

# 谷麦得水库防渗方案设计

张颜<sup>1</sup> 房蕾<sup>1</sup> 王晓杰<sup>2</sup>

1 中水北方勘测设计研究有限责任公司，天津，300222；

2 中国市政工程中南设计研究总院有限公司，湖北省武汉市，430000；

**摘要：**谷麦得水库位于碳酸盐岩分布区，岩溶现象较为发育，岩溶渗漏是制约水库发挥正常效益的关键问题。基于详细的水文地质资料对库坝区进行渗漏分析，对成库条件进行论证并提出合理的防渗体系，同时为客观评价水库防渗措施的效果开展了渗流模拟，可为类似岩溶地区水库的防渗设计提供参考。

**关键词：**水库防渗；岩溶地区；防渗设计；渗流模拟

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.06.031

## 1 工程概况

谷麦得水库位于云南省红河州泸西县隆德村附近的天然岩溶洼地内，为一座小（1）型注入式水库，总库容134.5万m<sup>3</sup>，是灌区的水源工程之一。工程由大坝、输水工程及库区防渗工程组成，坝型为粘土均质坝，正常蓄水位2053.5m，最大坝高28.91m，坝长252.30m，坝顶宽5.0m。

## 2 基本地质条件

### 2.1 地形地貌

库区地形整体呈“Y”型状，库区东北侧及西北侧地势渐高，向南侧逐渐降低，呈缓斜坡状，高程在2034~2035m之间，周边库岸山坡地形坡度在20°~40°间。

### 2.2 地层岩性

库区内出露地层有中生界三叠系中统个旧组第二段（T2gb），包括碎屑岩组及碳酸盐岩组，其中碎屑岩组岩性可见泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩等，局部为钙质胶结，可见部分碳酸盐岩夹层，主要分布于库区左岸；碳酸盐岩组岩性可见灰岩、白云质灰岩、泥灰岩等，以灰岩为主，局部可见泥质粉砂岩夹层，主要分布于库区右岸。自左岸向右岸，自碎屑岩组向碳酸盐岩组逐渐过渡。

### 2.3 地质构造

库区及周边构造较发育，岩体全风化层主要在左岸及库区分布，右岸岩体风化为强风化~弱风化状。

## 3 岩溶渗漏水文地质条件

### 3.1 岩溶发育特征

库区左岸以碎屑岩组为主，主要岩溶现象以溶孔、溶隙为主，岩溶现象整体属偶发性，发育程度低。库区右岸整体为碳酸盐岩组，其岩溶发育段主要集中在孔深40m以上的层位，有典型的溶孔、溶隙，但均发育不成规模；库区库底分布的灰岩中，典型的岩溶现象为发育程度低的溶隙、溶孔，未揭露到溶洞。

### 3.2 地下水位动态观测

库区及周边地下水类型有以下三类：第四系松散堆积物孔隙水、碎屑岩裂隙水及碳酸盐岩裂隙溶洞水。

水库地下水位长观孔共进行了6次地下水位观测工作，地下水位长观孔分布见图1。成果见表1。

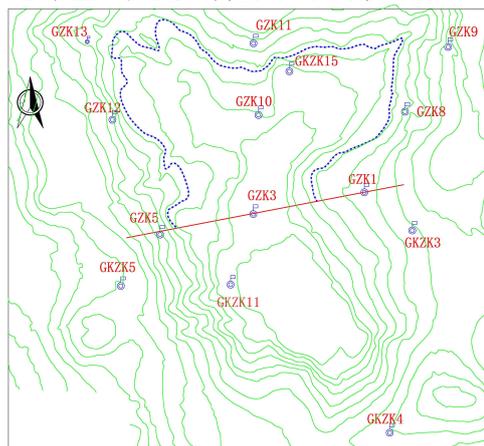


图1 水库地下水位长观孔位置示意图

表1 水库地下水位长观孔观测成果统计表

| 观测时间   | 位置 | 2020.9.30  | 2020.12.13 | 2021.1.14  | 2021.2.17  | 2021.3.19  | 2021.3.27  | 2021.4.09  | 最高水位<br>/m | 最低水位<br>/m | 变幅<br>/m |
|--------|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|        |    | 地下水位<br>/m |            |            |          |
| GZK11  | 库尾 | 2041.64    | 2041.76    | 2040.88    | 2040.53    | 2039.63    | 2039.51    | 2039.35    | 2041.76    | 2039.35    | 2.41     |
| GKZK15 | 库尾 | 2037.66    | 2033.2     | 2032.01    | 2031.69    | 2031.01    | 2030.99    | 2031.12    | 2037.66    | 2030.99    | 6.67     |

| 观测时间<br>长观孔<br>编号 | 位置   | 2020.9.30  | 2020.12.13 | 2021.1.14  | 2021.2.17  | 2021.3.19  | 2021.3.27  | 2021.4.09  | 最高水位<br>/m | 最低水位<br>/m | 变幅<br>/m |
|-------------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                   |      | 地下水位<br>/m |            |            |          |
| GZK10             | 库区   | 2037.18    | 2030.33    | 2028.68    | 2028.23    | 2027.93    | 2027.88    | 2028.03    | 2037.18    | 2027.88    | 9.3      |
| GZK3              | 坝址河床 | 2026.33    | 2020.62    | 2019.52    | 2019.25    | 2019.19    | 2019.24    | 2019.02    | 2026.33    | 2019.02    | 7.31     |
| GKZK11            | 坝址下游 | 2024.29    | 2024.72    | 2024.57    | 2024.51    | 2024.12    | 2024.13    | 2024.4     | 2024.72    | 2024.12    | 0.6      |
| GZK1              | 坝址左岸 | 2055.28    | 2047.85    | 2045.37    | 2045.08    | 2043.65    | 2043.35    | 2043.06    | 2055.28    | 2043.06    | 12.22    |
| GKZK3             | 坝址下游 | 2041.23    | 2043.62    | 2042.31    | 2042.24    | 2040.85    | 2040.73    | 2040.53    | 2043.62    | 2040.53    | 3.09     |
| GZK8              | 库区左岸 | 2036.16    | 2032.5     | 2030.12    | 2030.05    | 2030.22    | 2030.18    | 2030.18    | 2036.16    | 2030.05    | 6.11     |
| GZK9              | 库区左岸 | 2052.86    | 2052.4     | 2052.13    | 2051.92    | 2051.81    | 2051.71    | 2051.53    | 2052.86    | 2051.53    | 1.33     |
| GZK13             | 库区右岸 | 2037.07    | 2036.56    | 2036.37    | 2036.11    | 2036.36    | 2036.46    | 2036.41    | 2037.07    | 2036.11    | 0.96     |
| GZK12             | 库区右岸 | 2045.76    | 2039.54    | 2038.46    | 2038.25    | 2037.97    | 2038.03    | 2038       | 2045.76    | 2037.97    | 7.79     |
| GZK5              | 坝址右岸 | 2036.65    | 2035.43    | 2035.12    | 2034.9     | 2035.07    | 2035.09    | 2035.07    | 2036.65    | 2034.9     | 1.75     |
| GKZK5             | 坝址下游 |            | 2020.29    | 2020.36    | 2020.15    | 2020.59    | 2020.76    | 2020.76    | 2020.76    | 2020.15    | 0.61     |
| GKZK4             | 坝址下游 | 2021.32    | 2021.51    | 2021.06    | 2020.87    | 2019.99    | 2020.03    | 2020.01    | 2021.51    | 2019.99    | 1.52     |

需特别说明的是左岸的GZK8、GZK9两钻孔的地下水位情况:

GZK8: 孔深65m, 水位埋深在21.33m左右, 钻进至57.5m深度时孔内水位出现突然下降, 水位降至33.35m左右并趋于稳定。终孔后, 将孔底高程封至孔深40m, 封孔完毕后地下水位持续升高, 后恢复至稳定水位高程2036.16m。在孔内布置钻孔电视观察, 孔壁粗糙, 岩体完整性差。

GZK9: 孔深65m, 地下水位均保持在埋深17m左右, 但在钻进至55~56.5m处时, 孔内水位出现突然下降, 降至50m并趋于稳定。封孔至深度约40m后, 地下水位恢复至埋深24.5m。

根据地下水位观测得出以下结论:

(1) 左岸地下水位随地形的抬升逐渐升高, 左岸GZK1及库尾东侧GZK9两钻孔地下水位已高于水库正常蓄水位, 地下水流向库区内, 判断左岸不存在邻谷渗漏问题。GZK8及GZK9两个钻孔内2层地下水位的事实表明, 左岸岩性整体透水性不强, 相对隔水, 但由于岩性、构造等原因造成左岸碎屑岩区内不同深度段含有的不同层地下水;

(2) 右岸钻孔内地下水位整体均未达到正常蓄水位, 自坝址区向下游地下水位有明显下降的现象。右岸自河谷向岸坡地下水位虽有缓慢抬升, 但至右坝肩处, 地下水位距正常蓄水位尚差16m左右。GZK5至GKZK5两钻孔, 水平距离仅100m, 且GKZK5地表高程较GZK5高33m, 地下水位降深却达17m, 反映坝址右岸下游侧水文地质条件较复杂, 地下水位以上属岩溶发育较强烈的地带, 自然条件下水库蓄水后存在渗漏问题。

(3) 库盆自库尾向坝址方向, 整体呈现出水位逐渐降低的趋势, 位于东北侧库尾北部的钻孔GKZK1内水位已高于水库正常蓄水位, 坝址区地下水属两岸补给河

谷的趋势。

### 3.3 岩土体渗透性

岩体透水率大于5Lu带下限的深度为: 左岸约在60~65m深度, 右岸约在20~95m深度; 库盆约在35~65m深度。

### 3.4 岩溶类型分析

库区均可观测到相对稳定的地下水位, 地下水由库区周边向库内及坝址方向径流的趋势, 表明库区范围内整体上存在由弱风化、微新碳酸盐岩及碎屑岩构成的完整隔水底界, 吕荣值低于5Lu, 此底界的存在是水库成库的重要依据。库坝区岩溶以溶孔、溶隙为主, 分布不均, 库区渗漏以溶隙、裂隙型渗漏为主。

## 4 渗控设计思路

### 4.1 防渗方式

水库进行防渗处理的型式主要有水平防渗及垂直防渗。水平防渗的防渗措施较直观, 但成库后库盆悬挂高度大, 长期运行存在渗透变形、沉降变形问题, 并存在击穿破坏风险<sup>[1]</sup>。谷麦得库坝区地下水位局部存在枯水季、丰水季变幅较大的情况, 对水平防渗体系内外水汽压力平衡有不利影响; 库区内发育两处泉水, 虽为季节性泉水, 但活动期流量差异较大且体现出一定的承压性, 水平防渗处理较为困难; 右岸局部基岩裸露, 地形陡峭, 因此选择垂直防渗处理方案。

### 4.2 防渗设计原则

库区底部存在透水率低于5Lu的较为连续的相对隔水层作为防渗帷幕的底界。鉴于地下水位变幅较大, 灌浆帷幕底界深度考虑以下2个控制因素: 进入5Lu以下5m, 同时进入地下水位以下20m。

### 4.3 防渗处理思路

防渗处理需基于岩溶发育特征科学确定帷幕走向、端点位置延伸范围，灌浆排数、孔距与排距，结合水力梯度要求控制帷幕深度，重点处理主渗漏通道。从控制工程投资的角度，水库一般允许一定的渗漏量，帷幕长度以控制主要渗漏范围为主，其他地段则少作或不作处理<sup>[2]</sup>。

### 4.4 防渗方案设计

需针对不同部位确定防渗措施，对岩溶发育部位进行重点灌浆补强，防渗体系见图2。

坝址区：沿整个坝轴线进行垂直帷幕防渗，坝轴线处防渗帷幕线路长267m，孔距1.5m，其中坝0+000.00~坝0+126.00单排布置，坝0+126.00~坝0+267双排布置，排距1m。

库区左岸：左岸防渗由大坝左岸为起点延伸，以正常蓄水位线与左岸地下水水位的交点为左岸防渗终点。左岸防渗帷幕线路长30m，孔距1.5m，单排布置。

库区右岸：结合坝址防渗帷幕，沿坝轴线右侧处坝肩外延，接至正常蓄水位高程的地下水。沿正常蓄水位线对库区右岸进行灌浆，由于地形线起伏在5m左右，落差不大，取直线路并延伸至库尾，右岸防渗帷幕线路长354m，孔距1.5m，Y0+000.00~Y0+106.50双排布置，排距1m，Y0+106.5~Y0+354单排布置。



图2 防渗方案平面图

## 5 渗流分析

本研究利用MIDAS/GTS NX建立库区三维渗流模型，对水库的渗流场进行数值模拟计算。

### 5.1 三维渗流模型

计算时不考虑地下水位随水库水位的变化而变化。模型按照划分为3层，自上至下依次为强透水层，中透水层，不透水层，地下水位边界线主要参考钻孔揭露的

地下水位线。模型中参数选取综合考虑水文地质单元分区和岩体透水性，模型山体分水岭和河道设定为定水头边界，根据地勘资料确定岩土层渗透系数，防渗帷幕的为5Lu。计算模型见下图3。

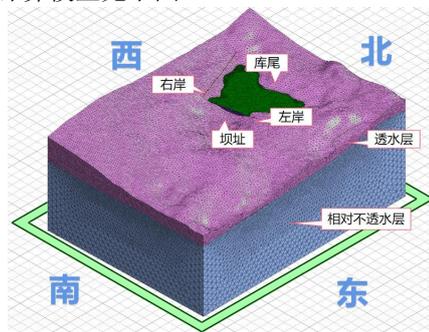


图3 水库有限元计算模型

## 5.2 三维渗流计算结果

水库正常蓄水位下渗漏量计算结果见表2。

表2 水库地下水位长观孔观测成果统计表

| 计算条件     | 水位 (m)       | 渗漏量 (L/s) |
|----------|--------------|-----------|
| 天然状态不设帷幕 | 正常蓄水位 2053.5 | 1.91      |
| 设置防渗帷幕   | 正常蓄水位 2053.5 | 0.81      |

数值模拟证实，该防渗体系可显著控制渗漏量，本工程防渗体系合理。

## 6 结语

为了保证防渗处理方案的正确性，应全面查明影响渗漏的主要地质缺陷和水文地质条件，因地制宜地采取相应的针对性措施<sup>[3]</sup>。本研究以谷麦得水库为例，通过系统分析库坝区水文地质条件与渗流特征，揭示了主要渗漏通道的形成机制，提出了针对性的分区防渗方案，并运用三维渗流数值模型证实防渗方案的有效性。研究成果可为岩溶地区的水库建设提供了可借鉴的渗控技术路线，具有理论与实践价值。

### 参考文献

- [1] 龚志明. 永德县马鞍桥岩溶水库成库条件评价[J]. 工程勘察, 2022, 50(11): 49-56.
- [2] 肖伟, 邹德兵, 闫福根等. 龙塘水库库坝区岩溶渗漏分析及渗控设计[J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(S2), 196-202.
- [3] 沙斌, 马光猛. 板厂沟水库库区渗漏分析及处理[J]. 四川水利, 2022, 43(03), 81-82+152.

作者简介：张颜（1991.5—），女，天津人，硕士研究生，工程师，主要从事水利水电工程设计等工作。