



□ □ □ □ □ □ □ □ □ □

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

(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

二〇一八年五月

# 浙江省开化县茅岗水库 大坝安全监测资料分析报告

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
2 监测系统完备性和可靠性评价 .....	3
2.1 监测设施 .....	3
2.2 监测项目和测点布置评价 .....	6
2.3 监测频次评价 .....	7
2.4 监测数据信息管理系统 .....	8
2.5 监测资料整编情况 .....	8
2.6 监测系统可靠性评价 .....	8
2.7 小结 .....	9
3 大坝变形观测资料分析 .....	10
3.1 水平位移观测资料分析 .....	10
3.2 竖向位移观测资料分析 .....	13
3.3 小结 .....	16
4 大坝渗流观测资料分析 .....	18
4.1 渗漏量观测资料分析 .....	18
4.2 扬压力观测资料分析 .....	22
4.3 小结 .....	31
5 大坝安全性态评估 .....	39
5.1 结论 .....	39
5.2 意见和建议 .....	39

# 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  $\text{m}^3$ ，主流长 8.35km，集雨面积 30 $\text{km}^2$ ，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  $\text{m}^3$ 。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  $\text{m}^3$ ；设计洪水位为 303.54m，相应库容 1031 万  $\text{m}^3$ ，相应下泄流量 425 $\text{m}^3/\text{s}$ ；校核洪水位 304.91m，相应库容 1116 万  $\text{m}^3$ ，相应下泄流量 864 $\text{m}^3/\text{s}$ 。

## 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  $3.16\text{m}^3/\text{s}$ ，隧洞进口段为城门洞型断面，断面尺寸为  $1.2\text{m}\times 1.8\text{m}$ ，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

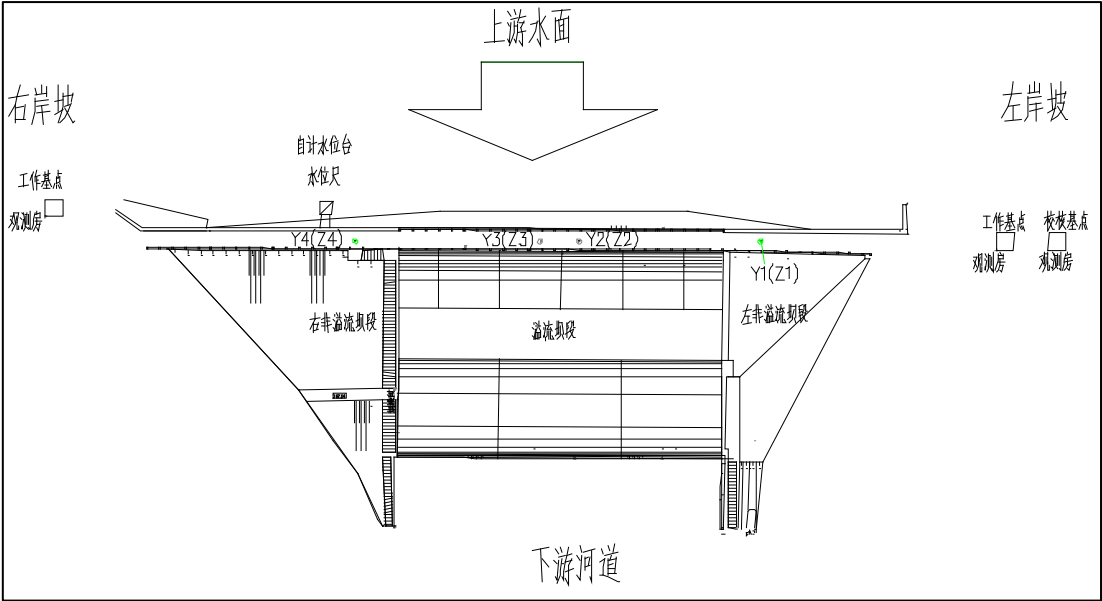


图 2.1-1 茅岗水库坝顶表面变形测点及部分水文设施布置示意图

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

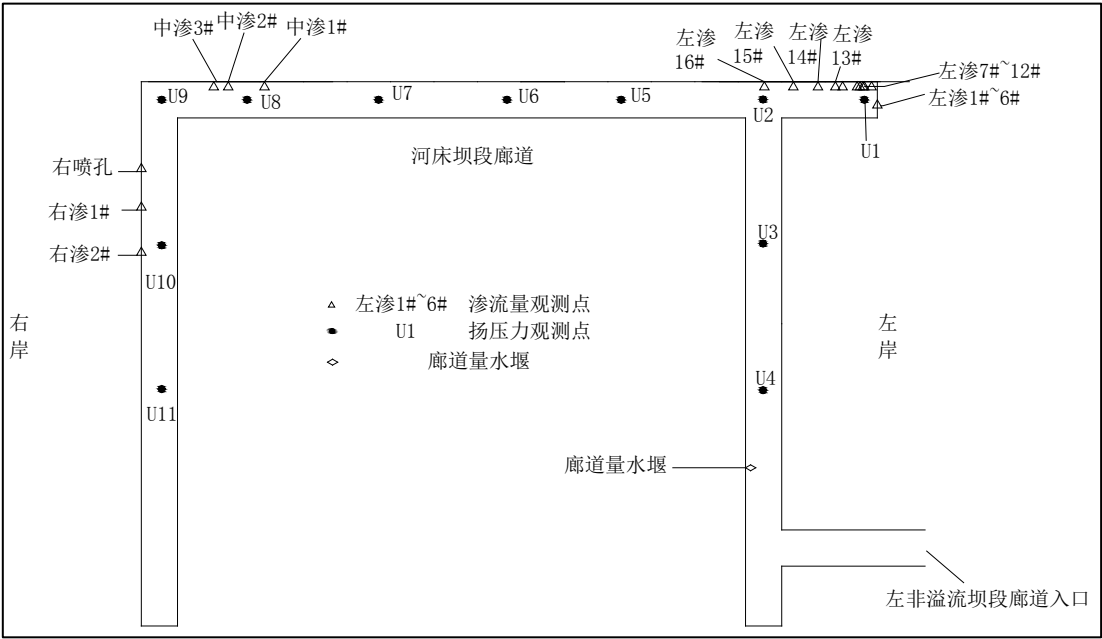


图 2.1-2 渗流监测设施布置示意图

2、渗漏量

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



(2) 廊道总渗漏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。

由表 2.2-1 可知, 茅岗水库已设置上游库水位、气温、降雨量、坝顶水平位移、坝顶竖向位移、廊道渗漏量、坝基扬压力等观测点, 未设置坝体内部位移、裂缝监测、坝基位移等观测点。

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	渗漏量	量水堰	满足
	扬压力	测压管	满足

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漏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漏量，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 601-2013)，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、渗漏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
渗漏量	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、渗漏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 $\pm 2''$ ，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)本工程廊道渗漏量历次测值均小于 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》（SL601-2013）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、渗漏量、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、渗漏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 $\pm 2''$ ，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、本工程廊道渗漏量历次测值均小于 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 0mm 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、各测点竖向位移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，竖向位移量以 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，坝段间相对竖向位移量较小。

3、大坝左岸坡坝段测点 Z1、Z2，竖向位移量以 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，坝段间相对竖向位移量较小。

4、将各测点每年的竖向位移量特征值进行统计，见表 3.1-2，由表可知：

坝顶 Z1 测点最大竖向位移量为 10.8mm，变化区间为-14.8~10.8mm；Z2 测点最大竖向位移量为 14.2mm，变化区间为-11.4~14.2mm；Z3 测点最大竖向位移量为 8.85mm，变化区间为-6.4~8.85mm；Z4 测点最大竖向位移量为 19.6mm，变化区间为-10.05~19.6mm。最大竖向位移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，坝段间相对竖向位移量较小，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。

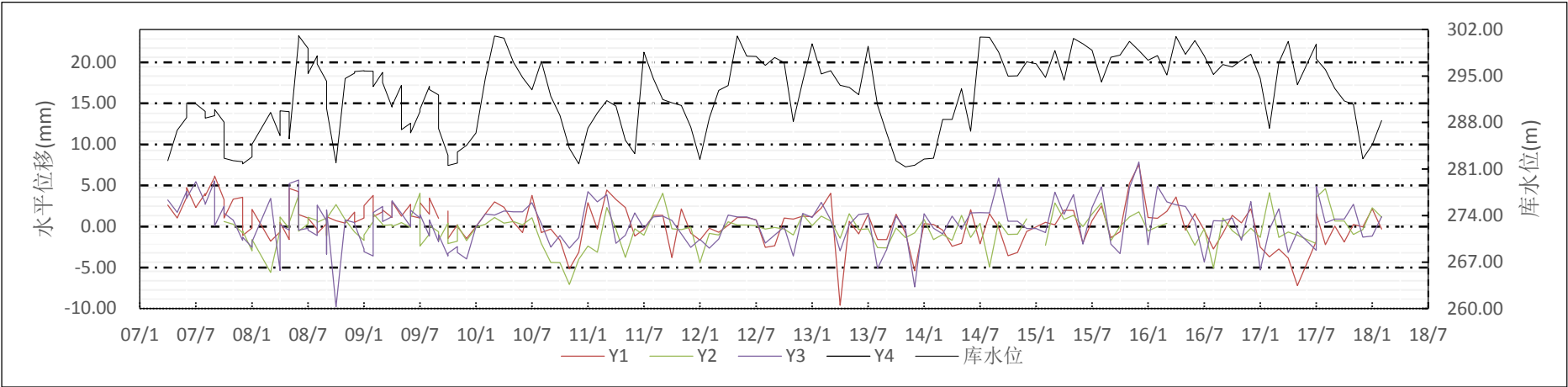


图 3.1-1 坝顶水平位移测点过程线

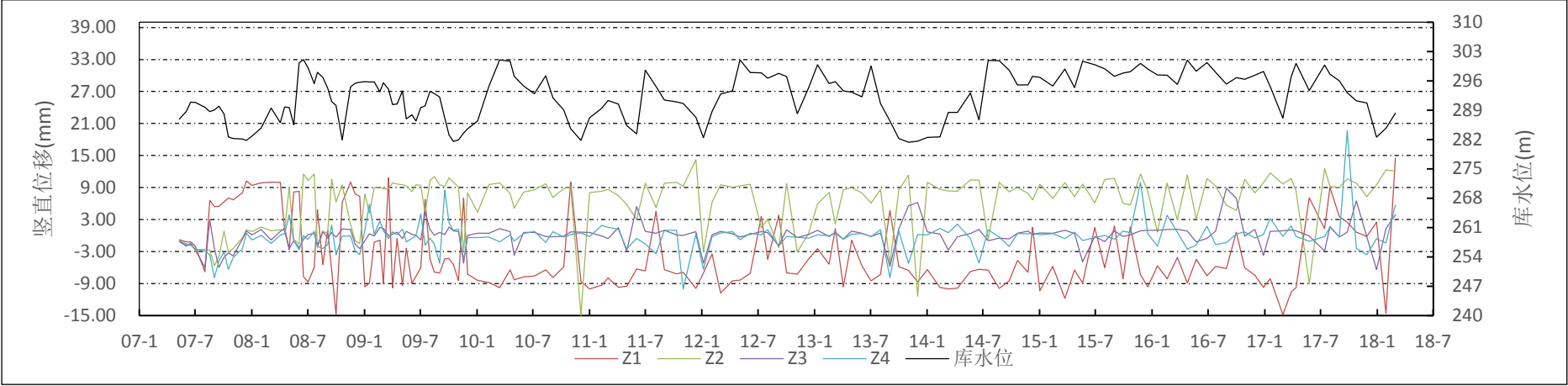


图 3.2-1 坝顶竖向位移测点过程线

## 4 大坝渗流观测资料分析

### 4.1 渗漏量观测资料分析

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、渗漏量数据：

(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，泄洪期渗漏量明显增大，渗漏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，无廊道总渗漏量突然增大情况。

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

廊道总渗漏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）而造成的渗漏量瞬间急剧增大的溢洪期廊道渗漏量观测数据，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，分别绘制廊道总渗漏量（采用三角量水堰观测数据）、廊道左侧观测孔总渗漏量（采用左渗 1#~16#观测孔数据）和廊道右侧观测孔总渗漏量（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。

根据渗漏量过程线可知：

(1) 廊道总渗漏量随库水位呈周期性变化，库水位升高时，坝体渗漏量增加，库水位降低时，渗漏量减小。廊道总渗漏量变化稳定，无明显增加趋势。

(2) 廊道左侧观测孔总渗漏量稳定，无明显增加趋势；2008年后，廊道右侧观测孔总渗漏量明显减少。廊道左侧观测孔总渗漏量大于廊道右侧观测孔总渗漏量。

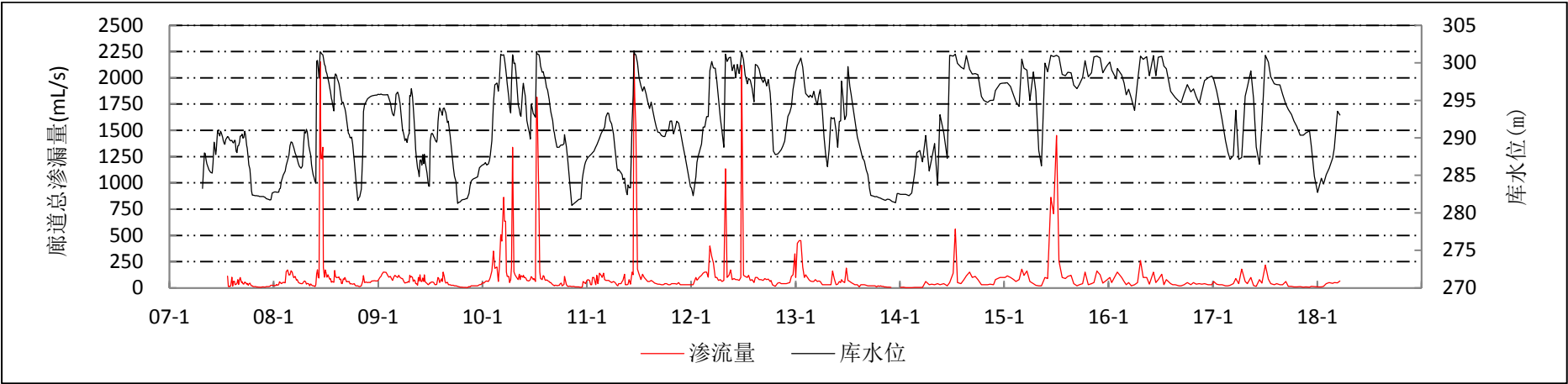


图 4.1-1 廊道总渗漏量与库水位过程线

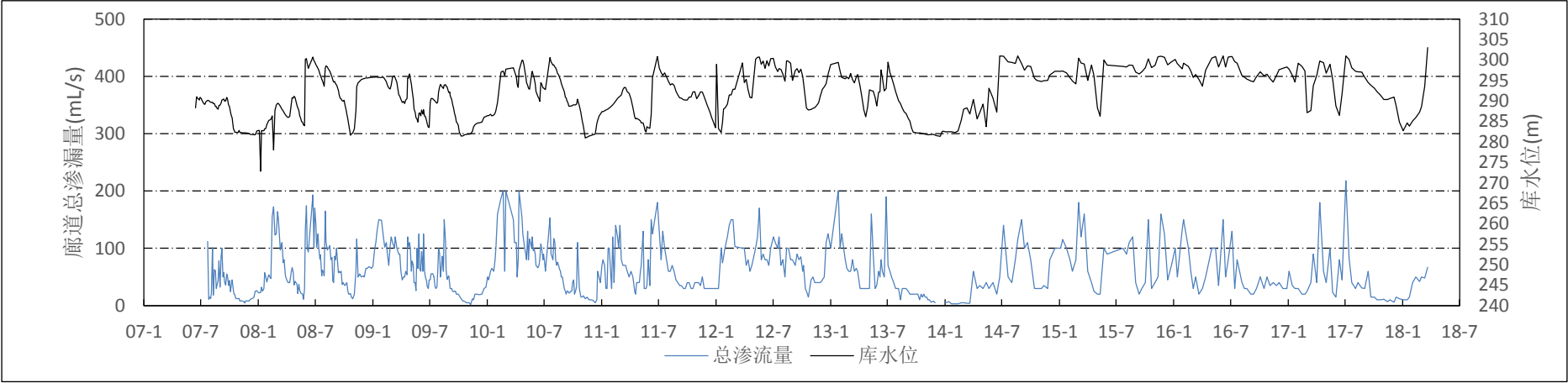


图 4.1-2 廊道总渗漏量与库水位过程线（剔除溢洪期廊道渗漏量数据后）

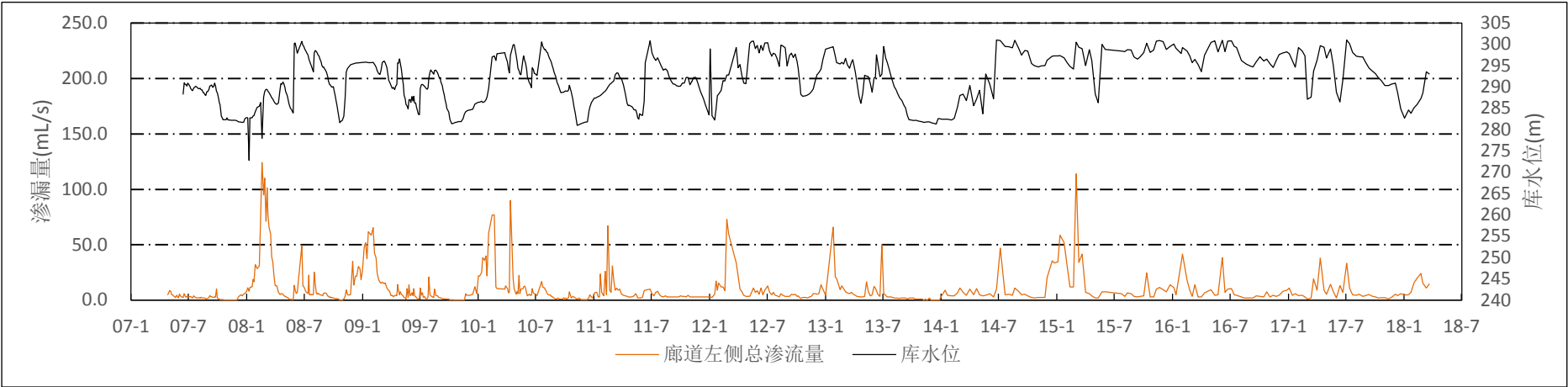


图 4.1-3 廊道左侧总渗流量与库水位过程线（剔除溢洪期廊道渗流量数据后）

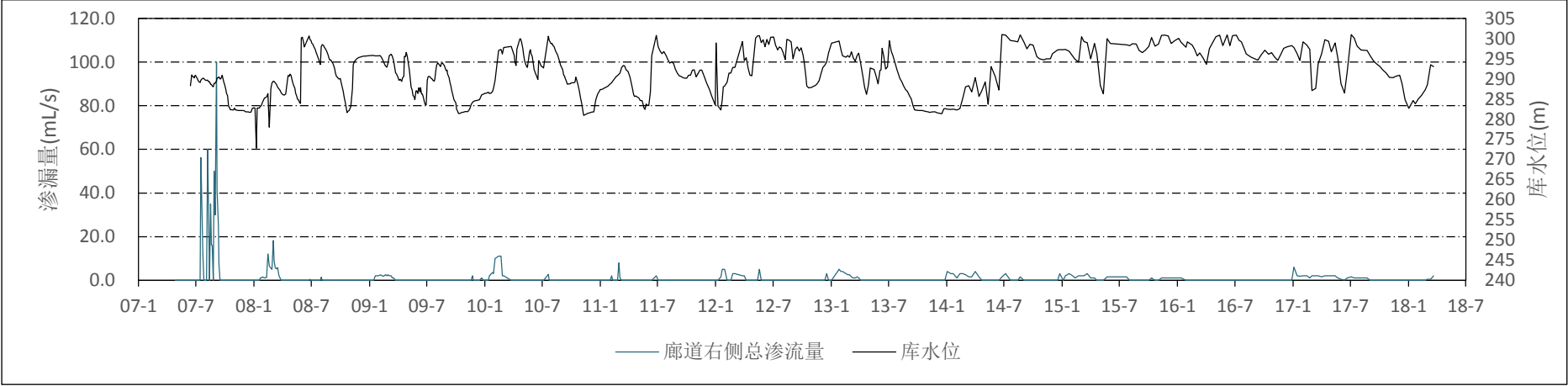


图 4.1-4 廊道右侧总渗流量与库水位过程线（剔除溢洪期廊道渗流量数据后）



## 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 1 日，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：

$$H = H_h + H_p + H_T + H_\theta \quad (4-1)$$

式中： $H$ ——坝基扬压力测孔水位的拟合值； $H_h$ ——坝基扬压力测孔水位的水位分量； $H_\theta$ ——坝基扬压力测孔水位的时效分量； $H_T$ ——坝基扬压力测孔水位的温度分量； $H_p$ ——坝基扬压力测孔水位的降雨分量。

#### (1) 水位分量 $H_h$

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：

$$H_h = \sum_{i=1}^6 a_i h_{ui} \quad (4-2)$$

式中： $a_i$ ——上游水位分量的回归系数 ( $i=1\sim6$ )； $h_{ui}$ ——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 ( $i=1\sim6$ )。

#### (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：

$$H_p = \sum_{i=1}^6 d_i P_i \quad (4-3)$$

式中： $P_i$ ——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 ( $i=1\sim6$ )； $d_i$ ——降雨量因子回归系数 ( $i=1\sim6$ )。

### (3) 时效分量 $H_\theta$

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：

$$H_\theta = c_1 \theta + c_2 \ln \theta \quad (4-4)$$

式中： $c_1$ 、 $c_2$ ——时效分量回归系数； $\theta$ ——监测日至始测日的累计天数 $t$ 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：

$$H_T = \sum_{i=1}^2 (b_{1i} \sin \frac{2\pi it}{365} + b_{2i} \cos \frac{2\pi it}{365}) \quad (4-5)$$

式中， $i=1, 2$ ，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：

$$H = H_h + H_p + H_T + H_\theta = \sum_{i=1}^6 a_i h_{ui} + \sum_{i=1}^6 d_i P_i + c_1 \theta + c_2 \ln \theta + \sum_{i=1}^2 (b_{1i} \sin \frac{2\pi it}{365} + b_{2i} \cos \frac{2\pi it}{365}) \quad (4-6)$$

式中： $a_0$ ——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, 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		U2	U3	U4	U5	U7	U8	U10	U11
常数		265.97	261.33	260.40	256.94	264.78	299.10	217.26	244.91
$Y_{H_u}$	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
$Y_p$	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
$Y_t$	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
$Y_T$	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： $Y_{H_u}$ 、 $Y_P$ 、 $Y_t$ 、 $Y_T$  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：

$$\alpha = \frac{H_i - H_{\text{下}}}{H_{\text{上}} - H_{\text{下}}} \quad (4-7)$$

式中： $H_{\text{上}}$ ——上游库水位； $H_i$ ——为 i 点的扬压力水位； $H_{\text{下}}$ ——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随库水位变化规律正常。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。

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、U9 进行了加高改造，并对 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 4.2-4 所示。

表 4.2-4 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、廊道总渗漏量随库水位呈周期性变化，坝体渗漏量变化规律基本正常。
- 2、2007~2015 年度溢洪期内，廊道总渗漏量有较为明显增加，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，廊道总渗漏量变化稳定，无明显增加趋势；

廊道左侧渗漏量大于右侧，且左侧渗漏量较为稳定，而右侧渗漏量趋近于 0mL/s。

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。

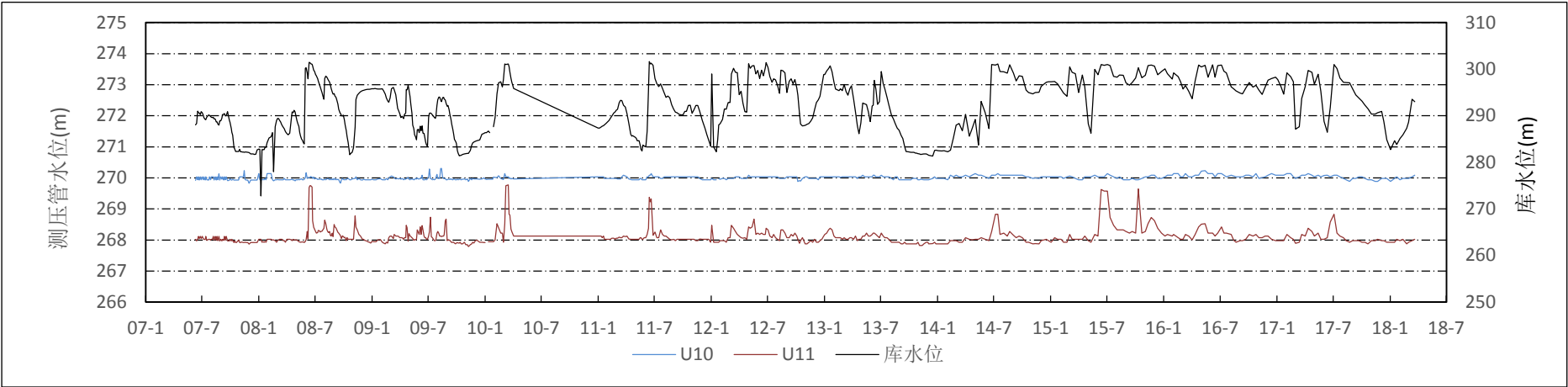


图 4.2-1 左坝段 1-1 横断面测压管水位变化过程线

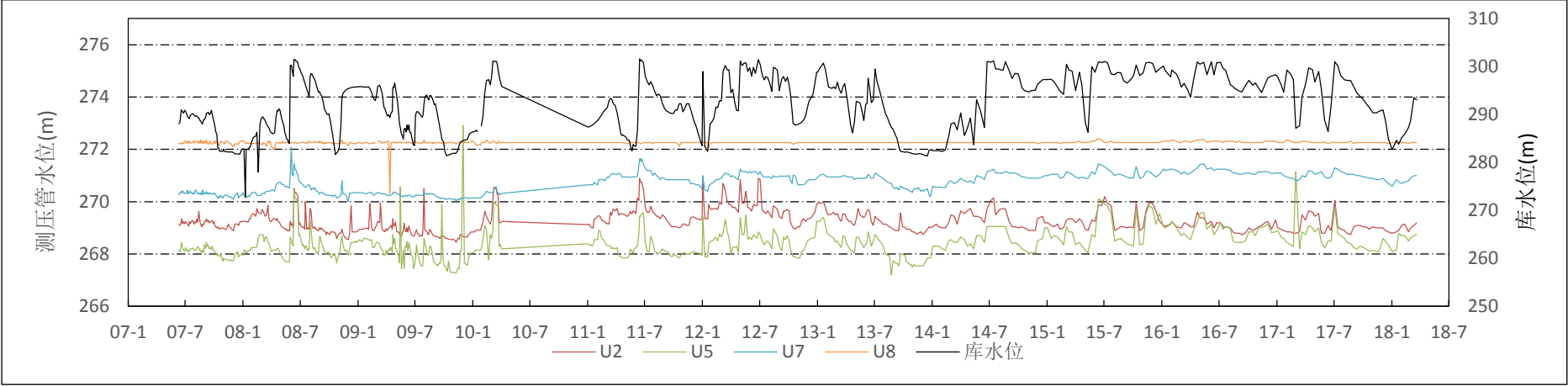


图 4.2-2 坝体 2-2 纵断面测压管水位变化过程线

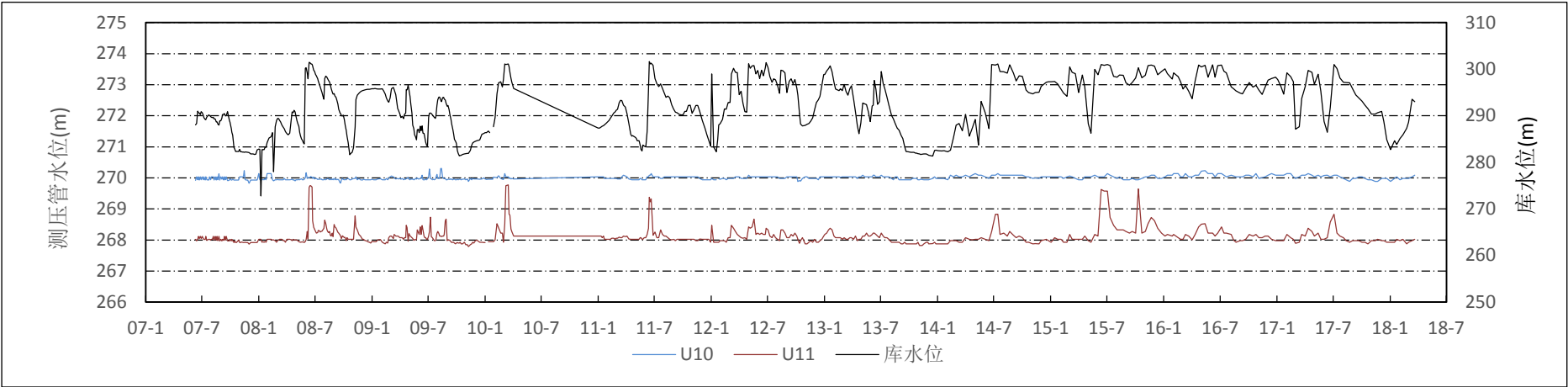


图 4.2-3 右坝段 3-3 横断面测压管水位变化过程线

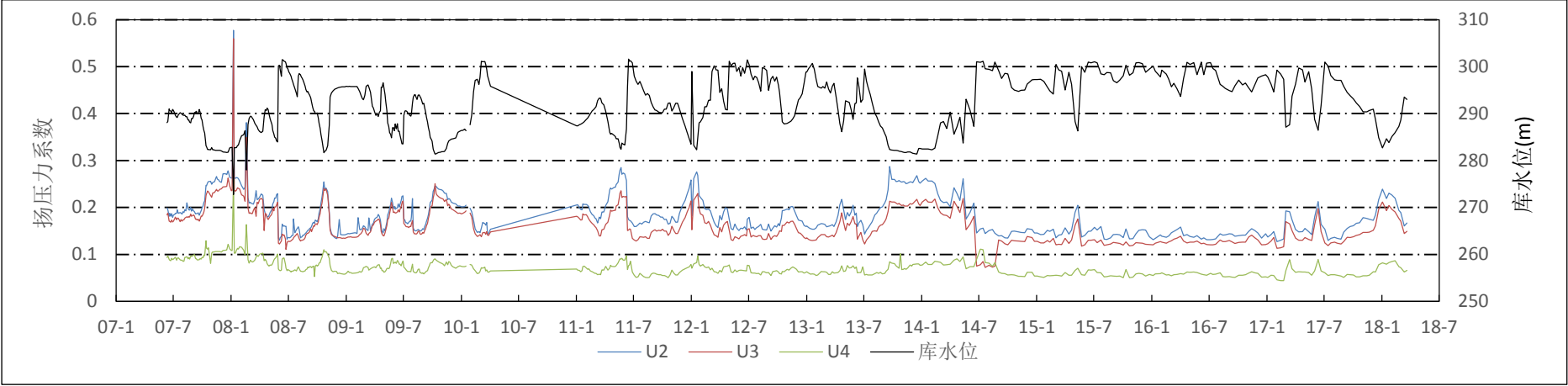


图 4.2-4 左坝段 1-1 横断面测压管扬压力系数变化过程线

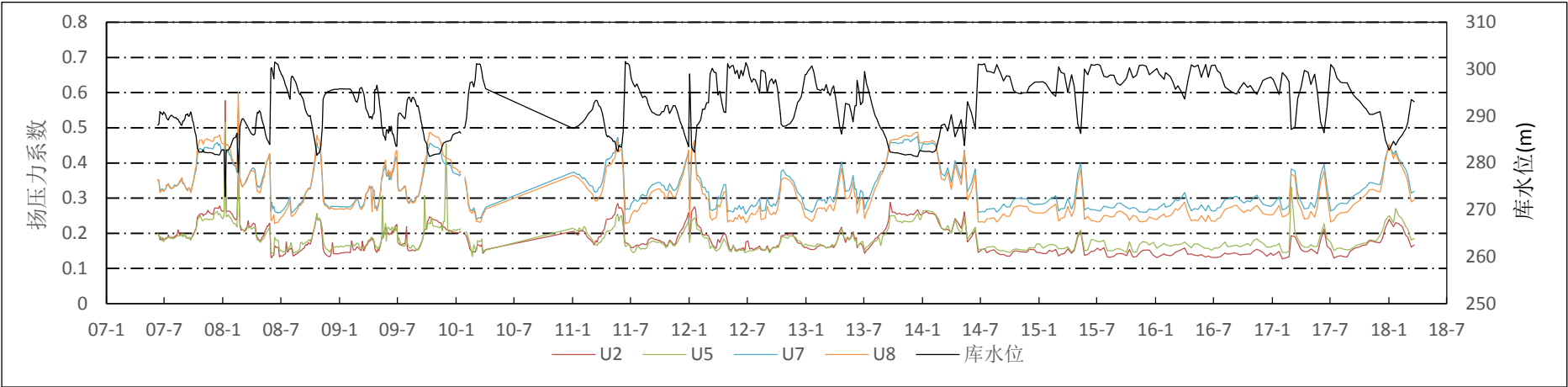


图 4.2-5 坝体 2-2 纵断面测压管扬压力系数变化过程线

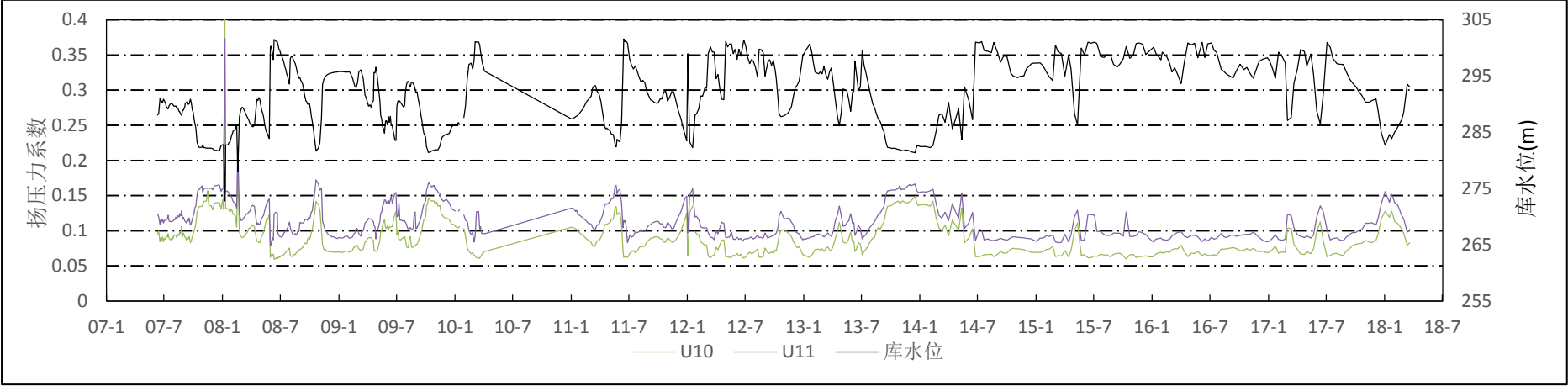


图 4.2-6 右坝段 3-3 横断面测压管扬压力系数变化过程线

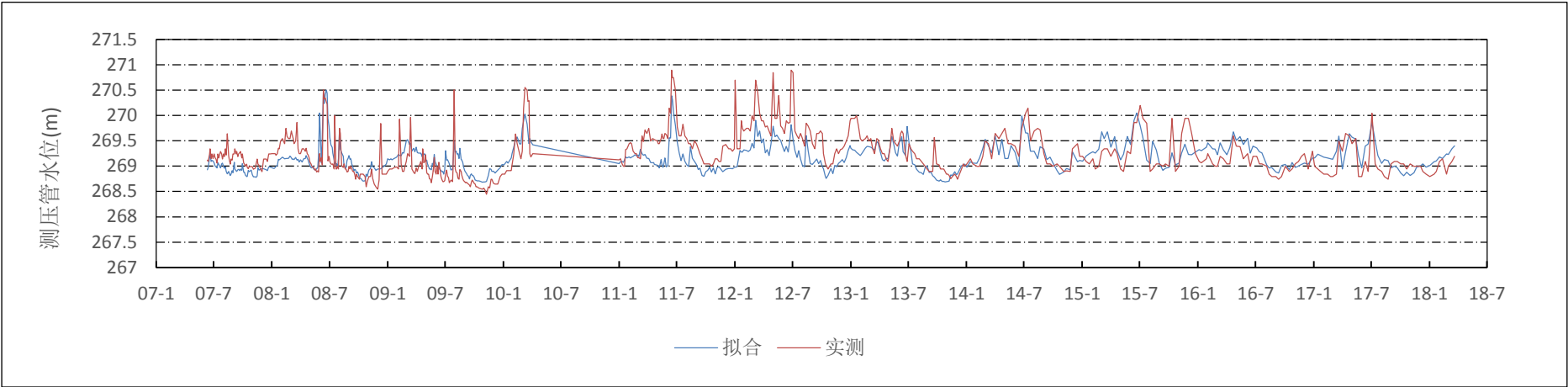


图 4.2-7 U2 测压管测压管水位实测值、拟合值过程线

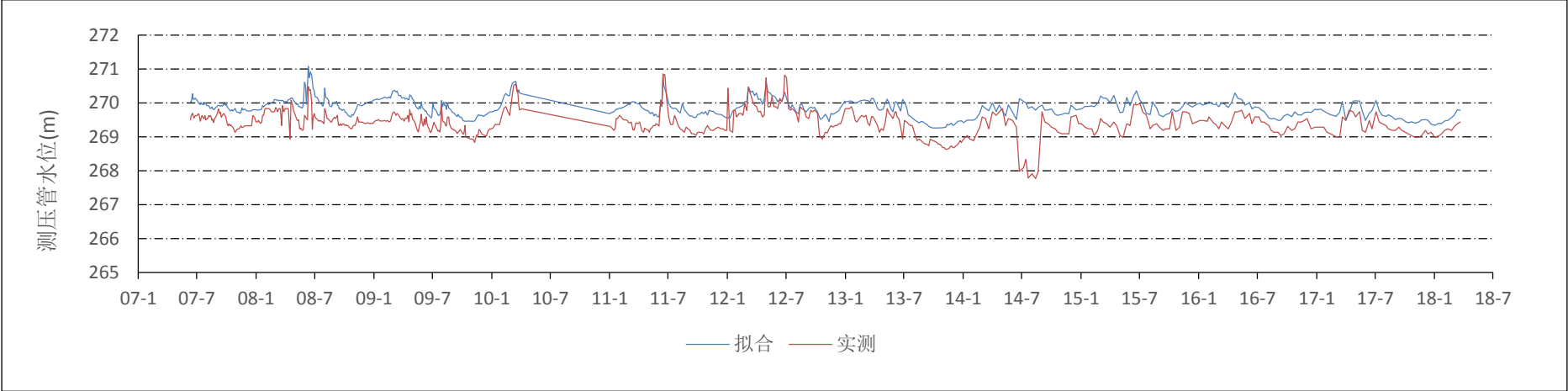


图 4.2-8 U3 测压管水位实测值、拟合值过程线

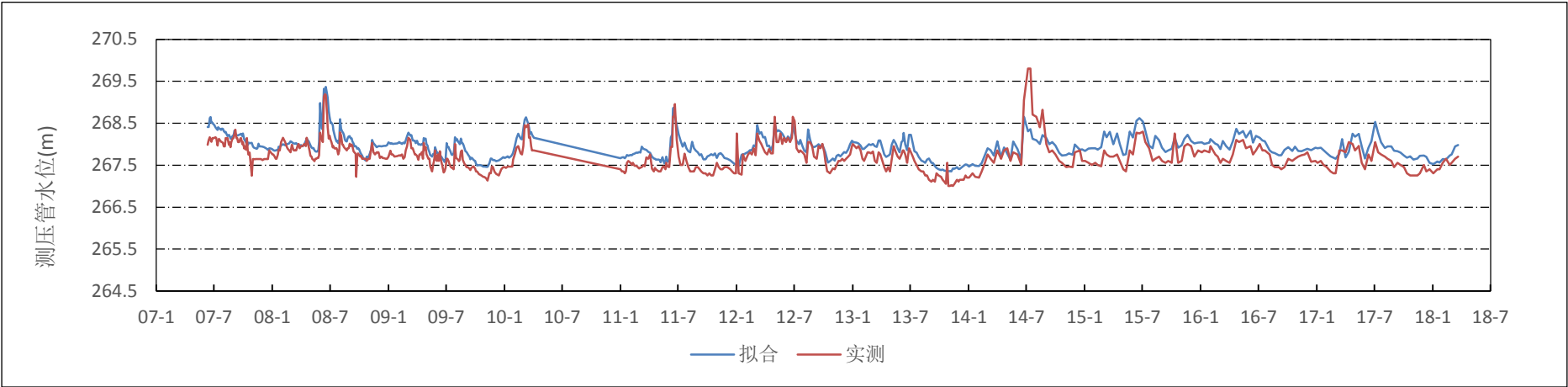


图 4.2-9 U4 测压管水位实测值、拟合值过程线

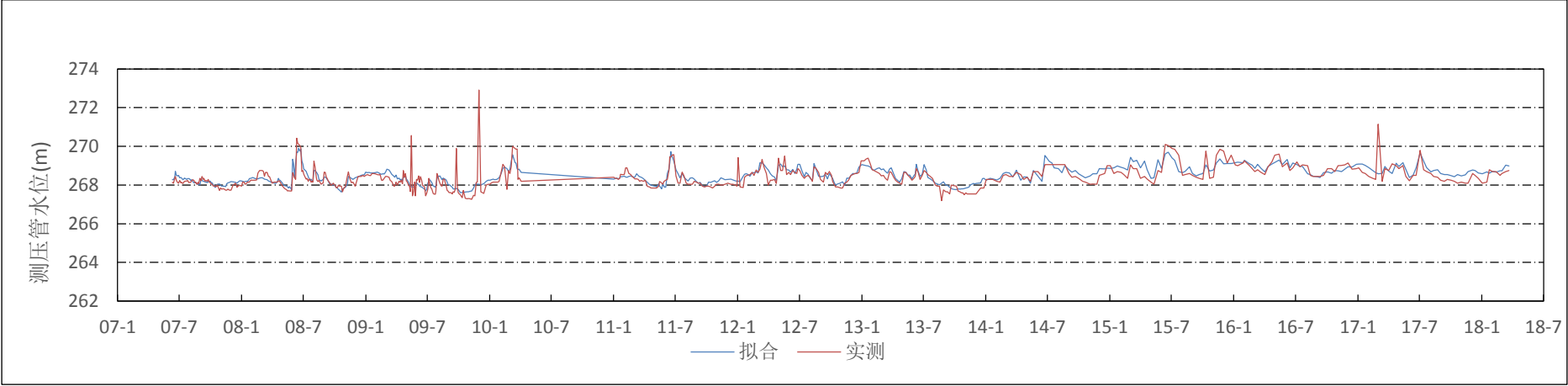


图 4.2-10 U5 测压管水位实测值、拟合值过程线



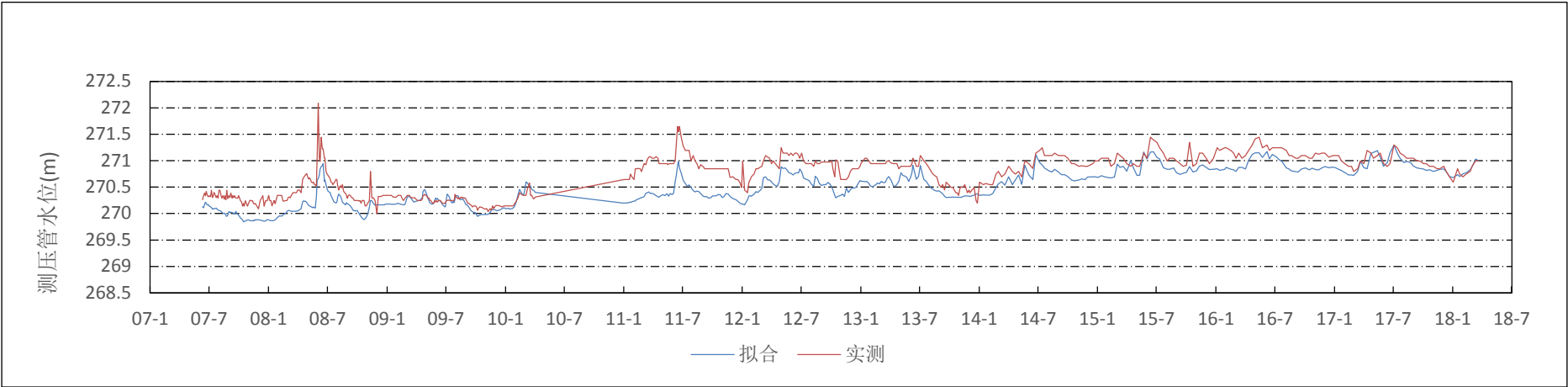


图 4.2-11 U7 测压管水位实测值、拟合值过程线

## 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、主坝坝体渗漏量随库水位呈周期性变化，坝体渗流变化规律正常。廊道总渗漏量变化稳定，无明显增加趋势；廊道左侧渗漏量大于右侧，且左侧渗漏量较为稳定，而右侧渗漏量趋近于 0mL/s。

5、廊道各测压管水位变化符合一般规律，扬压力总体稳定。U6、U7、U8 测压管扬压力系数当库水位较低时较大，正常蓄水位条件下扬压力系数满足规范要求。

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，导致坝体渗漏量增大，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，并加强廊道左侧渗漏量监测。

2、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。