

长江三峡工程蓄水 对链子崖危岩体 $T_8—T_{12}$ 缝段稳定性影响研究

胡亚波^{1,2}, 黄学斌³

(1. 中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074; 2. 湖北省地质环境总站, 湖北武汉 430051; 3. 国土资源部长江三峡库区地质灾害监测防治工作指挥部, 湖北宜昌 443000)

摘要: 三峡水库蓄水后, 已治理的链子崖危岩体, 特别是 $T_8—T_{12}$ 缝段岩体将受到江水的长期作用和影响, 直接关系到防治工程的成败。通过大量实地调查和岩体测试, 着重论述水库蓄水对 $T_8—T_{12}$ 裂缝及其充填物的作用和影响; 并以此为基础, 用改进的 Sarma 法对该段危岩体的稳定性进行重新计算和评价, 得出一系列新的结论: 总体上, 长江水位抬升后, 水对裂缝的溶蚀作用和劈裂作用, 使裂缝整体加宽, 不利于危岩体的稳定; 考虑岩体和承重阻滑键取长期强度和江水位骤然升降, 以及地震影响, 链子崖危岩体整体稳定性将恶化, 但 $NE20^\circ$ 方向稳定程度好于 $NW350^\circ$ 。

关键词: 三峡工程; 蓄水; 稳定性; 防治工程。

中图分类号: P694; P642. 22 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)02-0193-06

作者简介: 胡亚波(1970—), 男, 湖北省地质环境总站副站长, 中国地质大学在读博士研究生, 主要从事工程地质和地质灾害研究工作。

三峡工程蓄水无疑将对库区两岸的边坡产生长期的作用和影响, 直接威胁两岸边坡, 特别是已有重大滑坡和危岩体的稳定性。最近中央决定对库区的重大滑坡和危岩体进行治理。这对工程地质界提出新的课题和挑战, 即需要对江水—岩体相互作用, 江水—防治工程和岩体—防治工程相互作用及其耦合关系进行深入分析和研究^[1~14]。链子崖危岩体防治工程已经竣工, 并且正在受到监测资料和成果的检验。对危岩体在水库蓄水后江水—岩体相互作用做较具体的分析和研究包括对危岩体软弱夹层的研究和 $T_8—T_{12}$ 张开缝段稳定性的研究 ($T_0—T_6$ 缝段和 T_7 缝段不受长江水位抬升的影响)。其中对软弱夹层已作过论述^[1], 本文着重论述水库蓄水对 $T_8—T_{12}$ 缝段产生作用和影响的方式和强度, 并综合其他因素, 用改进的 Sarma 法对该段危岩体的稳定性进行计算和评价。希望对即将开始的三峡库区滑坡防治工程研究和评价起到一定的参考作用。

1 $T_8—T_{12}$ 缝段主要特征

该缝段范围的危岩体整体呈向北东凸出的弧形褶扇散开, 北段紧临长江, R_{001} , R_{101} 和 R_{102} 等软层基本常年被江水淹没, 稳定性较差。总体特征为: (1) 裂缝发育在山体内侧、老采空区的边缘, 规模大, 延伸远, 切割深, 和老采区具有明显的空间对应关系^[4]; (2) 裂缝平面上东宽西窄, 整体有向西收敛趋势; 剖面形态上宽下窄, 倾角陡立, 具张扭特征; (3) 裂缝追踪构造面或溶隙拉开, 溶蚀作用使上部张开加大; 未被拉开的岩体构成裂缝锁固点, 显示宽大裂缝拉张具有不均匀性; (4) 裂缝深部充填亚粘土或粘土, 顶部由块石和表土充填; 表层充填物固结弱, 结构松散, 强度低。

2 工程蓄水对 $T_8—T_{12}$ 缝段的影响

按照三峡工程总体计划, 从 1993—2009 年采用分期蓄水方案, 水位从 78.2~175.0 m。根据工程进展情况, 有望提前竣工, 届时危岩体 $T_8—T_{12}$ 缝段将

收稿日期: 2001-04-23

基金项目: 国土资源部环境岩土技术开放研究重点实验室项目; 国土资源部定向科研项目“长江三峡链子崖危岩体防治工程研究”。

表 1 裂缝充水静水压力计算值

Table 1 Calculated values of hydrostatic pressure in fractures

裂缝编号	切割高程/m	135 m 水位		145 m 水位		156 m 水位		175 m 水位	
		a/m	σ /MPa	a/m	σ /MPa	a/m	σ /MPa	a/m	σ /MPa
T ₈₋₁₋₁	127.5	7.5	0.073 5	17.5	0.170	28.5	0.28	47.5	0.47
T ₈₋₁₋₂	128.0	7.0	0.068 6	17.0	0.166	28.0	0.27	47.0	0.46
T ₉	130.0	5.0	0.049 0	15.0	0.147	26.0	0.25	45.0	0.44
T ₁₁	119.5	15.5	0.152 0	25.5	0.250	36.5	0.36	55.5	0.55
T ₁₂	49.3	85.7	0.840 0	95.7	0.940	106.7	1.10	125.7	1.19
T ₁₃	100.5	34.5	0.338 0	44.5	0.430	55.5	0.54	74.5	0.73
T ₁₄	87.8	47.2	0.460 0	57.2	0.560	68.2	0.67	87.2	0.86
T ₁₆	168.5							6.5	0.064

大部分位于水下。

2.1 T₈—T₁₂ 缝段主要裂缝充水特征

随着长江水位不断抬升, T₈—T₁₂ 缝段的淹没面积会不断增大, 所有控制危岩体稳定的裂缝都将不同程度地充水。l 和 h 的定义为:

设 L₀ 为裂缝长度, L₁ 为被水充填的裂缝长度, 则:

$$l = L_1 / L_0 \times 100\% \quad (1)$$

设 H₀ 代表裂缝底部最低高程, H₁ 代表裂缝地表高程, H 代表长江水位, 则:

$$h = (H - H_0) / (H_1 - H_0) \times 100\% \quad (2)$$

计算结果表明: 长江水位抬升到 135 m 时, T₁₁ 整段充水, 充水高度 h 达 91.9%; 相应地, T₁₂, T₁₃ 两缝也全段充水, 充水相对高度分别 60.1% 和 49.0%; 它们所围限的“五万方”危岩体将受到江水强烈作用; 至 156 m 时, 裂缝充水程度均超过 1/2, T₉ 缝充水长度达 93.7%; 至 175 m 时, T₈₋₁₋₁ 有 72% 长度不同程度充水, T₉ 全段充水, T₈—T₁₂ 岩体整体稳定性将受到影响。

2.2 长期浸水情况下裂缝的可能变化

据实验研究和分析, 充填到裂缝中的江水对裂缝主要产生物理化学作用和劈裂作用。

(1) 水对裂缝及充填物的物理化学作用^[5]。① T₈₋₁₋₁, T₈₋₁₋₂ 和 T₉ 等宽大裂缝中的充填物(“黄泥巴壁”)是地表土在雨水淋滤作用下沿裂缝运移至深部的, 测试结果表明, 充填物粒度成分以粉粒和粘粒为主(煤渣 6 号^[1]), 分别占 57% 和 29.7%, 属粉质重粘土; 其化学成分以 SiO₂, Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 为主(煤渣 8 号^[1]), 分别占 41.21%, 23.52% 和 5.18%, 硫也较高, SO₃ 占 3.41%, 硅铝率约等于 3, 说明粘土矿物以伊利石为主。这种充填物在 3.6~2.0 MPa 时预固结 48 h, 浸入水中 7 d 后仍保持稳定, 不具有

崩解性, 无明显的膨胀性, 结构稳定^[1]。② T₁₂ 缝段呈上窄下宽的张开状态, 缝中充填有微破裂的灰岩岩块、钙质胶结构造岩和泥质、钙质胶结构造岩块。其中钙质胶结构造岩块表面风化严重; 泥质胶结构造岩块, 胶结微弱, 岩块呈散体状。T₁₂ 缝全部浸入水中后, 水和侵蚀性 CO₂ 作用将加速岩体表面风化和溶蚀^[6], 加速水体流动和循环, 使胶结程度降低, 泥质含量增高, 饱和抗剪强度和摩擦强度明显低于干强度^[7,8]。③ T₁₁ 和 T₁₃ 等裂缝基本呈张开状, 上部被溶蚀加宽^[9], 深部仅少量碎屑充填, 可视为完全充水状态, 届时流动的水体、可溶岩和侵蚀性 CO₂ 三者作用将促使裂缝不断溶蚀加宽, 强度降低。

(2) 水对岩体的劈裂作用。抬升后长江水位骤然回落时, 将在裂缝中产生最大静水压力和动水压力。

沿裂缝延伸方向充水程度不同, 属复杂应力问题^[10,11], 在裂缝中段取纵剖面垂直裂缝走向, 裂缝受水压力作用呈下三角形分布, 应力强度因子^[12]:

$$K_1 = 0.682 \sigma_{\max} (\pi \times a)^{1/2} \quad (3)$$

断裂判据:

$$K_1 = K_{IC} = 1 \quad (4)$$

代入 a(水头差)、 σ_{\max} (静水压力), 求出应力强度因子, 对裂缝能否张开作出判断。

计算结果表明(表 1, 表 2): 理论上^[13,14], 水位抬升到一定高度, 各裂缝中段到北西段都有拉张扩展的可能, 从而使裂缝总体张开加大, 不利于危岩体稳定。具体地, T₈₋₁₋₁, T₈₋₁₋₂, T₉ 三缝在 156 m 水位时能导致裂缝发生扩展; T₁₁ 缝在 145 m 水位时可能发生扩展; 而 T₁₃, T₁₄ 两缝在 135 m 水位时就可能发生扩展。T₁₂ 受岩体顺倾向的挤压应力, 水位上升产生裂缝水压力与之方向相反, 可以部分降低挤压应力, 相应地降低 T₁₂ 缝的摩擦力, 不利于“五万方”的稳定。

考虑整个裂缝充水后的 NW 端受到水的劈裂

表 2 裂缝中段应力强度因子计算值

Table 2 Calculated values of stress intensity factor in mid-segment of fractures

裂缝编号	135 m 水位			145 m 水位			156 m 水位			175 m 水位		
	a/m	σ/MPa	K_I	a/m	σ/MPa	K_I	a/m	σ/MPa	K_I	a/m	σ/MPa	K_I
T_{8-1-1}	7.5	0.073	0.24	17.50	0.17	0.86	28.5	0.28	1.81	47.5	0.47	3.90
T_{8-1-2}	7.0	0.068	0.22	17.00	0.17	0.83	28.0	0.27	1.73	47.0	0.46	3.81
T_9	5.0	0.049	0.13	15.00	0.15	0.69	26.0	0.25	1.54	45.0	0.44	3.73
T_{11}	15.5	0.152	0.72	25.50	0.25	1.53	36.5	0.36	2.63	55.5	0.55	4.95
T_{12}	85.7	0.840	9.17	0.94	0.94	11.11	106.7	1.00	12.49	125.7	1.19	16.10
T_{13}	34.5	0.338	2.40	0.43	0.43	3.47	55.5	0.54	4.86	74.5	0.73	7.62
T_{14}	47.2	0.46	3.82	0.56	0.56	5.11	68.2	0.67	6.69	87.2	0.86	7.70
T_{16}										6.5	0.06	0.20

表 3 危岩体稳定性评价计算参数取值表

Table 3 Calculation parameters for stability appraisal of hazardous rock

工程体	煤系地层		裂缝		灰岩			承重阻滑键	
	c/MPa	$\varphi/(\circ)$	c/MPa	$\varphi/(\circ)$	c/MPa	$\varphi/(\circ)$	$r/(g \cdot cm^{-3})$	c/MPa	$\varphi/(\circ)$
峰值强度	0.028	18.7	0.10	20.0	0.6	55.0	2.65	0.5	35.0
长期强度	0.01	17.0	0.04	18.1	0.6	55.0	2.65	0.5	32.2
极低强度	0.00	10.0	0.04	18.1	0.6	55.0	2.65	0.5	32.2

作用大于 SE 端,裂缝的张开是不均匀的,危岩体变形特征将有所改变,从而影响岩体的整体稳定性。

3 T_8-T_{12} 缝段危岩体稳定性评价

链子崖危岩体稳定性评价的困难在于不清楚裂缝在水平延伸和纵向深度上的分布,以及煤系地层采空和残留煤柱分布情况。采用有限元等精确算法,由于边界条件概化失真,结果并不能让人满意。 T_8-T_{12} 缝段在承重阻滑键工程完成后已结成一个整体,长江水位抬升和骤然升降时,需要综合考虑上述水岩相互作用因素,对防治工程能否满足设计要求作出新的计算和评价。

3.1 Sarma 程序的改进

Sarma 法对于非刚体滑动考虑了每个块体侧面存在的抗剪强度对滑体稳定性的贡献,用于被宽大裂缝切割的链子崖危岩体的稳定性评价较为合适。

由于程序计算过程中假定岩体是处处含水的,与链子崖实际情况不符,为此对程序进行了一些改进,具体地:(1)对完整岩体单元条分时,不计单元的侧向水压力;(2)承重阻滑键与上、下岩体均紧密接触,因此在键体分布区,不考虑水对上覆岩体的浮托力作用。经改进,计算结果更可信,但略偏保守。

3.2 稳定性计算和评价

本次计算依据长期变形监测结果和可能变形破

坏方向,考虑了沿 $NW35^\circ$ 和 $NE20^\circ$ 两个方向在 3 种情况下的抗滑稳定性,即:(1)软层强度取峰值强度;(2)软层强度取长期强度(摩擦系数为峰值的 90%,粘聚力为峰值的 40%,承重阻滑键粘聚力 c 和摩擦系数 f 均取峰值的 90%);(3)软层强度近于丧失。计算剖面见图 1。计算参数是在充分分析和对比前人大量的原位测试结果后综合确定的(表 3)。

3.3 计算结果及评价

计算过程中,针对每种稳定性情况分别考虑长江水位取目前水位,135 m,145 m,156 m 和 175 m 水位,以及由 175 m 水位骤降至 135 m 水位等几种情况下的 K 值,还计算了不实施承重阻滑键工程危岩体的 K 值,以及考虑地震影响的 K 值,以进行对比分析(表 4)。

分析计算结果,可以得出下列结论:(1)危岩体沿 $NW35^\circ$ 方向随着长江水位升高, K 逐渐提高;沿 $NE20^\circ$ 方向,随着长江水位的抬升, K 逐渐降低。两个方向在长江水位抬升过程中,取峰值强度的 K 值均大于 1.3,满足防治工程设计要求; $NE20^\circ$ 向稳定程度好于 $NW35^\circ$ 向;(2)取长期强度,危岩体的稳定性有所降低, $NW35^\circ$ 方向降低幅度较大,长江水位在 135 m 和 145 m 时, $K < 1.2$,不能满足设计要求;(3)若煤系地层不承重,抗滑力均由承重阻滑键承担时,沿 $NW35^\circ$ 向 $K < 1.2$;沿 $NE20^\circ$ 向稳定状况急剧恶化,不能保持岩体稳定;计算中还发现 K

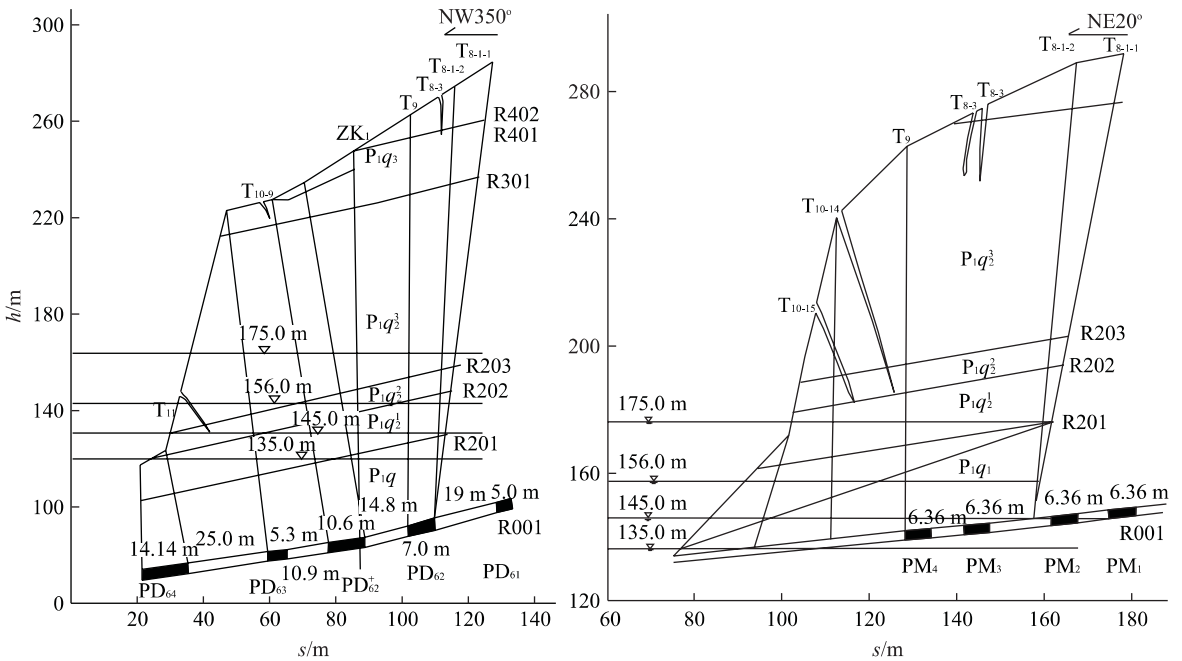


图 1 链子崖危岩体 T₈—T₁₂ 缝段稳定性计算剖面
Fig. 1 Profile for stability calculation of T₈—T₁₂ segment

表 4 NW350°方向和 NE20°方向稳定系数 K 计算结果
Table 4 Stability coefficient K of NW350° and NE20°

	水位	峰值强度	长期强度	煤层强度丧失
NW350°	135 m	1.360 515	1.172 951	1.129 802
	145 m	1.380 387	1.192 519	1.153 911
	156 m	1.419 265	1.228 559	1.193 559
	175 m	1.492 442	1.283 438	1.193 928
	175 m→135 m	1.252 256	1.081 269	1.043 636
	175 m→135 m*	0.951 762	0.862 993	
NW20°	135 m	1.609 297	1.447 299	
	145 m	1.606 411	1.443 805	
	156 m	1.526 249	1.346 858	
	175 m	1.411 744	1.263 857	
	175 m→135 m	1.124 571	1.018 670	
	175 m→135 m*	0.956 177	0.871 886	

* 无承重阻滑键。

值对 R₀₀₁ 软弱夹层的参数取值极为敏感, c, φ 值略有降低, K 值急剧降低, 因此, 保留残余煤柱是必要的; (4) 长江水位骤然回落时, 危岩体 K 值降低幅度较大, 极端情况(由 175 m 骤降至 135 m), 岩体均取峰值强度时, NW350° 向 K=1.25, NE20° 向 K=1.12; 取长期强度, 两方向 K 值均小于 1.1, 接近临稳状态, 说明三峡水库长期运营后, 链子崖危岩体整体稳定性将恶化。(5) 危岩体在不治理条件下, 无论取峰值强度, 还是长期强度, 在长江水位由 175 m 骤降到 135 m 时, 均不能保持抗滑稳定, 说明治理效果比较

明显; (6) 考虑Ⅷ度地震作用, 按重力坝抗震设计:

$$K_C = K_h C_z F. \tag{5}$$

其中: $K_h = a/g$, $C_z = 0.25$, $F = 1.5$, a 取 100 a 超越概率 4%~6% 条件下的 155 cm/s², 求得 $K_C = 5.8 \times 10^{-2}$ 。岩体取峰值强度时, $K > 1.2$, 满足设计要求; 在岩体取长期强度时, 沿 NW350° 和 NE20° 方向岩体稳定状况不同, NE20° 方向 $K > 1.2$; NW350° 向 K 在 1.1~1.2 之间; (7) 以 T₈₋₁₋₂ 和 T₉ 两组裂缝为危岩体滑移后边界, K 均 > T₈₋₁₋₁ 为后边界的情况, 其中以 T₉ 缝为后边界, $K > 2.0$, 说明危岩体整体失稳的滑移后边界是 T₈₋₁₋₁ 缝; (8) 其他软层为滑移底界时, 危岩体稳定性状况均好于沿煤系地层滑移情况。

4 结论

(1) 裂缝充水后, 水体对裂缝和充填物理化作用可以使裂缝溶蚀加宽, 加速水体运动, 不利于危岩体的稳定; (2) 裂缝中水体对裂缝的劈裂作用是复杂应力问题, 服从下三角形分布, 在水位抬升到一定程度时, 各裂缝均可能扩展, 北西段扩展的幅度大于南东, 使裂缝整体加宽; (3) 稳定性计算考虑了沿 NW350° 和 NE20° 两个方向在岩体和承重阻滑键取多种强度值, 以及不同水位变化条件下的抗滑稳定性。总体上, NE20° 向稳定程度好于 NW350° 向; 治理

工程能满足设计要求,承重阻滑键作用明显;考虑长期强度和水位骤然升降,以及地震影响时,链子崖危岩体整体稳定性将恶化。(4)建议在三峡库区对重大滑坡治理前后,综合开展水—岩体相互作用、水—防治工程相互作用和岩体—防治工程相互作用研究和评价工作,以利于防治工程设计的优化,达到最佳治理效果。

参考文献:

- [1] 胡亚波. 三峡工程蓄水对链子崖危岩体软弱夹层影响研究[J]. 湖北地矿, 1999, 13(增刊): 58—63.
HU Y B. Affection to weak interlayer of Lianziya hazardous rock when the Three Gorges Project filling [J]. Hubei Geology and Mining, 1999, 13 (supplement): 58—63.
- [2] 刘世凯, 宋春节, 袁涛, 等. 长江三峡工程库区交通工程地质环境研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(4): 340—342.
LIU S K, SONG C J, YUAN T, et al. Research on communication engineering geology environment in the Three Gorges reservoir area [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(4): 340—342.
- [3] 晏鄂川, 唐辉明, 杨裕云, 等. 陆浑水库坝基断层破碎带渗透稳定性评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(1): 80—92.
YAN E C, TANG H M, YANG Y Y, et al. A systemic evaluation of seepage stability for fracture zone in Luhun dam foundation [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(1): 80—92.
- [4] 刘传正. 链子崖危岩体 T_8-T_{12} 缝段开裂变形机制的研究[J]. 工程地质学报, 1995, 3(2): 28—41.
LIU C Z. Study on mechanism of fracture distortion in T_8-T_{12} segment of Lianziya hazardous rock [J]. Engineering Geology Journal, 1995, 3(2): 28—41.
- [5] 刘传正. 链子崖 T_8-T_{12} 缝段地下水侵蚀性及工程对策[J]. 地质灾害与环境, 1996, (1): 7.
LIU C Z. Erosion of groundwater to T_8-T_{12} segment of Lianziya hazardous rock and engineering countermeasures [J]. Geology Disaster and Environment Protection, 1996, (1): 7.
- [6] 汤连生, 王思敬. 水—岩化学作用对岩体变形破坏力学效应研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(5): 61—69.
TANG L S, WANG S J. Progress in the study on mechanical effect of the chemical action of water-rock on deformation and failure of rock [J]. Advance in Earth Sciences, 1999, 14(5): 61—69.
- [7] 李继昌, 邵圣福. 武汉至十堰高速公路西段隧道围岩稳定性研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(4): 398—401.
- LI J C, SHAO S F. Stability of tunnel wall rocks of western section of Wuhan-Shiyan speedway [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(4): 398—401.
- [8] 方灯明. 南京长江二桥南汊桥塔基主要工程地质问题与力学参数的确定[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(4): 406—409.
FANG D M. Main problems and determination of foundation strength of pier of the second Nanjing bridge [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(4): 406—409.
- [9] 袁道先. “岩溶作用与碳循环”研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(5): 425—431.
YUAN D X. Progress in the study on karst processes and carbon cycle [J]. Advance in Earth Sciences, 1999, 14(5): 425—431.
- [10] 胡亚波. 链子崖危岩体深大裂缝形成机制的断裂力学研究[A]. 见: 湖北工程地质环境地质五十年[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999. 291—297.
HU Y B. Fracture mechanics research on form mechanism of the deep-width fissure in Lianziya hazardous rock [A]. In: Five decades of engineering and environment geology in Hubei Province [C]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999. 291—297.
- [11] 邓清禄, 王学平. 黄土坡滑坡的发育历史: 坠覆—滑坡—改造[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(1): 44—52.
DENG Q L, WANG X P. Growth history of Huangtupo landslide: down-slope overlapping-landsliding-modification [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(1): 44—52.
- [12] 何庆芝, 酆正能. 工程断裂力学[M]. 北京: 航天航空大学出版社, 1993. 70—77.
HE Q Z, LI Z N. Engineering fracture mechanics [M]. Beijing: University of Space and Aviation Press, 1993. 70—77.
- [13] 唐辉明. 岩体断裂力学理论与工程应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 45.
TANG H M. Theory and engineering application of rock fracture mechanics [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990. 45.
- [14] Newman J C Jr, Raju I S. An empirical stress intensity factor equation for surface cracks [J]. Engineering Fracture Mechanics, 1981, 15: 189—192.

Effect of the Three Gorges Project Storing on Stability of T₈—T₁₂ Fracture Segment of Hazardous Rocks in Lianziya

HU Ya-bo^{1,2}, HUANG Xue-bin³

(1. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Center of Geology Environment of Hubei Province, Wuhan 430051, China; 3. Headquarter of Geological Disaster Monitoring & Control of the Three Gorges Reservoir, Yichang 443000, China)

Abstract: The controlled Lianziya hazardous rock, especially T₈—T₁₂ fracture segment will be affected over a long period of time when the Three Gorges reservoir stores water, which also relates to efficacy of the control project to the rock. Through mass field investigations and rock tests, this paper concerns with the long-term effects of the reservoir to T₈—T₁₂ fracture segment and its deposits, and also recalculates the stability of the rock by using improved Sarma program. Then some new conclusions are obtained: generally, when the water level of Yangtze River rises, the water actions of erosion and tension will widen the fractures, and deteriorate the rock stability. On considering long-term strengths of rock and control project, as well as rapid water rising and dropping, and also earthquake affection, the stability of hazardous rock will turn worse than before, whereas the condition in NE20° direction will be better than that in NW350°.

Key words: the Three Gorges Project; storing; stability; control project.

(上接 140 页)
知)边界条件者要十分谨慎. 上述的是含水层系统框架, 它的确定一般并不困难, 重要的是自然条件下地下水流动特征的分析及基于此的建模. 这种条件下往往在承压—无压接触带靠潜水区附近出现泉(群). 南方和北方诸多实例都表明了这一点. 重要的问题是, 如何分析这种条件下地下水流动的基本特征, 或者说, 怎么勾画流线.

20 世纪 60 年代初, 笔者带学生在湖南斗笠山、恩口实习, 提出应画成如图 1b 所示的流线, 并将其用于山西与陕西交界天桥泉域的模型. 如此勾画的流线反映了单斜含水层—泉流系统的基本特征. 另外, 在泉口附近打孔, 随着孔深的加大, 水头上升(图 1b), 这一现象对此也是一个佐证. 可见, 单斜含水层—泉流系统的水文地质概念模型是三维流, 而不宜概化为平面二维流模型.

我们不能以水平尺度明显地大于垂向尺度为依

据, 简单地采用平面二维流模型, 若如此成立, 那么非完整河、非完整井也可认为是平面二维流了. 另外要强调, 泉一般地不能用平面二维流模型刻画, 特别是上升泉. 晋陕蒙交界处天桥泉域的模型做了多次而未能奏效, 其中的原因之一就是対泉的刻画不当.

参考文献:

[1] 陈崇希, 裴顺平. 地下水开采—地面沉降模型研究[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(2): 5—8.
CHEN C X, PEI S P. The research on the model of groundwater withdrawal with land subsidence [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2001, 28(2): 5—8.

[2] 陈崇希, 裴顺平, 王逊. 非完整河的数值模拟方法及建模中的若干问题[J]. 勘察科学技术, 1999, (4): 3—6.
CHEN C X, PEI S P, WANG X. The numerical simulated method of partial penetration river and problems in the establishment models [J]. Site Investigation Science and Technology, 1999, (4): 3—6.