

龚咀电站水库塌岸模式研究

白彦波, 余鹏程, 李渝生

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘要: 利用已运行多年的山区型水库地质勘探、预测评价成果, 在掌握库岸防护工程的勘察设计、施工及变形坡体的监测等技术资料的基础上, 通过对塌岸及变形的分布、类型及形成条件等方面问题的实测调查, 分析塌岸效应的形成机制及模式类型, 确定各类岩土体的水下及水上稳定坡角等塌岸参数。

关键词: 塌岸模式; 稳定坡角; 边坡再造

中图分类号: T V741

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0268-03

Study on the Collapse Bank Pattern of Gongzui Reservoir Hydropower Station

BAI Yan-bo, YU Peng-cheng, LI Yu-sheng

(College of Environment and Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on the reservoir bank protection project, the reconnaissance design, the construction, distortion slope body technical and so on, and according to the ecological prospecting and the forecast appraisal achievement of mountainous area reservoir runned for many years, through actual investigation of the collapses of the bank, the distribution distortion, the types and forming conditions, the collapses formation mechanism of the bank and the types of the pattern are analyzed, and of the bank collapsing parameter of each kind of gneiss under and above water stable angle of slope and so on are confirmend.

Key words: bank collapses pattern; stable angle of slope; the bank reconstruction

1 工程概况

龚咀水电站位于大渡河下游乐山市, 1971 年建成下闸蓄水。坝型为重力坝, 最大坝高 132 m, 库容 25 亿 m^3 , 装机容量 700 MW; 设计最高水位 588 m, 设计要求水位 567~568 m, 死水位 558 m。

水库建成蓄水运行已愈 33 年, 经库水长期的浸润软化、空隙水压力效应、水位急剧消涨波动的冲刷-剥蚀等效应的反复作用下, 水库岸坡再造作用表现出两方面基本特征: 基岩岸坡仍保持其良好的整体稳定性, 未发生明显的变形破坏现象; 各类第四系松散沉积、堆积岸坡经过一系列反复的冲刷-剥蚀作用, 已形成稳定的坡形。这为分析各种第四系岸坡的边坡再造模式及参数, 提供了良好的研究条件。

2 库岸地层与岩石建造特征

库区地层出露较全, 除泥盆系、石炭系、白垩系及第三系外, 从下元古界至第四系均有出露。各套地层岩性特征分述如下:

2.1 第四系

- (1) 冲洪积黏性土、块碎石堆积 (Q_{al});
- (2) 冲积层 (Q_{al}): 主要由卵砾石层及粉土组成;
- (3) 冰水沉积泥砾层: 泥砾层略具分选性, 卵砾石呈次棱角-次棱角状, 有强度较高的钙质胶结;
- (4) 崩坡积碎石土: 碎石土具有较高的内摩擦角和弱固

结、弱钙泥胶结, 呈稍密-中密状态。

2.2 三叠系 T

(1) 上统 T_3 : 上段香溪群 T_{3-jx} : 深灰色砂岩、粉砂岩、炭质页岩夹煤层, 底部砾岩或含砾砂岩; 下段垮洪洞组 T_{3-k} : 深灰色灰岩、泥灰岩, 夹黑色泥岩、页岩, 底部偶见砾岩。

(2) 中统 T_2 : 雷口坡组 T_{2-l} : 上部白云岩、白云质灰岩夹石膏层; 下部紫红色、灰绿色砂岩夹页岩、泥灰岩; 底部水云母黏土岩。

(3) 下统 T_1 : 上段嘉陵江组 T_{1-lj} : 灰色、浅灰色泥质灰岩泥质白云质灰岩; 中段铜街子组 T_{1-t} : 紫红色、灰绿色岩屑砂岩、粉砂岩夹灰岩, 下部砂岩含铜; 下段飞仙关组 T_{1-f} : 暗紫红色细粒岩屑砂岩、粉砂岩夹砂质泥岩, 下部夹砾岩。

2.3 二叠系 P

(1) 上统 P_2 : 上段乐平组 P_{2-l} : 粉砂岩、页岩、黏土岩夹煤层; 下段峨眉山玄武岩 $P_{2-\beta}$: 玄武质火山角砾岩, 致密斑状玄武岩, 杏仁状、气孔状玄武岩, 紫红色凝灰岩。

(2) 下统 P_1 : 上段茅口组 P_{1-m} : 深灰色、黑色灰岩夹燧石结核; 中段栖霞组 P_{1-q} : 灰色、浅灰色厚层-块状灰岩; 下段梁山组 P_{1-l} : 灰色、深灰色碳质砂岩、页岩, 上部夹煤线, 下部夹黏土岩。

2.4 志留系 S

龙马溪组 S_{1-l} : 黑色页岩、钙质粉砂岩, 夹泥灰岩透镜体。

2.5 奥陶系 O

(1) 上统 O_3 : 上段五峰组 O_{3-w} : 灰色、灰黄色页岩夹粉砂

* 收稿日期: 2005-11-17

作者简介: 白彦波 (1979-), 男, 成都理工大学在读硕士研究生, 专业, 地质工程, 研究方向: 环境工程地质。

岩; 下段临湘组 O_3l : 黑灰色泥灰岩夹页岩。

(2) 中统上巧家组 O_2q : 上部为深灰色团块状泥质灰岩, 下部紫红色泥质灰岩。

(3) 下统 O_1 : 上段下巧家组 O_{1q} : 上部为深灰色微晶灰岩夹生物灰岩, 下部页岩夹生物灰岩。下段红石崖组 O_{1h} : 下部灰白色石英砂岩夹紫红、灰绿色页岩, 底部为含砾砂岩; 中部暗紫红、黄、灰绿色页岩夹石英砂岩; 上部灰色、灰白色石英砂岩、砂质页岩。

2.6 寒武系 ϵ

(1) 中- 上统二道水组 ϵ_{2-3c} : 灰色薄至中层状白云质灰岩夹灰岩、页岩, 底部为黄灰色钙质砂岩。

(2) 中统西王庙组 ϵ_{2x} : 紫红色具灰绿色条带粉砂岩、泥岩、页岩, 中下部夹白云质灰岩及泥灰岩。

(3) 下统 ϵ_1 : 包括大漕河组、沧浪铺组、龙王庙组及筲竹寺组。上段大漕河组 ϵ_{1d} : 下部灰色钙质页岩及泥灰岩; 上部灰色泥灰岩、白云质灰岩; 中上段龙王庙组 ϵ_{1l} : 深灰色厚至块状白云质灰岩; 中下段沧浪铺组 ϵ_{1c} : 下部紫红色砂质页岩夹粉砂岩, 上部灰至深灰色具泥质条带白云质灰岩, 局部微结晶; 下段筲竹寺组 ϵ_{1q} : 底部砂砾岩, 含磷; 下部灰色薄层细砂岩、粉砂岩、页岩组成韵律; 上部黄绿色含钙质页岩、砂质页岩夹粉砂岩、细砂岩。

2.7 上元古界震旦系 Z

(1) 上统 Z_b : 上段灯影组 Z_{bd} : 下部为灰色、灰白色白云岩, 偶夹灰岩、泥灰岩及页岩; 上部为下部为灰色、灰白色白云岩夹硅质岩及燧石结核, 顶部含磷; 中段观音崖组 Z_{bg} : 下部为灰色粗粒石英砂岩组成韵律, 上部为灰色含砂质硅质灰岩夹页岩; 下段列古六组 Z_{bl} : 下部为灰紫色、紫红色砂质土岩、砂岩, 黏土岩具灰绿色条带; 上部为紫红色砂岩。

(2) 下统苏雄组 Z_{as} : 底部为厚约 3 m 的变质砾岩, 向上为紫红、灰紫、灰绿色蚀变流纹岩及流纹质晶屑凝灰岩, 偶夹杏仁状安山玄武岩透镜体。

2.8 下元古界前峨边群 P_{teb}^3

底部为变质砂岩, 偶夹变质砾岩; 下部为黄灰至深灰色细粒变质砂岩、粉砂岩夹千枚状板岩; 中上部为变质细砂岩、泥砂质板岩夹碳质板岩。

3 稳定岸坡的侵蚀- 剥蚀再造

龚咀水库岸坡各类整体稳定性较好的第四系堆积体广泛发育, 边岸“侵蚀- 剥蚀”再造作用的结果, 虽不会导致坡体失稳破坏, 但波浪的冲击磨蚀作用, 直接改变了水位波动范围附近岸坡的坡形及坡角。这种改造作用, 在不同结构类型岸坡中, 有着明显的差异。

3.1 冲洪积黏性土、块碎石堆积岸坡

广泛分布于水库中段岸坡的冲洪积黏性土、块碎石混合堆积层, 大多具有相对较高的固结强度。当其坡度较缓时, 坡体内最大剪应力作用面的倾角小于土体的摩擦角。在这种情况下, 水浪的冲击磨蚀作用是边岸侵蚀- 剥蚀再造的主导因素。

朱丝河段库岸坡体为冲洪积棕黄色粉质黏土与角砾混合堆积体。其中粉质黏土含量占 30%, 重等级、硬可塑、弱固结; 块石占 60%, 砾径一般 $\varphi=2\sim 3\text{ cm}$ (最大 $\varphi=11\text{ cm}$); 中- 粗砂占 10%。现场实测调查结果表明, 这类有一定固结度的冲洪积块石堆、黏性土混合堆积岸坡, 水下稳定坡角一般为 $\angle 23\sim 29^\circ$, 水库运行水位波动范围内的岸坡磨蚀坡角在 $\angle 35\sim 36^\circ$ 。

冲洪积碎石土的抗剪指标试验成果见图 1。

3.2 钙质胶结冰水沉积泥砾层岸坡

分布于水库中段大河坝附近的冰水沉积泥砾层, 大多具有明显的钙质胶结作用和相对较高的固结强度。在 30 余年水库水位升降波动作用下, 表现出良好的整体稳定性。水浪的侵蚀- 磨蚀作用是边岸侵蚀- 剥蚀再造的主导因素。

大河坝码头 NW 侧岸坡坡体为冰水沉积泥砾层。其中卵砾石含量超过 70%, 砾径一般 $\varphi=0.2\sim 3.0\text{ m}$; 泥砾层略具分选性, 卵砾石呈次磨圆- 次棱角状, 有强度较高的钙质胶结作用。现场实测调查结果表明, 这类有一定强度的钙质胶结作用泥砾层岸坡, 水上稳定坡角一般近直立 (大于 $\angle 82^\circ$), 水下稳定坡角一般为 $\angle 36\sim 38^\circ$ 。

冰水沉积泥砾层的抗剪指标试验成果见图 2。

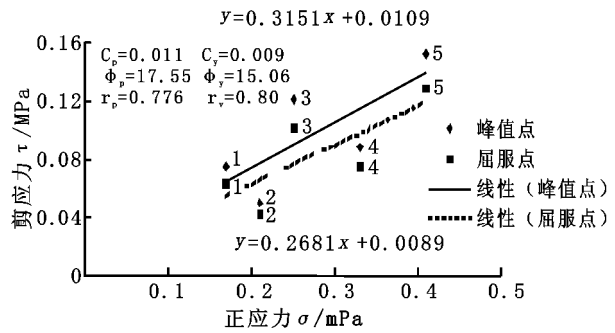


图 1 冲洪积碎石土剪应力 τ - 正应力 σ 关系

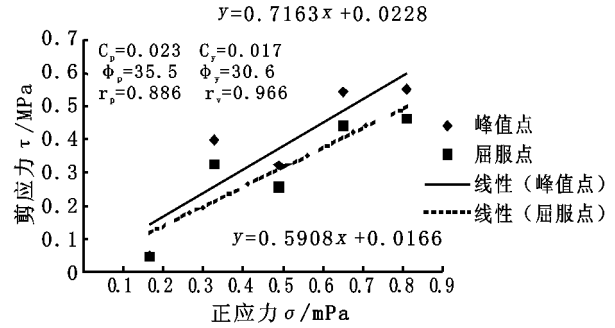


图 2 冰水沉积泥砾层剪应力 τ - 正应力 σ 关系

3.3 冲积卵砾石、粉土、细砂岸坡

(1) 卵砾石岸坡。冲积卵砾石层具有内摩擦角较高 (天然状况下的残余摩擦角 $\varphi_r \geq 35^\circ$)、渗透性较好 (渗透系数 $k \geq 10^{-3}$), 有一定的固结度及较弱的钙质胶结, 多数呈中密- 密实状态。库岸卵砾石层的基本颗粒组成为: 卵砾石含量占 85%, 黄色粉土占 14.9%。卵砾石具有较好的分选、磨圆性。

在库水的浸润软化及空腔水压力效应的作用下, 仍可保持其整体稳定性状况。在水库运行水位急剧消涨波动的长期冲刷- 剥蚀作用下, 水上稳定坡角 $50\sim 52^\circ$, 水下稳定坡角 $32\sim 36^\circ$ 。

(2) 粉土岸坡。冲积相粉土水平层理发育, 其沉积相为河谷阶地二元结构上部静水相细粒沉积层。调查点阶地卵砾石层库段岸坡粉土分布与正常高水位与死水位之间, 呈软塑状态。调查结果表明, 在水位急剧消涨波动的长期侵蚀- 剥蚀作用下, 粉土岸坡普遍出现变形塌岸问题。这类岸坡在天然条件下的稳定坡角可达 $\angle 67\sim 69^\circ$, 岸坡水上稳定坡角仅为 $\angle 32\sim 34^\circ$ 、水下稳定坡角 $\angle 17\sim 19^\circ$ 。

(3) 细砂岸坡。冲积相细砂为近代河床相上部静水相细粒松散沉积层。调查点细砂岸坡库段岸坡细砂呈松散饱和状态。调查结果表明, 在水位急剧消涨波动的长期侵蚀- 剥蚀作用下, 细砂岸坡未出现变形塌岸问题。这类岸坡水上稳定坡角为 $\angle 34^\circ$ 、水下稳定坡角 $\angle 21^\circ$ 。

3.4 崩塌积碎石土岸坡

崩塌积碎石土广泛发育于水库两岸各地段,这类碎石土具有较高内摩擦角和弱固结、弱钙泥胶结,呈稍密–中密状态。角砾含量超过 85%,棱角状、无分选磨圆;黏性土含量小于 15%,呈可塑状态。

观察点崩塌积碎石土岸坡斜坡的天然稳定坡角一般为 $\angle 39^\circ$ (稍密)~ 44° (中密)。在库水的浸润软化及空隙水压力效应的作用下,岸坡普遍保持整体稳定状态。在水库运行水

位急剧消涨波动的长期冲刷–剥蚀作用下,水上稳定坡角 37° ,水下稳定坡角 $25^\circ\sim 29^\circ$ 。

4 各类第四系岸坡的边岸再造特征参数

在上述实测调查的基础上,通过逐一对比及分类统计研究,得出表 1 所示的水库岸坡再造特征参数的实测分类统计成果。据此可以看出,各类第四系岸坡的塌岸特征参数与土石堆积体的成因、性状、组分结构特征及地下水等因素有关。

表 1 龚咀水库岸坡类型与塌岸特征参数

岸坡类型	成因	土石组分	抗剪指标		密度、胶结、固结	地下水	水下稳定坡角/ $^\circ$	水上稳定坡角/ $^\circ$
			C/Mpa	$\Phi/^\circ$				
黏性土、块碎石堆积岸坡	冲洪积	棕黄色粉质黏土与角砾混合堆积体。其中粉质黏土含量占 30%,重等级、硬可塑;块碎石占 60%,砾径一般 $\varphi=2\sim 3\text{ cm}$ (最大 $\varphi=11\text{ cm}$);中–粗砂占 10%	0.01	18	稍密–中密,弱固结	地下水富积	23~29	35~36
块碎石夹泥	崩塌积	角砾含量超过 85%,棱角状、无分选磨圆;黏性土含量小于 15%,可塑状态。颗粒组成:砾径 $1\text{ cm}\leq\Phi\leq 3\text{ cm}$ 的角砾占 11.3%、砾径 $3\text{ cm}\leq\Phi\leq 5\text{ cm}$ 的角砾占 24.4%、砾径 $5\text{ cm}\leq\Phi\leq 10\text{ cm}$ 的角砾占 48.7%、最大砾径 $\Phi_{\text{max}}=40\text{ cm}$ 。			弱固结、弱钙泥胶结,稍密–中密状态	湿	25~29	37
卵砾石	冲积层	卵砾石含量占 85%,黄色粉土占 114.9%。卵砾石具有较好的分选、磨圆性, $\Phi\leq 1\text{ cm}$ 24.7%、 $1\text{ cm}\leq\Phi\leq 2\text{ cm}$ 39.3%、 $2\text{ cm}\leq\Phi\leq 6\text{ cm}$ 21.1%、 $\Phi_{\text{max}}=15\text{ cm}$ 。			弱固结、弱钙质胶结,中密–密实	地下水富积	32~36	50~56
粉土	冲积层	水平层理发育,河谷阶地二元结构上部静水相细粒沉积层。	0.012	21~23	中密–软塑状态	地下较富积	17~19	32~24
细砂	冲积层	近代河床相上部静水相细粒松散沉积层			松散饱和状态	地下水富积	21	34
泥砾层	冰水堆积	略具分选性,卵砾石呈次磨圆–次棱角状,卵砾石含量超过 70%,砾径一般 $\varphi=0.2\sim 30\text{ m}$,漂砾最大砾径达 $\varphi=3\text{ m}$ 。	0.10	31	密实、钙质胶结	湿	36~38	≥ 82

5 结论与认识

各类第四系岸坡的稳定坡角与堆积体的形成时代、土石结构、地下水、固结密度及胶结特征等因素有关(表 1)。对

于同类成因的第四系岸坡,稳定坡角总体上与粗颗粒(块石、角砾等)含量、密度及固结度、胶结程度等正相关,与黏粒含量及含水量负相关;形成时代越新稳定坡角越小。

参考文献:

[1] 张奇华,丁秀丽,张杰,等.三峡库区奉节河段库岸蓄水再造研究[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7):1007–1012.
[2] 张倬元,王仕天,王兰生.工程地质分析原理(第二版)[M].北京:地质出版社,1994.
[3] 左建,郭成久,等.水利工程地质[M].北京:中国水利水电出版社,2004.

(上接第 267 页)

参考文献:

[1] 石辉.小流域侵蚀产沙研究方法进展[J].西北林学院学报,1997,12(3):102–108.
[2] L B Owens, W M Edwards, R W Van Keuren. Sediment Losses From a Pastured Watershed Before and after Stream Fencing[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 1–2:90–93.
[3] J E Gilley. Narrow Grass Hedge Effects on Runoff and Soil Loss[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, (2): 191–195.
[4] Raffaele J B Jr, McGregor K C, Foster G R, et al. Effect of narrow grass strips on conservation reserve land converted to cropland[J]. American Society of Agricultural Engineers, 1997, 40(6): 1581–1587.
[5] 黄必志,吴伯志.草带防止水土保持的效应[J].北京林业大学学报,2000,22(2):84–85.
[6] 蒋定生,等.黄土高原水土流失与治理模式[M].北京:中国水利水电出版社,1997.
[7] 王万中,焦菊英.黄土高原水土保持减沙效益预测[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
[8] 吴伯志,刘立光.不同耕种措施对坡地红壤侵蚀率的影响[J].耕作与栽培,1996,(5):17–20.
[9] 詹道江,叶守泽.工程水文学(第三版)[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
[10] 焦居仁,等.水利技术标准汇编.水土保持卷[M].北京:中国水利水电出版社,2002.
[11] 王礼先.水土保持学[M].北京:中国林业出版社,2000.43–46.
[12] 段青松,吴伯志,字淑慧.滇中地区小流域治理前后水土流失变化规律的研究[J].农业工程学报,2005,21(5):42–46.