

团 体 标 准

T/JSCTS X—XXXX

船闸结构安全监测技术规程

Technical specification for safety monitoring of shiplock structure

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

江苏省综合交通运输学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	1
5 环境量监测	2
6 变形监测	3
7 应力监测	5
8 振动监测	6
9 自动化监测系统	6
10 监测分析报告	8

前 言

本文件按GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省交通运输厅港航事业发展中心、常州市三级航道网整治工程建设指挥部办公室提出。

本文件由江苏省综合交通运输学会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

船闸结构安全监测技术规程

1 范围

本文件规定了船闸工程环境量监测、变形监测、应力监测、振动监测、自动化监测系统、监测报告的要求。

本文件适用于 I 级、II 级和 III 级交通船闸的结构安全监测，其余等级的交通船闸结构安全监测参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTS/T 234	水运工程施工监控技术规程
JTS 131	水运工程测量规范
JTS 153	水运工程结构耐久性设计标准
DB32/T 3974	交通船闸维护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

内观传感器 inside sensor

埋入结构内部开展监测工作的传感器。

3.2

环境量 environment factors

船闸所在区域的自然环境参数，包括水位、流速、水深等。

3.3

预警值 alarming value

为了保证船闸结构安全，防止监测对象出现异常变形、失稳、破坏等危险事故发生所设定的警戒值。

4 基本规定

4.1 船闸结构安全监测宜遵循“全生命”原则，监测技术要求应在设计阶段提出。

4.2 监测实施前应根据工程结构特点、现场及周边环境条件等因素，制定监测方案，并经评审后实施；检修期结构安全监测应编制专项监测方案。

4.3 监测方案应包括工程概况、监测目的、监测项目、测点布置、监测周期、监测频率、仪器设备、埋设安装、监测方法、数据处理、预警值等。

- 4.4 监测系统应具有完整的数据采集、传输、存储、处理及预警等功能，其通信网络应满足大流量数据的稳定传输要求，并应定期维护升级。
- 4.5 监测仪器性能指标应满足工程需求，便于实现自动化监测。
- 4.6 长期监测仪器安装、埋设位置和方式应便于维护。
- 4.7 监测单位或部门应定期对监测数据进行整理和分析，编制监测报告，分析船闸结构的安全状况。
- 4.8 监测期间，如出现异常数据或异常情况（洪水、船舶撞击、地震等），相关单位或部门应及时上报。

5 环境量监测

5.1 一般规定

5.1.1 环境量监测项目应包括水位、流速、水深等，气温、风速、降水等气象数据可通过气象部门获取后记录到监测系统内。

5.2 水位监测

5.2.1 施工期应对基坑内外地下水位、围堰外水位进行监测，运行期应对闸室及上下游水位进行同步监测。

5.2.2 水位监测可采用水尺、超声波水位计、雷达水位计、激光水位计、压力式水位计等。

5.2.3 水位监测的预警值宜包括累计水位变化预警值和水位变化速率预警值，应结合当地水文、地质条件和船闸结构计算分析等因素综合确定。其中施工期基坑水位监测的预警值还应满足公式（1）和公式（2）要求：

$$\Delta Z \leq H - H_0 - 0.5 \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta Z_p \leq 0.5 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔZ ——水位累计变化预警值，水位上升为正，下降为负，单位为米（m）；

ΔZ_p ——水位变化速率预警值，水位上升为正，下降为负，单位为米每天（m/d）；

H ——基坑设计底高程，单位为米（m）；

H_0 ——基坑地下水初测值，单位为米（m）。

5.2.4 施工期地下水位监测点布置应符合 JTS/T 234 的相关规定。

5.2.5 运行期水位监测点布置应符合下列规定：

- a) 上下游水位测点可布置在闸首、导航墙、引航道护岸等永久建筑物上；
- b) 闸室水位测点可布置在上下游闸首内侧、浮式系船柱槽、爬梯槽、检修井、集水井等位置。

5.2.6 施工期地下水位监测频率宜为 1 次/天，汛期、基坑降水、监测值变化较大或其他异常情况下应提高监测频率，各项监测值均相对稳定时，可适当降低监测频率；运行期水位监测频率宜每天定时观测不少于 1 次，并记录当日最高、最低水位。

5.3 流速监测

5.3.1 对于水流条件复杂的船闸，应进行流速监测。

5.3.2 流速监测可采用浮标、旋浆式流速仪、压差式流速仪、声学多普勒点流速仪（ADV）等。

- 5.3.3 流速监测精度不宜低于实测流速的 1.5%。
- 5.3.4 流速监测频率宜结合航道或周边水闸水文观测需求确定。
- 5.3.5 流速监测的预警值宜结合当地水文条件、水流条件分析结果等因素综合确定。

5.4 水深监测

- 5.4.1 为保障船闸通航安全，应对船闸上、下游引航道结构物前水深进行监测。
- 5.4.2 水深监测宜采用测深仪或测深杆。
- 5.4.3 水深监测的精度不宜低于 0.1m。
- 5.4.4 水深监测每年不应低于 2 次，对于冲刷、淤积变化比较严重的，应适当增加频次。

6 变形监测

6.1 一般规定

- 6.1.1 船闸施工及运行期间，应对闸首、闸室、导航建筑物、靠船建筑物等水工结构开展变形监测。
- 6.1.2 变形监测应包括水平位移监测、垂直位移监测、倾斜监测、裂缝监测等。
- 6.1.3 水平位移监测和垂直位移监测前应建立变形监测网。变形监测网宜与施工控制网坐标系统一致，并与国家控制网坐标系统建立联系，精度应符合 JTS 131 的相关规定。
- 6.1.4 变形监测网应由基准点、工作基点和变形观测点组成，监测网的平面布置应与船闸相适应。
- 6.1.5 变形监测网的设置应符合下列规定：
 - a) 平面和高程观测基准点应设置在变形影响范围之外并便于长期保存的稳定区域内，数量应各不少于 3 个。使用时，应定期进行基准点稳定性检查；
 - b) 基准点、工作基点和变形观测点应采取可靠的保护措施，并设有标识，相邻点之间应保证通视；
 - c) 水平位移观测点和垂直位移观测点宜根据需要设在同一测点上，必要时也可分开设立。
- 6.1.6 水平位移监测、垂直位移监测、倾斜监测宜同步开展，并应记录监测时段的水文、气象和荷载工况等。

6.2 水平位移监测

- 6.2.1 水平位移监测应包括表面水平位移监测和深层水平位移监测。
- 6.2.2 表面水平位移监测可根据监测要求与现场条件选用下列方法：
 - a) 监测特定方向的位移时，可采用视准线法、激光准直法、引张线法等；
 - b) 监测任意方向的位移时，可采用 GNSS、全站仪等；
 - c) 监测相邻结构的水平错位时，可采用振弦式位移计、光纤式位移计等。
- 6.2.3 表面水平位移的监测精度应根据监测性质、目的和要求等综合确定，并不宜低于 2mm。
- 6.2.4 表面水平位移监测点应设置在水工建筑物周边线和转角点、纵横轴线上、沉降缝或伸缩缝两侧、基础或断面发生变化的两侧等。监测点间距不宜大于 20m，且每侧不少于三个点。
- 6.2.5 表面水平位移宜采用自动化监测，每天采集 1~4 次数据，运行期每次宜采集一个开放闸全过程的典型数据；如采用人工监测，施工加载期间和宽缝封较期间应 1 次/天，加载结束后应不少于 1 次/3 天，闸室充水前、后应各观测 1 次，运行后第一年宜 3~6 个月观测 1 次，以后可 1 年观测 2 次，对水平变位比较敏感的水工建筑物可加密观测。
- 6.2.6 表面水平位移的监测预警值应满足设计要求，当无相关设计要求时，施工期应符合 JTS/T 234 的相关规定，运行期应符合 DB 32/T 3974 的相关规定。

6.2.7 船闸采用钢板桩闸墙和地连墙闸墙等高、深的薄壁结构时应开展深层水平位移监测，其他结构形式闸墙可选测。

6.2.8 深层水平位移监测可采用测斜仪、陀螺仪、光纤法等。

6.2.9 深层水平位移的监测精度应根据监测性质、目的和要求等综合确定，并不宜低于 2mm。

6.2.10 深层水平位移的监测点布置应符合下列规定：

- a) 监测点宜紧邻闸室墙布置，均匀分布在在闸室中部及端部，监测点水平间距宜为 20~60m；
- b) 布置在地连墙等结构内部的测斜管深度不应小于结构自身的入土深度，布置在土体内的测斜管不应小于闸墙高度的 1.5 倍，且进入相对稳定土层中不小于 2m；
- c) 竖向测点间距可取 0.5m 或 1.0m。

6.2.11 深层水平位移宜采用自动化监测，每天采集 1~4 次数据；如采用人工监测，施工期迎水侧开挖时应 1 次/天，开挖完成后应不少于 2 次/月，运行后第一年宜 3~6 个月观测 1 次，以后可 1 年观测 1 次。

6.2.12 深层水平位移的监测预警值应根据结构特点、土质条件、设计要求等综合确定。

6.3 垂直位移监测

6.3.1 垂直位移监测可根据监测要求与现场条件选用下列方法：

- a) 监测绝对位移时，可采用几何水准法、液体静力水准法、电磁波测距三角高程测量法等；
- b) 监测相邻结构的竖向错位时，可采用振弦式位移计、光纤式位移计等。

6.3.2 垂直位移的监测精度应根据监测性质、目的和要求等综合确定，并不宜低于 2mm。

6.3.3 垂直位移监测点应结合工程地质情况、建筑物结构特点和受力情况设置在结构缝两侧、不同结构分界处两侧、不同基础或地基交接处两侧、建筑物周边线内侧和墩式结构的角点处等。

6.3.4 垂直位移监测频率应与水平位移监测频率一致，宜同步开展。

6.3.5 垂直位移的监测预警值应满足设计要求，当无相关设计要求时，施工期应符合 JTS/T 234 的相关规定，运行期应符合 DB 32/T 3974 的相关规定。

6.4 倾斜监测

6.4.1 倾斜监测可采用倾角计、全站仪、经纬仪投点法、激光准直法等。

6.4.2 倾斜的监测精度应根据监测性质、目的和要求等综合确定，并不宜低于 0.001°。

6.4.3 倾斜监测点宜与水平位移和垂直位移设置在同一断面上。

6.4.4 倾斜监测频率应与水平位移、垂直位移监测频率一致，宜同步开展。

6.4.5 船闸水工建筑物倾斜监测预警值应满足设计要求，当无设计要求时，应符合 JTS/T 234 的相关规定。

6.5 裂缝监测

6.5.1 船闸混凝土结构出现裂缝且裂缝宽度超过 JTS 153 的相关要求时，经研判属于结构裂缝的，应开展裂缝监测。

6.5.2 裂缝监测应包括长度、宽度，同时通过照相、量测、绘制示意图等方式详细记录裂缝位置和走向，必要时可采用超声波法或钻孔取样法对裂缝深度进行检测。

6.5.3 裂缝监测可采用下列方法：

- a) 裂缝长度监测可采用钢尺量测、图像标定法等；
- b) 裂缝宽度监测可采用振弦式测缝计、光纤式测缝计、电学式测缝计、光学裂缝观测仪、游标卡尺、塞尺、图像标定法等。

6.5.4 裂缝长度监测的精度不宜低于 1mm；裂缝宽度监测的精度不宜低于 0.02mm。

6.5.5 对于典型裂缝，其宽度宜采用自动化监测，每天采集 1~4 次数据，运行期每次宜采集一个开放闸全过程的典型数据。长度可采用人工监测，人工监测频率应根据裂缝变化速度确定，当裂缝加大或发生异常情况时，应 1 次/天，正常情况下，可与其他变形监测同步开展。

7 应力监测

7.1 一般规定

7.1.1 船闸工程应力监测项目应包括钢结构应力监测、混凝土结构应力监测、土压力监测、锚杆应力监测等。

7.1.2 应力监测传感器应具有温度补偿功能，如不具备温度补偿功能，应同步开展温度监测。

7.1.3 应力监测传感器精度和量程应与量测范围相适应，精度不宜低于满量程的 0.5%，理论最大监测值宜控制为满量程的 50%~80%。

7.1.4 应力监测时应记录监测时段的水文、气象和荷载工况等。

7.2 钢结构应力监测

7.2.1 船闸施工及运行期间，应对闸门面板、背拉杆、顶底枢拉杆、主横梁、主桁架等主要受力钢结构应力开展监测。

7.2.2 钢结构应力监测可采用电学式应变计、振弦式应变计、光纤式应变计等。

7.2.3 船闸钢结构应力监测点布置应符合下列规定：

- a) 应力监测点布置前应对监测对象开展结构受力计算，根据计算结果，将监测点布置在应力集中、易疲劳、异形变截面等重点位置；
- b) 平面应力状态的应变监测宜设置三向应变监测点，主应力方向明确的部位可设置单向或两向应变监测点。

7.2.4 钢结构应力应采用自动化监测，首次运行或异常情况下应连续采集数据，频率宜为 1Hz，正常情况下宜 1~2 次/天，运行期每次宜采集一个开放闸全过程的监测数据。

7.2.5 钢结构应力监测预警值应结合构件受力计算结果、材料许用应力等因素综合确定，并满足设计要求。

7.3 混凝土结构应力监测

7.3.1 船闸施工及运行期间，应对闸室墙、闸室底板、闸首底板、闸首边墩等主要受力混凝土结构应力开展监测，监测对象应包括混凝土和钢筋。

7.3.2 混凝土应力监测可采用电学式应变计、振弦式应变计、光纤式应变计等，钢筋应力监测可采用电学式钢筋计、振弦式钢筋计、光纤式钢筋计等。

7.3.3 船闸混凝土结构应力监测点布置应符合下列规定：

- a) 船闸混凝土结构应力监测应先根据地基条件、结构特征等选择典型监测断面，闸首监测断面不宜少于 2 个，闸室监测断面不宜少于 3 个；
- b) 每个监测断面上，应根据结构计算结果，将监测点布置在应力集中、变截面等重点部位；
- c) 混凝土应变计数量和方向应根据应力状态确定，平面应力状态的应变监测宜设置三向应变监测点，主应力方向明确的部位可设置单向或两向应变监测点；
- d) 钢筋计应布置在主筋的受力方向，并宜与主筋焊接于同一轴线。

7.3.4 混凝土结构应力应采用自动化监测，首次运行或异常情况下应连续采集数据，频率宜为 1Hz，正常情况下宜 1~2 次/天，运行期每次宜采集一个开放闸全过程的监测数据。

7.3.5 混凝土结构应力监测预警值应结合构件受力计算结果、材料许用应力等因素综合确定，并满足设计要求。

7.4 土压力监测

7.4.1 船闸施工及运行期间，应对墙后土压力和底板基底压力开展监测。

7.4.2 土压力监测可采用电学式土压力计、振弦式土压力计、光纤式土压力计等。

7.4.3 土压力监测点布置应符合下列规定：

- a) 土压力宜与混凝土结构应力共用监测断面；
- b) 底板地基土应力监测点宜布置在底板与地基的接触面，每一监测断面宜等间距布设 3~4 个监测点；
- c) 墙后土压力监测点宜布置在闸室墙与回填土的接触面，监测点间距宜为 2~3m，如墙后有不同土层，每层土的监测点布设不应少于 1 个。

7.4.4 土压力宜采用自动化监测，每天采集 1 次数据；如采用人工监测，加载期应不少于 1 次/天，满载后应不少于 4 次/月。

7.5 锚杆应力监测

7.5.1 船闸采用钢板桩、地连墙、排桩等加锚杆结构时，应对锚杆进行应力监测。

7.5.2 锚杆应力监测可采用电学式锚杆应力计、振弦式锚杆应力计、光纤式锚杆应力计等。

7.5.3 锚杆应力监测点应布置在受力较大、地质条件复杂且具有代表性的位置。每根锚杆上的测点宜布置在锚头附近和受力有代表性的位置。

7.5.4 锚杆应力监测宜采用自动化监测，每天采集 1 次数据；如采用人工监测，加载期应不少于 1 次/天，满载后应不少于 4 次/月。

8 振动监测

8.1 船闸闸门等有减振要求的结构在运行过程中发生异常振动，宜开展振动监测。

8.2 振动监测指标可包括位移、速度、加速度、动应变等。

8.3 振动监测可采用位移传感器、速度传感器、加速度传感器、电学式应力计、光纤式应力计等。

8.4 测振传感器及采集设备的频率响应特性应满足监测频率范围的要求，并且有足够的灵敏度和较低的噪声，使监测系统的信噪比能满足动态范围的要求。

8.5 振动监测的测点应布置在振动反应较大的位置，测振传感器的测振方向应与结构的振动方向一致。

8.6 测振传感器必须与结构连接牢固，在振动过程中不能松动，电缆应夹紧或黏结固定，避免产生“颤动噪声”。

8.7 振动监测应采用自动化监测，监测频率应根据运行情况确定。

8.8 振动监测数据做必要的预处理后，应进行时域和频域处理，并结合数值模拟结果进行分析。

9 自动化监测系统

9.1 一般规定

9.1.1 在船闸结构安全监测中，符合下列情况之一时，宜采用自动化监测：

- a) 监测点所处环境条件受限；

- b) 人工监测难度大；
- c) 高频次监测；
- d) 长期监测；
- e) 具有特殊要求的监测项目。

9.1.2 自动化监测应遵循适应性、可靠性、兼容性原则，并宜满足信息化管理的要求。

9.1.3 自动化监测传感器的各项性能指标应满足国家相关现行标准的要求，其设计使用年限宜覆盖项目监测期限；部分传感器的设计使用年限无法覆盖项目监测期限时，应在设计阶段提出保证监测数据继承性的设备更换方案。

9.2 监测系统设计

9.2.1 监测系统宜包括传感器、数据采集设备、数据传输设备、供电系统、监测服务器、监测软件等。

9.2.2 监测系统宜按分布采集、集中管理的方式进行设计，监测子系统宜按监测区域和监测内容等确定，宜根据工程规模和特点采用模块化设计。

9.2.3 监测系统设计应考虑可复制性和可扩展性，数据传输宜采用便于数据和其他平台对接的标准化接口。

9.2.4 传感器的量程、分辨率、精度、线性度、稳定性、外观尺寸、工作环境、供电方式和寿命等应满足监测技术要求。

9.2.5 数据采集设计应符合下列规定：

- a) 数据采集设备与传感器之间应有明确的拓扑关系，可选择集中采集或分散采集；
- b) 数据采集设备宜具有指令设定、时钟修改、系统参数配置等远程控制功能；
- c) 数据采集方式可根据监测频次需求选择连续采集、定时采集或两者结合的方式；
- d) 数据采集设备布置应根据传感器埋设情况、数据采集设备与传感器之间距离、传感器信号的传输衰减、安装条件等因素综合确定。

9.2.6 数据传输设计应符合下列规定：

- a) 数据传输应综合考虑工程所处环境、监测频次、采样频率、传输数据量等因素，选择线缆、光纤、卫星、微波、蜂窝网络通信等方式；
- b) 监测数据的传输应满足监测数据实时性、准确性和安全性的要求，宜具有修复链路能力。

9.2.7 供电系统设计应符合下列规定：

- a) 现场设备供电宜使用市电，也可使用太阳能等自供电；
- b) 采用太阳能供电时应考虑光照时长，在冬季或阴雨天气应定期检查维护；
- c) 现场供电设备应稳定，宜配置不间断电源；
- d) 室外供电系统应符合防雷设计要求并可靠接地。

9.2.8 监测服务器设计应符合下列规定：

- a) 监测服务器应具有数据发布、数据自动备份、多级用户管理和网络安全防护等功能；
- b) 监测服务器的供电、防雷、抗干扰设计应满足机房建设相关要求。

9.2.9 监测软件应具有数据实时采集、自动传输、自动存储、数据管理、图形曲线、报表统计、监测预警、系统故障报警等功能。

9.2.10 自动化监测系统应具有初步的数据整理和分析功能，宜包括下列内容：

- a) 绘制监测物理量过程变化图；
- b) 绘制各监测物理量在时间和空间上的分布特征图；
- c) 绘制各物理量之间的相关关系图。

9.3 系统安装与调试

9.3.1 系统安装应包括传感器安装、线缆敷设、数据采集设备安装等。

9.3.2 传感器安装应符合下列规定：

- a) 传感器的安装应空间位置准确、原始数据完整、基础资料齐全、安装措施得当、适度冗余；
- b) 安装前应检查传感器的规格型号和出厂合格证书，对初次使用的传感器安装前宜进行率定；
- c) 传感器应根据安装手册和现场情况选择直埋、螺栓连接、焊接等方式安装牢固，并应对连接进行防腐防水等保护处理；
- d) 传感器的安装工艺不应对被测结构和传感器产生不利影响，如采用焊接方式安装传感器时，应采用冷水降温等必要的隔热措施；
- e) 内观传感器在后续的掩埋、混凝土浇筑等施工过程中应采取必要的保护措施，防止传感器及线缆损坏；
- f) 传感器安装位置应做明显标记，安装结束后应读取并记录传感器初始值，发现信号异常时应及时检修或更换。

9.3.3 线缆敷设应符合下列规定：

- a) 线缆敷设的规格、位置应符合设计要求，线缆应排列整齐并固定，外皮不应有损伤；
- b) 外露线缆应进行保护，可采用镀锌管、PVC管、波纹管或桥架等保护措施。

9.3.4 数据采集设备的安装应符合下列规定：

- a) 安装位置应根据传感器埋设情况、数据采集设备与传感器之间距离、安装条件等因素综合确定；
- b) 室外安装时应考虑各种天气条件下的适用性，并根据现场情况采取防水、防雷、防腐蚀、防磁等措施。

9.3.5 系统调试应包括下列内容：

- a) 设备功能测试；
- b) 系统参数设置；
- c) 人工比测；
- d) 系统运行测试；
- e) 系统初始值确定。

9.3.6 系统安装调试完成后，应提供系统安装调试报告。

9.4 系统维护管理

9.4.1 系统维护管理应包括外业巡检、监测数据管理、设备检修、时钟校准、比测等。

9.4.2 监测系统运行期应每天对现场传感器、数据采集设备、数据传输设备、线缆等进行巡视检查。

9.4.3 原始监测数据应存入数据库，每月物理备份不应少于1次，后处理数据宜保持不少于3个月在线存储，经统计分析的数据应专项存储。

9.4.4 设备应定期进行检查和校验，每年应至少进行1次系统检查。

9.4.5 监测设备出现故障时应及时维修和更换，并应在断电状态下进行，更换的设备应与原系统相匹配。

10 监测分析报告

10.1 一般规定

10.1.1 每期次监测数据应及时进行整理和初步分析，并定期系统性的分析整理，编制监测报告，报告编制周期不宜超过1年；专项监测报告应及时编制。

10.1.2 监测报告应做到监测数据客观、准确，正文的编写应层次分明、用词准确，结论应简明扼要。

10.1.3 原始数据整理、监测资料整编与分析过程中发现监测数据异常，应立即查找原因，必要时应进行复测，并及时上报。

10.2 监测资料整理与分析

10.2.1 数据分析之前，应考虑系统误差、偶然误差的影响，对原始监测数据进行粗差检验和剔除、局部缺失插补、平滑滤波降噪等预处理。

10.2.2 数据分析时应考虑温度、气压等外界因素和传感器本身的零漂、温漂等内部因素的影响进行必要的修正。

10.2.3 由监测系统自身引起的异常数据应剔除。

10.2.4 监测数据分析方法可采用比较法、作图法、特征值统计法和数学模型法等。

10.3 监测成果报告

10.3.1 监测成果报告应包括阶段性报告和总报告，主要包括工程概述、监测依据、预警值设置、监测项目、监测传感器、监测点布设、监测成果及分析、结论、建议、附图、附表等内容。