



## 岷江龙溪口航电枢纽工程船闸施工期监测

李明好<sup>1</sup>, 张磊<sup>1</sup>, 周炳鑫<sup>2</sup>, 雷英成<sup>1</sup>

(1. 四川中水成勘院工程物探检测有限公司, 四川 成都 610072;

2. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000)

**摘要:** 船闸由上下引航道、上下闸首、闸室及输水系统等多部分组成。鉴于船闸结构组成及其运行过程中的受力情况较为复杂, 船闸水工建筑物的施工安全与运行稳定显得尤为重要。通过对龙溪口船闸施工期监测数据的整理归纳, 结合现场实际, 采用定性常规分析和定量数值计算, 分析各监测物理量的变化规律和发展趋势。结果表明: 1) 施工期间船闸基底渗透压力受围堰外江水、岸坡地下水及基坑内施工用水影响; 2) 船闸墙后回填土压力受填土深度及其内部含水量影响; 3) 混凝土内应力应变主要与温度控制有关。

**关键词:** 船闸; 施工期; 监测

中图分类号: U641; TV698.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0151-07

### Construction period monitoring of ship lock of Longxikou Navigation-power Junction project in Minjiang River

LI Minghao<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, ZHOU Bingxin<sup>2</sup>, LEI Yingcheng<sup>1</sup>

(1. Sichuan Hydropower Engineering Geophysical Exploration Co., Ltd., Chengdu 610072, China;

2. Sichuan Minjiang Port & Shipping & Electricity Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China)

**Abstract:** The ship lock is composed of multiple parts, including upper and lower approach channels, upper and lower lock heads, lock chambers, and water conveyance systems. In view of the complexity of the structure composition of the ship lock and the stress situation during its operation, the construction safety and operational stability of hydraulic structures of the ship lock are important. This paper summarizes the monitoring data during the construction period of the Longxikou ship lock, combines it with the actual situation on site, and uses qualitative conventional analysis and quantitative numerical calculation to analyze the changes and development trends of various monitored physical quantities. The results show that: 1) During the construction period, the seepage pressure of the ship lock base is affected by the river water outside the cofferdam, the groundwater on the bank slope, and the construction water in the foundation pit; 2) the backfill pressure behind the ship lock wall is influenced by the depth of the fill and its internal moisture content; 3) the internal stress and strain of concrete are mainly related to temperature control.

**Keywords:** ship lock; construction period; monitoring

#### 1 工程概况

龙溪口航电枢纽工程坝址位于犍为县新民镇上游约 1 km 处, 其上游与在建犍为航电枢纽衔

接, 下游接 31 km 航道整治工程。枢纽主要建筑物包括船闸、泄洪闸、发电厂房、混凝土接头坝、鱼道等。龙溪口船闸总长 1 379.53 m, 有效尺寸

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 李明好 (1972—), 男, 高级工程师, 从事工程安全监测研究。

200 m×34 m×4.5 m(闸室长度×闸室宽度×门槛水深), 布置在河道右侧, 主要由上引航道、上闸首、闸室、下闸首及下引航道组成<sup>[1]</sup>。

## 2 监测项目及监测布置

### 2.1 监测项目

水运工程水工建筑物原型观测项目分为必测项目和选测项目: 必测项目是对水工建筑物安全运营有明显影响的观测项目, 选测项目是根据工程建设或研究的需要确定<sup>[2]</sup>。针对龙溪口船闸结构特点及地质条件, 该船闸工程监测项目包括表面变形、闸基渗透压力、结构应力应变及闸首上下游水位等。施工期采用人工监测方式; 运行期将对监控区域内的仪器进行自动化改造, 将测量数据转换为数字量, 通过数据总线直接传送至监控中心的计算机进行处理<sup>[3]</sup>。

### 2.2 监测布置

#### 2.2.1 表面变形

船闸表面变形监测设施为观测墩, 其上布设水准标志(监测垂直位移)和强制对中盘(监测水平位移)。本船闸工程共布置 19 个观测墩: 上、下引航道各 1 个, 上闸首 6 个, 闸室段 6 个, 下闸首 5 个。

#### 2.2.2 闸基渗透压力

用于监测基底渗透压力的渗压计分别安装于上引航道、上闸首、闸室、下闸首、下引航道及船闸轴线的 10 个断面, 每个断面布置 2~4 支渗压计, 共 30 支渗压计。渗压计典型断面布置见图 1。

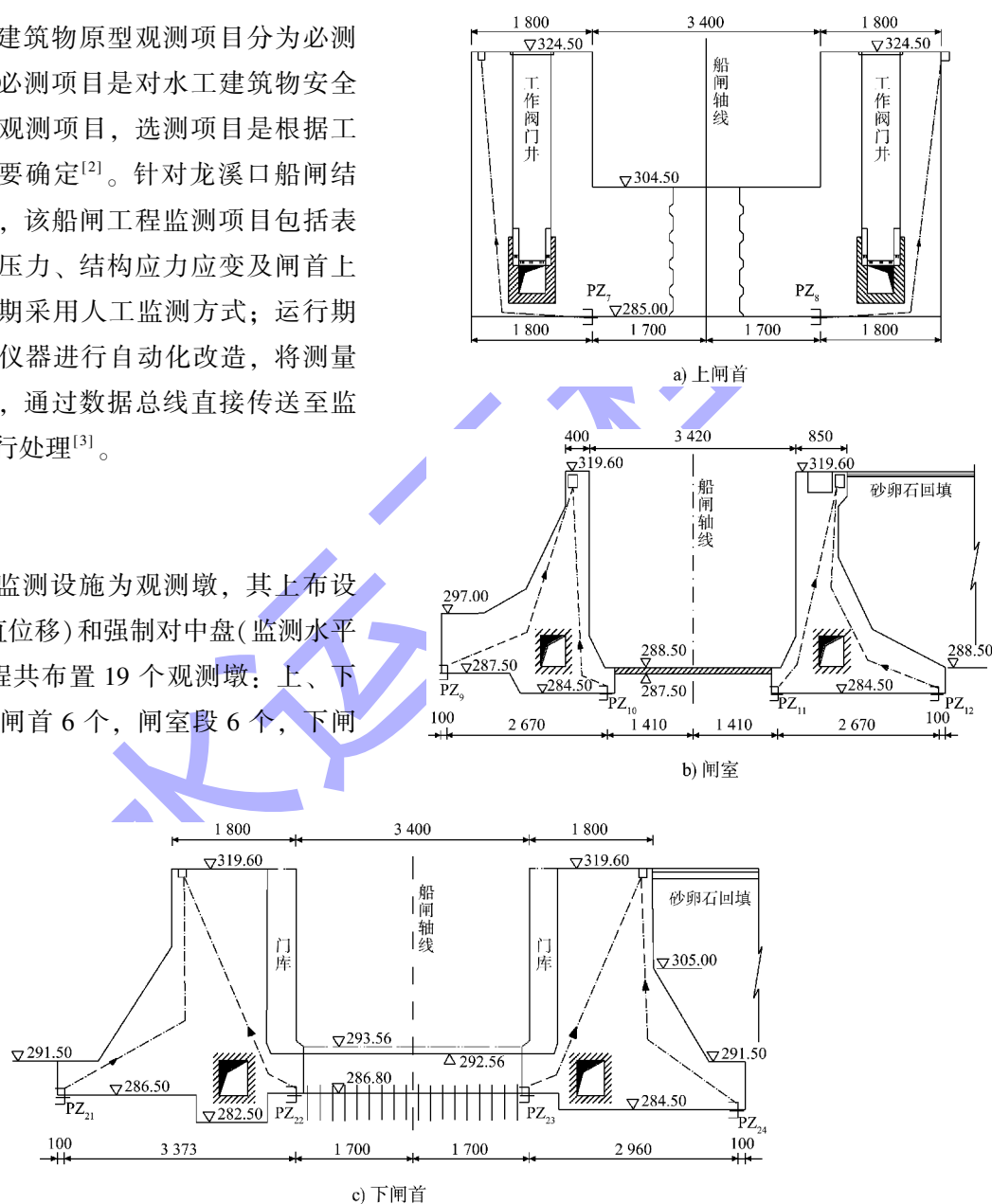


图 1 渗压计典型断面布置 (高程: m; 尺寸: mm)

#### 2.2.3 结构应力应变

应力应变监测仪器包括土压力计、双向应变计、无应力计和钢筋计。

1) 土压力计布置。在上闸首布置 4 个横断面、

闸室布置 2 个横断面、下闸首布置 4 个横断面、下引航道布置 1 个横断面, 每个断面布置 2~7 支土压力计, 共 48 支, 其中 10 支监测墙后土压力, 38 支监测基底压力。土压力计典型断面布置见图 2。

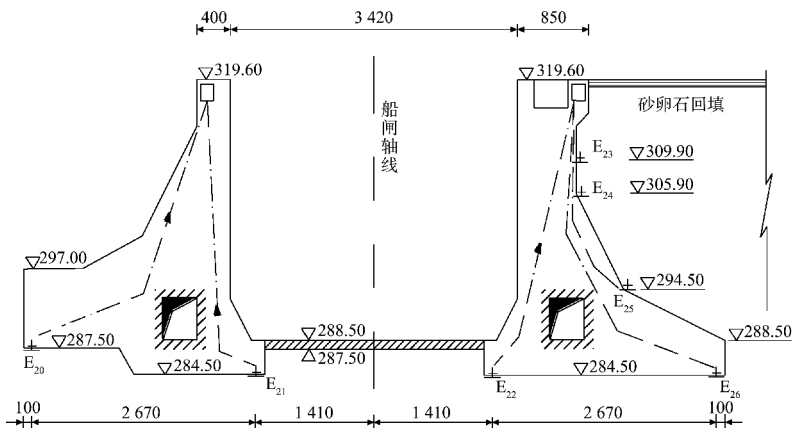


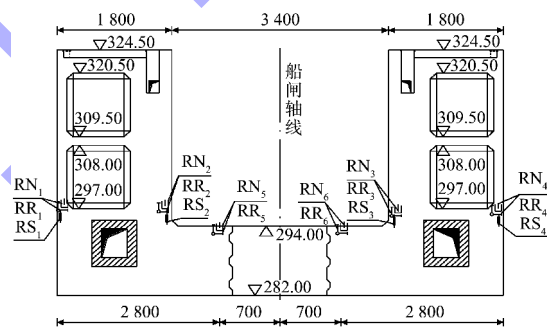
图 2 土压力计典型断面布置 (高程: m; 尺寸: mm)

2) 双向应变计布置。主要布设在上、下闸首底板施工缝及边墩门库周边拉应力集中部位, 以及闸室右闸墙的折线墙背处应力较大部位。船闸共埋设 17 套双向应变计, 采用竖向和横向布置。上闸首布置 2 个断面, 10 套双向应变计; 闸室右闸墙布置 2 个断面, 2 套双向应变计; 下闸首布置 1 个断面, 4 套双向应变计; 下引航道 1 套双向应变计布置于右导墙。

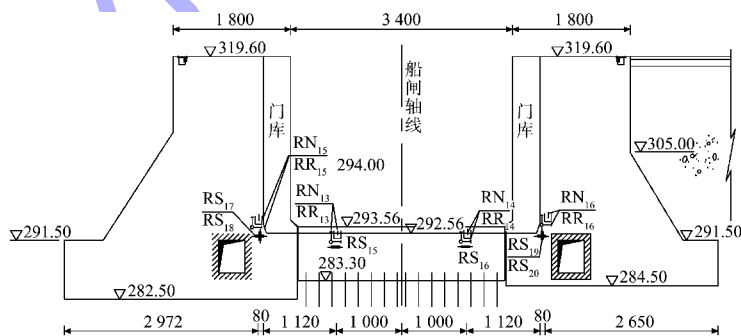
3) 无应力计布置。无应力计与双向应变计匹配布置, 埋设在相应双向应变计附近 1.0~1.5 m 处, 共 17 套。

4) 钢筋计布置。钢筋计布置位置与双向应变及无应力计布置基本一致, 共布置 22 支钢筋计。

双向应变计、无应力计及钢筋计典型断面布置见图 3。



a) 上闸首



b) 下闸首

图 3 双向应变计、无应力计及钢筋计典型断面布置 (高程: m; 尺寸: mm)

## 2.2.4 水位

水标尺和水位计是水位监测的常用方式。龙溪口船闸工程在上下引航道停泊位入口和上下闸门前后共布置 10 幅水标尺, 在上下闸门前后共布置 4 支水位计。

## 3 监测成果

### 3.1 基准值的选取

本项目埋入式仪器基准值的选定<sup>[4]</sup>: 1) 渗压计: 现场埋设前的读数为计算基准值。2) 钢筋

计：安装后、混凝土浇筑前的读数为计算基准值。

3) 土压力计：现场埋设后的读数为计算基准值。

4) 双向应变计及无应力计：仪器安装后 24~48 h 内平稳、有规律的测值为计算基准值。

### 3.2 渗压计监测成果

渗流从上游流向下游的过程中，逐步消耗着水头，相应于某一计算点剩余水头的压力称为该点的渗透压力。采用渗压计监测船闸水工建筑物底部的渗透压力，其变化过程线见图 4。

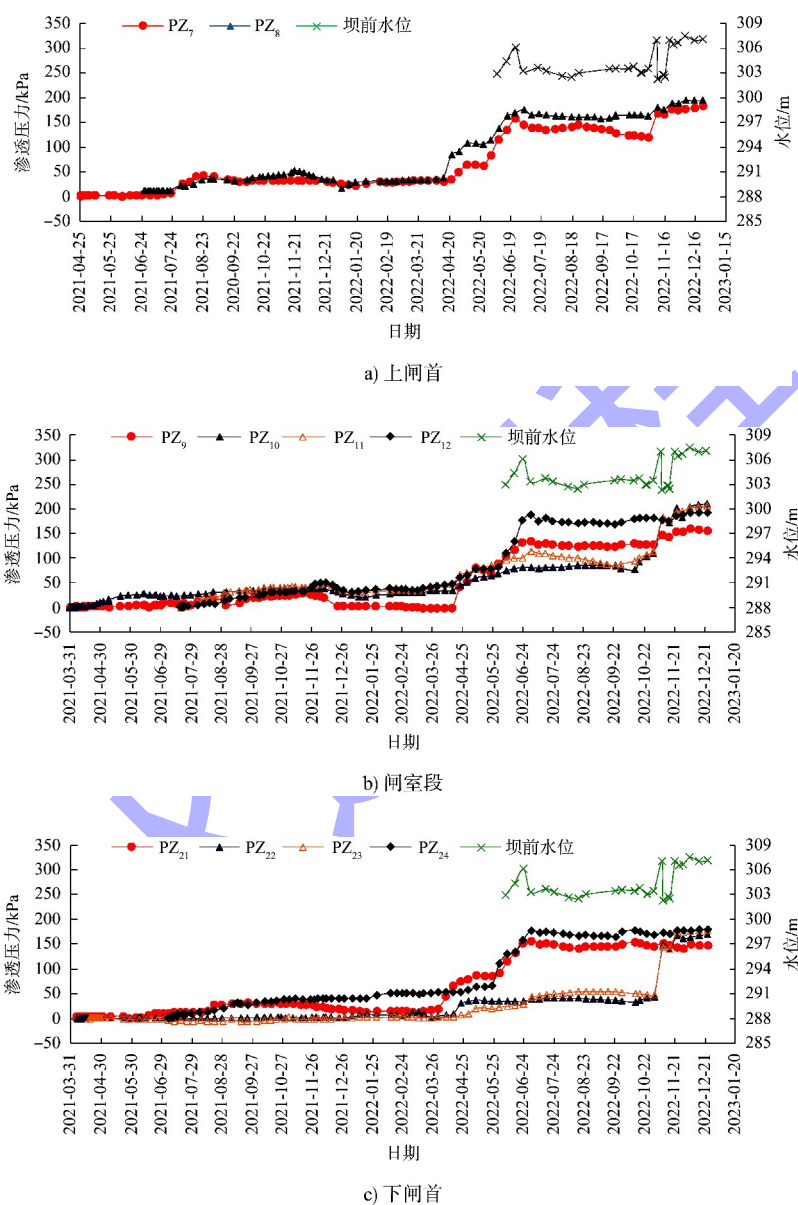


图 4 不同位置渗透压力过程线

从船闸渗压计施工期监测成果可以看出：

1) 渗压计埋设于建基面下的基岩内，施工开挖期间由于基坑周围有经防渗处理的围堰，并在水泵参与排水作用下，渗透压力变化平稳，测值很小；2021 年 7 月基础混凝土浇筑后，外围周边回填，排水减弱，基底渗压计测值有所增大。各

断面基底渗透压力变化趋势基本同步。

2) 2022 年渗压计测值出现 3 次明显增大过程，第 1 次是在 4 月中下旬，原因是船闸底板施工结束、排水减弱、闸室底板积水及基坑外江水渗入闸基；第 2 次是在 6 月，原因是雨季降水量增加，右岸坡体地下水及汛期河道水位升高，船

闸靠河道侧围堰拆除, 邻近泄洪闸开始过流, 闸基底透水压力增大; 第 3 次是在 11 月, 原因是 11 月 7—8 日船闸试通航, 11 月 18 日正式通航, 闸室水位显著上升, 且闸室底板设有透水孔, 基底透水压力明显增大。

3) 船闸通航后, 闸室内侧渗透压力受开闸、关闸影响而小幅波动变化, 外侧渗透压力主要受河道水位及岸坡地下水位影响。船闸基底最大渗透压力值为 240.6 kPa(上引航道 PZ<sub>2</sub>, 2022 年 12 月 23 日测值), 换算水位高程为 305.5 m(同时期坝前水位为 307.1 m)。

### 3.3 土压力计监测成果

典型土压力、基底压力变化过程线见图 5。从船闸土压力计施工期监测成果可以看出:

1) 基底压力变化影响因素较复杂, 如闸墙自重、基底水压及河水对墙体侧压、墙后堆填土

压等。左侧闸墙(靠泄洪闸侧)受河道水位影响更明显, 如 E<sub>20</sub>、E<sub>21</sub>、E<sub>41</sub> 在汛期泄洪闸过流期间测值增大, 在枯水季施工期由于泄洪闸基坑排水, 其压力测值减小。另外, 局部基底压力受施工影响较明显, 如在 2022 年 7—9 月, 下闸首下游围堰填筑并灌浆处理, 左边墩下游基底压力 E<sub>41</sub> 测值增加并达最大值 1 340.1 kPa(2022 年 8 月 24 日测值), 10 月后随围堰拆除其测值逐步回落至 178.3 kPa(2022 年 12 月 23 日测值)。

2) 船闸通航运行后, 基底压力总体趋于平稳。基底压力最大值为 640.5 kPa(下闸首左边墩 E<sub>43</sub> 2022 年 12 月 23 日测值), 其余大多在 200 kPa 以内。

3) 闸墙后接触土压力主要受外部荷载影响, 即随仪器埋深增加、地下水位升高, 土压力测值增大。闸墙后接触土压力最大值为 164.9 kPa(下引航道 E<sub>47</sub> 2022 年 12 月 23 日测值)。

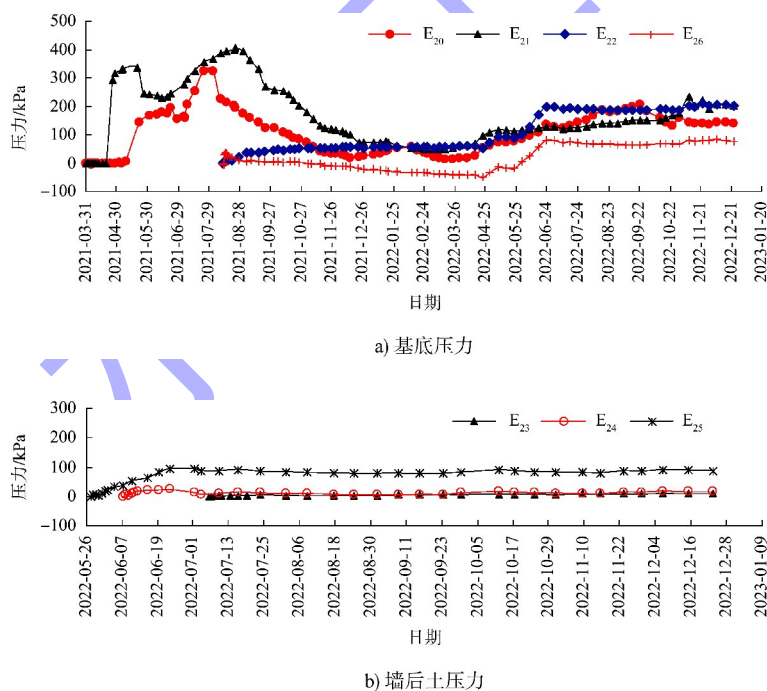


图 5 闸室段(船 0+213 断面)压力过程线

### 3.4 钢筋计监测成果

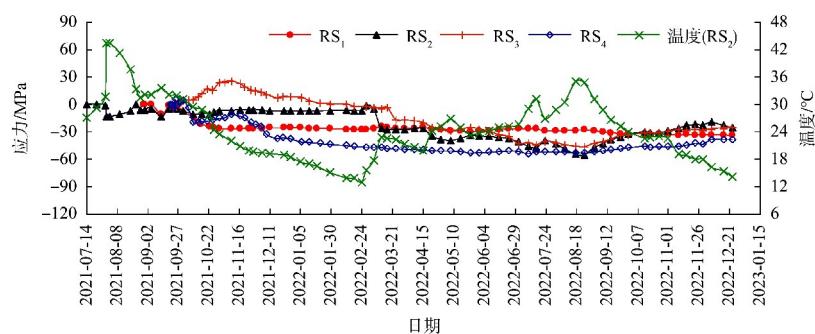
上下闸首应力变化过程线见图 6。从船闸钢筋计施工期监测成果可以看出:

1) 混凝土浇筑后的初期阶段受水化热作用, 钢筋计应力测值无规律波动变化。因混凝土与钢筋的热膨胀系数不同, 一定时间后钢筋计应力测

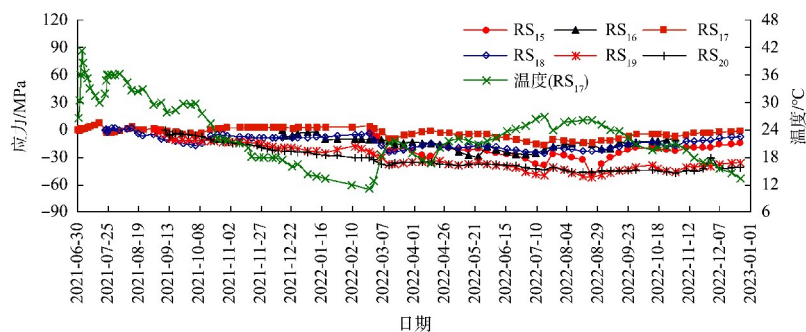
值表现为随混凝土内温度的反向规律性变化, 即温度升高应力测值减小, 温度降低应力测值增大。

2) 绝大部分钢筋计测值为负, 表现为压应力, 最大值为 -40.8 MPa(下闸首 RS<sub>20</sub>, 2022 年 12 月 23 日测值)。上闸首门库处钢筋计 RS<sub>8</sub> 测值为正, 表现为拉应力, 测值为 241.1 MPa(2022 年 12 月 23 日测值)。





a) 上闸首(船0+053断面)



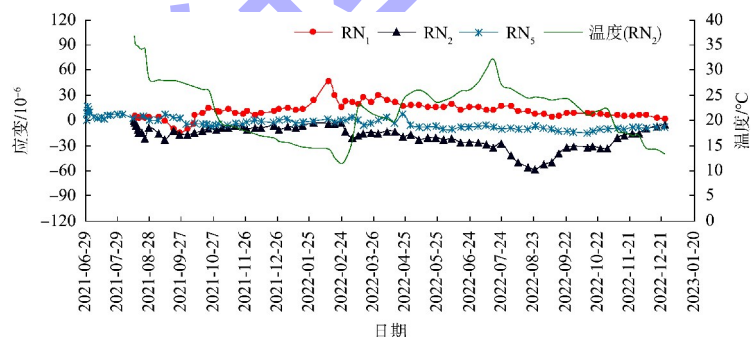
b) 下闸首(船0+281断面)

图6 上下闸首应力过程线

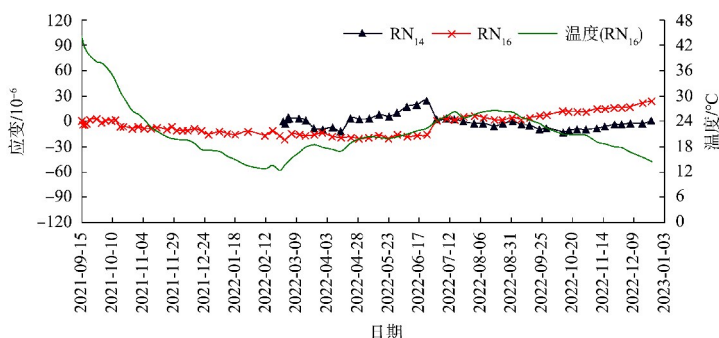
### 3.5 无应力计监测成果

无应力计测值反映的是混凝土自身体积变形，影响因素有温度、湿度、水化学等，称之为非荷

载应变，典型应变曲线见图7。从船闸无应力计施工期监测成果可以看出：



a) 上闸首(船0+053断面)



b) 下闸首(船0+281断面)

图7 上下闸首无应力计应变过程线

1) 上闸首  $RN_1$ 、 $RN_3$ 、 $RN_4$ 、 $RN_8$ 、闸室段  $RN_{11}$  及下闸首  $RN_{16}$  测值为正, 表现为拉应变, 但量值较小, 最大值为  $78.4 \times 10^{-6}$  ( $RN_4$ , 2022 年 12 月 23 日测值)。

2) 其余无应力计测值为负, 表现为压应变, 量值也不大, 最大值为  $-35.5 \times 10^{-6}$  (上闸首  $RN_8$ , 2022 年 12 月 23 日测值)。

### 3.6 双向应变计监测成果

双向应变计测值反映的是包括荷载应变和非荷载应变的混凝土总应变。通过埋设在应变计附近的无应力计测值将非荷载应变从总应变中分离

出来, 可得到混凝土结构荷载引起的应变。船闸典型双向应变计应变变化过程线见图 8。从船闸双向应变计施工期监测成果可以看出:

1) 竖向应变计测值基本为负值(只有  $RR_{14-2}$  为正值), 表现为压应变, 压应变最大值  $-154.8 \times 10^{-6}$  (上闸首的  $RR_{2-2}$ , 2022 年 12 月 23 日测值)。

2) 部分横向应变计测值为正值, 表现为拉应变, 上闸首底板后浇带施工缝部位的  $RR_{10-1}$  受后浇带浇筑、凝固对先浇混凝土产生拉应力的影响测值变化大, 测值为  $1\,278.2 \times 10^{-6}$  (2022 年 12 月 23 日测值)。其余拉应变值均小于  $100 \times 10^{-6}$ 。

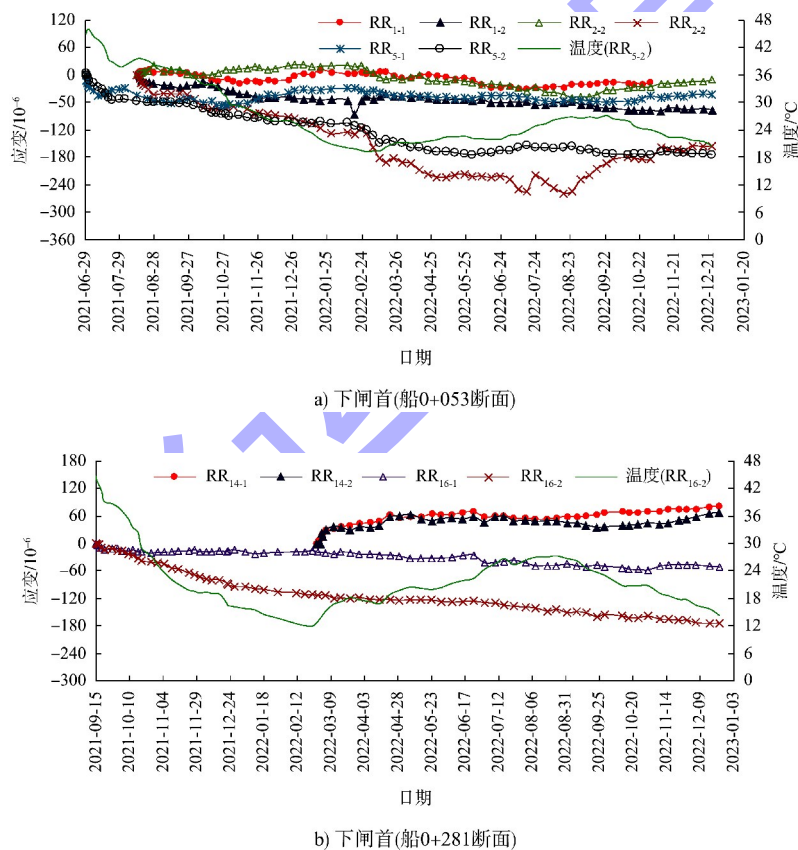


图 8 上下闸首双向应变计应变过程线

## 4 结语

1) 龙溪口船闸施工期布置了多种类型监测仪器, 通过连续监测以评价船闸水工建筑物的工作性态, 施工期的监测成果将为船闸工程施工质量评价、工程验收、管理运行规程制定和确保工程安全提供可靠依据。

2) 施工期监测成果表明, 龙溪口船闸基底渗透水压力变化、基底压力与墙后土压力变化、水工建筑物内部结构应力变化符合施工期变化一般规律; 龙溪口船闸施工过程的温控效果较好, 施工质量良好, 船闸工作性态正常。

(下转第 175 页)