

四川某水电站库区浸没问题预测

张会刚<sup>1</sup>, 夏克勤<sup>1</sup>, 邓中文<sup>2</sup>

( 1. 成都理工大学, 成都 610059 2. 成都电力勘察设计院, 成都 610072)

摘 要: 水库蓄水后, 库水对地下水的顶托作用使地下水壅高超过临界而出现浸没问题。在分析库区工程地质条件的  
基础上, 确定地下水临界埋深; 并建立浸没计算模型, 计算可能浸没的范围以及浸没相对于水库蓄水位的滞后时  
间; 最后针对不同的浸没类型提出浸没防护措施, 这将有利于库区地质环境保护和可持续发展。  
关键词: 库区地质条件; 浸没预测; 浸没防护  
中图分类号: T V 697. 21 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409( 2004) 03-0140-03

Submergence Forecasting of a Reservoir Area in Sichuan

ZHANG Hui-gang<sup>1</sup>, XIA Ke-qin<sup>1</sup>, DENG Zhong-wen<sup>3</sup>

(1. Cheng du University of Technology, Cheng du 610059, China;  
2. Chengdu Electric Power Survey and Design Institute, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** With the rising of the reservoir water level gradually, the groundwater in two banks will be jacked up to rise  
accordingly, causing the submergence of farm and villages. On the basis of analysing the geological condition of reservoir area,  
the depth of groundwater buried is determined and the possible submergence range and the submergence time lagging behind  
are determined through calculation. At last, some effective measures of preventing submergence are put up, which will  
facilitate the geological environmental protection and sustainable development of reservoir area.  
**Key words:** geological condition of reservoir area; submergenc forecasting; submergence prevention

四川省水力资源理论储量约 1.45 亿 kW, 技术可开发  
容量 1.20 亿 kW, 年发电量 6131 亿 kW · h, 居全国首位, 且  
修建水电站的淹没损失相对较小, 具有得天独厚的水电开发  
条件。但是就库区所在的小区域而言, 邻近河岸, 土地肥沃,  
水源丰富, 自然条件和社会经济条件优越; 但库区范围环境  
容量有限, 生态环境脆弱, 人口密度相对较大, 人均耕地不足  
0.06 hm<sup>2</sup>, 大量的移民搬迁会增加社会压力。因此合理选择  
库水位, 确定回水淹没浸没范围, 尽量减少移民征地数量, 以  
较小的投入获得最佳的经济、社会和环境效益, 已成为山区  
水库建设中的重要问题。

1 库区地质概况

库区范围内基岩主要以澄江期花岗岩、闪长岩为主, 少  
量三迭系白果湾组( T<sub>3</sub>bg) 砂岩、板岩; 第四纪全新统沉积物  
主要有冲积、崩积、洪积、坡积和少量滑坡堆积、泥石流堆积、  
冰积等, 其中以冲积、洪积和崩积为主。冲积主要沿大渡河干  
流较平缓沟谷段呈带状分布; 洪积主要分布于支流入河口  
处; 崩积则广泛分布在河谷两岸的缓坡带和坡脚地带。冲洪  
积物( Q<sub>4</sub><sup>al+pl</sup>) 厚度 5~100 m。  
库区地处极高山与中高山相毗邻, 峡谷与盆地相连地  
段。得妥沙坝- 挖角为峡谷段, 加郡、得妥等处为河谷盆地,  
其它河段在短距离内河谷形态变化较大, 以宽“V”形或“U”

形谷居多。根据河谷横剖面形态, 以拔河 600~700 m 谷肩以  
上, 岸坡坡度明显变缓, 一般小于 35°, 为宽谷期游荡性河流  
形成的河谷; 该线以下, 谷坡陡峻, 坡度多在 40°以上, 为晚近  
期大渡河快速间歇性下切形成的峡谷地貌。峡谷地段谷底宽  
30~50 m, 全被河床所占, 两岸阶地零星分布, 谷坡相对较陡  
峻, 地形坡度一般 45~60°; 河谷段 ~ 级阶地最为发育,  
且保留较好, 呈不对称连续分布, ~ 级阶地零星分布( 图 1),  
河谷盆地地段两岸谷坡稍微缓, 地形坡度 40~55°。加郡盆地  
南北向, 长 12 km, 宽 1 km, 盆地底部平坦, 两岸 ~ 级阶地  
分布; 得妥盆地长约 7 km, 宽 0.5~1 km, 两岸 ~ 级阶地  
发育, 呈不对称的连续分布。阶地呈典型的二元结构, 下部以  
冲积砂卵石为主, 厚度 80 m; 上覆盖的洪积物为 5~20 m  
含黏粒的角砾质砂土, 为开垦种植的耕植土。阶地近河隔水  
顶板一般呈水平状态, 向河略微倾斜, 分布高程一般 1093.2  
~ 1150 m; 远河岸地段隔水顶板倾斜。  
该区气候垂直差异较大, 地下水不丰沛, 主要为松散层  
孔隙水, 赋存于阶地底部砂砾卵石层中, 盆地两侧为基岩屏  
障, 阶地主要受大气降雨和山坡裂隙水侧向补给。河床漂卵  
石层渗透系数 150 m/d, 砂土的渗透系数 5~50 m/d。两岸地  
下水以 1/60 至 1/250 的水力坡度补给河水。水库蓄水后地  
下水与河水互补关系明显: 丰水期蓄水时河水补给地下水;  
枯水期地下水补给河水。

① 收稿日期: 2004-02-25  
作者简介: 张会刚( 1975- ), 河南许昌人, 硕士研究生, 研究方向为地质环境评价与保护。

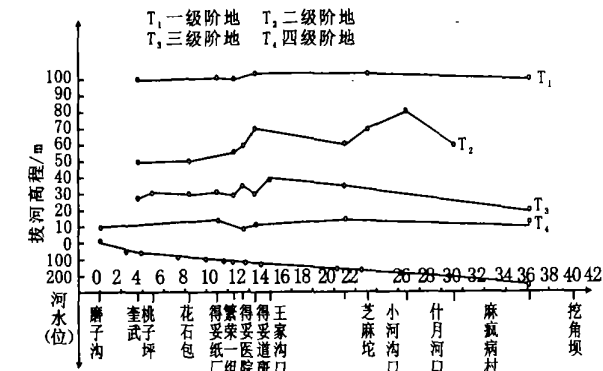


图 1 水电站库区沿河阶地分布概况

水质分析结果显示河水、两岸沟水、泉水一般为  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}、\text{Mg}^{2+}$  型,基岩裂隙承压水为  $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+、\text{Ca}^{2+}$  型,矿化度为  $0.07 \sim 0.1 \text{ g/L}$ , pH 值为  $6.9 \sim 8.8$ , 为中性及弱碱性水。考虑浸没预测时, 主要以农作物为浸没对象, 由于蓄水前后其水质条件和土体背景无改变, 因此水库建成蓄水后, 虽会抬高库区地下水位产生浸没问题, 但不会产生盐渍化问题, 仅可能在低洼处产生少量次生沼泽化区。

2 水库浸没范围预测

库区阶地浸没是库水对地下水的顶托使地下水壅高超过临界浸没高程而造成的。水库不存在永久性渗漏问题, 所以浸没问题仅局限在库区范围沿河分布的阶地;  $1130 \text{ m}$  蓄水方案的浸没主要发生在加都- 得妥盆地(图 2)、新华、田湾阶面高程  $1130 \sim 1160 \text{ m}$  的级阶地和部分级阶地。

2.1 地下水临界埋深的确定

地下水临界埋深是地下水的最低允许埋藏深度, 也是圈定浸没范围的边界条件。地下水临界深度除受土壤毛细水上升高度和农作物根系两个主要因素影响外, 还与土壤含盐度、土壤矿化度、农作物生长特性有关。据 13 组毛细水上升高度试验并参考经验数据, 该区毛细水最大上升高度取  $0.8 \text{ m}$ 。该区水田、旱田混杂, 经济作物主要是佛手、柑橘、桑树, 根系深度一般  $0.3 \sim 0.5 \text{ m}$ 。当地居民房屋基础多采用毛石基础, 砌置深度  $0.5 \sim 0.8 \text{ m}$ 。考虑该区居民房屋结构及荷载情

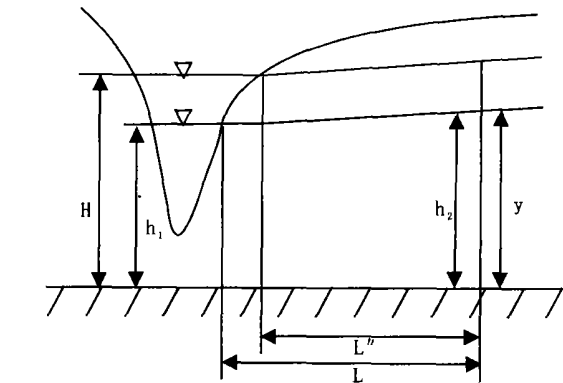


图 3 地下水壅高计算剖面

计算得地下水的壅水高程为  $1130.2 \sim 1131.4 \text{ m}$ 。考虑地下水临界埋深  $H_{cr} = 2.5 \text{ m}$ , 则地面高程处于  $y \sim y + H_{cr}$  之间的地带可出现浸没问题, 在水电站库区  $1:5000$  地形图上可确定严重浸没面积(次生沼泽化)  $0.011 \text{ km}^2$ , 一般浸没面积  $0.0384 \text{ km}^2$ (表 1)。

2.3 浸没时间滞后预测

根据地下水动力学原理中地下水向河渠运动的理论, 将

况, 地基主要持力层深度按 3 倍基础宽度考虑(一般民房基础宽度按计  $0.7 \text{ m}$ ), 即  $2.1 \text{ m}$ 。据实际地质条件, 认为毛细水上升至主要持力层一半( $1.05 \text{ m}$ ) 以下高度时毛细水对地基的稳定性影响不大, 则地下水临界埋藏深度:

$$H_{cr} = H_k + H_g + \Delta H \quad (1)$$

式中:  $H_{cr}$ ——地下水临界埋藏深度,  $\text{m}$ ;  $H_k$ ——地下水位以上毛细上升最大高度, 最大取  $0.80 \text{ m}$ ;  $H_g$ ——植物根系深度或建筑物基础影响深度, 最大取  $1.05 \text{ m}$ ;  $\Delta H$ ——考虑库区涌浪, 湖面风等设置的安全超高值, 取  $0.5 \text{ m}$ 。

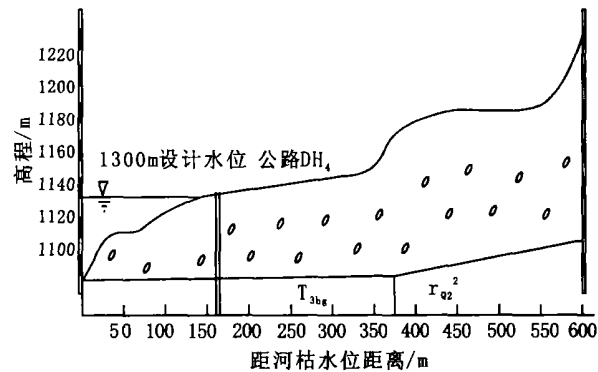


图 2 浸没预测典型剖面(得妥)

计算得地下水临界埋藏深度  $H_{cr} = 2.35 \text{ m}$ , 实际取  $H_{cr} = 2.5 \text{ m}$ , 均能满足当地建筑物和农作物的要求。

2.2 浸没范围预测

水库蓄水位  $1130 \text{ m}$  后导致地下水位的整体上升; 计算浸没时考虑库区含水层为均质的, 其渗透性均一, 阶地含水层底板近于水平, 作为独立的水文地质单元, 符合卡明斯基地下水壅高计算公式的条件。地下水壅高计算公式为:

$$y = \frac{(h_2^2 - h_1^2)L'}{L + H^2} \quad (2)$$

式中:  $h_1$ ——含水层底板至原库水面高度,  $(\text{m})$ ;  $h_2$ ——阶地后缘含水层底板至潜水面高程,  $(\text{m})$ ;  $y$ ——计算水位,  $(\text{m})$ ;  $L'$ ——水位上升后库边至计算点距离,  $(\text{m})$ ;  $L$ ——原水面库边至计算点距离,  $(\text{m})$ 。

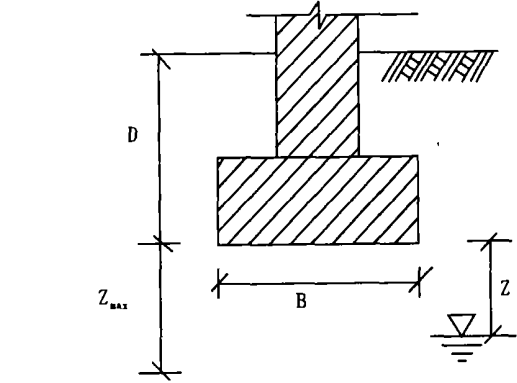


图 4 地下水壅高对地基承载力影响计算剖面

库区两岸近库范围内地下水抬高视为河渠水位迅速上升, 研究库区范围潜水的非稳定流问题。水库蓄水后, 浸没区水位与蓄水位并不同时上升, 存在滞后现象。浸没时间预测的水文地质模型简化为:

- (1) 阶地为砂卵石, 简化为均质、各向同性含水层, 位于水平隔水层之上, 上部降雨入渗量忽略不计;
- (2) 潜水流初始状态为稳定流;

表 1 “1 130 m”蓄水方案水库淹没面积 预测成果

| 序号                  | 断面     | 淹没区名称 | 距坝里程<br>/ km | 淹没区宽<br>度/ m | 淹没区长<br>度/ m | 淹没高程范<br>围/ m     | 次生沼泽化<br>面积/ m <sup>2</sup> | 一般淹没影<br>响面积/ m <sup>2</sup> |
|---------------------|--------|-------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1                   | DT 50  | 奎武三组  | 33. 4        | 4            | 425          | 1130. 2 ~ 1132. 7 | 136                         | 1700                         |
| 2                   | DT 61  | 花石包   | 33           | 6            | 725          | 1130. 3 ~ 1132. 8 | 522                         | 4350                         |
| 3                   | DT 66  | 繁荣二组  | 31           | 11           | 650          | 1130. 3 ~ 1132. 8 | 858                         | 7150                         |
| 4                   | DT 87  | 繁荣一组  | 29           | 6            | 800          | 1131. 2 ~ 1133. 7 | 2304                        | 4800                         |
| 5                   | DT 85  | 繁荣一组  | 29. 5        | 6            | 1030         | 1130. 7 ~ 1133. 2 | 1730                        | 6180                         |
| 6                   | DT 94  | 北头村   | 28           | 8            | 1020         | 1131. 4 ~ 1133. 9 | 4570                        | 8160                         |
| 7                   | DT 114 | 南头二组  | 24           | 10           | 600          | 1130. 3 ~ 1132. 8 | 720                         | 6000                         |
| 合计/ km <sup>2</sup> |        |       |              |              |              |                   | 0. 011                      | 0. 0384                      |

- ( 3) 蓄水过程简化为连续阶梯状;
- ( 4) 河水位抬高后的潜水流为一维流。

$$\alpha \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\partial S}{\partial a}$$

( 3)

初始边界条件为:  $S(x, 0) = 0; S(, t) = 0; S(0, t) = H$   
 $S(x, t) = H \cdot erf c(\frac{x}{2 \sqrt{at}}) = H \cdot erf c(z) = H \cdot S( )$  ( 4)

式中:  $x$  —— 淹没地点距离河床位置;  $a$  —— 含水层压力传导系数;  $k$  —— 渗透系数, m/ d;  $\mu$  —— 给水度;  $t$  —— 时间, d;  $S$  —— 河水对地下水位影响系数, 其值随时间  $t$  和距离  $x$  而变化;  $S(x, t)$  —— 地下水位变化值, 初始水位算起, 上升为正, 下降为负。

在河水对地下水位影响系数  $S$  定值时, 推导出淹没时间公式  $t = \frac{\mu \cdot x^2}{4 \cdot k \cdot h \cdot z^2}$ , 可定性判定淹没时间与距离的平方成正比, 且与库区地层岩性有关; 渗透系数越大, 给水度越小, 淹没时间来的越快。淹没滞后时间计算结果为 20 ~ 111 d, 由于潜水假定为一维流、库水位假定为阶梯状变化、渗透系数为经验值和调查值, 计算结果可能存在误差。

表 2 淹没滞后时间预测成果

| 断面编号      | D50 | D61 | D66 | D87 | D85 | D94 | D114 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 淹没滞后时间/ d | 20  | 33  | 39  | 97  | 47  | 111 | 36   |

3 淹没影响及淹没区设防措施

淹没区按照影响程度可分为次生沼泽化区和一般淹没影响区。次生沼泽化区高程位于淹没高程底线和正常蓄水位之间。蓄水后该地段长期积水, 农作物生长不良, 屋基、地面潮湿, 各种家具物品常陷进地面, 严重时屋内也有积水, 不能居住, 且低洼地方受蓄水影响冒水, 对堤防安全构成威胁。

淹没影响区低矮民房, 地基土的承载强度会有一定程度下降; 但多年暴雨实践证明, 不会引起此类房屋的普遍破坏。对二层以上的建筑物, 由于基础埋置深度大, 淹没对该类建筑物基础影响不大。若此类建筑物采用毛石基础, 基础宽度  $B = 0.7$  m, 埋置深度  $D = 1.5$  m。根据极限荷载理论确定地下水上升的最大影响深度  $Z_{\max} = 1.238 \times B = 0.87$  m。地基承载力均随地下水位上升而下降, 地下水位上升至基础面以参考文献:

[ 1] 张蔚榛. 地下水非稳定流计算和地下水资源评价[ M]. 北京: 科学出版社, 1983.

[ 2] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[ M]. 北京: 地质出版社, 1994.

[ 3] 赵之明, 王忆南. 依据具体条件确定双阳河水库淹没范围[ J]. 黑龙江水专学报, 1994, ( 4): 42– 46.

[ 4] 宋爱英, 黄仙枝. 汾河太原段建坝蓄水后淹没水位的估算[ J]. 山西水利科技, 1996, ( 12): 41– 46.

[ 5] 周健, 屠洪权, 缪俊发. 地下水位与环境岩土工程[ M]. 上海: 同济大学出版社, 1995.

[ 6] 刘汉超, 陈明东, 黎克武, 等. 库区环境地质评价研究[ M]. 成都: 科技大学出版社, 1993. 6.

上时地基承载力下降明显( 图 4、表 3)。该类建筑物内较潮湿; 对于淹没区的旱地农作物, 其根系受毛细上升高度影响而导致产量降低, 严重者枯黄, 颗粒无收; 而对水稻等作物, 虽其根系受毛细水上升高度影响, 而对产量的影响不大。库区范围个别阶地后缘低洼的地区, 水库蓄水后, 由于高水位长期持续, 低洼处高程位于承压水头线之下的将出现自流溢出现象, 其分布范围的影响程度同淹没区。

表 3 地下水壅高对基础承载力影响程度

| 地下水位 Z       | - 0. 9 | - 0. 6 | - 0. 3 | 0   | 0. 03 | 0. 3 | 0. 6 | 0. 9 | 1. 2 | 1. 5 |
|--------------|--------|--------|--------|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 承载力降低率 $\mu$ | 0      | 4%     | 8%     | 11% | 12%   | 21%  | 31%  | 41%  | 50%  | 60%  |

注: “+”表示地下水位在基础面以上, “-”表示地下水位在基础面以下。  
为减少土地淹没损失, 针对淹没区淹没类型的差异采取不同的防护措施:

( 1) 在次生沼泽区开挖鱼塘, 鱼塘边种桑树, 搞多种经营, 将开挖的壤土回填到根系影响带, 改良土壤, 人工造田; 淹没区后缘开挖深度大于 1. 5 m 的排水渠道, 降低地下水位。

( 2) 根系影响区可考虑改种根系深度浅的作物, 或根据淹没滞后时间改变种植结构以减少淹没损失。低洼区、轻微淹没区种植水稻, 远离淹没的地区种植旱作物。

( 3) 在易坍塌淹没区的前缘修建防护墙, 挖低处土壤回填, 加高地面, 减少根系影响或使根系不受影响, 即避免淹没区的扩大, 又能有效增加库容。

( 4) 在不受淹没影响、稳定性较好的陡坡地带, 设置透水石笼, 即防止波浪冲刷而影响边坡稳定性, 又可使地下水自由渗出。

( 5) 淹没影响区内毛石基础类建筑物其基础埋置深度应尽量大于 1. 5 m, 有条件的尽量置于基岩之上, 以减轻淹没影响程度。

5 结 论

1 130 m 蓄水方案, 库区范围淹没面积有 0. 049 4 km<sup>2</sup>, 而土地淹没面积为 159. 8 hm<sup>2</sup>, 因此淹没问题相对轻微, 不对工程的修建与否起控制作用。但确切地预测淹没面积, 既可降低库区次生灾害, 又有助于库区的地质环境保护和可持续发展。