工堆土与基岩接触面产生破坏外,其整体稳定性较好,不会产生大规模的滑动破坏。

4.3 桥墩基础类型比较与选择

根据综合分析和评价可知:桩基础方案优于扩大墩基础方案。其优点在于:(1)桩基础为深基础,可穿过浅部的风化破碎岩体及对边坡稳定性不利的软弱破碎带和 T_2b^3 与 T_2b^2 界面,将基础置于微风化完整基岩之上;(2)对岩体扰动少,可保持岩体原有完整性及强度。

5 结论

(1)桥位区工程地质条件十分复杂,岩体中节理、劈理等结构面十分发育,岩体完整性、物理力学性质及抗水性差,是影响桥墩基础及斜坡稳定性的主要因素;(2)大桥轴线部位斜坡在自然状态下处于稳定状态,在三峡水库库水作用下边坡稳定性虽有所降低,但仍是稳定的。然而在大桥荷载作用下,北岸稳定性差,特别是在三峡水库水位反复波动并叠加地震力下,有可能产生较大规模的失稳破坏。经验算其可能滑动面为 T_2b^2 与 T_2b^3 界面及 T_2b^3 内的软弱破碎带。南岸除抛土外,边坡整体稳定性较好;

(3)经全面比较建议桥墩采用桩基础,桩深度应尽量穿过 T_2b^2 与 T_2b^3 界面。

参考文献:

[1] 刘佑荣,唐辉明.岩体力学[M].武汉:中国地质大学出版社,1999.

[2] 李智毅,唐辉明.岩土工程勘察[M].武汉:中国地质大学出版社,2000.

[3] GB50021—1994,岩土工程勘察规范[S].

[4] JTJ024—1985,公路桥涵地基与基础设计规范[S].

[5] GBT7—1989,建筑地基基础设计规范[S].

STUDY ON GEOENVIRONMENT AND GEOTECHNICAL PROBLEMS OF BADONG YANGTZE BRIDGE

Liu Yourong, Tang Huiming, Fang Yun, Jia Hongbiao, Wang Liangqing, Tong Honggang, Yan Chunjie
(*Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*)

Abstract: The Badong Yangtze Bridge is a large-sized road bridge across the Yangtze River, linking the No. 209 national highway. It lies in middle part of the Three Gorges where geotechnical condition is the most complex. In the bridge area, the landform is cliffy; the valley incised sharply; and the geo-structure is complicated with the rock mass heavily cracked. While landslides and debris-flows are particularly common. By rock structure simulation, the rock discontinuity net and the *RQD* distributing figure were obtained. Moreover, the slope and ground sill stability about the bridge were analyzed systematically by the elastic-plastic finite element method and plot utmost balance way. At the same time, the influences of the aired and the fractured rockmass on the bridge were discussed. Based on the above, proposals have been made about the pier foundation style, the picket ground's depth and carrying strength. At last, more suggestions for the slope remedy have been put forward.

Key words: bridge site; geoenvironment; geotechnical question; slope; pier foundation; stability.