

ICS 27.140

P59

备案号：J2662—2019

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5772—2018

---

# 水电水利工程水力学安全监测规程

Specification for hydraulics safety monitoring for  
hydropower & water resources project

2018-12-25发布

2019-05-01 实施

---

国家能源局 发布

**中华人民共和国电力行业标准**

**水电水利工程水力学安全监测规程**

Specification for hydraulics safety monitoring for  
hydropower & water resources project

**DL/T 5772—2018**

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国家能源局

施行日期：2019年5月1日

中国电力出版社

2019 北京

中华人民共和国电力行业标准  
水电水利工程水力学安全监测规程  
Specification for hydraulics safety monitoring for  
hydropower & water resources project  
DL/T 5772—2018

\*

中国电力出版社出版、发行  
(北京市东城区北京站西街19号100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)  
北京天泽润科贸有限公司印刷

\*

2019年10月第一版 2019年10月北京第一次印刷  
850毫米×1168毫米32开本2.375印张58千字  
印数001—500册

\*

统一书号155198·1603 定价36.00元

**版权专有 侵权必究**

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

国家能源局

公告

2018年 第16号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法(试行)〉及实施细则的通知》(国能局科技〔2009〕52号)有关规定,经审查,国家能源局批准《光伏发电工程地质勘察规范》等204项行业标准,其中能源标准(NB)32项、电力标准(DL)172项,现予以发布。

附件:行业标准目录

国家能源局  
2018年12月25日

附件:

行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
194	DL/T 5772-2018	水电水利工程水力学安全监测规程			中国电力出版社	2018-12-25	2019-05-01

## 前 言

本标准根据《国家能源局关于下达2010年第一批能源领域行业标准制(修)订计划的通知》(国能科技〔2010〕320号)的要求制定。

本标准制定过程中,编写人员进行了资料收集、分析研究和综合整理工作,总结了我国水电水利工程水力学安全监测的经验及国内最新研究成果,参考相关标准,并广泛征求了国内有关业主、设计、咨询、施工、科研单位和有关专家的意见,经审查定稿。

本标准主要技术内容包括监测项目与方法、监测仪器及其埋设安装、监测、监测资料整理与分析等。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会(DL/TC 32)归口。

本标准主编单位:长江水利委员会长江科学院

本标准参编单位:中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司

本标准主要起草人员:金峰黄国兵段文刚 王才欢

曾祥张晖陈端戴晓兵

李利李延农江耀祖耿峻

唐祥甫侯冬梅杨伟李静

汪世鹏

本标准主要审查人员:吴时强汪毅王玉洁赵花城

曾玉红吴龙华刘继广李端有

潘琳郑晓红赵志勇陈树莲

耿贵彪刘剑鸣段国学王跃

刘大文谭恺炎郭晨於三大

胡晓云 冯永祥 邱小弟

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心(北京市白广路二条一号, 100761)。

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	监测项目与方法	3
3.1	一般规定	3
3.2	水流流态	5
3.3	水位与波动	6
3.4	动水压强	6
3.5	水流流速	7
3.6	流量	8
3.7	消能效果	8
3.8	下游冲淤地形	9
3.9	流激振动	9
3.10	通气风速与通气量	10
3.11	水流掺气浓度	10
3.12	水流空化	11
3.13	空蚀与磨损	12
3.14	泄洪雾化	12
3.15	船舶系缆力	13
4	监测仪器及其埋设安装	14
4.1	一般规定	14
4.2	仪器底座	14
4.3	电缆	15
4.4	监测仪器	16
4.5	观测站	18
5	监测	19

5.1	监测条件 .....	19
5.2	过水建筑物检查 .....	19
6	监测资料整理与分析 .....	21
6.1	一般规定 .....	21
6.2	资料整理 .....	22
6.3	分析评价 .....	23
6.4	成果报告 .....	24
附录A	底流速仪流速计算公式 .....	25
附录B	通气风速和通气量计算公式 .....	26
附录C	仪器底座埋设安装示意图 .....	28
	本标准用词说明 .....	29
	引用标准名录 .....	30
附:	条文说明 .....	31

## Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms .....	2
3	Monitoring contents and methods .....	3
3.1	General provisions .....	3
3.2	Flow pattern .....	5
3.3	Water level and wave .....	6
3.4	Hydrodynamic pressure .....	6
3.5	Flow velocity .....	7
3.6	Flow discharge .....	8
3.7	Energy dissipation .....	8
3.8	Riverbed erosion .....	9
3.9	Flow induced vibration .....	9
3.10	Wind speed and discharge of vent pipe .....	10
3.11	Flow aeration .....	10
3.12	Flow cavitation .....	11
3.13	Cavitation erosion and abrasion .....	12
3.14	Atomization caused by flood release .....	12
3.15	Mooring force of ships .....	13
4	Monitoring instruments and embedment .....	14
4.1	General provisions .....	14
4.2	Basement of monitoring instrumens .....	14
4.3	Observation cable .....	15
4.4	Monitoring instruments .....	16
4.5	Observation stations .....	18
5	Monitoring .....	19

5.1	Monitoring conditions .....	19
5.2	Inspection on hydraulic structures .....	19
6	Sorting and analysis on monitoring data .....	21
6.1	General provisions .....	21
6.2	Sorting on monitoring contents .....	22
6.3	Analyze and evaluate .....	23
6.4	Report writing .....	24
Appendix A	The calculation formula of the bottom velocity .....	25
Appendix B	The calculation formula of wind speed and discharge of vent pipe .....	26
Appendix C	Sketch map of embedment on basement of monitoring instruments .....	28
	Explanation of wording in this specification .....	29
	List of normative standards .....	30
	Addition : Explanation of provisions .....	31

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范水电水利工程水力学安全监测，保证监测成果质量，掌握过水建筑物运行时的水力特性和工作性态，满足工程安全运行的需要，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于水电水利工程过水建筑物水力学安全监测。

**1.0.3** 水力学安全监测包括仪器监测和巡视检查。具体监测项目的确定宜综合考虑大坝级别、过水建筑物型式及其水力指标等因素。

**1.0.4** 水力学安全监测应遵循下列原则：

1 监测项目应统筹安排、突出重点，并考虑与模型试验对比验证。关键部位测点宜冗余设置。

2 对于枢纽工程多个过水建筑物的监测，应注意相关监测项目的同步性、相关性和系统性。

**1.0.5** 水力学安全监测除应符合本标准规定外，还应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 水力学安全监测 hydraulic safety monitoring

对过水建筑物过水运行时的水力要素及其影响进行观察、监测与分析评价的活动。

### 2.0.2 过水建筑物 hydraulic spilling structure

水电水利工程中，水流出库所流经的建筑物总称，包括泄洪表孔、泄洪中(深)孔、溢洪道、泄洪洞、排沙洞、消力池、水垫塘、发电引水系统、船闸、升船机、引航道等。

## 3 监测项目与方法

### 3.1 一般规定

3.1.1 水力学安全监测项目(参数)包括水流流态、水位与波动、动水压强、水流流速、流量、消能效果、下游冲淤地形、流激振动(包括加速度、速度、位移和应变)、通气风速与通气量、水流掺气浓度、水下噪声、空蚀与磨损、泄洪雾化(包括降雨强度、风速风向)、船舶系缆力等。根据大坝级别、过水建筑物型式及其水力指标等因素综合考虑,按照表3.1.1选择开展相应监测。

3.1.2 水流流态、水位与波动、空蚀与磨损、下游冲淤地形等根据具体情况,既可纳入日常运行安全监测项目,也可纳入短期试验性安全监测项目;动水压强、水流流速、流量、消能效果、流激振动、通气风速与通气量、水流掺气浓度、水下噪声、泄洪雾化、船舶系缆力等属于短期试验性安全监测项目。

3.1.3 监测项目由1个或多个参数组成,一般需要通过多参数同步监测和综合分析进行水力特性安全评价:

1 水流空化特性评价在监测水下噪声的同时,还应辅助观测附近的动水压强和水流流速等。

2 水流掺气效果评价在监测通气风速和掺气浓度的同时,还应辅助观测通气空腔负压特性。

3 泄洪雾化监测包括降雨强度、泄洪水舌风风速风向等参数。同时,还应辅助观测泄洪水力学条件(泄洪流量、上下游水位、闸门开启组合与开度等)与天然气象条件(降雨、风速风向、空气湿度和气压等)。

A

表3.1.1 各类过水建筑物水力学安全监测项目(参数)

过水建筑物	监测项目(参数)																	
	水流 流态	水位 与 波动	动水 压强	水流 流速	流量	消能 效果	下游 冲淤 地形	流激振动				通气 风速 与通 气量	水流 掺气 浓度	水下 噪声	空蚀 与磨 损	泄洪雾化		船舶 系缆 力
								加速 度	速 度	*	应 变					降 雨 强 度	风 速 风 向	
泄洪表孔	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
泄洪中(深)孔	0	0	0	0	0	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
溢洪道	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
泄洪洞	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
排沙洞	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
消力池	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	0	0	0	0	
水垫塘	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	
发电引水系统	0	0	0	0	0	-				—		0	—	0	0	—		
船闸	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
升船机	0	0	0	0							—		-					0
引航道	0	0		0			0											0

注：“0”表示选测项目，“—”表示不测项目。

4 流激振动监测包括加速度、速度、位移和应变等参数。同时，还应辅助观测动水压强和闸门开度等。

3.1.4 泄洪过程中，在闸门操作室、坝区交通要道、居住区和办公区可进行生态环境量的观测。观测参数包括泄洪噪声、泄洪风速、泄洪振动、温湿度等，并进行泄洪前后的对比分析。

## 3.2 水流流态

3.2.1 水流流态观测应记录从上游进口区域至下游出口区域沿程水流三维运动和变化状态，泄洪洞、排沙洞和发电引水系统等洞身不易观测，可观测其进口和出口流态。流态观测应与水位观测同步进行。

3.2.2 流态观测应符合下列要求：

1 泄水建筑物进口流态观测包括前缘表面水域和闸(堰)孔处流态。观测重点为来流对称性、水流侧向收缩、回流范围、漏斗漩涡大小和位置、波动特性和漂浮物堆积运移情况等。

2 泄水建筑物泄槽段流态观测重点为折冲水流、分离水流、掺气和扩散特性、跌水和壅水、水冠和水翅、波动特性、冲击波、弯道水流及其产生的横比降等水流形态。

3 泄水建筑物出口流态观测重点为底流、挑流和面流等衔接形式的特征流态，以及下游河道主流区和回流区分布、下泄水流及波浪对岸坡的影响等。

4 船闸闸室与引航道流态观测重点为回流、斜流、往复流、波动特性等。

5 电站进水口流态观测见本条第1款规定。采用叠梁门分层取水的进水口，应关注机组甩负荷时通仓内流态和涌浪。当设有调压井(室)时，宜结合机组甩负荷进行涌浪观测。

3.2.3 水流流态观测方法可采用文字描述、摄影和录像等方式进行定性或定量记录。必要时，可采用无人机航摄系统或安装固定点遥控摄像设备记录水流流态。

### 3.3 水位与波动

**3.3.1** 水位观测宜包括时均水位和瞬时水位的量测。

**3.3.2** 水位观测宜包括上游水位、下游水位、明流水面线、挑射水舌轨迹线及水跃波动水面等。

**3.3.3** 水位与波动量测仪器可采用水尺、波高仪、压力式水位计和超声波式水位计等。应按照现行国家标准《水位测量仪器》GB/T 11828和《水位观测标准》GB/T 50138的有关规定执行。

**3.3.4** 测点布置和监测方法：

1 水位与波动测点布置宜参照水力学模型试验成果确定。

2 溢洪道和表孔，可在闸墩、边墙和导墙上刻划水尺，也可用水尺法、直角坐标网格法或摄影法进行监测。明流泄洪洞内的水面线可通过压力式水位计监测，也可采用预涂粉浆法测量最高水面线。

3 挑(跌)流水舌轨迹线和消力池内水跃可采用全站仪、摄像仪和照相机等仪器测量。

4 消力池和消能区下游河道的水位变化过程和波动特性可用波高仪或水位计测量。

5 引航道及船闸闸室内的水位变化过程可用水位计或波高仪测量。

6 调压井(室)内涌浪宜用压力式水位计测量。

### 3.4 动水压强

**3.4.1** 动水压强包括时均压强和脉动压强。

**3.4.2** 动水压强测点布置应遵循下列原则：

1 测点布置应能反映过水建筑物的压强分布特征，可参考模型试验成果选取，过水建筑物急变段、水流冲击区和掺气水流等部位应进行动水压强监测。

2 多孔过水建筑物体型相同时，可选择单孔进行压强监测；

同一过水建筑物的挑坎或掺气设施有多种布置体型时，可分别增加测点。

3 测点宜沿过流面底板或顶板中心线布置，在建筑物体型变化剧烈处宜加密布置，在顺直流道段可适当加大测点间距。

4 掺气坎、扭曲鼻坎、差动坎等特殊部位应布置测点，并与水流掺气浓度和水下噪声测点布置相协调。

5 水垫塘底板压强测点宜沿水流中心线纵向布置，水流冲击区应适当加密测点。根据水舌落水位置，可横向布置若干监测断面及测点。

6 消力池底板压强测点宜沿水流中心线纵向布置，强水跃区底板测点布置宜适当加密，对应侧墙靠近底板处也可适当布置测点。

7 船闸输水系统测点宜布置在阀门上下游侧、阀门段、T形管、分流口以及管道转弯处等部位。

**3.4.3** 时均压强可采用压力传感器、测压管和精密压力表测量；脉动压强应采用压力传感器测量。

### 3.5 水流流速

3.5.1 水流流速包括断面平均流速、断面流速分布、表面流速和底部流速。

3.5.2 水流流速测点布置应遵循下列规定：

1 流速测点布置宜参照水力学模型试验成果确定。

2 压力管道内的平均流速可通过流量换算获得。

3 引航道口门区流速观测应沿过水断面在航宽范围内布置5个~7个测点，测量表面流速，并能表征该断面的通航水流条件。

**3.5.3** 水流流速可采用浮标、旋桨式流速仪、超声波流速仪、底流速仪和毕托管、粒子跟踪测速系统等进行监测。

**3.5.4** 底流速仪流速计算公式可采用附录A 所列公式。

### 3.6 流 量

3.6.1 流量宜通过对其他水力要素(如水位、流速)的测量间接获得。根据流速分布的特点,布置测流断面,通过断面水位、流速的监测推算流量。

3.6.2 明渠及河道流量监测断面宜布置在顺直段,可采用断面流速仪间接测量,也可采用《河流流量测验规范》GB 50179中的流量测验法。

3.6.3 管道流量可用超声波流量计、电磁流量计等测量。

3.6.4 船闸输水系统的流量可通过观测闸室水位随时间变化的过程,结合闸室面积计算,也可采用管道流量测量方法。

### 3.7 消 能 效 果

3.7.1 消能效果监测包括流态观测和消能率推算等。

3.7.2 底流消能效果监测应包括水跃长度、跃首位置、跃前水深、跃后水深、水跃的形式和底流速等。

3.7.3 挑流消能效果监测应符合以下规定:

1 挑流消能效果监测的重点为水舌挑距、水舌入水角、水流扩散形态、水垫塘及下游河道流态等。

2 测量水舌剖面轨迹、平面扩散覆盖范围,对于碰撞挑流消能,加测撞击位置。

3 射流跌入下游尾水后,应监测水舌入水位置、平面水流流态、击溅水体影响范围、水面波动影响范围等。

3.7.4 面流消能效果监测应符合以下规定:

1 面流消能效果监测的重点是涌浪及水流流态。

2 应记录回流等不利流态的位置、范围和回流流速。

3.7.5 消能效果流态监测可采用目测法和摄影法。必要时,可采用无人机航摄系统记录流态。

### 3.8 下游冲淤地形

- 3.8.1 泄水建筑物在宣泄较大洪水后宜进行下游冲淤地形测量。
- 3.8.2 下游冲淤地形的监测内容主要包括冲刷坑位置与范围、最大冲刷坑深度、冲刷坑及堆丘形态。
- 3.8.3 下游冲淤地形的测量多采用水下测量方法，有条件时也可采用抽水测量。水下测量可采用测深杆、探测仪、水下多波束三维地形测量系统等。水下地形测量可按照《水电工程测量规范》NB/T35029 和《水文测量规范》SL58 中的有关规定执行。

### 3.9 流激振动

- 3.9.1 流激振动主要包括泄水建筑物的导墙、边墙、底板、水工闸门(阀门)、闸墩和拦污栅等各类泄流结构因水流压力脉动、漩涡激励及其他水动力荷载所激发的结构振动。
- 3.9.2 流激振动监测指标包括加速度、速度、位移和应变等参数。
- 3.9.3 流激振动监测内容包括结构的动力特性和振动响应，必要时应对水流压力脉动等水动力荷载进行同步观测。
- 3.9.4 水工结构动力特性观测内容及布置应满足下列要求：
- 1 应对有水和无水条件下水工结构动力特性参数分别进行观测。
  - 2 测试前，应根据测试对象结构的振型和频率初步分析结果，或结合模型试验成果，选择测点布置位置和传感器型号。
  - 3 动力特性测试应划分网格布置测点，测点布置宜选在振型的拐点、敏感点等处；测点的个数根据测试的振型阶数确定。
- 3.9.5 水工结构振动响应测点布置应根据观测目的、结构及其振动特点等确定。传感器应安装在能够反映结构整体和主要部位动态响应的位置上。
- 3.9.6 结构振动响应测试前的准备工作：
- 1 应根据诱发结构振动的荷载及结构本身的动力特性，判别

振动类型和振动量级，确定测试方法和手段。

- 2 标定传感器。
- 3 选定合适的采样频率和采样时间。
- 4 对测试系统的背景噪声进行测量、记录。

### **3.10 通气风速与通气量**

**3.10.1** 设有通气管道的过流建筑物宜进行通气效果观测，通气管道可通过观测管道内的风速分布计算其通气量。

**3.10.2** 通气风速监测部位应包括掺气设施通气管，泄水管道的工作闸门、事故闸门、检修闸门、泄洪洞的补气洞(管)，以及电站进水口快速闸门下游侧等处通气管道。

**3.10.3** 通气风速测点布置应符合下列规定：

- 1 通气风速观测断面应选择在通气管道的均匀直线段，距进口的距离宜大于10倍管径。
- 2 断面风速测点应根据管道形状、长度、进口条件布置相应的测点。

**3.10.4** 通气风速可采用毕托管和风速仪等进行测量，应满足下列要求：

- 1 毕托管或风速仪应安装牢固，并对准气流方向。
- 2 毕托管动、静压差可采用差压计或微差压传感器测量。应合理选择差压计或差压传感器量程，保证毕托管与差压计或差压传感器的连接通畅。

**3.10.5** 通气风速测量时应同步监测掺气空腔压力。

**3.10.6** 通气风速和通气量计算公式可采用附录B所列公式。

### **3.11 水流掺气浓度**

**3.11.1** 设有掺气减蚀设施的泄水建筑物应进行水流掺气效果观测，观测内容包括沿程底部和侧壁水流掺气浓度。

**3.11.2** 掺气浓度测点数量和位置宜综合考虑水流条件、掺气设施

的型式和尺寸等因素确定，每级掺气设施的最后测点应布置在其要保护区域的末端。同时，应在第一级掺气设施上游未掺气部位设置背景测点进行掺气浓度零值修正。掺气浓度观测时，应同时进行水位、流速、压强等观测。

**3.11.3** 采用电阻式掺气浓度仪测量水流掺气浓度时，安装前应标定掺气浓度传感器的清水电阻(初始值)。

**3.11.4** 电阻式掺气浓度仪的导线长度大于50m时，应进行现场长线修正标定。

### 3.12 水流空化

**3.12.1** 对可能发生空化水流的泄水建筑物、船闸输水系统等宜进行水流空化观测。当满足下列条件之一时，应开展水流空化监测：

- 1 水流流速大于30m/s、水流最小空化数小于0.3的泄流设施。
- 2 新型掺气减蚀设施或新型消能工。
- 3 过流边界和水流特性急变处。

**3.12.2** 水流空化主要监测水下噪声。宜同时观测上下游水位、水流流速和流态、动水压强等，并记录闸门运行状态。

**3.12.3** 水下噪声测点布置应满足下列规定：

1 应重点布置在流道边界变化剧烈、有水流分离与剪切现象的部位：

- 1) 泄水建筑物的闸门槽、反弧段、扩散段、分岔口、挑坎、辅助消能工；
- 2) 竖井式泄洪洞的溢流堰与竖井连接段、垂直转弯处；
- 3) 船闸平板阀门门槽、反向弧门底缘、门楣以及廊道体型突变处等。

2 在水流分离点下游邻近区宜布置压强测点，并在非空化区设置“背景”水流噪声测点。

**3.12.4** 水下噪声监测仪器宜采用带前置信号放大的水听器和高

频率大容量数据采集仪。

### **3.13 空蚀与磨损**

**3.13.1** 在可能发生空化水流的空化源及其下游附近宜进行空蚀监测。泄放含沙水流的过水建筑物应进行磨损监测。过水建筑物的反弧段、弯道凹曲面及收缩段出口为磨损观测的重点部位。

**3.13.2** 过流面空蚀与磨损监测宜分为过流时实时监测和过流后实地测量两个阶段。过流时实时监测宜采用蚀损传感器量测，过流后实地测量宜采用涂层法。

**3.13.3** 空蚀与磨损观测的主要内容应包括蚀损部位、蚀损坑形状、蚀损深度等。

### **3.14 泄洪雾化**

**3.14.1** 对于采用挑流消能的泄水建筑物，特别是采用挑流水舌空中碰撞或水舌空中充分扩散消能形式的，应进行泄洪雾化监测。

**3.14.2** 泄洪雾化监测包括降雨强度、风速风向等参数。应同步观测泄洪水力学条件(泄洪流量、上下游水位、闸门开启组合与开度等)与自然气象条件(降雨、风速风向、空气湿度和气压等)。

**3.14.3** 泄洪雾化监测范围包括整个雾化降雨和雨雾区域，对雾化影响区域内的开关站、发电厂房、厂区道路、下游岸坡，以及周边重要建筑物等部位宜重点观测。

**3.14.4** 泄洪雾化测点布置应综合考虑泄水建筑物的特点与地形条件等因素，根据雾化降雨强度的大小进行分区布置，重点部位宜加密测点。

**3.14.5** 泄洪雾化雾流影响范围的观测宜采用人工方法，并结合照相、摄像等进行记录。必要时，可采用无人机航摄系统记录。

**3.14.6** 泄洪雾化降雨强度宜采用常规人工雨量器、翻斗式雨量传感器、自记雨量计等进行测量。对于核心强降雨区域，可采用特制超强雨量传感器测量；对于雨量微小的区域，可采用滴谱法

测量。

**3.14.7** 风速风向观测宜采用旋杯式风速计，气压观测宜采用常规的气压表，湿度观测宜采用气象专用的湿度计。

### 3.15 船舶系缆力

**3.15.1** 船闸闸室、升船机承船厢、上下游引航道靠船墩部位应进行船舶系缆力监测。

**3.15.2** 船舶系缆力宜采用系船钢缆串接拉力传感器进行测量。测量工况宜包括设计最不利水位组合，测点布置应与船舶或船队的系缆方式相一致，分为船首和船尾系缆力。

**3.15.3** 船闸闸室系缆力测量时，应测量闸室前部、中部和后部等泊位的系缆力。

**3.15.4** 对于采用集中输水系统的船闸，在测量闸室前部系缆力时，还应同步观测记录水流流态和壅水高度等；在测量闸室后部系缆力时，还应同步观测泄水过程中进口是否出现漩涡及漩涡大小、形态、历时等参数。

**3.15.5** 在测量船舶系缆力时，应同时测量或收集船闸充泄水时闸、阀门开度变化过程及闸室水位、充泄水流量变化过程等资料。

**3.15.6** 升船机承船厢船舶系缆力监测应与升船机的运行状态及水力特性监测同步。

## 4 监测仪器及其埋设安装

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 监测仪器设备应可靠、耐久、实用，技术性能指标满足监测设计及工程要求。
- 4.1.2 信号放大器、数据采集系统应与传感器的输出相匹配。
- 4.1.3 传感器安装前应进行全面的检查和检验，确认其工作状态正常。
- 4.1.4 监测仪器的基准值(或初始值)应在过水观测前设定(或测定)。
- 4.1.5 仪器的观测电缆应集中引至观测站或专门的观测集线箱内，电缆端头应做编号标识和防水防潮处理。

### 4.2 仪器底座

- 4.2.1 仪器底座应与施工期混凝土浇筑同步埋设，其内预留电缆供后期引接传感器。
- 4.2.2 仪器底座设计加工应符合下列规定：
  - 1 应具备足够的刚度和连接强度。
  - 2 底座材质应选择不锈钢。当过流面设置有钢衬保护时，底座和钢衬材质应一致。
  - 3 底座几何尺寸选取应合适，外壁管径宜为120mm~200mm，长度宜为180mm~220mm，套筒壁厚不宜小于6mm，顶盖板厚度不宜小于12mm，出线管(孔)内径不宜小于20mm。
- 4.2.3 仪器底座埋设安装应符合下列规定：
  - 1 应按照设定的测点位置，在现场放样、固定焊接底座，并

进行复测与记录。

2 底座顶盖上表面应与过流面齐平，不平整度不宜大于1mm；轴线应与过流面垂直，最大偏角不大于 $2^{\circ}$ ；外壁与周围钢筋牢固焊接。

3 出线管(孔)出引电缆后的缝隙填充密实，不得漏浆。

4.2.4 仪器底座埋设安装可参照附录C。

## 4.3 电 缆

4.3.1 电缆选型应满足下列要求：

1 应选用橡胶护套水工观测专用屏蔽电缆，亦可选用PVC护套屏蔽电缆。电缆应密封防水并有足够的承拉强度，耐老化和耐酸碱侵蚀。

2 电缆芯线间电阻的偏差宜小于5%，在1.0MPa压力水中绝缘电阻应大于50MQ。

4.3.2 施工期预埋电缆敷设应满足下列要求：

1 敷设前应对电缆导通、绝缘等特性进行检查记录，线端及中部应标识相应的监测仪器编号。

2 预埋电缆宜用外套钢管或PVC塑管保护。

3 电缆走向宜避开干扰区域，以水平或垂直布置为主，并与邻近的结构钢筋绑扎牢固。

4 仪器底座内和观测站集线箱内的电缆应有一定的冗余度。

5 电缆安装过程中，所有电缆的端部应采取相应的密封防水措施。

6 电缆敷设完毕后应及时绘制准确的走线图，并存档备查。

4.3.3 临时架设电缆宜分为表面与浅埋两种安装方式，重要部位应采用外套钢管、高强度PVC/PUC塑管或包绕土工布等措施予以保护，并应做好电缆走线记录。

4.3.4 观测电缆的巡视检查内容包括安全设防、编号辨识、导通状态检测等，应结合施工部位的重要性和特殊性定期查验。

## DL/T 5772—2018

4.3.5 电缆连接与接头密封宜按照《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178的有关规定执行。

### 4.4 监测仪器

4.4.1 压力传感器选型和技术性能指标应符合下列要求：

1 传感器选型应根据测点部位压力特性分别选取表压、绝压、差压传感器。

2 传感器测头宜选用不锈钢双隔离膜型式，传感器的外壳应有足够的强度。

3 传感器的量程应根据测点部位的最大动水压强合理选取。

4 传感器的精度应不低于满量程的 $\pm 0.5\%$ ，时漂应低于 $\pm 0.5\%/年$ 。

5 其他技术要求应按照《硅压阻式动态压力传感器》GB/T 26807的有关规定。

4.4.2 压力传感器安装应满足下列要求：

1 压力传感器头部表面应与底座表面保持齐平。

2 安装在含沙水流或可能发生淤积部位的传感器，应采用相应的防护措施，防止传压通道堵塞。

4.4.3 压力传感器采集系统应满足以下要求：

1 采样频率不低于200Hz。

2 稳态采样时长为60s~120s，采样次数不低于3次。

3 非恒定过程宜记录全过程。

4.4.4 测压管选型与安装应符合下列规定：

1 测压管全程流道宜采用不锈钢或其他耐腐蚀材料，测压孔的直径宜为2cm~5cm。

2 测压管测头表面应与过流壁面齐平。

4.4.5 压力表的量程应根据安装部位最大压力合理选取，宜使测值变化在量程上限的 $1/3\sim 2/3$ 范围内，精确度等级不低于0.4级。其他技术要求应满足《精密压力表》GB/T 1227的有关规定。

4.4.6 压力表安装位置应低于测压孔进口高程，安装高程应精确测定，安装完毕后应进行编号。压力表与导管的衔接部分应有排气装置，并在测量前排除连通管内的气体。

4.4.7 底流速仪由流线型翼型探头和差压传感器组成。翼型探头动压孔轴线安装应与水流流向平行，偏差不大于 $2^{\circ}$ ，且动压孔口指向迎水方向。差压传感器选型精度应不低于满量程的 $\pm 0.5\%$ ，时漂应低于 $\pm 0.5\%/年$ 。

4.4.8 流激振动传感器选型应根据测试对象的响应频率和可能产生的最大振动位移，选择合适规格的传感器。

4.4.9 流激振动传感器宜直接安装在被测结构面上。如需采用中间连接件，连接件最低频率应为被测上限频率的5倍~10倍。

4.4.10 通气风速微差压传感器精度应不低于满量程的 $\pm 0.5\%$ ，时漂应低于 $\pm 0.5\%/年$ 。毕托管应牢固安装在支架上。

4.4.11 电阻式掺气浓度传感器应满足下列要求：

- 1 电极感应面应与底座盖板齐平，绝缘电阻应大于 $50M\Omega$ 。
- 2 电极材料的导电性能稳定，在电场作用下不产生极化，长期在水中不氧化、不锈蚀。

4.4.12 水流掺气浓度采样时长宜为 $5s\sim 10s$ ，采样次数不低于5次。

4.4.13 水听器性能指标应满足以下要求：

- 1 宜带前置信号放大器。
- 2 最高响应频率不小于 $200kHz$ 。
- 3 频响波动值不大于 $\pm 5dB$ 。
- 4 指向性：开角大于 $80^{\circ}$ 。
- 5 耐压性能：大于监测部位的最大水压力。
- 6 其他技术指标应参照《声学水下噪声测量》GB/T 5265的有关规定。

4.4.14 水听器高频采集系统应满足以下要求：

- 1 采样频率宜大于 $400kHz$ ，分析频率宜大于 $100kHz$ 。
- 2 稳态采样时长为 $30s\sim 60s$ ，采样次数不低于3次。

## DL/T 5772—2018

3 非恒定过程宜记录全过程。

**4.4.15** 磨蚀传感器选型与安装应满足下列要求：

1 传感器抗磨蚀性能应与被测过流面混凝土的耐磨性能相匹配。

2 传感器垂直埋设在混凝土内，上端面与混凝土表面齐平。

**4.4.16** 磨蚀传感器泄洪期间观测频次为1次/10天；泄洪前后各观测1次。

4.4.17 人工雨量器、翻斗式雨量传感器和自记雨量计等选型与安装应参照《降水量观测仪器》GB/T 21978和《降水量观测规范》SL21 的有关规定执行。

**4.4.18** 特制超强雨量传感器选型与技术性能指标应满足下列要求：

1 结构强度应满足能抗击测点安装部位雾化超强降雨和泄洪水舌风的破坏力，避免仪器结构破坏。

2 仪器量程应能满足测点部位最大降雨强度测量要求。可通过减小承雨器口径或下部加设分流装置的手段扩展仪器量程，并进行率定。

3 优先选用可在线遥测的仪器。

**4.4.19** 系缆力拉力传感器的量程应有足够的裕度，时漂应低于 $\pm 0.5\%$ /年。

## 4.5 观 测 站

**4.5.1** 观测站应以安全和相对集中作为选址原则，宜布置在交通便利的位置。

**4.5.2** 观测站应设集线箱，配备足够的电力、照明、通信及必要的安全设施。

**4.5.3** 观测仪器系统宜采用专用电源，接用现场施工或照明电源时应采取稳压和断电保护措施。

**4.5.4** 电源和信号传输应满足绝缘、接地和避雷等要求。

## 5 监 测

### 5.1 监 测 条 件

5.1.1 监测条件主要包括过流建筑物运行时的水位、流量及运行方式等，应满足过水建筑物安全运行和安全评价要求，宜综合考虑过水建筑物的布置方式、水力特性、运行要求和运行组合方式等。特殊要求的监测条件宜专门论证。

5.1.2 宜按设计洪水位、正常蓄水位或者工程运行要求的其他水位进行水力学监测。

5.1.3 过水建筑物监测条件宜按其类别分别确定：

1 泄水建筑物(表孔、深孔、溢洪道和泄洪洞等)宜考虑正常蓄水位、其他特征水位下闸门全开敞泄或局部开启工况。

2 机组过流系统宜考虑启动试运行水位和正常蓄水位条件下25%、50%、75%和100%甩负荷工况。

3 通航建筑物宜结合试运行组织监测，监测过程中船闸的工作水头应由小到大逐级增加，直至达到最大设计水头。

### 5.2 过水建筑物检查

5.2.1 观测前后应对过水建筑物进行外观检查。检查应符合下列要求：

1 检查前应制定可行的检查项目和程序。

2 检查应主要针对建筑物过流关键部位，记录表面缺陷、破损等现象，并及时编写和提交检查报告。

3 当出现破坏时，应进行详细描述、测量、照相或摄像等。

5.2.2 过水建筑物检查前应协调水库的调度和运行计划，做好检

## **DL/T 5772—2018**

查前的准备工作，确定检查时间和内容。

5.2.3 检查可采用目测、望远镜等直观方法，并辅助照相机和摄像机等设备进行。特殊部位也可采用无人机航摄系统或水下机器人记录。

**5.2.4** 检查应包括下列主要内容：

1 过水建筑物表面的冲蚀和磨损，以及磨损区位置、范围和深度等。

2 检查、记录发生空蚀破坏的位置、形态、范围、深度等。

3 检查消能工下游冲刷及淤积情况，记录可能由于冲刷引起的岸坡塌陷及其他破坏现象。

4 检查闸门的完好性和止水情况。

5.2.5 观测后应对检查资料进行整理、分析和归档。

## 6 监测资料整理与分析

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 监测资料整理与分析的内容包括仪器监测、人工观测以及过水建筑物检查等所获得的数据资料，包括原始记录数据(含图表)、电测数据文件和照片影像资料等。应及时对原始数据资料进行检查和整理，提出监测成果简报。

**6.1.2** 各监测项目应使用标准记录表格，认真记录、填写，不应涂改、损坏和遗失。整理整编成果应做到项目齐全、考证清楚、数据可靠、方法合理、图表完整、规格统一、说明完备。

**6.1.3** 监测资料应记录完整，内容包括试验记录人、时间、部位、观测工况和观测的物理量等信息。对于电测物理量，应记录文件名及存储的介质，观测的一次、二次仪表型号和相关参数。

**6.1.4** 应及时分析各观测物理量的变化或绘制观测物理量过程线图，对异常结果应查明原因，并采取相应措施，在可能条件下组织复测工作。

**6.1.5** 电测数据应整理汇总，并进行备份。将全部原始数据资料及收集的参考资料进行分册装订，并存档备查。

**6.1.6** 监测资料整理应包括下列主要内容：

- 1 收集工程资料、观测资料、模型试验资料和其他与观测工作有关的技术文件。

- 2 整理一次、二次仪表的型号和相关参数，并详细记录观测过程中一次、二次仪表的工作状态。

- 3 整理录像和照片资料及相应的文字说明。

- 4 审查校核原始资料、平面坐标系统、各高程系统间的换

## DL/T 5772—2018

算、观测读数换算、所有考证资料、过程线、关系曲线、文字说明等的合理性。

6.1.7 监测资料分析方法宜采用比较法、作图法和特征值统计法。

6.1.8 根据观测数据资料、录像和照片，描述水流的运动状态，分析相关物理量的时域和频域特征值。

6.1.9 分析观测物理量特征值的变化规律及观测物理量之间的相关关系。

6.1.10 观测成果和有关物理量宜采用图、表、曲线或经验公式表示。

6.1.11 观测成果与设计成果、水工模型试验成果、有关规范对比分析，判断建筑物状态及运行情况是否正常，评价过水建筑物的安全性态，提出工程运行管理建议。

## 6.2 资 料 整 理

6.2.1 水流流态、流向应绘制平面图，并标明水边线、静水区、回流范围和主流方向，对监测中发现的特殊水流现象应进行描述。

6.2.2 水位与水面线应按运行条件绘制相应的图表。水面波浪应采用波高、周期和频率特性等参数描述，并绘制相应的图表。

6.2.3 时均压强应按运行条件绘制各部位相应的压力分布图表。脉动压强监测数据经分析处理后，应通过均方根值、主频值、时间波形等进行幅域、频域、时域特性分析，并绘制相应的图表。

6.2.4 流速分布应按运行条件绘制相应的图表(随流程)。

6.2.5 泄流量应按上下游水位绘制相应的图表。

6.2.6 局部冲刷应绘制冲淤地形平面图，以及冲坑的纵剖面图和横剖面图。

6.2.7 流激振动应以各阶振型和频率来描述结构物的自振特性，并绘制相应图表。结构动力响应观测数据处理分为时域和频域两种处理方法。

6.2.8 通气孔风速应采用图表表示，计算通气量和气水比，并分

析气水比与相应水力要素之间的关系。

6.2.9 水流掺气应按运行条件编制掺气设施下游过流面掺气浓度的沿程分布图表。

6.2.10 水下噪声应按运行条件绘制噪声谱级图，并绘制水下噪声谱级参数(总声级或典型频率谱级)与水流空化数或其他有关水力参数的关系曲线。

6.2.11 泄洪雾化降雨量分布应采用雨量等值线图描述。

6.2.12 船舶系缆力分析时应分别绘制不同工况、不同泊位的系缆力过程线，结合水流流态资料、闸室充泄水阀门开度及闸室水位、流量变化过程进行描述，整理船舶系缆力最大值，并与设计允许值进行比较。

### 6.3 分析评价

6.3.1 上游水流流态应重点关注有压式进水口前的漩涡类型与尺度，一旦出现危害压力水道安全运用或机组稳定运行的贯通式漏斗漩涡，应提出消除措施或安全调度建议；对于明流泄槽，应关注槽内水流表面掺气、水翅和折冲水流等；下游水流流态应关注水流的衔接形态、平面回流、消能区下游河道及岸坡的波浪特性等。

6.3.2 泄水建筑物水面线应结合边墙高度分析。对于明流无压隧洞，水流冲击波波峰应限制在直墙范围内；当电站尾水波动较大时，应分析其对机组安全稳定运行的影响。

6.3.3 动水压强应分析沿程压力梯度分布情况，评价体型设计的合理性；关注重点部位的压强特性，如实用堰堰顶负压、掺气空腔负压、窄缝消能工侧壁正压、有压隧洞出口洞顶压强、水垫塘底板冲击压强和消力池脉动压强等，并与有关标准规范要求对比分析。

6.3.4 水流流速分析应重点关注泄水建筑物泄槽流速，当流速超过30m/s时，应结合掺气设施运行效果分析其可能产生的空蚀危害。对于底流消力池和跌坎消力池，临底流速超过15m/s时，应

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。  
如要下载或阅读全文，请访问：  
<https://d.book118.com/236031224204010212>