



# 犍为船闸安全监测与施工

郝文字，徐红，李维

(四川省交通勘察设计研究院有限公司，四川成都610017)

**摘要：**针对大口门船闸施工期安全问题，依托岷江犍为船闸，对船闸上下引航道、上下闸首及闸室各部位的沉降和位移、墙后土压力、基底压力、墙底渗透压力、关键部位的混凝土和钢筋应力、应变进行监测。结果表明，船闸土压力测值变化主要受上部混凝土浇筑及墙后回填土压力影响，应变计组的各测点测值初期主要受混凝土水化热影响，后期主要受周围混凝土浇筑影响，钢筋计的各测点测值主要受上部混凝土施工应力变化影响。船闸施工过程中应合理安排混凝土浇筑时间，控制混凝土水化热。

**关键词：**犍为船闸；安全监测；施工期

中图分类号：U 641

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)12-0089-05

## Safety monitoring and construction of Qianwei ship lock

HAO Wen-yu, XU Hong, LI Wei

(Sichuan Communication Surveying and Design Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China)

**Abstract:** Aiming at the safety problems of large entrance ship lock during construction, based on Qianwei ship lock of the Minjiang River, we monitor the settlement and displacement of the upper and lower approach channel, the upper and lower lock head and the lock chamber, the earth pressure behind the wall, the base pressure, the seepage pressure at the bottom of the wall, the stress and strain of concrete and steel in the key parts of the lock. The results show that the measured values of the earth pressure of the ship lock are mainly affected by the pouring of the upper concrete and the backfill pressure behind the wall. The measured values of each measuring point of the strain gauge group are mainly affected by the hydration heat of concrete at the initial stage, and are mainly affected by the pouring of surrounding concrete at the later stage. The measured values of each measuring point of the steel bar gauge are mainly affected by the construction stress change of the upper concrete. The pouring time of concrete should be reasonably arranged and the hydration heat of concrete should be controlled during the construction of ship lock.

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

## 1 工程概况

岷江犍为航电枢纽工程是岷江下游河段(乐山—宜宾段)的第3个梯级，是以航运为主、结合发电、兼顾供水和灌溉的水资源综合利用工程。坝址位于四川省乐山市犍为县城上游3 km处，其下游1.45 km处为犍为大桥，距乐山市57 km，距成都市144 km。

船闸布置在河道右岸，船闸有效尺度为220 m×34 m×4.5 m(长×宽×门槛水深)，船闸设计通航标准为Ⅲ级，可通行2×1 000吨级船队，兼顾3 000吨级单船。船闸主要由上引航道、上闸首、闸室、下闸首和下引航道组成，全闸总长约1 325.70 m。上闸首为枢纽挡水线的组成部分，是船闸的主要挡水建筑物，位于坝轴线处，其顶高程与坝顶高

程一致，为 342.00 m。

船闸作为枢纽主要的通航建筑物，其结构安全性和耐久性显得尤为重要。设置必要的监测项目，可以监控建筑物安全，掌握运行规律、指导施工和运行，同时反馈给设计单位<sup>[1-2]</sup>。

## 2 监测布置

### 2.1 位移和沉降

为了观测船闸的位移和沉降变化，在船闸上闸首、闸室、下闸首和上引航道共布置 18 个观测墩。

### 2.2 引航道和闸室水位

在船闸上引航道拖轮停靠点、靠船停泊段及下引航道停泊段入口的侧边墙上分别设置 1 副水尺，用以监测引航道停泊段的水位变化。在上、下闸首工作门前、后的左、右两侧边墙上各设置 1 副水尺，用以监测充水及泄水过程中闸室内外的水位变化。在上、下闸首工作门上、下游分别设置 1 个遥测水位计，用以实时观测灌泄水时闸室内外的水位变化。

全船闸总共设置 11 副水尺和 4 个遥测水位计<sup>[3]</sup>。

### 2.3 渗流

1) 为了监测衬砌混凝土外水压力变化情况，在上引航道 0+048 剖面处内侧挡墙 328.62 m 和 320.10 m 高程衬砌混凝土处设置 2 支渗压计 (Pz1、Pz2)。

2) 根据船闸上闸首的布置形式、基础的地质条件和渗流控制的工程措施，为了了解上闸首防渗帷幕的防渗效果，沿着防渗帷幕布置一个监测纵剖面，在防渗帷幕前后的闸基各布置 2 个横断面，即船 0+007 (Pz3、Pz4)、0+008 (Pz5、Pz6)、0+024 (Pz7、Pz8) 及 0+035 (Pz9、Pz10) 剖面处，每个横断面均在闸底布置 2 支渗压计，共 8 支渗压计。

3) 为了监测闸室、闸首渗透压力的情况，在船 0+079 (Pz11~Pz14)、0+140 (Pz15~Pz18)、0+215 (Pz19~Pz22)、及 0+281 (Pz23~Pz26) 横剖面的底板两侧各设置 2 支渗压计，共 16 支渗压计。

全船闸共设置 26 支渗压计。

### 2.4 土压力和基底压力

1) 为了监测上闸首、闸室、下闸首及下引航道最大基底压力，在船 0+050 (E1~E3)、船 0+110 (E4、E8~E10)、船 0+208 (E11、E15)、船 0+281 (E16、E17、E21、E22) 及船 0+370 (E23、E24) 横剖面闸基底分别设置 3、4、2、4、2 支土压力计。

2) 为了监测闸室内墙最大墙后土压力，在船 0+110 (E5~E7) 和船 0+208 (E12~E14) 横剖面内侧墙墙后高程 323.33、321.85、312.10 m 处分别设置土压力计，共 6 支。

3) 为监测下闸首内墙最大墙后土压力，在船 0+281 (E18~E20) 横剖面内侧墙墙后高程 334.30、322.00、310.00 m 处分别设置土压力计，共 3 支。

4) 为监测下引航道内墙最大墙后土压力，在船 0+370 (E25~E27) 横剖面内侧墙墙后高程 324.50、319.80、313.00 m 处设土压力计，共 3 支。

全船闸共布设土压力计 27 支。

### 2.5 混凝土及钢筋应力

1) 因上闸首承受较大的纵向和横向水平力及自身重力，原地质勘查资料未提供明确的承载力，且现有规范对在岩石地基上打群桩同时承受水平承载力的条件未明确计算方法。在上闸首基底打桩后，在船 0+001.0 (RR17、RR21)、0+022.5 (RR18、RR22)、0+026.1 (RR19、RR23) 及 0+051.9 (RR20、RR24) 横剖面内、外桩顶布设双向应变计，共设置 8 支双向应变计<sup>[4]</sup>。

2) 为了监测上闸首门库转角处(关门挡水时)应力集中点的钢筋应力，在上闸首门库转角处 (RS20~RS25) 两侧各设置 3 个钢筋计，共 6 支钢筋计。

3) 为了监测闸室墙前趾拉应力，闸室和下引航道内导墙折线墙背处的混凝土应力和钢筋应力，在船 0+130 外导墙前趾处 (RR5、RS4、RS5)、船 0+230 (RR7、RS6、RS7) 和船 0+352 内导墙折线墙背处 (RR16、RS18、RS19) 分别设置 1 支双向应变计和 2 支钢筋计 (RR 为双向应变计，RS 为钢筋计)。

为了监测上下闸首槽挖输水廊道底部混凝土应力及钢筋应力，分别在船 0+054 外闸墙 (RR1、

RS1)、船 0+285 横剖面内(RR14、RS16)、外闸墙输水廊道槽底(RR12、RS14)分别设置 1 支双向应变计和 1 支钢筋计, 共 3 支双向应变计和 3 支钢筋计。

全船闸共设置 24 支双向应变计、25 支钢筋计。

### 3 施工期监测结果

#### 3.1 位移和沉降观测

船闸施工期测点累计位移量见表 1。

表 1 船闸施工期测点累计位移量

部位	测点编号	累计位移/mm		
		x 方向 (上下游)	y 方向 (左右岸)	z 方向 (沉降)
上闸首	C01	-1.6	-2.2	2.3
	C02	2.8	-4.4	2.7
	C03	2.6	-1.9	1.2
	C04	0.7	-2.4	1.4
	C05	2.3	-0.2	0.5
闸室	C06	-1.4	-4.3	0.4
	C07	2.1	-5.6	1.0
	C08	0	-4.1	0.7
	C09	0.2	-4.5	1.5
	C10	1.4	-4.7	0.5
下闸首	C11	-0.4	-3.4	1.5
	C12	-1.9	-4.1	3.1
	C13	-1.9	-3.0	0.4
	C14	2.2	-1.2	1.0
	C15	0.6	-3.5	2.4
上引航道	C16	0.5	-0.8	0.2
	C17	0.3	-1.2	0.5
	C18	0.6	-0.3	3.0

根据施工期船闸监测点变形监测结果, 可以看出:

1) 施工期船闸测点 x 方向当前累计位移值为  $-1.9 \sim 2.8$  mm; y 方向当前累计位移值为  $-5.6 \sim -0.2$  mm, z 方向当前累计位移值为  $0.2 \sim 3.1$  mm。

2) 船闸监测点在施工期测点平面位移和沉降变形量均较小, 曲线变化趋势基本一致, 最大累积位移值发生在键为枢纽一期蓄水之后, 反映监测点测值受库区水位影响较小, 处于稳定状态。

#### 3.2 土压力监测

土压力计测值历时变化如图 1 所示。船闸各部位墙后土压力计测值较为同步, 且边墙接触土压力

大小基本一致, 测值基本稳定, 在  $0.39 \sim 150$  kPa。

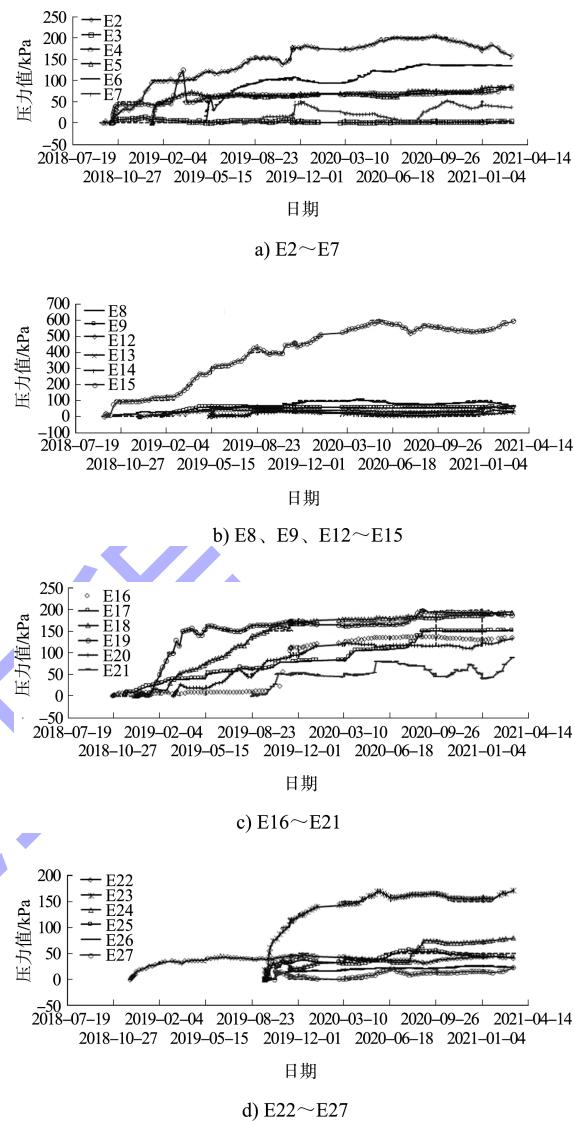


图 1 E1~E27 土压力计历时变化过程线

船闸各部位闸底土压力计变化趋势基本一致, 但测值变化较大, 最大处为闸室墙底(E15)  $574.13$  kPa, 上闸首闸墙底最大测值(E2)  $200.00$  kPa, 下引航道墙底最大测值(E23)  $150.00$  kPa。所监测部位接触紧密, 未出现脱空, 监测部位处于稳定状态。船闸土压力测值变化主要受上部混凝土浇筑及墙后回填土压力影响。

#### 3.3 应变监测

双向应变计测值历时变化如图 2 所示。船闸混凝土内部累计应变值在  $-392.39 \times 10^{-6} \sim 158.59 \times 10^{-6}$ , 闸室墙前趾处(RR5、RR8)的应变的绝对值最大; 下引航道折线墙背处(RR16)的应变值  $-292 \times 10^{-6}$ , 其余测点测值均小于  $100 \times 10^{-6}$ 。各监测部位受蓄

水后库水位影响较小，整体处于稳定状态。各测点测值初期主要受混凝土水化热影响，后期主要受周围混凝土浇筑影响。

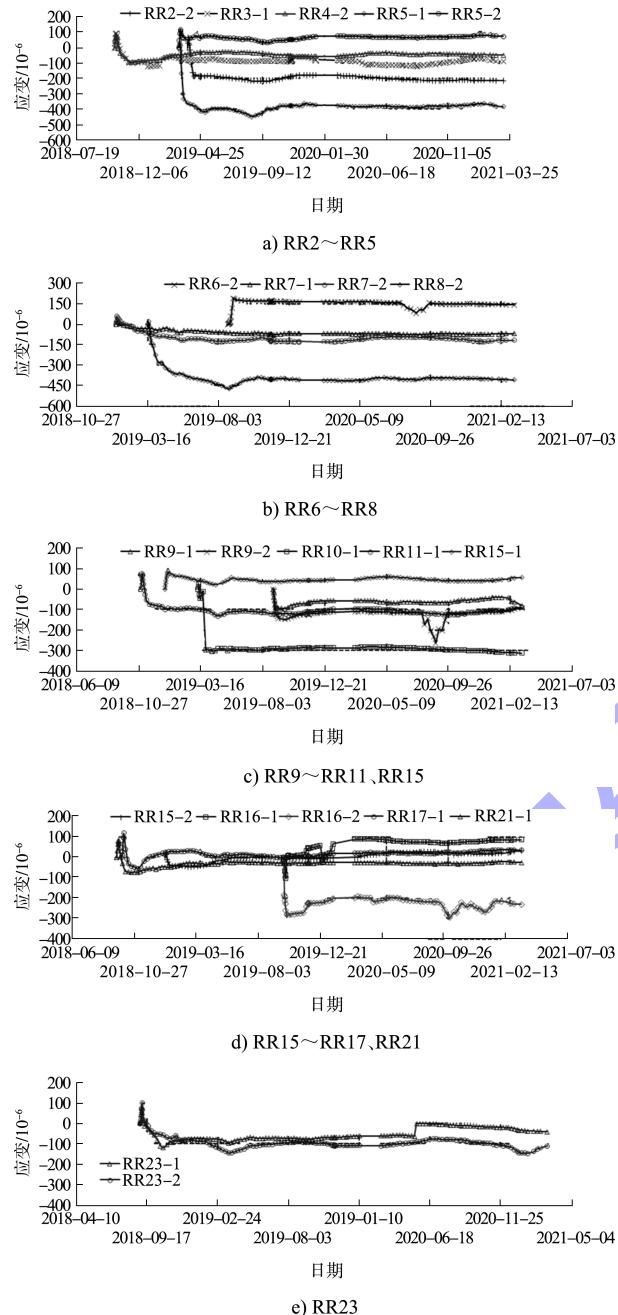


图 2 RR2~RR23 双向应变计历时变化过程线

### 3.4 应力监测

钢筋计测值历时变化如图 3 所示。施工期船闸钢筋计工作正常；从钢筋计应力历时变化过程线来看，下闸首断面的折线墙背处(RS15)应力的绝对值最大，测值为 -34.95 kPa；下闸首输水廊道槽挖处(RS14)钢筋应力为 -32.00 kPa；闸室断

面折角墙背处(RS10、RS11)钢筋应力为 -25.00 kPa，上闸首门库转角处钢筋最大应力 -22.00 kPa。

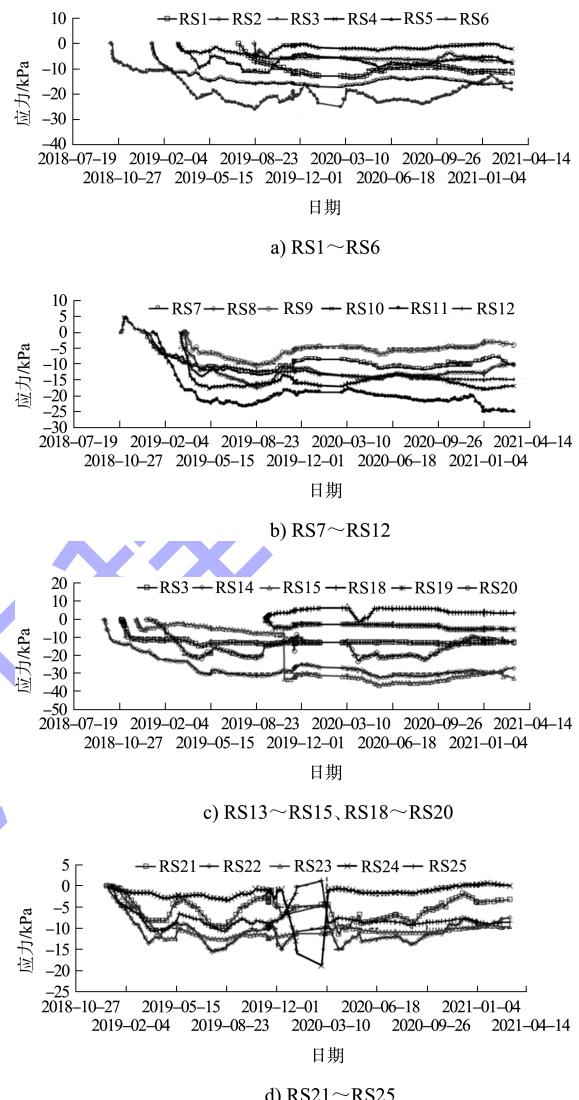


图 3 RS1~RS25 钢筋计历时变化过程线

各监测部位受蓄水后库水位影响较小，整体处于稳定状态。钢筋计各测点测值主要受上部混凝土施工应力变化影响，总体受压。

### 3.5 渗流监测

渗压计测值历时变化如图 4 所示。施工期船闸各渗压计测值在 4.85~152.30 kPa，各监测点变幅较小，Pz12 渗压力当前值最大，达 152.30 kPa，Pz1、Pz8、Pz12、Pz19、Pz25 监测数值小幅增加。随着一期蓄水库区水位发生变化，坝基渗流水位变化较小，与库水位相关性不明显，船闸各部位防渗和排水效果良好，闸墙和闸室底板处于稳定状态。

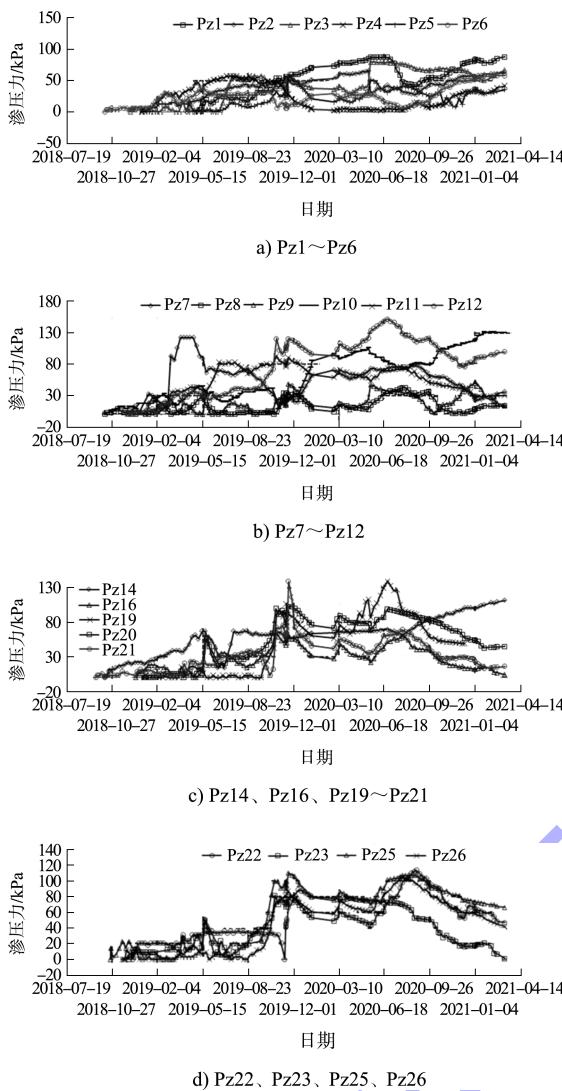


图 4 Pz1~Pz26 渗压计历时变化过程线

(上接第 68 页)

### 3.2.3 路面板运输与安装

优先采用平板汽车运输预制路面板。转运装车时, 坚向叠放不可超过 3 层; 起吊、装卸车时吊索、吊具选用应符合规范要求。

预制路面板安装时应注意板与板之间留置 20~30 mm 宽的间缝, 不可完全咬合, 否则面板损坏后的更换维护难度较大; 间隙缝太大或者完全不咬合会导致路面整体性变差。留置间缝后, 可采用砂子或细石填充。

## 4 结论

1) 装配式道路施工技术可有效降低临时施工道路的施工经济成本和时间成本, 从而为主体工

## 4 结语

1) 为降低船闸施工及运行过程中的安全风险, 同时掌握运行规律, 反馈给设计单位, 指导类似工程的设计和施工, 设置位移、沉降、土压力、混凝土应力应变等内外监测项目十分必要。

2) 船闸土压力测值变化主要受上部混凝土浇筑及墙后回填土压力影响, 应变计组各测点测值初期主要受混凝土水化热影响, 后期主要受周围混凝土浇筑影响, 钢筋计各测点测值主要受上部混凝土施工应力变化影响。

3) 为了控制船闸的外部变形和内部应力、应变, 船闸施工过程中应合理安排混凝土浇筑时间, 控制混凝土水化热。

## 参考文献:

- [1] 中交上海三航科学研究院有限公司. 水运工程水工建筑物原型观测技术规范: JTS 235—2016 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.
- [2] 王崇宇, 刘虎英, 周杰源. 船闸工程安全监测技术与设计[J]. 水电自动化与大坝监测, 2014, 38(5): 21-24.
- [3] 徐涛, 蒋一波. 船闸施工期间工程观测技术控制[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(2): 224-225.
- [4] 富坤, 王其标, 卓杨. 海安双线船闸施工监测与分析[J]. 水运工程, 2016(3): 172-176.

(本文编辑 王璁)

程施工争取时间。

2) 临时施工道路是工程建设中一项不可或缺的临时工程, 随着建设工程的繁杂程度和地理环境不同, 对临时施工道路提出的要求各不相同。研究装配式道路施工技术在临时施工道路中的应用, 对各类工程建设具有重要的参考意义。

## 参考文献:

- [1] 吴方清. 装配式混凝土路面施工的推广及其应用探讨[J]. 城市建筑, 2016, (35): 89.
- [2] 顾亚. 装配式预制混凝土路面施工技术[J]. 引文版: 工程技术, 2016, (3): 14.

(本文编辑 武亚庆)