

**浙江省开化县茅岗水库**

**大坝安全监测资料分析评价报告**

**（送审稿）**

**浙江省水利河口研究院**

**浙江省水库大坝安全监测中心**

**二○一八年四月**

**浙江省开化县茅岗水库**

**大坝安全监测资料分析评价报告**

**审 定 人：徐庆华**

**审 核 人：郑敏生**

**复 核 人：施齐欢**

**项目负责人：吉顺文 王 凯**

**报告编写人：王 凯**

**项目组成员：施齐欢 何耀辉 吉顺文**

**王 凯 张 婷 金泉华**

**胡天翰 方春晖 闫 滨**

**李 飞 王利容 赵 翀**

**浙江省水利河口研究院**

**浙江省水库大坝安全监测中心**

目 录

[1 工程概况 1](#_Toc512417588)

[2 监测系统完备性和可靠性评价 3](#_Toc512417589)

[2.1 监测设施 3](#_Toc512417590)

[2.2 监测项目和测点布置评价 6](#_Toc512417591)

[2.3 监测频次评价 7](#_Toc512417592)

[2.4 监测数据信息管理系统 8](#_Toc512417593)

[2.5 监测资料整编情况 8](#_Toc512417594)

[2.6 监测系统可靠性评价 8](#_Toc512417595)

[2.7 小结 9](#_Toc512417596)

[3 大坝变形观测资料分析 10](#_Toc512417597)

[3.1水平位移观测资料分析 10](#_Toc512417598)

[3.2竖向位移观测资料分析 11](#_Toc512417599)

[4 大坝渗流观测资料分析 15](#_Toc512417600)

[4.1渗流量观测资料分析 15](#_Toc512417601)

[4.2扬压力观测资料分析 20](#_Toc512417602)

[5 大坝安全性态评估 43](#_Toc512417603)

[5.1 结论 43](#_Toc512417604)

[5.2 意见和建议 44](#_Toc512417605)

# 1 工程概况

茅岗水库位于浙江省开化县境内，马金溪支流中村溪上游，距开化县城30km。茅岗水库总库容1116万m3，主流长8.35km，集雨面积30km2，是一座以发电为主结合灌溉、防洪等综合利用的中型水库。茅岗水库于1969年开工建设，1977年建成，2006年进行除险加固，2010年除险加固竣工验收。

水库主要由主坝、副坝、灌溉发电输水隧洞、非常溢洪道、放空洞、上坝道路等建筑物组成，工程等别为III等，主坝、副坝、非常溢洪道等主要建筑物级别为3级，按50年一遇（P=2%）洪水设计，PMF（最大可能）洪水校核；灌溉发电输水隧洞、放空洞、上坝道路等次要建筑物级别为4级，按30年一遇（P=3.3%）设计，200年一遇（P=0.5%）校核。水库正常蓄水位301.04m（1985国家高程基准，下同），相应库容875万m3。2006年除险加固设计，主要建筑物按50年一遇（P=2%）洪水设计，5000年一遇（P=0.02%）进行校核。水库正常蓄水位301.04m（1985国家高程基准，下同），相应库容875万m3；设计洪水位为303.54m，相应库容1031万m3，相应下泄流量425m3/s；校核洪水位304.91m，相应库容1116万m3，相应下泄流量864m3/s。

1、主坝

主坝分为左非溢流坝段、溢流坝段、右非溢流坝段。坝顶长度120m，其中溢流坝段长度为50m。溢流坝段顶高程为301.04m，最大坝高为38m，左右非溢流坝段顶高程为305.04m，最大坝高为42m。左非溢流坝段和溢流坝段为80号砂浆砌石重力坝。右非溢流坝段为上游侧80号砂浆砌石和下游侧干砌块石混合重力坝。溢流坝段和非溢流坝段上游均设150号0.6~1.5m厚混凝土面板防渗，后又增设了5cm厚高频振捣钢丝网水泥面板。

2、副坝

副坝位于主坝右侧40m处，为均质土坝，坝顶高程为306.27m，最大坝高为6.00m，上下游坝坡及坝顶均设干砌块石衬护。上游坝坡加厚至1:2.5，设12cm厚浆砌C25混凝土预制块，并设30cm厚砂卵石反滤，设排水管。下游坝坡1:2.5，下游设干砌块石护坡，坝脚设排水棱体。

3、溢洪道

溢洪道位于主坝中间溢流坝段，进口宽50m，堰顶高程301.04m。溢流坝段溢流头部为150号（C13）钢筋混凝土，直线段为水泥砂浆砌条石，反弧段及挑流鼻坎为150号（C13）钢筋混凝土，表层配置直径6mm钢筋网。消能设施为挑流消能。加固后反弧段及挑流鼻坎为C25钢筋混凝土。

4、非常溢洪道

非常溢洪道位于副坝右侧43m处，原为自溃坝式侧堰溢洪道，溢流堰堰型为宽顶堰，堰顶高程301.54m，堰宽40.7m。自溃坝为粘土和山壤土混合坝，坝顶高程304.56m。除险加固后取消自溃坝，溢流堰改为实用堰，堰顶高程304.16m。

5、灌溉发电输水隧洞

灌溉发电输水隧洞位于主坝左坝头山体。最大发电引水流量为3.16m3/s，隧洞进口段为城门洞型断面，断面尺寸为1.2m×1.8m，其余段为圆形断面，衬砌后直径1.5m，隧洞总长度为111m，进口底高程为271.56m。

6、放空洞

放空洞设置在溢流坝段，进水口中心线高程为266.19m，直径为0.8m，排架式启闭机平台高程为273.91m，设手动螺杆式启闭机。

# 2 监测系统完备性和可靠性评价

## 2.1 监测设施

### 2.1.1 水情自动测报

库内已在主坝右非溢流坝段设立水情自动遥测系统，进行水位遥测。水情自动测报系统包括WFH-2型全量机械编码水位计1台、YQYJ 型水雨情预警终端和YR-3000遥测终端机各1台。

### 2.1.2 环境量监测

1、库水位

水库已在主坝右非溢流坝段自计水位台内设置自动测报水位计，进行库水位自动监测，在水位台外墙设水尺人工观测，以校核自动测报的成果。具体布置见图2.1-1。

2、降雨量

2007年4月至2016年12月，采用人工观测的方法在坝址附近水文站观测。2017年1月起，采用开化县水文站建在茅岗水库主坝竖井内的数据，进行自动化观测。

### 2.1.3 主坝坝体表面变形监测设施

1、水平位移

水平位移采用视准线法测量。在主坝坝顶布设了1条视准线，共设Y1、Y2、Y3、Y4，4个水平位移测点，其中Y1设在左岸坝段，Y2、Y3设在溢流坝段，Y4设在右岸坝段。主坝两岸山坡共设3个观测房，内设2个工作基点（左、右坝肩各一个）和1个校核基点（左坝肩）。测点考证情况见表2.1-1，布置图见图2.1-1。

表2.1-1 主坝坝顶水平位移测点考证表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点编号 | 桩号 | 高程（ｍ） | 埋设部位 | 埋设日期 |
| Y1 | 0+023 | 305.04 | 坝顶 | 2007-4-16 |
| Y2 | 0+051 | 301.04 | 溢流堰顶 | 2007-4-16 |
| Y3 | 0+057 | 301.04 | 溢流堰顶 | 2007-4-16 |
| Y4 | 0+086 | 305.04 | 坝顶 | 2007-4-16 |



图2.1-1 茅岗水库坝顶表面变形测点及部分水文设施布置示意图

水平位移观测采用经纬仪进行观测，本次分析各水平位移测点自2007年4月25日开始。位移以向下游为正，向上游为负。

2、竖向位移

竖向位移测量采用二等水准测量。Z1设在左岸坝段，Z2、Z3设在溢流坝段，Z4设在右岸坝段。以观测大坝坝体的竖向变形情况。竖向位移采用精密水准仪进行观测。

### 2.1.4 主坝渗流监测设施

1、扬压力

本工程扬压力观测设施为测压管，测量方法为人工观测测压管水位。

目前，本工程在左坝段廊道底部布设了U1、U2、U3、U4四处测压管测点，在溢流坝段廊道底部布设U5、U6、U7、U8四处测压管测点，在右坝段廊道底部布设了U9、U10、U11三处测压管测点。具体布置情况见表2.1-2及图2.1-2。

表2.1-2 茅岗水库测压管位置考证表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测点位置 | 测点编号 | 底部高程（ｍ） | 桩号（ｍ） |
| 左坝段 | U1 | 267.962 | 0+24.85 |
| U2 | 264.414 | 0+31.98 |
| U3 | 265.308 | 0+31.98 |
| U4 | 265.925 | 0+31.98 |
| 溢流坝段 | U5 | 263.216 | 0+40.98 |
| U6 | 262.818 | 0+49.76 |
| U7 | 260.665 | 0+57.73 |
| U8 | 263.584 | 0+66.80 |
| 右坝段 | U9 | 266.722 | 0+72.69 |
| U10 | 268.006 | 0+72.69 |
| U11 | 265.195 | 0+72.69 |

注：底部高程指测压管底部高程



**图2.1-2 渗流监测设施布置示意图**

2、渗流量

本工程渗流观测设施包括坝体自然渗水点及三角量水堰，测量方法为人工观测。

（1）目前，本工程渗流量观测点共有21个，其中左坝段16个、溢流坝段3个，右坝段2个。渗流量观测点具体布置见图2.1-2及表2.1-3。

（2）廊道总渗流量通过位于左坝段廊道底部的1个三角堰观测。具体布置见图2.1-2。

表2.1-3 坝体渗流观测点位置考证表

| 测点位置 | 测点编号 | 测点高程（ｍ） | 桩号（ｍ） | 备注 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 左坝段 | 左渗1# | 274.94 | 0+024.2 | 左坝段（一）  纵向廊道右墙壁部位 |
| 左渗2# | 274.89 | 0+024.2 |
| 左渗3# | 274.85 | 0+024.2 |
| 左渗4# | 274.9 | 0+024.2 |
| 左渗5# | 274.29 | 0+024.2 |
| 左渗6# | 273.67 | 0+024.2 |
| 左渗7# | 272.32 | 0+024.6 | 左坝段（二）  纵向廊道上游墙壁部位 |
| 左渗8# | 273.06 | 0+025.4 |
| 左渗9# | 272.67 | 0+025.2 |
| 左渗10# | 272.34 | 0+025.1 |
| 左渗11# | 272.69 | 0+025.6 |
| 左渗12# | 272.69 | 0+026.6 | 左坝段（三）  纵向廊道上游墙壁部位 |
| 左渗13# | 272.69 | 0+027.1 |
| 左渗14# | 273.09 | 0+028.3 |
| 左渗15# | 272.74 | 0+030.0 |
| 左渗16# | 272.34 | 0+032.0 |
| 中间  坝段 | 中渗1# | 272.84 | 0+066.5 | 纵向廊道上游墙壁部位 |
| 中渗2# | 273.09 | 0+069.0 |
| 中渗3# | 272.64 | 0+070.0 |
| 右坝段 | 右渗1# | 272.39 | 0+075.0 | 右横向廊道右墙壁部位 |
| 右渗2# | 273.59 | 0+075.0 |
| 右喷孔 | 272.64 | 0+075.0 |

## 2.2 监测项目和测点布置评价

1、根据《混凝土坝安全监测技术规范》（SL 601—2013），3级大坝应设置观测项目见表2.2-1。

表2.2-1 茅岗水库大坝安全监测项目设置

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 监测类别 | 规范要求 | 实际情况 | 是否满足规范要求 |
| 环境量 | 上、下游水位 | 上游水位 | 满足 |
| 气温、降水量 | 气温、降水量 | 满足 |
| 变形 | 坝体表面位移 | 表面水平、竖向位移 | 满足 |
| 坝体内部位移 | 未设置 | 不满足 |
| 裂缝变化 | 未设置 | 不满足 |
| 坝基位移 | 未设置 | 不满足 |
| 渗流 | 渗流量 | 量水堰 | 满足 |
| 扬压力 | 测压管 | 满足 |

建议对廊道等部位裂缝进行裂缝变化观测。

2、茅岗水库自动测报水位计位于主坝右非溢流坝段，坝前水流平稳，受泄水影响较小；在水位台外墙设水尺人工观测，以校核自动测报的成果，并在观测扬压力和渗流量时同时观测相应的库水位。因此，本工程库水位监测仪器完备，布置合理符合规范要求。

3、在坝顶布设了1条视准线，设Z1、Z2、Z3、Z4，4个垂直位移测点，其中Z1位于左非溢流坝段，Z2、Z3位于溢流坝段、Z4位于右非溢流坝段。坝体表面垂直位移测点布置满足规范要求。

4、本工程采用经纬仪进行视准线法测量坝顶水平位移，测点位于坝顶，且Y1位于左非溢流坝段，Y2、Y3位于溢流坝段、Y4位于右非溢流坝段。坝体表面水平位移测点方法和布置均满足规范要求。

5、本工程在廊道底部埋设有11只测压管，分别分布于左、中、右三个坝段。扬压力监测设施选型及布置满足规范要求。

6、本工程在左非溢流坝段廊道入口附近采用三角堰测量廊道总渗流量，满足规范要求。

7、本工程自2007年完成监测设施建设后，每年对数据进行整理。

## 2.3 监测频次评价

根据《混凝土坝安全监测技术规范》（SL 601），本工程自2007年4月15日开始蓄水至2008年6月10日蓄水完成时段作为加固后蓄水初期，将2008年6月11日至2018年3月21日作为运行期，根据规范进行监测频次校核，成果如表2.3-1所示。

由表2.3-1可知，本工程环境量监测项目（库水位、降雨量）监测频次均能满足规范要求。坝体表面变形、渗流量和扬压力监测频次在运行期满足规范要求，在加固后蓄水初期不满足规范要求。

表2.3-1 加固后蓄水初期和运行期监测频次校核表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 监测项目 | 规范要求 | | 实际情况 | |
| 首次蓄水期 | 运行期 | 加固后蓄水初期 | 运行期 |
| 库水位 | 4次/天～2次/天 | 2次/天～1次/天 | 逐日量 | 逐日量 |
| 降水量 | 逐日量 | 逐日量 | 逐日量 | 逐日量 |
| 坝体表面位移 | 1次/天～2次/周 | 2次/月～1次/月 | 2次/1月～1次/月 | 2次/月～1次/月 |
| 渗流量 | 1次/天 | 1次/周～2次/月 | 1次/周～2次/周 | 2次/周～2次/月 |
| 扬压力 | 1次/天 | 1次/周～2次/月 | 1次/周~3次/周 | 2次/周～2次/月 |

## 2.4 监测数据信息管理系统

本工程坝体表面变形、渗流量和扬压力均为人工观测，未建立监测数据信息管理系统。

## 2.5 监测资料整编情况

## 2.6 监测系统可靠性评价

1、仪器精度评价

（1）本工程水平位移采用视准线法，采用J2-2型经纬仪进行观测，精度±2’’，基本满足规范要求。竖向位移采用二等水准测量，采用DSZ2型自动安平水准仪，精度1mm，基本满足规范要求。

（2）本工程廊道渗流量历次测值均小于1L/s，适合采用容积法，利用三角堰进行观测，满足规范要求。

2、仪器完好率评价

茅岗水库监测仪器较为完备，布置合理，监测频次符合规范要求。为满足水库现代化管理的需要，建议后期采用自动采集系统进行采集。监测设施的有效率见表2.6-1，监测设施尚能满足《混凝土坝安全监测技术规范》的要求。

表2.6-1茅岗水库大坝主要监测项目仪器数量和有效率表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 观测项目 | 仪器类型 | 埋设数量 | 可用数量 | 有效率 |
| 坝体表面变形 | 垂直位移测点 | 4 | 4 | 100% |
| 坝体表面变形 | 水平位移测点 | 4 | 4 | 100% |
| 主坝渗流 | 渗水点 | 21 | 21 | 100% |
| 主坝扬压力 | 测压管 | 11 | 11 | 100% |
| 水雨情 | 自动遥测系统、人工雨量计 | 1套 | 1套 | 100% |

## 2.7 小结

1、本工程除缺少坝址附近气温、坝体内部变形和坝基位移监测设施外，其余监测设施均能按照规范要求进行合理布置。

2、本工程环境量监测频次满足规范要求。坝体表面变形、渗流量、扬压力等监测项目在运行期满足规范要求，在加固后蓄水初期不满足规范要求。

3、本工程坝体表面变形、渗流量和扬压力均为人工观测，未建立监测数据信息管理系统。

4、本工程水平位移采用视准线法，采用J2-2型经纬仪进行观测，精度±2’’，基本满足规范要求。竖向位移采用二等水准测量，采用DSZ2型自动安平水准仪，精度1mm，基本满足规范要求。

5、本工程廊道渗流量历次测值均小于1L/s，适合采用容积法，利用三角堰进行观测，满足规范要求。

6、本工程各监测设施完好，仪器精度基本满足规范要求。建议后期择时进行监测设施自动化改造。

# 3 大坝变形观测资料分析

## 3.1水平位移观测资料分析

水平位移观测采用视准线法，采用水准仪进行观测，水平位移分析从2007年4月25日到2018年2月28日，共155个测次。

### 3.1.1过程线及特征值分析

将坝顶水平位移过程线绘制成图见3.1-1，位移向下游为正，上游为负。由图可知：

1、各测点水平位移测值在一定程度上受库水位变化影响，表现特征为水平位移的增减与库水位的升降大致同步。各年1月份为枯水期，此时温度较低，库水位较低，相应的坝顶向下游位移减小或向上游位移增大；各年7月份为丰水期，此时温度较高，库水位较高，相应坝顶向下游位移增大或向上游位移减小。

2、各测点的水平位移以0轴为中心呈波动变化，无明显上升或下降趋势。

3、左岸、右岸及溢流坝段各测点水平位移过程线表明各坝段的水平位移变化基本稳定，坝段间的相对水平位移也基本稳定。水平位移变化幅度较小，无明显上升或下降趋势，且各测点的水平位移变化基本同步。

4、由于2018年水平位移分析仅有两个测次，数据过少，难以反映全年特征值，故2018年数据不纳入特征值分析范围内。将各测点2007～2017年特征值进行统计，并绘制成表3.1-1，由特征值统计表可知：

大坝向下游的水平位移最大值为7.85mm（坝段Y3测点，2015-12-18），向上游的水平位移最大值为9.8mm（坝段Y3测点，2008-10-20），水平位移年变幅最大值为15.48mm（坝段Y3测点，2008年），年变幅最小值为2.66mm（坝段Y2测点，2007年），水平位移的变化在大坝混凝土的弹性变化范围之内。

Y1、Y2、Y3、Y4各测点水平位移年均值无明显向上下游增大的趋势。

表3.1-1 坝顶水平位移测点特征值统计表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | Y1（mm） | | | | | | Y2 | | | | | |
| 极值1 | 日期 | 极值2 | 日期 | 年均值 | 年变幅 | 极值1 | 日期 | 极值2 | 日期 | 年均值 | 年变幅 |
| 2007 | 6.15 | 9月16日 | -1.10 | 12月14日 | 3.17 | 7.25 | 1.83 | 6月16日 | -0.78 | 12月1日 | 0.48 | 2.66 |
| 2008 | 4.65 | 5月6日 | -1.78 | 3月3日 | 0.68 | 6.43 | 3.81 | 6月2日 | -5.60 | 3月3日 | -0.02 | 9.41 |
| 2009 | 3.78 | 2月1日 | -1.45 | 12月1日 | 1.46 | 5.23 | 4.05 | 7月2日 | -2.38 | 7月16日 | -0.19 | 6.43 |
| 2010 | 3.80 | 7月6日 | -5.15 | 11月1日 | -0.04 | 8.95 | 1.10 | 3月15日 | -7.08 | 11月1日 | -1.53 | 8.18 |
| 2011 | 4.45 | 3月2日 | -3.80 | 10月10日 | 0.95 | 8.25 | 4.05 | 9月1日 | -3.75 | 5月1日 | -0.31 | 7.8 |
| 2012 | 1.25 | 12月11日 | -2.55 | 8月1日 | -0.09 | 3.8 | 1.47 | 12月11日 | -4.40 | 1月5日 | -0.46 | 5.87 |
| 2013 | 4.05 | 3月8日 | -5.40 | 12月1日 | -0.73 | 9.45 | 1.58 | 5月1日 | -2.60 | 9月2日 | -0.50 | 4.18 |
| 2014 | 2.05 | 6月18日 | -3.55 | 10月21日 | -0.85 | 5.6 | 1.38 | 5月21日 | -4.93 | 8月22日 | -0.69 | 6.31 |
| 2015 | 7.55 | 12月18日 | -2.00 | 6月29日 | 1.38 | 9.55 | 2.87 | 8月31日 | -2.28 | 2月12日 | 0.77 | 5.15 |
| 2016 | 3.59 | 4月24日 | -2.75 | 8月31日 | 0.71 | 6.34 | 1.03 | 9月30日 | -5.03 | 8月31日 | -0.81 | 6.06 |
| 2017 | 1.60 | 7月31日 | -7.20 | 5月25日 | -2.00 | 8.8 | 4.63 | 8月31日 | -2.08 | 7月14日 | 0.49 | 6.7 |

注：坝顶水平位移以向下游偏移为正，以向上游偏移为负。本表中，极值1表示坝顶水平位移测点向下游偏移的最大值，符号为正；极值2表示坝顶水平位移测点向上游偏移的最大值，符号为负。

续表3.1-1 坝顶水平位移测点特征值统计表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | Y3（mm） | | | | | | Y4（mm） | | | | | |
| 极值1 | 日期 | 极值2 | 日期 | 年均值 | 年变幅 | 极值1 | 日期 | 极值2 | 日期 | 年均值 | 年变幅 |
| 2007 | 5.56 | 9月1日 | -1.70 | 12月1日 | 2.23 | 7.26 | 4.00 | 6月2日 | -3.13 | 12月1日 | 1.05 | 7.13 |
| 2008 | 5.68 | 6月2日 | -9.80 | 10月20日 | -0.21 | 15.48 | 3.13 | 5月16日 | -8.30 | 4月2日 | -2.26 | 11.43 |
| 2009 | 3.15 | 4月16日 | -3.95 | 12月1日 | -0.53 | 7.10 | 3.95 | 2月19日 | -7.40 | 1月1日 | -0.50 | 11.35 |
| 2010 | 2.90 | 7月6日 | -2.65 | 11月1日 | 0.34 | 5.55 | 3.75 | 5月1日 | -4.00 | 1月2日 | -0.81 | 7.75 |
| 2011 | 4.25 | 1月1日 | -2.55 | 12月12日 | 0.77 | 6.80 | 5.75 | 3月2日 | -7.45 | 12月12日 | -2.08 | 13.20 |
| 2012 | 1.60 | 12月11日 | -3.60 | 11月5日 | -0.53 | 5.20 | 7.35 | 4月9日 | -7.45 | 11月5日 | -1.48 | 14.80 |
| 2013 | 2.95 | 2月16日 | -7.35 | 12月1日 | -0.76 | 10.30 | 6.15 | 12月1日 | -4.05 | 6月3日 | -0.40 | 10.20 |
| 2014 | 5.90 | 9月24日 | -0.90 | 3月10日 | 1.11 | 6.80 | 4.55 | 2月11日 | -3.85 | 11月24日 | -0.80 | 8.40 |
| 2015 | 7.85 | 12月18日 | -3.30 | 10月22日 | 1.73 | 11.15 | 4.70 | 8月31日 | -2.95 | 10月22日 | 0.93 | 7.65 |
| 2016 | 4.90 | 2月19日 | -4.30 | 7月25日 | 0.91 | 9.20 | 4.65 | 12月27日 | -3.00 | 1月18日 | -0.12 | 7.65 |
| 2017 | 4.90 | 7月31日 | -5.30 | 1月18日 | -0.14 | 10.20 | 6.45 | 7月31日 | -4.05 | 1月18日 | 0.68 | 10.50 |

注：坝顶水平位移以向下游偏移为正，以向上游偏移为负。本表中，极值1表示坝顶水平位移测点向下游偏移的最大值，符号为正；极值2表示坝顶水平位移测点向上游偏移的最大值，符号为负。

### 3.1.3小结

1、各测点水平位移测值主要受库水位变化影响，各测点水平位移变化规律基本一致。总体来讲，各坝段水平位移变化协调，符合重力坝变形一般规律。

2、各测点水平位移变化量值合理，水平位移年最大值、最小值、年变幅及年平均值无明显趋势性变化，大坝水平位移变化稳定。

3、应加强坝顶各测点水平位移数据的校验、比对工作，发现观测数据异常及时分析与复测。

## 3.2竖向位移观测资料分析

竖向位移分析从2007年5月10日到2018年2月28日，共154个测次。竖向位移观测采用二等水准测量，以下沉为正，上升为负。

### 3.2.1过程线及特征值分析

将各测点2007～2016年测值及库水位绘制成图见3.2-1，由图分析可知：

1、各测点沉降测值主要受气温影响，表现特征为各测点竖向位移过程线基本随时间呈周期性波动变化。竖向位移的最大值一般发生在每年枯水期（即每年的1月份附近）。这是因为，此时库区气温为一年之中的最小值，混凝土收缩变形，测点下沉明显，故测得的竖向位移往往为一年之中的最大值。反之，竖向位移最小值常发生在每年的丰水期（即每年的7月份附近），此时库区气温为一年之中的最大值，混凝土膨胀变形，测点上升明显，故测得的竖向位移往往为一年之中的最小值。

2、大坝右岸坡坝段测点Z3、Z4，沉降量以0mm为中心呈波动变化，大坝竖向位移变化幅度较小，无明显上升或下降趋势，坝段间相对沉降量较小。

3、大坝左岸坡坝段测点Z1、Z2，沉降量以0mm为中心呈波动变化，大坝竖向位移变化幅度相对右岸坡较大，无明显上升或下降趋势，坝段间相对沉降量较小。

4、将各测点每年的沉降量特征值进行统计，见表3.1-2，由表可知：

坝顶Z1测点最大沉降量为10.8mm，变化区间为-14.8~10.8mm；Z2测点最大沉降量为14.2mm，变化区间为-11.4~14.2mm；Z3测点最大沉降量为8.85mm，变化区间为-6.4~8.85mm；Z4测点最大沉降量为19.6mm，变化区间为-10.05~19.6mm。最大沉降量均在混凝土弹性变形范围内，且小于坝高的0.06%，较之其他类似工程属正常范围。

Z1、Z2、Z3、Z4各测点竖向位移年均值无明显向上下游增大的趋势。

表3.1-2 坝顶竖向位移测点特征值统计表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | Z1（mm） | | | | | | Z2 | | | | | |
| 极值1 | 日期 | 极值2 | 日期 | 年均值 | 年变幅 | 极值1 | 日期 | 极值2 | 日期 | 年均值 | 年变幅 |
| 2007 | 10.2 | 12月14日 | -6.8 | 8月1日 | 3.37 | 17 | 1.1 | 12月14日 | -5.7 | 9月1日 | -2.02 | 6.8 |
| 2008 | 10 | 11月16日 | -14.75 | 9月30日 | 2.10 | 24.75 | 11.5 | 6月16日 | -2.3 | 8月1日 | 3.50 | 13.8 |
| 2009 | 10.8 | 3月19日 | -9.85 | 4月1日 | -4.26 | 20.65 | 11.05 | 8月15日 | -3.1 | 11月18日 | 8.34 | 14.15 |
| 2010 | 10 | 11月1日 | -6.33 | 3月15日 | -6.33 | 19.8 | 9.85 | 3月15日 | 6.11 | 12月4日 | 6.11 | 24.81 |
| 2011 | 4.5 | 8月5日 | -10.05 | 1月1日 | -7.12 | 14.55 | 14.2 | 12月12日 | 3 | 6月3日 | 8.29 | 11.2 |
| 2012 | 3.8 | 9月6日 | -10.8 | 3月1日 | -5.09 | 14.6 | 9.75 | 10月1日 | -3.1 | 1月5日 | 4.15 | 12.85 |
| 2013 | 4.7 | 9月2日 | -9.6 | 4月4日 | -4.58 | 14.3 | 11.3 | 11月1日 | -11.4 | 12月1日 | 4.96 | 22.7 |
| 2014 | 1.55 | 12月9日 | -10.05 | 3月10日 | -7.01 | 11.6 | 10.4 | 5月21日 | -0.7 | 7月18日 | 8.09 | 11.1 |
| 2015 | 1.8 | 8月31日 | -11.8 | 3月24日 | -5.80 | 13.6 | 11.55 | 11月24日 | 5.7 | 10月22日 | 8.52 | 5.85 |
| 2016 | 0.6 | 9月30日 | -9.7 | 12月27日 | -6.12 | 10.3 | 11.3 | 4月24日 | 0.6 | 9月30日 | 7.20 | 10.7 |
| 2017 | 9 | 7月31日 | -14.8 | 2月28日 | -1.41 | 23.8 | 12.6 | 7月14日 | -9 | 5月25日 | 8.28 | 21.6 |

注：坝顶竖向位移以竖直向下为正，以竖直向上为负。本表中，极值1表示坝顶竖向位移测点竖直向下偏移的最大值，符号为正；极值2表示坝顶竖向位移测点竖直向上偏移的最大值，符号为负。

续表3.1-2 坝顶竖向位移测点特征值统计表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | Z3（mm） | | | | | | Z4 | | | | | |
| 极值1 | 日期 | 极值2 | 日期 | 年均值 | 年变幅 | 极值1 | 日期 | 极值2 | 日期 | 年均值 | 年变幅 |
| 2007 | 2.9 | 8月17日 | -6 | 8月1日 | -2.29 | 8.9 | 0.4 | 12月14日 | -7.9 | 9月1日 | -3.21 | 8.3 |
| 2008 | 1.35 | 4月16日 | -2.45 | 12月16日 | -0.33 | 3.8 | 3.85 | 5月1日 | -3.6 | 9月13日 | -0.81 | 7.45 |
| 2009 | 4.35 | 7月16日 | -5.2 | 11月18日 | 0.28 | 9.55 | 8.5 | 9月18日 | -5.2 | 9月1日 | 0.58 | 13.7 |
| 2010 | 1.3 | 3月15日 | 0.07 | 5月1日 | 0.07 | 5 | 0.75 | 7月6日 | -0.17 | 8月11日 | -0.17 | 2.05 |
| 2011 | 5.4 | 6月3日 | -2.9 | 5月1日 | 0.57 | 8.3 | 1.9 | 2月9日 | -10.05 | 11月1日 | -0.95 | 11.95 |
| 2012 | 1.1 | 10月1日 | -5.2 | 1月5日 | -0.33 | 6.3 | 1.1 | 8月1日 | -6.35 | 1月5日 | -0.64 | 7.45 |
| 2013 | 6.15 | 12月1日 | -5.8 | 9月2日 | 0.78 | 11.95 | 1.1 | 8月2日 | -7.9 | 9月2日 | -0.91 | 9 |
| 2014 | 1.15 | 6月18日 | -2.7 | 3月10日 | -0.11 | 3.85 | 2.15 | 4月9日 | -5.2 | 6月18日 | -0.15 | 7.35 |
| 2015 | 1 | 3月24日 | -4.95 | 5月20日 | -0.12 | 5.95 | 9.95 | 11月24日 | -0.95 | 5月20日 | 0.83 | 10.9 |
| 2016 | 8.85 | 8月29日 | -3.7 | 12月27日 | 1.36 | 12.55 | 3.8 | 2月19日 | -2.55 | 4月24日 | -0.22 | 6.35 |
| 2017 | 6.5 | 10月25日 | -6.4 | 12月29日 | 0.20 | 12.9 | 19.6 | 9月25日 | -3.6 | 11月28日 | 1.47 | 23.2 |

注：坝顶竖向位移以竖直向下为正，以竖直向上为负。本表中，极值1表示坝顶竖向位移测点竖直向下偏移的最大值，符号为正；极值2表示坝顶竖向位移测点竖直向上偏移的最大值，符号为负。

### 3.2.3小结

1、各测点沉降测值主要受环境温度影响，符合混凝土重力坝温度变形的一般特征。

2、各沉降测点的沉降变形均在正常范围内，坝段间相对沉降量较小，左坝段变化幅度相对右坝段更大。

图3.1-1 坝顶水平位移测点过程线

图3.2-1 坝顶竖向位移测点过程线

# 4 大坝渗流观测资料分析

## 4.1渗流量观测资料分析

### 4.1.1 异常数据分析

针对本工程的实际情况，坝体渗流量主要有两个方面的来源：面板渗漏（包括面板裂缝、周边缝和伸缩缝）及绕坝渗漏。经过分析茅岗水库2007年4月27日至2018年3月21日共716测次的库水位及降雨、渗流量数据，发现2008年7月、2010年1月~7月、2011年7月、2012年1月~7月、2013年1月、2015年7月期间曾存在坝顶溢流情况，泄洪期渗流量明显增大，渗流量与除险加固前无明显变化。分析认为，此时段为大坝溢流期（此时库水位超过正常蓄水位301.043m），并往往伴随有集中降雨。由于溢流坝面部分为浆砌块石，溢流期间水流沿溢流面渗入坝体，造成廊道渗流观测孔渗水量突然增大。廊道总渗流量过程线如图4.1-1所示。

图4.1-5 廊道总渗漏量与库水位过程线

图4.1-6 剔除异常数据后廊道总渗漏量与库水位过程线

### 4.1.2过程线分析

经过分析茅岗水库2007年4月27日至2018年3月21日共716测次的数据，剔除2008年7月、2010年1月~7月、2011年7月、2012年1月~7月、2013年1月、2015年7月期间因大坝溢流（此时库水位超过正常蓄水位301.043m）而造成的渗流量瞬间急剧增大的异常数据，共得到684测次数据，并将其绘制为廊道总渗流量及左、中、右坝段廊道部分测点处渗流量与水位过程线，见图4.1-1～4.1-6。

根据渗流量过程线可知：

1、廊道总渗流量随库水位呈周期性变化，库水位升高时，坝体渗流量增加，库水位降低时，渗流量减小。2016年后，总渗流量比之前明显减少。

2、左岸坡：左坝段1～6#渗流点部位渗流点的观测情况分析，其中1~5#测点几乎无测量数据，由测点6#数据知，左坝段（一）部位渗流量与库水位相关性较好，库水位升高时，坝体渗流量增加，库水位降低时，渗流量减小。此部位渗漏受左侧山体绕渗控制，而坝体左侧山体岩石破碎，防渗情况较差。但2013年后，此部位年渗流量最大值显著减小，可能原因是该批渗流孔被渗流析出物堵塞。

3、左坝段7～11#渗漏点渗漏量较其它部位大，这可能是由于上游防渗面板分缝止水老化或上游防渗面板存在裂缝所引起。但2016年后，此部位年渗流量最大值显著减小，可能原因是该批渗流孔被渗流析出物堵塞。

4、左坝段12~16#渗漏点渗漏量相对较小，渗流量增减与库水位变化相关性较好。

5、中间坝段：渗流量相对较小，且多集中在测点1#处，从过程线上来看此处渗流量与库水位无明显的相关性，且渗流规律不明显。

6、右坝段的坝体渗漏受控于右侧山体绕渗，右侧山体岩石的完整性较差，2008年7月存在一定的渗漏情况，但2010年竣工验收后几乎无渗漏量，可能原因是该批渗流孔被渗流析出物堵塞。

### 4.1.2小结

通过对主坝坝体渗流量过程线及渗流量与库水位的相关图分析，主坝坝体渗流分析结论为：

1、坝体渗流量随库水位呈周期性变化，坝体渗流量变化规律基本正常。

2、 左侧坝肩绕坝渗流量较大，溢流堰顶左侧与导墙接触部位可能存在裂缝。

3、泄洪时，水沿溢流面渗入坝体内部，导致渗流量增大，渗流量与除险加固前无明显变化，建议泄洪期间加强观测。

图4.1-1左坝段廊道1#~6#渗流量与库水位过程线

图4.1-2左坝段廊道7#~11#渗流量与库水位过程线

图4.1-3左坝段廊道12#~16#渗流量与库水位过程线

图4.1-4 中间坝段廊道1#~3#渗流量与库水位过程线

图4.1-5 右坝段廊道1#~2#及右喷孔渗流量与库水位过程线

## 4.2扬压力观测资料分析

在主坝廊道内埋设了11支扬压力测压管，测压管平面布置见图2.1-1。

各测压管在2007~2010年每3天观测一次，其中2010年数据只包含前4个月。2011~2013年每6天观测一次，2014~2016年大约每10天观测一次，2015~2018年大约每15天观测一次。本次分析时段为2007年6月11日~2018年3月21日。2018年2月1日前，因1#、6#、9#测压管未安装压力表，部分时段管内水位超过了孔口高程，导致该时段内扬压力测值未发生变化。2018年2月后，1#、9#测压管进行了加高改造，并对6#测压管孔口安装压力表，扬压力测值恢复正常。

### 4.2.1扬压力过程线分析

将各扬压力测压管逐年管水位与相应上游水位绘制过程线，见图4.2-1~4.2-19，由图可见：

1、左坝段横断面上3支测压管（2#～4#测压管）靠近左岸坡，2#、3#、4#各测压管水位主要受库水位影响而波动变化，整体看来各测孔水位无明显的上升或下降趋势，扬压力基本稳定。各测压管水位从上游至下游逐渐降低，水位均低于库水位，各测孔水位变化基本正常。

2、右坝段横断面上3支测压管（9#～11#测压管）靠近右岸坡，各测压管水位受水位影响较小，扬压力波动较小，说明右岸坡地下水位受上游库水位影响较小。且从上游至下游，测压管水位逐渐降低。整体看来各测孔水位无明显的上升或下降趋势，扬压力基本稳定。各测孔水位变化基本正常。

3、坝轴线纵断面上9支测压管（1#～9#测压管）位于河床坝段中部，其中1#测压管靠近左岸坡，8#测压管靠近右岸坡。此2支测压管水位在2008年以后几乎一直保持不变，说明靠近左右岸坡地下水位受上游库水位影响较小。2~7#和9#测压管水位主要受库水位影响而波动变化，整体看来各测孔水位无明显的上升或下降趋势，扬压力基本稳定。各测孔水位变化基本正常。

### 4.2.2扬压力特征值分析

2007～2016年，各孔测压管水位与库水位特征值见表4.2-1。由表可知：

1、各测压管水位年平均值均远小于库水位年平均值，且变幅明显小于库水位变幅，各测压管水位保持稳定状态，无明显变化趋势。扬压力处于稳定状态。

2、1~11#测压管水位年变幅均未超过4m，处于正常范围内。

表4.2-1 测压管水位特征值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 编号 | | 1＃ | 2＃ | 3＃ | 4＃ | 5＃ | 6＃ | 7＃ | 8＃ | 9＃ | 10＃ | 11＃ | 水位 |
| （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） |
| 2007 | 平均值 | 272.72 | 269.15 | 269.5 | 267.95 | 268.08 | 272.25 | 270.29 | 272.26 | 272.2 | 269.97 | 268 | 287.03 |
| 年变幅 | 0.56 | 0.75 | 0.69 | 1.1 | 0.72 | 2.49 | 0.35 | 0.25 | 1.35 | 0.4 | 0.25 | 9.28 |
| 2008 | 平均值 | 272.81 | 269.16 | 269.56 | 267.9 | 268.32 | 272.85 | 270.48 | 272.24 | 272.49 | 269.96 | 268.17 | 291.16 |
| 年变幅 | 0.34 | 1.96 | 1.55 | 1.97 | 2.78 | 0 | 2.09 | 0.35 | 1.3 | 0.32 | 1.84 | 28.7 |
| 2009 | 平均值 | 272.8 | 268.86 | 269.34 | 267.58 | 268.02 | 272.82 | 270.23 | 272.26 | 272.21 | 269.98 | 268.06 | 289.33 |
| 年变幅 | 0.45 | 2.06 | 1.1 | 1.02 | 3.31 | 2 | 0.33 | 0.16 | 2.52 | 0.42 | 0.95 | 15.18 |
| 2010 | 平均值 | 272.84 | 269.42 | 269.8 | 267.85 | 268.67 | 272.85 | 270.29 | 272.25 | 272.47 | 269.99 | 268.06 | 294.76 |
| 年变幅 | 0 | 1.71 | 1.33 | 1.04 | 2.22 | 0 | 0.43 | 0.2 | 1.3 | 0.19 | 1.99 | 14.77 |
| 2011 | 平均值 | 272.83 | 269.47 | 269.4 | 267.52 | 268.26 | 272.85 | 270.93 | 272.26 | 272 | 270 | 268.12 | 290.31 |
| 年变幅 | 0.2 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.73 | 0 | 1.15 | 0.15 | 1.55 | 0.2 | 1.45 | 19.2 |
| 2012 | 平均值 | 272.84 | 269.72 | 269.74 | 267.84 | 268.51 | 272.85 | 270.91 | 272.26 | 272.51 | 270 | 268.12 | 294.81 |
| 年变幅 | 0.04 | 1.95 | 1.89 | 1.38 | 1.65 | 0 | 0.85 | 0.2 | 2.85 | 0.2 | 0.8 | 19.13 |
| 2013 | 平均值 | 272.75 | 269.26 | 269.22 | 267.49 | 268.21 | 272.85 | 270.76 | 272.26 | 272.1 | 270.01 | 268.03 | 289.9 |
| 年变幅 | 0.5 | 1.25 | 1.25 | 1 | 2.2 | 0 | 0.9 | 0 | 1.95 | 0.15 | 0.55 | 19.35 |
| 2014 | 平均值 | 272.84 | 269.34 | 269.09 | 267.9 | 268.52 | 272.85 | 270.9 | 272.26 | 272.36 | 270.05 | 268.06 | 292.49 |
| 年变幅 | 0 | 1.25 | 2.07 | 2.6 | 1.01 | 0 | 0.7 | 0.05 | 1.8 | 0.2 | 0.95 | 18.86 |
| 2015 | 平均值 | 272.84 | 269.32 | 269.41 | 267.75 | 268.89 | 272.85 | 271.05 | 272.28 | 272.7 | 270.02 | 268.36 | 297.85 |
| 年变幅 | 0 | 1.3 | 1 | 0.95 | 2.05 | 0 | 0.55 | 0.2 | 2.7 | 0.2 | 1.72 | 14.74 |
| 2016 | 平均值 | 272.84 | 269.08 | 269.4 | 267.74 | 268.91 | 272.85 | 271.17 | 272.3 | 272.81 | 270.08 | 268.15 | 297.6 |
| 年变幅 | 0 | 0.85 | 0.75 | 0.7 | 1.15 | 0 | 0.4 | 0.12 | 0.4 | 0.25 | 0.6 | 7.31 |
| 2017 | 平均值 | 272.84 | 269.06 | 269.27 | 267.58 | 268.60 | 272.85 | 270.99 | 272.27 | 272.37 | 270.03 | 268.07 | 294.25 |
| 年变幅 | 0.02 | 1.30 | 0.80 | 0.80 | 3.05 | 0.00 | 0.60 | 0.15 | 1.45 | 0.25 | 0.95 | 16.13 |

### 4.2.3扬压力统计模型及成果分析

1、数学统计模型

茅岗水库大坝坝基扬压力监测孔孔水位（H）主要受库水位、降雨量、时效、温度等影响。因此，在分析时采用如下统计模型：

 （4-1）

式中：——坝基扬压力测孔水位的拟合值；——坝基扬压力测孔水位的水位分量； ——坝基扬压力测孔水位的时效分量；——坝基扬压力测孔水位的温度分量；——坝基扬压力测孔水位的降雨分量。

（1）水位分量

库水位变化对坝基扬压力测孔水位有较大的影响，且有一定的滞后效应。因此，选择监测日前期水位平均值作为水压分量因子，即：

 （4-2）

式中：——上游水位分量的回归系数（*i* =1～6）；——监测日、监测日前1天、前2天、前3至4天、前5至15天、前16至30天的上游平均水位（*i* =1～6）。

（2）降雨分量

扬压力变化与降雨有关，尤其是岸坡坝块，一般降雨量增大，扬压力测孔水位上升。此外，扬压力测孔水位的变化与降雨变化有一定的滞后现象，即扬压力孔水位与前期降雨量有关。因此，降雨分量表达式取为：

 （4-3）

式中：——监测日、监测日前1天、前2天、前3至4天、前5至15天、前16至30天的平均降雨量均值（*i* =1～6）；——降雨量因子回归系数（*i* =1～6）。

（3）时效分量

时效分量是扬压力的一个重要分量，也是评价渗流状况的一个重要依据，选用目前常用的模式为：

 （4-4）

式中：、——时效分量回归系数；——监测日至始测日的累计天数除以100。

（4）温度分量

渗流受地基裂隙变化的影响，裂隙变化受基岩温度的作用。而基岩温度变化较小，且基本上呈年周期变化。在无实测基岩温度时，可直接采用正弦波周期函数作为温度分量：

 （4-5）

式中，，即用年周期和半年周期。

综上所述，茅岗水库坝基扬压力统计模型为：

 （4-6）

式中：——常数项，其余符号意义同上。

2、统计模型数据选择

根据过程线分析成果可知，由于2005年6月11之后封口读表，部分扬压力测孔水位当低于孔口高程时，无法正常监测扬压力孔水位测值，因此，对存在问题的数据进行剔除；有扬压力监测记录的首个监测日作为起始日期。

3、统计模型成果分析

根据选用的统计模型，采用逐步回归分析法，由式（4-6）对坝基扬压力11个测点监测资料建立回归模型。表4-2所示为扬压力监测资料统计模型回归系数、复相关系数（R）及标准差（S）计算成果；扬压力监测系列的实测值、拟合值及时效过程线如图4.2-1～图4.2-19所示。

在11个扬压力监测点中，其统计模型的复相关系数大于0.8的有3个，分别为4#、7#、9#测压管；介于0.7～0.8之间的测点有2个，分别为5#、6#测压管；介于0.6～0.7之间的有3个测点，分别为1#、2#、3#测压管；低于0.6的测点有3个，分别为8#、10#、11#测压管。其中复相关系数最低的测点为11#测压管，其系数为0.107。

1#、8#、10#、11#测压管水位统计分析的复相关系数非常低，从过程线来看，随库水位及时间变化，8#、10#、11#测压管水位变化非常小。可能是测压管发生堵塞。建议加强观测。

根据表4.2-2计算结果，可知各测孔扬压力统计模型选入的因子，下面将测压管水位与库水位、降雨量、时效及温度分量依次进行偏相关分析，求得各分量与扬压力的偏相关系数，其结果如表4-3所示。

根据表4.2-2及图4.2-1～图4.2-19，将扬压力的影响因素分析如下：

（1）1#、3#、4#、7#、9#测压管水位的第一影响因素均为库水位，表明各测孔扬压力主要受到库水位的影响；时效对3#、4#、9#测压管水位的影响也较大，仅次于库水位；降雨量、温度分量与1#、7#测压管水位变化具有一定的相关性。

（2）2#、10#、11#测压管水位的第一影响因素均为温度，表明各测孔扬压力主要受到温度的影响；库水位对10#、11#测压管水位的影响也较大，仅次于温度；时效、降雨分量与10#、11#测压管水位变化具有一定的相关性。

（3）5#、8#测压管水位的第一影响因素均为降雨量，表明各测孔扬压力主要受到降雨量的影响；6#测压管水位的第一影响因素均为时效，表明各测孔扬压力主要受到时效的影响。

表4.2-2 扬压力监测资料统计模型回归系数、复相关系数及标准差计算成果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测孔编号 | | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# | 6# | 7# | 8# | 9# | 10# | 11# |
| 常数 | | 270.374 | 265.972 | 261.327 | 260.399 | 256.944 | 272.067 | 264.776 | 299.096 | 246.474 | 217.255 | 244.907 |
|  | a1 | .006 | .066 | .061 | .051 | .040 | -.010 | .019 | -.906 | .078 | -.346 | .175 |
| a2 | .005 | -.061 | -.043 | -.023 | -.009 | .011 | .008 | 1.074 | -.002 | .349 | -.101 |
| a3 | .000 | .003 | .003 | .001 | .004 | -.001 | -.001 | -.002 | .001 | -.003 | .001 |
| a4 | -.002 | -.001 | .004 | -.001 | .005 | -.001 | .001 | .026 | -.004 | .059 | -.006 |
| a5 | .001 | .000 | -.003 | -.007 | -.011 | -.005 | -.011 | -.068 | .008 | .183 | -.012 |
| a6 | -.002 | .003 | .008 | .006 | .010 | .006 | .002 | -.219 | .009 | -.055 | .024 |
|  | d1 | .000 | .001 | .001 | .001 | -.001 | .000 | .001 | -.002 | .000 | -.009 | .006 |
| d2 | .000 | .001 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | -.004 | .000 | .003 | -.001 |
| d3 | -.001 | .005 | .005 | .004 | .002 | .000 | .000 | -.049 | .003 | .032 | .009 |
| d4 | -.001 | .007 | .002 | .005 | .008 | .000 | .001 | .014 | -.003 | -.007 | .002 |
| d5 | -.002 | .019 | .011 | .013 | .022 | .004 | .004 | -.136 | -.002 | -.089 | .012 |
| d6 | -.002 | .008 | .002 | .008 | .008 | .003 | .002 | .032 | -.002 | -.022 | .001 |
|  | c1 | -.002 | -.001 | -.008 | .010 | .023 | -.029 | .023 | .098 | .007 | .020 | .091 |
| c2 | .021 | .024 | -.077 | -.270 | -.184 | .431 | -.010 | -.293 | -.215 | -.716 | -.970 |
|  | b11 | .021 | -.099 | -.113 | -.040 | -.229 | -.070 | .054 | 1.312 | -.011 | .803 | .779 |
| b12 | .044 | .136 | .139 | .046 | .082 | -.030 | .072 | -.552 | .122 | -.084 | .116 |
| b21 | -.028 | -.043 | -.002 | -.016 | -.017 | -.032 | .034 | .679 | -.032 | .704 | -.190 |
| b22 | -.019 | -.038 | .026 | -.002 | -.087 | .039 | .005 | .039 | .030 | 1.051 | .990 |
| 复相关系数 | R | 0.649 | 0.67 | 0.696 | 0.843 | 0.754 | 0.731 | 0.863 | 0.14 | 0.864 | 0.125 | 0.107 |
| 标准差 | S | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 |

注：分别为上游库水位分量、降雨分量、时效分量、温度分量对应的各回归因子系数。

表4.2-3 扬压力与库水位、降雨量、时效分量偏相关系数计算成果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测孔编号 | 扬压力与各分量偏相关系数 | | | | 影响因素排序 | | | |
| 库水位分量 | 降雨分量 | 时效分量 | 温度分量 | 第一 | 第二 | 第三 | 第四 |
| 1# | 0.477 | 0.179 | -0.021 | 0.319 | 库水位分量 | 温度分量 | 降雨分量 | 时效分量 |
| 2# | 0.252 | 0.27 | 0.041 | 0.313 | 温度分量 | 降雨分量 | 库水位分量 | 时效分量 |
| 3# | 0.43 | 0.155 | 0.407 | 0.37 | 库水位分量 | 时效分量 | 温度分量 | 降雨分量 |
| 4# | 0.62 | 0.342 | 0.598 | 0.196 | 库水位分量 | 时效分量 | 降雨分量 | 温度分量 |
| 5# | -0.309 | 0.461 | -0.23 | 0.142 | 降雨分量 | 库水位分量 | 时效分量 | 温度分量 |
| 6# | -0.032 | 0.071 | 0.501 | 0.175 | 时效分量 | 温度分量 | 降雨分量 | 库水位分量 |
| 7# | 0.414 | 0.385 | 0.018 | -0.027 | 库水位分量 | 降雨分量 | 温度分量 | 时效分量 |
| 8# | -0.007 | 0.06 | -0.029 | 0.056 | 降雨分量 | 温度分量 | 时效分量 | 库水位分量 |
| 9# | 0.827 | 0.003 | 0.366 | 0.23 | 库水位分量 | 时效分量 | 降雨分量 | 温度分量 |
| 10# | 0.024 | 0.001 | 0.024 | 0.052 | 温度分量 | 库水位分量 | 时效分量 | 降雨分量 |
| 11# | 0.049 | 0.005 | 0.009 | 0.084 | 温度分量 | 库水位分量 | 时效分量 | 降雨分量 |

### 4.2.4扬压力系数过程线分析

根据库水位及测压管水位分别计算各测压管水位对应的扬压力系数，并将扬压力系数与库水位绘制过程线，如图4.2-4 ~ 4.2-6所示。

计算扬压力系数采用的公式为：

 （4-7）

式中：——上游库水位；——为i点的扬压力水位；——当下游水位高于基岩面高程时，采用下游水位，当下游水位低于基岩面高程时采用基岩面高程。

本工程主坝下游常年处于无水状态，故计算各测压管对应扬压力系数时取对应基岩面高程为下游水位。

由图4.2-4~4.2-6可知：

1、扬压力系数受库水位变化的影响显著，库水位升高，扬压力系数值减小；库水位降低，扬压力系数值增大。从理论上讲，在没有排水的情况下，只要边界条件不变，任何一点的扬压力系数不应随库水位的变化而变化，而在有排水条件下，由于排水出口水位不变，故当库水位升高时，排水附近的扬压力系数应降低。故本工程所测坝基扬压力系数的变化规律符合存在渗流情况重力坝扬压力系数变化的一般规律。

2、2008年1月8日，1#、6#无测值数据，其余测压管测值均显著大于其他时间测压管测值，可能原因是此时大坝除险加固工程仍在施工，上游面板裂缝问题尚未得到有效处理，而库水位较高，故造成测压管水位偏高。2008年1月14日后，各测压管扬压力系数恢复正常范围。

3、2007~2014年间，各测压管扬压力系数随库水位变化幅度较大，2014年后，库水位变幅明显减小，扬压力系数变幅相应显著减小。

4、2007~2014年间，除去异常值，左坝段2~4#测压管和右坝段9~11#测压管扬压力系数均小于0.3，2014年后，2~4#测压管扬压力系数不超过0.2，9~11#测压管扬压力系数不超过0.25，表明，左、右两坝段坝体扬压力系数稳定，无异常渗流情况。

5、2007~2014年间，除去异常值，上游坝轴线纵断面1~2#测压管及5#和7#~9#测压管最大扬压力系数约为0.5左右，2014年后，除6#测压管外，纵断面各测压管扬压力系数不超过0.45，表明河床坝段及左右坝段扬压力系数稳定，无异常渗流情况。

6、2007~2017年间，6#、7#、8#测压管最大扬压力系数约为0.5左右；2018年初，6#测压管最大扬压力系数为0.65，7#、8#测压管最大扬压力系数为0.45，超过了规范容许值，建议加强观测。

### 4.2.5扬压力系数空间分布分析

应用式（4-1），计算正常高水位（库水位在正常蓄水位301.04m附近±2m波动）时段各测孔扬压力系数，平均值统计如表4.2-4所示。沿坝轴线纵断面上各测孔扬压力系数平均值空间分布如图4.2-18所示，8#坝段横断面上各测孔扬压力系数平均值空间分布如图4.2-19所示。

由表4.2-4分析可知：正常高水位时段各测孔扬压力系数平均值在0.091～0.33之间，其中，最大平均值0.329出现在溢流坝段7#扬压力监测点，该测孔扬压力系数在0.24～0.79之间波动，扬压力系数偏大，可能存在异常，建议对其加强监测；另外，扬压力测孔6#扬压力系数在0.24~0.79之间波动，扬压力系数偏大，可能存在异常，建议对其加强监测。除去6#、7#扬压力系数，其余各测孔扬压力系数沿纵断面空间分布符合一般规律，即扬压力系数两岸坝段高于河床坝段，主要由于两岸坝段受到地下水的影响；2~4#各测孔扬压力系数沿横断面分布基本符合从上游至下游依此减小的一般规律，从整体来看，横断面上各测孔扬压力系数相差较小，建议对其加强监测。

表4.2-4 正常高水位监测时段各测孔扬压力系数平均值统计

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测孔编号 | 坝段 | 扬压力系数平均值 |
| 1# | 左非溢流坝段 | 0.219 |
| 2# | 左非溢流坝段 | 0.186 |
| 3# | 左非溢流坝段 | 0.174 |
| 4# | 左非溢流坝段 | 0.091 |
| 5# | 溢流坝段 | 0.187 |
| 6# | 溢流坝段 | 0.296 |
| 7# | 溢流坝段 | 0.329 |
| 9# | 右非溢流坝段 | 0.215 |

### 4.2.6 扬压力系数推荐值

根据大坝扬压力回归方程计算大坝在各种工况下各测孔水位，并推算大坝在各工况下的扬压力系数。计算公式采用公式（4-1）。分别选取复相关系数最高的1~7#、9#扬压力监测点测值代表左非溢流坝段、溢流坝段、右非溢流坝段的坝基扬压力。

各工况下上下游水位如下表所示：

表4.2-5 各工况上、下游水位汇总表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 工况 | 上游水位(m) | 下游水位(m) |
| 正常蓄水位 | 301.04 | 264.04 |
| 设计洪水位 | 303.54 | 270.04 |
| 校核洪水位 | 304.91 | 274.24 |

1、正常蓄水位

根据表4.2-4，取1~4#扬压力测孔在正常高水位时计算得到的扬压力均值，取较大者，得到左非溢流坝段扬压力系数代表值0.219；由于6~7#测孔测值可能存在异常，取5#测孔测值0.329，作为溢流坝段扬压力系数代表值。取9#测孔测值0.215作为右非溢流坝段扬压力系数的代表值。

2、设计洪水位及校核洪水位

由于水库在正常运行中从未达到设计洪水位和校核洪水位，本次分析采用回归分析中复相关系数较大的2#、3#、4#代表左非溢流坝段，5#、6#、7#代表溢流坝段，9#代表右非溢流坝段，设时间为2017年7月21日，降雨量为0，利用回归方程计算各工况下测压管水位，进一步得到相应的扬压力系数。利用回归方程得到的各测压管扬压力系数如下表：

表4.2-6 设计洪水位和校核洪水位下扬压力系数回归方程拟合值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 坝段 | 测压管编号 | 复相关系数 | 设计洪水位 | 校核洪水位 |
| 左非溢流坝段 | 2# | 0.67 | 0.132 | 0.121 |
| 3# | 0.696 | 0.122 | 0.114 |
| 4# | 0.843 | 0.064 | 0.060 |
| 溢流坝段 | 5# | 0.754 | 0.146 | 0.142 |
| 6# | 0.731 | 0.237 | 0.231 |
| 7# | 0.863 | 0.244 | 0.238 |
| 右非溢流坝段 | 9# | 0.864 | 0.174 | 0.171 |

考虑到工程安全，扬压力系数应保守取值，分别取各坝段所有测压管拟合值的最大值，综合正常蓄水位实测资料的分析结果，得到各坝段扬压力系数推荐值如表4.2-7所示：

表4.2-7 各工况扬压力系数推荐值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 工况 | 左非溢流坝段 | 溢流坝段 | 右非溢流坝段 |
| 正常蓄水位 | 0.219 | 0.329 | 0.215 |
| 设计洪水位 | 0.132 | 0.244 | 0.174 |
| 校核洪水位 | 0.121 | 0.238 | 0.171 |

### 4.2.6小结

通过对扬压力监测资料过程线、特征值分析可知：

1、1#、8#、10#、11#测压管水位变化较小，说明岸坡附近地下水位受上游库水位变化影响很小，扬压力基本稳定。

2、除个别测点数据异常，各测压管水位与库水位相关性较好，无明显趋势性变化，部分测压管水位与降水量和温度有一定相关性。测压管水位年平均值和变幅均小于库水位年，从上游至下游，测压管水位逐渐降低，水位变化基本正常。

3、各测压管扬压力系数变化规律正常，库水位升高，扬压力系数值减小；库水位降低，扬压力系数值增大。

4、2007~2014年间，扬压力变化幅度较大，2014年后，扬压力变化幅度较小。总体上看，在计算水位下的扬压力折减系数逐年呈现波动变化，无明显上升或下降趋势。

5、除去6#、7#扬压力系数，其余各测孔扬压力系数沿断面空间分布符合一般规律。纵断面方向，两岸坝段受到地下水影响，扬压力系数高于河床坝段；横断面方向，各测孔扬压力系数从上游至下游依此减小，符合一般规律。

6、6#测压管扬压力系数2018年年初达到0.65，超过了规范容许值，建议加强观测。

7、1#、6#、9#测压管加高或添加压力表前部分时段内扬压力测值等于各自孔口高程，因此过程线无波动变化；改造后各测压管读数恢复正常。

图4.2-1 左坝段1-1横断面测压管水位变化过程线

图4.2-2 坝体2-2纵断面测压管水位变化过程线

图4.2-3 右坝段3-3横断面测压管水位变化过程线

图4.2-4 左坝段1-1横断面测压管扬压力系数变化过程线

图4.2-5 坝体2-2纵断面测压管扬压力系数变化过程线

图4.2-6 右坝段3-3横断面测压管扬压力系数变化过程线

图4.2-7 1#测压管测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-8 2#测压管测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-9 3#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-10 4#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-11 5#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-12 6#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-13 7#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-14 8#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-15 9#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-16 10#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-17 11#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-18 沿坝体轴线各测压管扬压力系数平均值分布图

图4.2-19 沿左坝段横断面测压管扬压力系数平均值分布图

# 5 大坝安全性态评估

## 5.1 结论

1、本工程除缺少坝址附近气温、坝体内部变形和坝基位移监测设施，其余监测设施均能按照规范要求进行合理布置。在首次蓄水期，坝体表面变形、渗流量、扬压力监测项目监测频次略低；在运行期，监测频次均能满足规范要求。

2、本工程水平位移采用视准线法，采用J2-2型经纬仪进行观测，精度±2’’，基本满足规范要求。竖向位移采用二等水准测量，采用DSZ2型自动安平水准仪，精度1mm，基本满足规范要求。廊道渗流量历次测值均小于1L/s，适合采用容积法，利用三角堰进行观测，满足规范要求。

3、本工程自2007年4月15日首次开始进行蓄水后，尚未进行系统的监测资料整编分析。

4、坝顶水平位移测值主要受库水位变化影响，水平位移变化规律基本一致。各测点水平位移变化量值合理，年最大值、最小值、年变幅及年均值无明显增大趋势性，大坝水平位移基本稳定。

5、各测点沉降测值主要受库区温度影响，符合混凝土重力坝温度变形的一般特征，沉降变形均在正常范围内。

6、坝体渗流量变化规律基本正常，可能存在左侧坝肩绕渗。泄洪时，水沿溢流面渗入坝体内部，导致渗流量增大，渗流量与除险加固前无明显变化，建议泄洪期间加强观测。

7、1#、6#、9#测压管加高或添加压力表前部分时段内扬压力测值等于各自孔口高程，因此过程线无波动变化；改造后各测压管读数恢复正常。

8、各测点扬压力与库水位相关性较好，随库水位升高而增大，降低而减小，但无明显趋势性变化，扬压力基本稳定。

9、各测压管扬压力系数变化规律正常，除6#测压管部位计算扬压力系数较大外，其余各孔扬压力系数基本满足要求且变幅稳定。

综上，茅岗水库监测设施基本正常，测值基本在经验值及规范和设计规定的允许值内，运行过程中无异常情况。泄洪期间，水流沿溢流面渗入坝体，导致坝体渗流量增大，尚不影响大坝整体结构安全，建议尽早进行处理。部分监测设施监测设施精度不够，建议进行自动化改造。

## 5.2 意见和建议

1、建议加强左坝段廊道内渗流量监测。

2、部分测压管水位高于原测压管管口高程，本次鉴定期间通过加高管口进行扬压力观测，建议对测压管进行进一步改造。

3、6#测压管部位计算扬压力系数超过了规范容许值，建议加强观测。

4、建议对监测设施进行自动化改造，按要求开展年度监测资料整编分析工