

**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：于桓飞**

**审 核 人：施齐欢**

**校 核 人：吉顺文**

**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](#_Toc512703407)

[2 监测系统完备性和可靠性评价 3](#_Toc512703408)

[2.1 监测设施 3](#_Toc512703409)

[2.2 监测项目和测点布置评价 6](#_Toc512703410)

[2.3 监测频次评价 7](#_Toc512703411)

[2.4 监测数据信息管理系统 8](#_Toc512703412)

[2.5 监测资料整编情况 8](#_Toc512703413)

[2.6 监测系统可靠性评价 8](#_Toc512703414)

[2.7 小结 9](#_Toc512703415)

[3 大坝变形观测资料分析 10](#_Toc512703416)

[3.1水平位移观测资料分析 10](#_Toc512703417)

[3.2竖向位移观测资料分析 13](#_Toc512703418)

[3.3小结 16](#_Toc512703419)

[4 大坝渗流观测资料分析 18](#_Toc512703420)

[4.1渗流量观测资料分析 18](#_Toc512703421)

[4.2扬压力观测资料分析 22](#_Toc512703422)

[4.3小结 31](#_Toc512703423)

[5 大坝安全性态评估 39](#_Toc512703424)

[5.1 结论 39](#_Toc512703425)

[5.2 意见和建议 39](#_Toc512703426)

# 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，精度为1cm。

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，精度为0.1mL。

（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

本工程自2007年4月15日首次开始进行蓄水后，每年对数据进行整理，但尚未进行系统性的整编分析。

## 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。

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。

## 3.2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。

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。

## 3.3小结

1、坝顶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、坝顶各测点水平位移变化量值合理，水平位移向上下游偏移年最大值、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、坝顶各测点竖向位移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。

4、坝顶各测点的竖向位移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。

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

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

1、经分析茅岗水库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：

（1）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。由于溢流坝段坝体为浆砌块石，现场检查发现溢流面反弧段存在较大纵向裂缝，溢流期间水流沿溢流面渗入坝体，造成下部横向廊道渗流观测孔渗水量突然增大。

（2）2016~2018年，无廊道总渗流量突然增大情况。

经调查，茅岗水库相关观测人员记录未记录2016~2018年溢洪期廊道渗流量观测数据。

廊道总渗流量与库水位过程线如图4.1-1所示。

2、经分析茅岗水库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溢洪期廊道渗流量观测数据，共得到684测次数据。

由渗流监测设施布置示意图（图2.1-2）所示，左渗1#~16#观测孔集中于廊道左侧，中渗1#~3#、右渗1#~2#和右喷孔集中于廊道右侧。为分析左非溢流坝段和右非溢流坝段的坝体渗流情况，分别绘制廊道总渗流量（采用三角量水堰观测数据）、廊道左侧观测孔总渗流量（采用左渗1#~16#观测孔数据）和廊道右侧观测孔总渗流量（采用中渗1#~3#和右渗1#~2#及右喷孔观测孔数据）与库水位过程线，见图4.1-2～4.1-4。

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。廊道总渗流量变化稳定，无明显增加趋势。

（2）廊道左侧观测孔总渗流量稳定，无明显增加趋势；2008年后，廊道右侧观测孔总渗流量明显减少，可以忽略不计。廊道左侧观测孔总渗流量大于廊道右侧观测孔总渗流量。

图4.1-1 廊道总渗漏量与库水位过程线

图4.1-2廊道总渗漏量与库水位过程线（剔除溢洪期廊道渗流量数据后）

图4.1-3廊道左侧总渗流量与库水位过程线（剔除溢洪期廊道渗流量数据后）

图4.1-4廊道右侧总渗流量与库水位过程线（剔除溢洪期廊道渗流量数据后）

## 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2.1-2。

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1月1日前，因U1、U6、U9测压管未安装压力表，大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1月后，U1、U9测压管进行了加高改造，并对U6测压管孔口安装压力表，扬压力测值恢复正常。

### 4.2.1扬压力过程线及特征值分析

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4.2-1~4.2-6，2007～2017年，各孔测压管水位与库水位特征值见表4.2-1。由于2007~2017年大部分时段U1、U6、U9测压管水位均等于孔口高程，此时测值难以反映扬压力的真实变化情况，而2018年度U1、U6、U9只有9个测次，故本次过程线绘制及特征值分析仅针对能反映扬压力真实情况的U2、U3、U4、U5、U7、U8、U10、U11。（改造测压管扬压力监测分析见4.2.2节。）

1、廊道左侧横断面上3支测压管（U2、U3、U4）靠近左岸坡，U2、U3、U4各测压管水位主要受库水位影响而波动变化。3测压管年变幅均不超过2m，且年均值无明显增大趋势，扬压力基本稳定。

U2、U3扬压力在各时段内相差不大，且大于U4扬压力1m左右。从U2、U3、U4位置上看，U2、U3较U4距上游防渗面板相对较近，符合扬压力从上游到下游递减的规律。

2、廊道右侧横断面上2支测压管（U10、U11）靠近右岸坡，2测压管水位年变幅小于2m，且年均值无明显增大趋势，扬压力基本稳定。

U11受库水位影响较为明显，且与库水位变化较为一致。U10扬压力对库水位变化不敏感。

各时段U10扬压力大于U11扬压力0.5~2m。从U10、U11位置上看，U10较U11距上游防渗面板相对较近，符合扬压力从上游到下游递减的规律。

3、坝轴线廊道纵断面上4支测压管（U2、U5、U7、U8）位于河床坝段中部，U2、U5、U7扬压力受库水位变化影响较为明显，U8扬压力对库水位变化不敏感。4测压管扬压力年变幅均不超过3m，且年均值无明显增大趋势，扬压力基本稳定。

表4.2-1 测压管水位特征值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 编号 | | U2 | U3 | U4 | U5 | U7 | U8 | U10 | U11 | 水位 |
| （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） | （m） |
| 2007 | 平均值 | 269.15 | 269.5 | 267.95 | 268.08 | 270.29 | 272.26 | 269.97 | 268 | 287.03 |
| 年变幅 | 0.75 | 0.69 | 1.1 | 0.72 | 0.35 | 0.25 | 0.4 | 0.25 | 9.28 |
| 2008 | 平均值 | 269.16 | 269.56 | 267.9 | 268.32 | 270.48 | 272.24 | 269.96 | 268.17 | 291.16 |
| 年变幅 | 1.96 | 1.55 | 1.97 | 2.78 | 2.09 | 0.35 | 0.32 | 1.84 | 28.7 |
| 2009 | 平均值 | 268.86 | 269.34 | 267.58 | 268.02 | 270.23 | 272.26 | 269.98 | 268.06 | 289.33 |
| 年变幅 | 2.06 | 1.1 | 1.02 | 3.31 | 0.33 | 0.16 | 0.42 | 0.95 | 15.18 |
| 2010 | 平均值 | 269.42 | 269.8 | 267.85 | 268.67 | 270.29 | 272.25 | 269.99 | 268.06 | 294.76 |
| 年变幅 | 1.71 | 1.33 | 1.04 | 2.22 | 0.43 | 0.2 | 0.19 | 1.99 | 14.77 |
| 2011 | 平均值 | 269.47 | 269.4 | 267.52 | 268.26 | 270.93 | 272.26 | 270 | 268.12 | 290.31 |
| 年变幅 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.73 | 1.15 | 0.15 | 0.2 | 1.45 | 19.2 |
| 2012 | 平均值 | 269.72 | 269.74 | 267.84 | 268.51 | 270.91 | 272.26 | 270 | 268.12 | 294.81 |
| 年变幅 | 1.95 | 1.89 | 1.38 | 1.65 | 0.85 | 0.2 | 0.2 | 0.8 | 19.13 |
| 2013 | 平均值 | 269.26 | 269.22 | 267.49 | 268.21 | 270.76 | 272.26 | 270.01 | 268.03 | 289.9 |
| 年变幅 | 1.25 | 1.25 | 1 | 2.2 | 0.9 | 0 | 0.15 | 0.55 | 19.35 |
| 2014 | 平均值 | 269.34 | 269.09 | 267.9 | 268.52 | 270.9 | 272.26 | 270.05 | 268.06 | 292.49 |
| 年变幅 | 1.25 | 2.07 | 2.6 | 1.01 | 0.7 | 0.05 | 0.2 | 0.95 | 18.86 |
| 2015 | 平均值 | 269.32 | 269.41 | 267.75 | 268.89 | 271.05 | 272.28 | 270.02 | 268.36 | 297.85 |
| 年变幅 | 1.3 | 1 | 0.95 | 2.05 | 0.55 | 0.2 | 0.2 | 1.72 | 14.74 |
| 2016 | 平均值 | 269.08 | 269.4 | 267.74 | 268.91 | 271.17 | 272.3 | 270.08 | 268.15 | 297.6 |
| 年变幅 | 0.85 | 0.75 | 0.7 | 1.15 | 0.4 | 0.12 | 0.25 | 0.6 | 7.31 |
| 2017 | 平均值 | 269.06 | 269.27 | 267.58 | 268.60 | 270.99 | 272.27 | 270.03 | 268.07 | 294.25 |
| 年变幅 | 1.30 | 0.80 | 0.80 | 3.05 | 0.60 | 0.15 | 0.25 | 0.95 | 16.13 |

### 4.2.2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。

2018年之前U1、U6、U9测压管水位高于孔口高程，无法正常读取扬压力，故本次扬压力回归分析未对此3支测压管相关数据进行分析。

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8个测点（U2、U3、U4、U5、U7、U8、U10、U11）监测资料建立回归模型。表4.2-2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；部分扬压力监测系列的实测值、拟合值及时效过程线如图4.2-7～图4.2-11所示。

在8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2个，分别为U4、U7测压管；介于0.7～0.8之间的测点有1个，分别为U5测压管；介于0.6～0.7之间的有2个测点，分别为U2、U3测压管；低于0.6的测点有3个，分别为U8、U10、U11测压管。其中复相关系数最低的测点为U11测压管，其系数为0.107。

U8、U10、U11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，U8、U10、U11测压管水位变化非常小。从位置上看，3支测压管靠近右坝段，说明右坝段地下水水位比较稳定，受库水位影响较小。

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 | | 2# | 3# | 4# | 5# | 7# | 8# | 10# | 11# |
| 常数 | | 265.97 | 261.33 | 260.40 | 256.94 | 264.78 | 299.10 | 217.26 | 244.91 |
|  | a1 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | -0.91 | -0.35 | 0.18 |
| a2 | -0.06 | -0.04 | -0.02 | -0.01 | 0.01 | 1.07 | 0.35 | -0.10 |
| a3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| a4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.06 | -0.01 |
| a5 | 0.00 | 0.00 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.07 | 0.18 | -0.01 |
| a6 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | -0.22 | -0.06 | 0.02 |
|  | d1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.01 |
| d2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| d3 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.05 | 0.03 | 0.01 |
| d4 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | -0.01 | 0.00 |
| d5 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | -0.14 | -0.09 | 0.01 |
| d6 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | -0.02 | 0.00 |
|  | c1 | 0.00 | -0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.10 | 0.02 | 0.09 |
| c2 | 0.02 | -0.08 | -0.27 | -0.18 | -0.01 | -0.29 | -0.72 | -0.97 |
|  | b11 | -0.10 | -0.11 | -0.04 | -0.23 | 0.05 | 1.31 | 0.80 | 0.78 |
| b12 | 0.14 | 0.14 | 0.05 | 0.08 | 0.07 | -0.55 | -0.08 | 0.12 |
| b21 | -0.04 | 0.00 | -0.02 | -0.02 | 0.03 | 0.68 | 0.70 | -0.19 |
| b22 | -0.04 | 0.03 | 0.00 | -0.09 | 0.01 | 0.04 | 1.05 | 0.99 |
| 复相关系数 | R | 0.67 | 0.70 | 0.84 | 0.75 | 0.86 | 0.14 | 0.13 | 0.11 |
| 标准差 | S | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |

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。

### 4.2.3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（不包括经过改造的U1、U6、U9）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；——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、各测压管扬压力系数受库水位变化的影响显著，符合一般规律。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。

2、廊道左侧横断面上3支测压管（U2、U3、U4）靠近左岸坡，U2、U3、U4扬压力系数最大值均不超过0.3，且无增大趋势，基本满足规范要求。

3、廊道右侧横断面上2支测压管（U10、U11）靠近右岸坡，2测压管扬压力系数最大值稳定在0.15左右，且无增大趋势，满足规范要求。

4、坝轴线廊道纵断面上4支测压管（U2、U5、U7、U8）位于河床坝段中部，U2、U5扬压力系数最大值不超过0.3，基本满足规范要求。U7、U8扬压力系数在2008年2月18日达到0.6，之后最大值有所降低，2018年1月2日达到0.45左右。考虑到2测压管历次扬压力系数达到较大值时库水位较低，当库水位达到正常高水位时2测压管扬压力系数均降低至0.3以下。U7、U8测压管扬压力系数基本满足规范要求，建议在库水位较高时加强观测。

### 4.2.4改造测压管监测资料分析

2018年1月对U1、U6、U9进行了加高改造，2月因扬压力较大对U6改装扬压力表。本次对3支改造测压管监测资料分析整理如表4.2-3所示。

表4.2-3 2018年度U1、U6、U9监测资料分析表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 日期 | 库水位(m) | 扬压力（m） | | | 扬压力系数 | | |
| U1 | U6 | U9 | U1 | U6 | U9 |
| 1/2 | 282.71 | 272.93 | 274.35 | 271.15 | 0.34 | 0.58 | 0.28 |
| 1/15 | 284.62 | 273.08 | 274.35 | 271.25 | 0.31 | 0.53 | 0.25 |
| 1/22 | 283.83 | 273.10 | 276.55 | 271.30 | 0.32 | 0.65 | 0.27 |
| 2/1 | 285.09 | 273.24 | 277.65 | 271.60 | 0.31 | 0.67 | 0.27 |
| 2/11 | 285.93 | 273.13 | 278.45 | 271.70 | 0.29 | 0.68 | 0.26 |
| 2/23 | 287.29 | 273.24 | 277.65 | 271.75 | 0.27 | 0.61 | 0.24 |
| 3/1 | 288.60 | 273.34 | 278.85 | 272.00 | 0.26 | 0.62 | 0.24 |
| 3/12 | 293.54 | 273.33 | 279.85 | 272.20 | 0.21 | 0.55 | 0.20 |
| 3/21 | 293.03 | 273.42 | 279.85 | 272.45 | 0.22 | 0.56 | 0.22 |

1、随着汛期临近，各测压管水位随库水位增加而增大，增幅处于正常范围内。

2、U1、U9扬压力系数基本正常，满足规范要求；U6扬压力系数偏大，建议后期在高水位下加强观测。

### 4.2.5 扬压力系数推荐值

2006年除险加固设计，取溢流坝段段在正常蓄水位、设计洪水位、校核洪水位下的扬压力系数均为0.233。根据《混凝土重力坝设计规范》（SL 319-2005），岸坡坝段取0.35，河床坝段取0.25。结合本次扬压力观测资料回归成果，得各工况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 |

## 4.3小结

1、廊道总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、2007~2015年度溢洪期内，廊道总渗流量有较为明显增加，2016~2018年未记录溢洪期廊道渗流数据。

3、2007~2018年度非溢洪期内，廊道总渗流量变化稳定，无明显增加趋势；廊道左侧渗流量大于右侧，且左侧渗流量较为稳定，而右侧渗流量趋近于0。

4、廊道各测压管扬压力年变幅总体较小，且年均值无明显增大趋势，扬压力总体稳定。右岸坡各测压管（U10、U11）受库水位影响较小。

5、廊道左侧横断面与廊道中部各测压管扬压力与库水位相关性较好，廊道右侧横断面各测压管扬压力与库水位相关性较差。

6、廊道各测压管扬压力系数变化规律正常，正常高水位下各测孔坝基扬压力系数平均值基本在规范建议值范围内，且无增大趋势。部分测压管（U6、U7、U8）水位当库水位较低时偏大，建议高水位下加强观测。

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 2#测压管测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-8 3#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-9 4#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-10 5#测压管水位实测值、拟合值过程线

图4.2-11 7#测压管水位实测值、拟合值过程线

# 5 大坝安全性态评估

## 5.1 结论

1、本工程监测设施基本能按照规范要求进行合理布置，监测频次基本满足规范要求。各监测设施完好，仪器精度基本满足规范要求。

2、坝顶各测点水平位移变化量值合理，水平位移向上下游偏移年最大值、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、坝顶各测点竖向位移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，竖向位移变化均在正常范围内。

4、主坝坝体渗流量隧库水位呈周期性变化，坝体渗流变化规律正常。2007~2018年度非溢洪期内，廊道总渗流量变化稳定，无明显增加趋势；廊道左侧渗流量大于右侧，且左侧渗流量较为稳定，而右侧渗流量趋近于0。

5、U1、U6、U9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。

6、廊道各测压管扬压力总体稳定，扬压力系数基本满足规范要求。

综上，茅岗水库监测实施基本完备，监测数据基本可靠，测值基本在经验值及规范和设计规定的允许值内。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。大坝安全性态正常。

## 5.2 意见和建议

1、建议按照规范要求，在坝体重要部位增加裂缝监测设施，并加强廊道左侧渗流量监测。

2、U6、U7、U8测压管扬压力系数当库水位较低时较大，超过了规范容许值，建议加强观测。

3、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作。