

某中型水库大坝渗漏检测分析

王周萼¹, 王鹏²

(1. 长江勘测规划设计研究院, 湖北省武汉市, 430011; 2. 长江勘测规划设计研究院, 湖北省武汉市, 430011)

摘要: 某中型水库大坝渗漏严重, 自竣工蓄水以来一直未达到正常蓄水位, 影响水库效益的发挥, 同时也威胁大坝安全。为确保水库正常运行, 需查明大坝渗漏原因及渗漏部位, 以便采取针对性的处理措施。采用渗漏调查、地下水位观测、声呐检测与钻孔探测等四种方法进行渗漏检测, 对每种方法所获成果进行了分析。在此基础上, 对大坝渗漏强度进行平面分区与剖面分带, 确定了强渗漏区(带)、中等渗漏区(带)以及渗漏不明显区(带), 为下一步大坝防渗处理指明了方向。

关键词: 渗漏调查; 水位观测; 声呐检测; 钻孔探测; 渗漏强度

中图分类号:

文献标识码: A

1 引言

某中型水库总库容约 5000 万 m^3 , 正常蓄水位 950m, 主要由大坝、泄洪洞、取水洞等建筑物组成。大坝为沥青混凝土心墙坝, 坝顶长 1100m, 宽 5m, 高程 953.30m, 最大坝高 26.00m; 坝体采用沥青混凝土心墙防渗, 坝基采用混凝土防渗墙防渗。

水库自竣工蓄水以来, 因大坝渗漏严重, 一直未达到正常蓄水位。当库水位达到 937.70m 时发现坝后局部坡脚有冒水翻砂现象, 随着库水位升高, 渗漏量有增加趋势。当库水位在 943m 左右时, 渗漏点逐渐增多, 主要有: 桩号 0+300~0+550m 段坝后溢出点抬高并伴有明流渗出; 左坝肩有绕坝渗流; 桩号 0+100 至 0+500 之间坝脚普遍潮湿并积水; 桩号 0+500 一带坝脚形成渗漏明流; 桩号 0+500 至 0+600 之间坝脚潮湿。坝后量水堰观测数据表明, 库水位最高时年总渗漏量可达 700 万 m^3 , 最低时年总渗漏量约 150 万 m^3 , 总体来说渗漏严重, 妨碍水库效益的发挥, 同时也给大坝安全带来影响, 需进行处理。采用渗漏调查、地下水位观测、声呐检测与钻孔探测等综合检测手段, 查明了大坝渗漏原因及渗漏部位, 为下一步大坝防渗处理提供了准确依据。

2 大坝渗漏检测与成果分析

大坝渗漏检测的方法较多, 并已得到广泛应用^[1-3], 某水库采用四种方法进行检测, 即渗漏调查、地下水位观测、声呐检测与钻孔探测。

2.1 大坝渗漏调查

2.1.1 渗漏现象

调查表明, 大坝及其周围一带可分为三大渗漏区域(点), 即泄洪洞西侧渗漏区、泄洪洞东侧渗漏区、泄洪洞渗漏点。

(1) 泄洪洞西侧渗漏区: 渗漏区桩号 0+150~0+254, 范围涵盖泄洪洞与取水洞。该区段坝后坡脚潮湿, 渗水量较大, 地下水位很高, 桩号 0+160、距坝脚约 10m 处埋置的 PPC 管水位埋深仅 1m 左右。为疏排地下水, 于坝脚附近开挖排水沟, 引导该区段渗漏水流排向泄洪洞消力池(图 1)。

(2) 泄洪洞东侧渗漏区: 渗漏区桩号为 0+266~0+600。可分为三段, 桩号 0+266~0+495 段坝后坡脚高程较低, 局部有积水, 未见明流; 桩号 0+495~0+515 段坝后坡脚见集中式明流, 渗漏量较大(图 2)。桩号 0+515~0+600 段坝后坡脚因地势较高, 未见明流, 但局部潮湿, 并见积水顺浅排水沟流向西侧(桩号 0+495~0+515), 但流量较小。



图1 泄洪洞西侧渗漏区水流排向消力池



图2 桩号 0+495~0+515 段坝后坡脚集中式明流

(3) 泄洪洞渗漏点：位于泄洪洞内大坝心墙下游侧洞顶接缝部位，沿接缝呈串珠状滴水，总体渗漏量较小。

2.1.2 成果分析

根据调查结果，大坝渗漏较严重，渗漏大致以泄洪洞为中心，两侧的渗漏量均较大。

(1) 泄洪洞西侧的渗漏量较大，但无法判断是坝体心墙还是坝基防渗墙渗漏所导致，或两者兼而有之，因为较陡的坝坡加之填筑土相对较强的透水性使得渗漏水流难以从坝坡溢出。

(2) 泄洪洞东侧的渗漏量也较大，对渗漏结果的分析与西侧相同。

(3) 泄洪洞渗漏点位于泄洪洞内大坝心墙下游侧洞顶接缝部位，总体渗漏量较小，为大坝心墙漏水顺接缝流出。

2.2 大坝地下水位观测

2.2.1 观测数据

大坝在多处设置了渗流观测点，这里以桩号 0+500 部位的观测点为例进行分析，其他部位的分析可类比。通过观测获得的地下水头数据与库水位进行比较，可判断该部位是否存在渗漏以及渗漏的强弱。

选择上述桩号在 2015 年 6 月 6 日与 2016 年 8 月 5 日的观测数据进行分析，这两个月份也是库水位相对较高时段，观测数据见图 3。

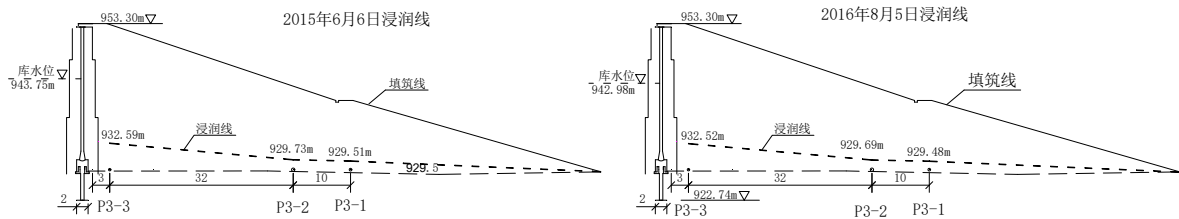


图3 桩号 0+500 处浸润线图

图 3 所示的 2015 年 6 月 6 日浸润线表明：桩号 0+500 处三个观测点 P3-1、P3-2、P3-3 的水位分别为 929.51m、929.73m、932.59m，水力坡降相对较大，观测点 P3-2 与 P3-3 之间比降接近 9%，距心墙最近的观测点 P3-3 的水位低于库水位约 11.2m。2016 年 8 月 5 日浸润线表明：桩号 0+500 处三个观测点 P3-1、P3-2、P3-3 的水位分别为 929.48m、929.69m、932.52m，水力坡降相对较大，观测点 P3-2 与 P3-3 之间比降接近 9%，距心墙最近的观测点 P3-3 的水位低于库水位约 10.5m。

2.2.2 成果分析

上述地下水位观测基本处于库水位相对较高时段，对分析大坝渗漏很有意义。综合两个时间点的观测数据，有如下结论：

桩号 0+500 部位的观测点能够观测到地下水位，且靠近心墙的 P3-3 地下水位较高，说明大坝防渗体系存在渗漏，尤其是心墙存在渗漏的可能。

2.3 声呐检测

2.3.1 检测基本原理

声呐技术在大坝渗漏中的应用也越来越广泛^[4-5]。水下声波渗流探测技术，是利用声波在水中的优异传导特性，而实现对水流渗漏场的测量。如果被测水域的水体存在渗漏，则必然会在测区产生渗漏流场，声呐探测器能够精细地检测其声波在流体中传播的大小，顺流方向声波传播速度会增大，逆流方向则减小，同一传播距离就有不同的传播时间。利用传播速度之差与被测流体流速之间的关系，建立连续的渗流场水质点流速计算公式：

$$U = -\frac{L^2}{2X} \left(\frac{1}{T_{12}} - \frac{1}{T_{21}} \right)$$

式中：

L—声波在传感器之间传播路径的长度，m；

X—传播路径的轴向分量，m；

T_{12} 、 T_{21} —从传感器 1 到传感器 2 和从传感器 2 到传感器 1 的传播时间，s；

U—流体通过传感器 1、2 之间声道上平均流速，m/s。

通过室内外实验测试以及水电工程的验证，声呐测量方法能够定量测定出渗漏入水口的流速，钻孔中地下水渗流的速度以及隐蔽工程有破损漏水的坐标位置。

2.3.2 检测工作布置

前期在大坝防浪墙上游侧顺坝轴线布置了 34 个先导钻孔，钻孔间距一般 30~50m，终孔孔径 76mm，钻孔一般深入基岩 15~20m，钢管护套下至基岩面。检测工作主要利用 34 个钻孔进行测试，总检测深度 1881m，检测间距 1m，测量结点数 1881 个。

2.3.3 检测成果分析

(1) 渗漏流速

检测时上游水位 943.56m，下游水位 930.06m，上下游水位差 13.50m。对 34 个先导钻孔进行声呐检测，成果统计见表 1。

表 1 大坝渗漏声呐检测成果统计表

大坝桩号 (m)	平均渗漏 流速 (m/d)	渗漏量 (m ³ /d)		渗漏量占总渗 漏量比例 (%)	渗漏区分级
		区段渗漏量	单宽渗漏量		
0-030~0+030	2.654	2341	39.0	21.8	强渗漏区
0+030~0+177	0.185	707	4.8	6.6	中等渗漏区
0+177~0+285	0.049	116	1.1	1.2	渗漏不明显区
0+285~0+315	3.094	3063	102.1	28.6	强渗漏区
0+315~0+373	0.041	43	0.7	0.4	渗漏不明显区
0+373~0+405	3.041	2546	79.6	23.7	强渗漏区
0+405~0+524	0.260	681	5.7	6.3	中等渗漏区
0+524~0+736	0.034	108	0.5	1.0	渗漏不明显区
0+736~0+765	1.402	894	30.8	8.3	强渗漏区
0+765~1+223	0.035	224	0.5	2.1	渗漏不明显区

根据表 1 的声呐检测结果，总结如下：

①强渗漏区有 4 段，桩号分别为 0-030~0+030、0+285~0+315、0+373~0+405、0+736~0+765，总长 151m，约占检测总长的 12%。渗漏流速 1.402~3.094m/d，平均约 2.473m/d，渗漏量为 8844m³/d，约占总渗漏量的 82.5%。

②中等渗漏区有 2 段，桩号分别为 0+030~0+177、0+405~0+524，总长 266m，占检测总长的 21%。渗漏流速分别为 0.185m/d、0.260m/d，平均约 0.223m/d，渗漏量为 1388m³/d，约占总渗漏量的 12.9%。

③不明显渗漏区有 4 段，桩号分别为 0+177~0+285、0+315~0+373、0+524~0+736、0+765~1+223，总长 836m，占检测总长的 67%。渗漏流速平均约 0.040m/d，渗漏量为 492m³/d，约占总渗漏量的 4.6%。

可见，大坝渗漏主要集中于强渗透区，其次是中等渗透区，不明显渗透区的渗漏量很小。总渗漏量为 10723m³/d，对应年渗漏量为 391.4 万 m³。

(2) 渗透系数

根据各测孔地下水位与库水位的水头差值，计算出各测孔的水力梯度，依据渗漏流速与水力梯度的关系式，计算出各测孔中的渗透系数 K，按渗透系数 K 的大小划分强透水(K>8.64m/d)、中等透水(0.0864<K<8.64m/d)及弱透水(K<0.0864m/d)，成果统计见表 2。

表 2 大坝渗漏声呐检测渗透性分级统计表

大坝桩号 (m)	平均渗透系数 K (m/d)	渗透性分级
0-030~0+030	12.52	强透水
0+030~0+075	1.552	中等透水(中强透水)
0+75~0+105	0.587	中等透水
0+105~0+158	1.015	中等透水(中强透水)
0+158~0+169	0.584	中等透水
0+169~0+177	3.949	中等透水(中强透水)
0+177~0+285	0.309	中等透水
0+285~0+315	10.54	强透水
0+315~0+373	0.342	中等透水
0+373~0+405	10.55	强透水
0+405~0+524	2.498	中等透水(中强透水)
0+524~0+585	0.181	中等透水
0+585~0+644	0.062	弱透水
0+644~0+674	0.107	中等透水
0+674~0+736	0.039	弱透水
0+736~0+765	4.203	中等透水(中强透水)
0+765~0+805	0.082	弱透水
0+805~1+053	0.122	中等透水
1+053~1+104	0.033	弱透水
1+104~1+223	0.126	中等透水

根据表 2 的声呐检测渗透性分级结果，总结如下：

①强透水性有 3 段，桩号分别为 0-030~0+030、0+285~0+315、0+373~0+405，总长 122m，约占检测总长的 10%，平均渗透系数 K 为 11.203m/d。

②中等透水性有 13 段，桩号为 0+030~0+285、0+315~0+373、0+405~0+585、0+644~0+674、0+736~0+765、0+805~1+053、1+104~1+223，总长 919m，约占检测总长的 73%。

中等透水性的渗透性级别跨度大，最大量级与最小量级相差 100 倍，为此按照量级大小细分为两种渗透性等级。一是渗透系数 K 处于 0.0864~0.864 m/d 之间，桩号有 0+75~0+105、0+158~0+169、0+177~0+285、0+315~0+373、0+524~0+585、0+644~0+674、0+805~1+053、1+104~1+223，总长 665m，约占检测总长的 53%，平均渗透系数为 0.295m/d；二是渗透系数 K 处于 0.864~8.64m/d 之间，这里称之为中强透水性，桩号有 0+030~0+75、0+105~0+158、0+169~0+177、0+405~0+524、0+736~0+765，总长 254m，约占检测总长的 20%，平均渗透系数为 2.643m/d。

③弱透水性有 4 段，桩号分别为 0+585~0+644、0+674~0+736、0+765~0+805、1+053~1+104，总

长 212m, 约占检测总长的 17%, 平均渗透系数 K 为 0.054m/d。

综合渗漏流速与渗透系数的统计结果, 两者是基本一致的, 较大的渗漏流速对应较大的渗透系数。从渗漏流速看, 强渗漏区与中等渗漏区总长约 417m, 约占检测总长的 33%; 从渗透系数看, 强透水性区与渗透系数 K 在 0.864~8.64m/d 之间的中强透水性区段总长为 376m, 约占检测总长的 30%。

2.4 钻孔探测

利用钻孔可探测大坝岩土体结构, 并在孔内进行压水试验以获取坝基岩体的透水性。

2.4.1 大坝岩土体结构

为查明大坝渗漏严重部位的岩土体结构, 在桩号 0+050~0+550 之间长约 600m 区段布置 4 个钻孔, 均位于坝顶, 高程 953.30m。钻探结果表明: 大坝岩土体结构较简单, 可分为三层, 上层为覆盖层, 岩性主要为粉土、粉细砂, 局部分布冲积砾砂、中粗砂; 中层为强风化基岩, 厚度一般较小; 下层为中等风化基岩, 岩芯完整, 工程性状较好。

2.4.2 钻孔压水试验

为获取坝基岩体透水性, 对 4 个钻孔揭示的坝基岩体进行压水试验 (图 4), 成果见表 3。



图 4 钻孔压水试验

由表 3, 全强风化岩体不起压, 为强透水; 强风化岩体为中等透水, 平均透水率为 14.7Lu; 中等风化岩体为弱透水, 平均透水率为 4.5Lu。

表 3 坝基岩体钻孔压水试验成果

钻孔编号	桩号	孔深 (m)	风化分带	高程 (m)	试段长 (m)	透水率 q (Lu)	透水性等级
CZK1	0+000	26~29	全强风化	924.3~927.3	3.0	不起压	强透水
		29~32	强风化	921.3~924.3	3.0	12.3	中等透水
		32~35	中等风化	918.3~921.3	3.0	4.2	弱透水
CZK2	0+149.7	32~37	全强风化	916.3~921.3	5.0	不起压	强透水
		37~42	全强风化	911.3~916.3	5.0	不起压	强透水
CZK3	0+388.9	30~35	强风化	918.3~923.3	5.0	15.2	中等透水
		37~42	中等风化	911.3~916.3	5.0	4.6	弱透水
CZK4	0+508.5	30~33	强风化	920.3~923.3	3.0	16.7	中等透水
		35~40	中等风化	913.3~918.3	5.0	4.7	弱透水

2.4.3 成果分析

对比坝基防渗墙与钻探查明的岩土体之间的相互位置关系, 有以下认识:

(1) 桩号 0+050~0+125 之间的坝基防渗墙底高程在 923~932m 之间, 基岩面高程在 923~929m 之间, 基岩面高程低于防渗墙底高程, 基岩面以下分布厚约 6m 的基岩强风化层, 由此防渗墙底与中等风化

岩体之间的部分构成了该段坝基可能的渗漏通道。

(2) 桩号 0+125~0+290 之间的坝基防渗墙底高程大致与基岩面高程相同，但防渗墙底高程以下的基岩强风化层未经处理，可能成为坝基渗漏通道。

(3) 桩号 0+290~0+550 之间的坝基防渗墙底高程处于基岩面以下，但位于基岩强风化层以上 1~3m，由此防渗墙底以下的基岩强风化层可能构成渗漏通道。

3 大坝渗漏综合分析

3.1 渗漏强度划分标准

根据大坝渗漏调查、大坝地下水位观测、声呐检测、钻孔探测等一系列检测工作，对大坝渗漏强度进行平面分区与剖面分带，总体可分为：强渗漏区（带）、中等渗漏区（带）、渗漏不明显区（带）。

强渗漏区（带）：坝后坡脚有明流逸出或大面积潮湿；通过地下水位观测可发现大坝心墙下游侧地下水位明显高于坝后坡脚部位；声呐检测渗漏流速超过 1m/d；钻探揭示存在未经处理的坝基覆盖层及部分强风化层。

中等渗漏区（带）：坝后坡脚局部潮湿；声呐检测渗漏流速为 0.1~0.6m/d；钻探揭示存在未经处理的部分强风化层。

渗漏不明显区（带）：坝后坡脚无水或有其他部位来水滞留；地下水位观测发现大坝心墙下游侧无地下水；声呐检测渗漏流速小于 0.1m/d。

3.2 渗漏强度平面分区

根据渗漏强度划分标准，提出大坝渗漏强度平面分区见表 4。

表 4 渗漏强度平面分区表

渗漏分区	桩号	段长 (m)
强渗漏区	0-050~0+075、0+285~0+525、 0+730~0+770	405
中等渗漏区	0+075~0+180	105
渗漏不明显区	0+180~0+285、0+525~0+730、 0+770~1+100	640

3.3 渗漏强度剖面分带

根据渗漏强度划分标准，结合大坝渗漏强度平面分区成果，按照强渗漏带、中等渗漏带、渗漏不明显带在大坝纵剖面上进行划分（图 5），各带的桩号与平面上分区的桩号一致。

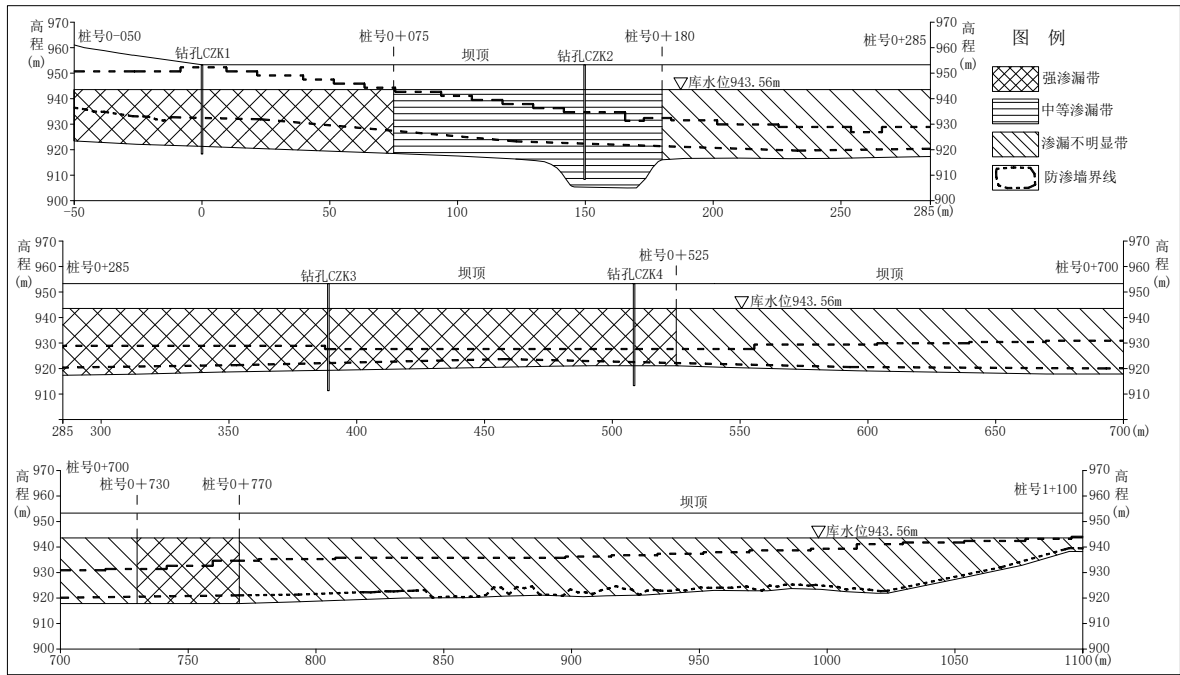


图5 大坝渗漏强度剖面分带图

4 结论

水库大坝渗漏是病险水库地质问题的一个主要方面。因渗漏的隐蔽性，难以准确查明具体渗漏部位，很多情况下采用全断面防渗的形式进行处理，即对坝基可能的渗漏部位以及坝体正常蓄水位以下的地段全部进行处理，这样做当然能够保证彻底防止渗漏，但弊病也很明显，无需进行防渗处理的部位也进行了防渗，造成投资的极大浪费。

针对某中型水库渗漏特点，采用渗漏调查、地下水位观测、声呐检测与钻孔探测等四种方法进行渗漏检测，各方法相辅相成，相互印证，查明了大坝渗漏原因及渗漏部位，对大坝渗漏强度进行平面分区与剖面分带，明确了强渗漏区（带）、中等渗漏区（带）以及渗漏不明显区（带），后期对强渗漏区（带）与中等渗漏区（带）进行了施工处理。从处理后水库多年运行情况看，大坝渗漏已不明显，并能蓄水至正常水位运行，说明防渗处理是有效的，确定的大坝渗漏部位是准确的。

参 考 文 献:

- [1] 董丽萍, 某水库大坝渗漏分析及处理设计. 工程技术, 2011年9月.
- [2] 宋华波等, 某水库大坝渗漏勘察实例分析. 土工基础, 2012年10月.
- [3] 李会中, 郭飞, 潘玉珍, 水库渗漏分类与处理措施研究. 资源环境与工程, 2017年04期.
- [4] 刘迪, 李雪娇, 于艳秋, 声呐渗漏检测于桥水库大坝渗漏点的应用研究. 海河水利, 2013年7月.
- [5] 杜家佳等, 高坝大库声呐渗流检测可视化成像研究. 大坝与安全, 2016年第2期.

Analysis on dam leakage detection of a middle reservoir

Wang Zhou'e¹, Zhu meng²

(1. Changjiang Survey Technology Research Institute, Ministry of Water Resources, Wuhan 430011, China)

(2. Changjiang Survey Technology Research Institute, Ministry of Water Resources, Wuhan 430011, China)

Abstract: The dam leakage of a medium-sized reservoir is serious, and it has not reached the normal water level since the completion of water storage, which affects the performance of the reservoir benefits and threatens the safety of the dam. In order to ensure the normal operation of the reservoir, it is necessary to find out the cause and location of the dam leakage, so as to take targeted treatment measures. Four methods are used for leakage detection, including leakage investigation, groundwater level observation, sonar detection and borehole detection. The results of each method are analyzed. On this basis, the seepage intensity of the dam is divided into plane and section zones, and the strong seepage zone (belt), the medium seepage zone (belt) and the non obvious seepage zone (belt) are determined, which points out the direction for the next seepage prevention treatment of the dam.

Key words: Leakage investigation; water level observation; sonar detection; borehole detection; Leakage strength

第一作者: 王周萼 (1974-), 男, 副总工程师, 高级工程师, 主要从事水利水电工程地质及岩土工程工
作;

通讯地址: 湖北省武汉市江岸区解放大道 2689 号;

电话: 13971671010,18502773299;

E_mail: wzhe588@163.com