

ICS XXXXX

P XX

团体标准

T/CWEA XX -202X

水工建筑物水下检测技术导则

Underwater detection technical guidelines for hydraulic structure

(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国水利工程协会 发布

前言

根据中国水利工程协会标准制修订计划安排，按照SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，编制本标准。

本标准共有7章和4个附录，主要技术内容有：

- 基本规定；
- 检测技术；
- 检测准备；
- 检测作业；
- 检测报告。

本标准为首次发布。

本标准批准部门：中国水利工程协会

本标准主编单位：中国水利水电科学研究院

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

本标准参编单位：北京海天恒信水利工程检测评价有限公司

深圳市水务工程检测有限公司

黄河水利科学研究院

清华大学

北京中水科工程集团有限公司

本标准主要起草人：姚成林 邓中俊 陈永灿 孙红亮 贾永梅

周梦樊 武宝义 马宜涛 王万顺 李长征

李维耿 杨玉波 唐 力 赵文波 武致宇

本标准审查会议技术负责人：崔德密 梅锦煜 乔世珊 伍宛生 王黎

谢向文 刘秋常

本标准体例格式审查人：郑寓

本标准内部编号：T/CWEA XX - 202X

目 次

1 总 则.....	1
2 术 语.....	2
3 基本规定.....	3
4 检测技术.....	4
4.1 一般规定.....	4
4.2 多波束声呐技术.....	4
4.3 侧扫声呐技术.....	5
4.4 成像声呐技术.....	6
4.5 光学成像技术.....	7
4.6 浅地层剖面技术.....	7
4.7 水下激光成像技术.....	8
5 检测准备.....	10
5.1 一般规定.....	10
5.2 现场踏勘.....	10
5.3 资料收集.....	10
5.4 方案编制.....	10
5.5 设备检查.....	11
5.6 现场测试.....	11
5.7 安全防护.....	12
6 检测作业.....	13
6.1 一般规定.....	13
6.2 堤坝.....	14
6.3 闸站.....	15
6.4 消能工.....	16
6.5 隧洞及涵管.....	16
6.6 渠道.....	16
7 检测报告.....	18
7.1 数据处理与资料整编.....	18
7.2 报告编制.....	18
附录 A 水下检测技术应用一览表.....	20
附录 B 水下检测常用仪器设备一览表.....	21
附录 C 水下检测搭载平台技术要求.....	22
C.1 无人船.....	22
C.2 潜水器.....	23
附录 D 水下检测现场记录表.....	24
附表 D-1 多波束声呐现场记录表.....	24
附表 D-2 侧扫声呐现场记录表.....	24

附表 D-3 移动式成像扫描声呐现场记录表.....	24
附表 D-4 测站式三维成像声呐及水下激光成像仪水下检测现场记录表	25
附表 D-5 潜水器检查现场记录表.....	25
标准用词说明.....	26
条文说明.....	26

1 总 则

1.0.1 为规范水利水电工程水工建筑物水下检测工作，保障检测工作质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程水工建筑物水下外观状态或外观缺陷的检测。

1.0.3 水下检测工作应符合相关安全、环保的作业规定。

1.0.4 本标准主要引用下列标准：

GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范

GB 50026 工程测量标准

SL 101 水工钢闸门及启闭机安全检测技术规程

SL 197 水利水电工程测量规范

SL/T 291.1 水利水电工程勘探规程 第1部分：物探

SL 713 水工混凝土结构缺陷检测技术规程

SL 721 水利水电工程施工安全管理导则

CH/T 7002 无人船水下地形测量技术规程

HY/T 253 浅地层剖面调查技术要求

JT/T 31.2 交通行业工人技术等级标准救助打捞内河潜水员

JT/T 746 无人遥控潜水器协同潜水作业要求

JT/T 790 多波束测深系统测量技术要求

JT/T 1362 侧扫声呐测量技术要求

T/CDSA 305.26 水工建筑物水下缺陷检测技术要求

1.0.5 水工建筑物水下检测除应符合本标准规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 多波束声呐技术 multibeam sonar technology

利用多波束测深系统获取水下物体表面三维空间信息的声呐检测技术。

2.0.2 侧扫声呐技术 side-scan sonar technology

利用声学换能器侧向发射与航向正交的扇形波束对水下进行扫描，通过接收回波信号获取声学影像的声呐检测技术。

2.0.3 成像声呐技术 imaging sonar technology

利用声学换能器向前方发射单波束或多波束声波，对目标体的回波信号处理形成声学图像，获取水下目标体的形态、尺寸及空间分布的声呐检测技术。

2.0.4 水下激光成像技术 underwater laser-scan technology

利用蓝绿波段的脉冲激光向水下发射扇形偏转光束，通过像素点云重建图像，获取水下目标体尺寸和方位的激光成像技术。

2.0.5 浅地层剖面技术 sub-bottom profile

利用声波在水下各地层界面的透射和反射，获取水下浅层结构声学剖面的探测技术。

2.0.6 无人船 unmanned ship vehicle

利用远程遥控或设定自主巡航路线，实现水面作业、运动的搭载平台。

2.0.7 潜水器 submersible vehicle

利用远程遥控或设定自主巡航路线，实现水下作业、运动的搭载平台。

2.0.8 测量测线 measure lines

测量仪器及其载体的探测、检测、测量路线，分计划测线和实际测线。

2.0.9 校准测线 calibrate lines

用于对波束条带进行定位延时、横摇偏差、纵摇偏差、艏向偏差改正的声呐测量测线。

3 基本规定

3.0.1 水工建筑物水下检测应覆盖水利水电工程水工建筑物水下部分。

3.0.2 水下检测应遵循以下原则：

1 检测工作宜采用先进可靠的检测技术，检测时宜采用声学、光学相结合，或两种及以上可以互补、对比的检测方法进行综合检测。水下检测技术其应用可按附录 A 执行。

2 检测工作宜按照先普查再详查的工作顺序开展。

3 现场检测全过程应在有效的监控管理下进行。

3.0.3 在下列情况下，应根据工程实际情况进行水下检测：

1 水工建筑物安全定时。

2 坝前、进水口易淤堵部位、常年受水流冲刷的部位。

3 水工建筑物出现运行安全问题。

4 受到洪汛、地震等自然灾害影响。

5 其他需要进行水下检测的情况。

3.0.4 水下检测定位，应符合下列规定：

1 开敞水域宜采用水面定位，应符合 GB/T 18314 的相关规定。

2 洞室水域宜采用惯性测量自主导航或水声定位系统非自主导航。

3 宜选用 2000 国家大地坐标系，也可采用当地坐标系，缺陷定位除需要提供大地坐标或平面坐标外，还应提供里程桩号、高程、相对距离等信息。

3.0.5 检测人员应经过技术培训，具有相应水下检测技术能力。

3.0.6 水下检测仪器设备，应符合下列规定：

1 仪器设备应性能稳定、部件牢固可靠、防水、抗震和绝缘性能良好，精度应满足检测需要。

2 仪器设备应定期检定或校准，并建立仪器设备使用档案。

3 检测作业结束后，应对仪器设备进行清洁、维护、保养，保持干燥存放。

4 设备选用可按附录 B 执行。

3.0.7 检测工作前应编制检测方案和安全应急预案。

3.0.8 水下检测工作应包括检测工作准备、现场检测实施、检测数据处理和资料分析、检测报告编制、检测记录与成果建档等内容。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 水下检测普查宜采用多波束声呐技术、侧扫声呐技术和成像声呐技术，详查宜采用成像声呐技术、光学成像技术、水下激光成像技术。水下检测成果的验证，可采用潜水员探摸、钻探等方法。

4.1.2 水下检测技术的水域宜满足下列要求，无法满足时应采取可靠措施。

- 1 流速不宜大于 1m/s。
- 2 水深、水质应满足设备使用技术指标。
- 3 对复杂水域空间，应复核场地环境，并满足设备工作空间的要求。

4.1.3 水下检测的设备搭载平台可采用水面有人船艇、无人船、潜水员、潜水器等，并应符合下列规定：

- 1 水面有人船艇、潜水员作业应符合 JT/T 31.2 标准相关的要求。
- 2 无人船、潜水器作为声学、光学传感器的搭载平台，其工作技术要求应符合附录 C 的相关规定。

4.1.4 检测数据应符合下列规定：

- 1 定位数据应记录外观缺陷的部位、里程、坐标。
- 2 检测数据应可识别外观缺陷的形态、尺寸、范围。
- 3 检测现场记录应符合附录 D 的相关规定。

4.2 多波束声呐技术

4.2.1 多波束声呐技术宜用于水工建筑物水下外观缺陷检测。

4.2.2 系统配置要求可参照 JT/T 790 的相关要求，并应符合下列规定：

- 1 量程分辨率宜不大于 $1^{\circ} \times 2^{\circ}$ 。
- 2 距离分辨率不大于 2cm。

4.2.3 工作布置可参照 JT/T 790 的相关要求，应符合下列规定：

- 1 测线布置应覆盖全部待检测区域，测量船速宜不大于 2.5m/s。
- 2 测线布置应涵盖测量测线、校准测线的布置。
- 3 测线布置方向宜选择平行于等深线走向、建筑物轴线方向或测区的长边等。
- 4 测线应平直，可随水工建筑物的形状变化而平缓弯曲，调转方向时应暂停数据采集。
- 5 移动式多波束声呐，测线间距不宜大于有效测深宽度的 80%。在重点检测水域，测深线的间距不应大于有效测深宽度的 50%，相邻测线重合覆盖宜不小于 20%。
- 6 测站式多波束声呐，应控制测站间距，采集数据重合度宜不小于 30%。
- 7 测线长度，应综合考虑水域水流情况、定位数据稳定接收情况和姿态补偿数据等因素。

8 校准测线为 2 条往返测线，重合覆盖宜不小于 50%，应垂直于等深线方向或地形地貌起伏的方向，不应平行于测线。

9 针对不同水域环境，应调整声呐检测信号的激发能量、增益、强度及滤波参数。

10 针对不同深度、相对多波束换能器距离不同的水工建筑物应及时调整声呐测程，如发现覆盖不足或水深漏空等情况，应及时增加测站或测线。

11 针对水工建筑物的陡立面、拐角、垂角等水下结构的数据采集，应适当调整声呐采集信号的参数，测线覆盖不宜少于 3 条。

12 针对发现的水下结构异常部位，应加密测线或多次覆盖。

4.2.4 数据处理、图件制作除应符合 JT/T 790 的规定外，还应符合下列规定：

1 每条测线信息、数据处理参数及异常区域处理，应做好过程记录。

2 宜与工程资料及历次检测资料对比，分析外观缺陷或异常部位形态、体量变化。

3 水下检测成果图应标注水流方向、结构物名称、里程桩号、高程等信息。水下典型剖面宜包括外观缺陷部位，剖面处形态变化特征。

4 成果图件宜根据制图比例尺和项目要求，对符合质量要求的多波束水深数据进行抽稀，水深点图上间距不宜大于 5mm。

4.2.5 根据数据处理结果，发现测区内相邻测量测线的重叠带宽度不符合规定，或测区范围不满足要求，应进行补测。

4.2.6 检测过程中发现下列问题时应进行重测：

1 相邻测量测线或不同测量日期所测水深拼接误差超过限值，经校正修正后仍无法拼接重合。

2 探测数据精度无法达到分辨最小外观缺陷的要求。

4 水位控制、潮位数据资料不符合有关测量规范的要求。

5 水深异常、数据质量不满足精度要求。

6 水深测量测线与校准测线水深比对时，超过限值的点数超过比对总点数的 15%。

4.3 侧扫声呐技术

4.3.1 侧扫声呐检测技术宜用于水工建筑物水下表面状态快速普查。

4.3.2 系统配置可参照 JT/T 1362 的相关要求，并应符合下列规定：

1 航迹分辨率不宜大于 0.005 倍拖鱼距水底的深度。

2 垂直航迹分辨率宜不大于 1.25cm。

4.3.3 工作布置和现场工作可参照 JT/T 1362 的相关要求，并应符合下列规定：

1 测线宜平行于测区长轴方向、垂直地形起伏方向、目标走向布置，测线间距宜根据设备量程、水深等因素综合考虑。

2 采用拖曳式安装拖鱼时，应使拖鱼离水底高度为所选量程的 10%~15%，采用悬挂

式安装拖鱼时，应使拖鱼入水深度大于测量船吃水深度。

- 3 载具航行速度应保持匀速直线行驶，速度宜控制在 1.5 m/s ~3.0m/s。
- 4 载具在转弯或掉头时，不宜采集数据。
- 5 水下目标判读，宜根据 2 条及以上的测线覆盖确认。
- 6 应根据待测目标大小、所处深度、结构特点、拖鱼入水深度等因素，调整声呐检测信号参数。
- 7 检测时应注意拖鱼的工作状态，避免拖鱼与水下建构物发生碰撞。
- 8 针对水工建筑物陡立面、倾斜面的声呐检测，宜将声呐拖鱼靠近、平行被测面，并调整侧扫声呐发射信号参数。
- 9 测线与待测目标的平距应满足目标分辨率的要求，宜将目标置于有效扫测带宽的中间位置。

4.3.4 数据处理、图件制作除应符合 JT/T 1362 的规定外，还应符合下列规定：

- 1 测量数据应进行拖鱼位置、船速、斜距校正，以获取纵横比 1:1 的水下侧扫声呐图像。
- 2 成果图件应综合水下结构、地形数据和其他检测成果，带有地理坐标的影像镶嵌图和影像普查解释成果图。

4.3.5 发现下列问题时应进行重测：

- 1 检测成果不能真实反映水下目标体表观状态。
- 2 声呐影像上无有效回波信号或记录失真。
- 3 底质散射强度所对应的记录灰度色阶层次不符。

4.4 成像声呐技术

4.4.1 成像声呐技术宜用于水工建筑物水下表观状态、外观缺陷详查。

4.4.2 系统配置要求应符合下列规定：

1 成像声呐定位可采用水面或水下作业载具的定位系统，也可根据声呐影像识别的周边结构物的相对位置关系判定。

2 成像声呐的最大探测距离不宜大于 30m，距离分辨率应不大于 1.5cm。

4.4.3 工作布置和现场工作应符合下列规定：

- 1 应遵循由远及近、由整体至局部的布置原则。
- 2 应根据测区水域环境，调整声速、强度、伽马值，保证能够分辨最小目标。
- 3 应根据目标物体形态，将声呐传感器的安装角度朝向被测面，并使被测物在最佳量程范围内。

4 对于水质浑浊的水域，应采用成像声呐辅助导引载具和定位水下外观缺陷。

4.4.4 成像声呐数据采集时应记录测线走向、长度、位置及时间，标记并描述外观缺陷出现的时间及性状，采集影像应清晰反应目标物的结构形态及表观特征。

4.4.5 数据处理、图件制作应符合下列规定：

- 1 根据现场记录，按检测部位整理成像声呐影像、视频、数据资料。
- 2 成果图件应包括：建筑物典型结构影像成果图、局部外观缺陷影像解释成果图、目标物影像拼接镶嵌成果图，图中应标注尺度、水流方向、形态、与周边结构物的位置关系。
- 3 宜根据检测成果剪辑成像声呐影像视频。

4.4.6 发现下列问题时应重测：

- 1 成像不清晰。
- 2 无法识别外观缺陷影像。

4.5 光学成像技术

4.5.1 光学成像检测技术宜用于水工建筑物水下外观缺陷抵近观察。

4.5.2 系统配置影像像素精度不宜小于 200 万像素。

4.5.3 工作布置和现场工作可参照 JT/T 746 的相关要求，还应符合下列规定：

- 1 应遵循由远及近的布置原则，测线、测点布置宜根据外观缺陷的形态、走势确定。
- 2 根据测区水域环境，应调整光源亮度和与目标物的间距使其能清晰成像。

4.5.4 光学成像数据采集时需做好测线记录，标记并描述外观缺陷或异常出现的时间及性状。

4.5.5 数据处理、图件制作应符合下列规定：

- 1 应根据现场记录，按检测部位整理并归档光学成像视频资料。
- 2 绘制外观缺陷光学成像解释成果图，应标明相对建筑物位置关系。
- 3 宜通过光学成像视频描述水下详查状态。

4.5.6 发现下列问题时应进行补测或重测：

- 1 光学成像不清晰、未能反应水下表观状态或外观缺陷。
- 2 光学成像视频录制异常或故障。
- 3 检测对象表面被附着物遮挡，导致采集的影像数据无法反映外观缺陷状态。

4.6 浅地层剖面技术

4.6.1 浅地层剖面检测技术宜用于对库区、河道等开敞水域，对水下地层、抛石、根石、淤积覆盖的分层界面探测。

4.6.2 浅地层剖面技术用于水工建筑物水下检测的系统配置，应符合下列规定：

- 1 发射脉冲宽度应不大于 20ms。
- 2 工作频率应为 2 kHz~15kHz，垂直分辨率应不大于 6cm。

4.6.3 工作布置和现场工作可参照 HY/T 253 的相关要求，应符合下列规定：

- 1 测线布置应包括主测线、联络测线布置。
- 2 主测线宜穿过主要水下地层构造区，联络测线可垂直于主测线布置。

3 测量船保持匀速直线航行，航线偏离不应大于相邻测线间距的 15%，航行速度不宜大于 3m/s。

4 转换测线时，转弯角度不宜过小，避免碰撞换能器。

5 测量时应适当调整接收机声学参数以获得清晰的声呐图像。

6 拖曳测量时，换能器入水深度应不小于 2m。

7 测量时，应实时记录航行轨迹、监测船位信息，且宜每隔 20min 记录一次作业时间、水深等信息。

4.6.4 数据处理、图件制作应符合下列规定：

1 原始记录图件应包括测线航迹图、测线映像图、反射波形图。

2 成果图件应包括水下地形图、淤积层剖面图及等厚度图、水工建筑物结构冲淤解译成果图。

4.6.5 发现下列问题时应进行重测：

1 剖面声呐图像不清晰、未能反应地层冲淤结构。

2 剖面声呐信号中杂波影响冲淤结构的识别。

4.7 水下激光成像技术

4.7.1 水下激光成像技术宜用于水工建筑物水下外观状态精细扫测，在水体能见度允许的条件下对水下坝面、闸室、金属结构等小范围缺陷的三维尺度、形态、规模特征进行精确检测。

4.7.2 系统配置要求应符合下列规定：

1 激光覆盖角度不低于 45°，可旋转角度应为 360°。

2 扫描范围应不小于 10m，搭载在航速 0.5m/s 的无人船或潜水器上，距离分辨率应不大于 4mm。

4.7.3 工作布置和现场工作应符合下列规定：

1 应根据需要，安置在水中固定点通过自身驱动器旋转作业，或安置在无人船、潜水器、爬行器等载具上动态作业。

2 采用动态作业时，数据应融合卫星导航、惯性导航等其他定位技术。

3 采集点云数据时，应实时显示点云、仪器运动轨迹，并实时存储。

4.7.4 水下激光成像检测作业过程中，应记录检测起始时间、位置、方向、编号等，宜记录调设参数，命名储存。

4.7.5 数据处理、图件制作应符合下列规定：

1 根据现场记录整理并归档点云数据资料、影像资料，点云数据格式兼容通用格式。

2 成果图件应包括：水工建筑物水下典型结构三维点云图、外观缺陷解释图或异常矢量化分析计算图。

3 必要时，宜绘制水工建筑物水下结构局部外观缺陷或异常的典型剖面图。

4.7.6 发现下列问题时应进行重测：

- 1 水下激光成像仪在检测过程中晃动。
- 2 数据信号异常中断。

5 检测准备

5.1 一般规定

- 5.1.1 检测准备工作应包括：现场踏勘、收集资料、编制实施方案、仪器设备检查、安全防护等。
- 5.1.2 现场检测开展前，应制定检测工作实施计划、人员设备投入、质量控制措施和文明作业措施，提出需协调、配合解决的事项清单。
- 5.1.3 对工况复杂、作业安全风险较大的水工建筑物开展水下检测时，应开展检测实施方案及应急预案的专项论证。

5.2 现场踏勘

- 5.2.1 现场踏勘应掌握检测范围的水下结构状态、测区水域环境及气象信息，包括测量定位墩分布、作业下船点或吊放点、水流情况、水体能见度、水下暗礁或结构形态、水深变化等信息，识别水下检测作业过程中可能存在的危险源及安全隐患。
- 5.2.2 现场踏勘时，可根据需要携带测深仪、流速仪等辅助踏勘设备。
- 5.2.3 应记录踏勘资料，并储存备案，根据踏勘资料编制水下检测方案。

5.3 资料收集

- 5.3.1 检测应收集以下资料：
 - 1 检测对象、检测区域的水工建筑物设计、施工、竣工和运行资料。
 - 2 水工建筑物历年养护维修、检测资料。
 - 3 控制坐标点及控制坐标系参数，作为检测成果数据的转换基准。
 - 4 水位监测信息。
 - 5 运行调度资料。
 - 6 水文、气象、交通等情况。
 - 7 其他与检测有关的资料。
- 5.3.2 应对工作区域的工程结构、地形地貌、地质特征进行全面分析，选择有效信息作为检测数据验证、对比分析的基础资料。

5.4 方案编制

- 5.4.1 应根据检测任务要求、检测条件，按照相关标准，编制水下检测实施方案；现场作业安全风险较大的工程应根据运行管理单位的相关要求，编制安全专项方案。
- 5.4.2 检测实施方案宜包括下列内容：
 - 1 工程概况：工程简介，检测目的及范围，检测工作要求及环境特征等。

- 2 编制依据：引用的技术标准、规范，参考的安全管理要求。
 - 3 方法与技术：检测技术思路或路线，检测方法与技术原理。
 - 4 工作布置：测线、测区布置及岸基范围，绘制测线布置图。
 - 5 进度计划：确定水下检测作业流程及工序，绘制流程图，安排现场检测时间。
 - 6 拟投入检测人员和仪器设备清单。
 - 7 拟采取的工作质量保证措施，人员及仪器设备安全防护措施。
 - 8 突发风浪、设备故障或其他突发状况时，应采取的应急措施。
 - 9 明确相关单位配合提供的车辆、船舶及其他工作。
 - 10 明确提交的预期成果、形式及数量。
- 5.4.3 安全专项方案，除符合 SL 721 的相关要求，还应包括工程概况、编制依据和以下内容：
- 1 组织措施：安全生产管理机构、人员及职责、作业安全管理。
 - 2 安全技术措施：安全生产目标，危险源、安全隐患识别及风险分析，安全保障措施。
 - 3 文明及环保措施：文明及环保目标，文明作业措施，相关的环境影响，环境保护措施。
 - 4 应急处置措施：应急指挥体系及职责，应急处置基本原则和程序，应急措施及注意事项，应急救援器械及耗材，应急通讯等，现场应急处置工作包括隔离防护、报警求助、紧急撤离路线、救治等。
- 5.4.4 当水下检测作业存在人员溺水、设备损失的生产安全事故风险较高时，应立即启动应急预案。

5.5 设备检查

- 5.5.1 现场检测作业前，应根据被测对象选择合适的仪器。
- 5.5.2 检查零配件是否齐全、安全，性能参数应满足检测需要。
- 5.5.3 检查供电是否稳定，备用电源是否齐备、完好。
- 5.5.4 仪器设备入水前，应检查防水密封性能。

5.6 现场测试

- 5.6.1 仪器设备在载具上安装固定后，应进行供电、通信测试，确认设备运转正常、传输画面和数据有效。
- 5.6.2 仪器设备入水后，开始检测前，应进行初始化设置，测试操作功能、工作性能是否正常，调试设备通信信号并校验精度。
- 5.6.3 仪器设备初始化启动后，应调试设备通信、控制软件，确定显控平台操控正常、数据记录、存放有效，搜索定位信号正常，深度显示正常，入水时应将水深置零，调试设备校验精度至稳定状态。
- 5.6.4 根据检测实施方案预设测线、测区，测试数据采集效果，根据检测参数和影像效果

调整测线间距、各项控制参数，并修订检测实施方案。

5.7 安全防护

5.7.1 现场检测作业前，安全防护应符合下列规定：

- 1 应检查安全防护措施、应急处置措施是否齐全。
- 2 应进行安全交底及安全培训，落实应急预案要求。
- 3 应根据每日的气象和水文情况，进行逐项检查和技术交底，并留存记录。

5.7.2 落实陆上安全监护人员的职责，做好防护准备、监督提醒等工作。

5.7.3 水上作业应避开水下高风险区域及恶劣天气等不利因素。

5.7.4 进出水下检测工作区域时，应及时与调度管理部门沟通并报备；遇突发情况时，应按照调度管理部门的指令执行。

6 检测作业

6.1 一般规定

6.1.1 水下检测宜采用先普查后详查。普查应能确定外观缺陷或异常部位的分布情况，详查应能检测外观缺陷性质、位置和形态等。

6.1.2 水下检测普查宜采用水面载具搭载多波束声呐、侧扫声呐设备，覆盖水工建筑物水下整体区域，包括平面、立面、斜面、底面及顶面等，应符合下列规定：

1 对平面、底面、顶面，应覆盖“井”字形的检测测线，相邻测线重合覆盖率应大于20%，测线可垂直或平行于建筑物的轴线。

2 对立面、斜面、左右边坡边墙的检测，测线间距可根据被测面的倾斜程度确定，相邻测线间距宜不大于5m，调转测线波束角朝向被测面，同一位置应采集往返测线，对被测面与底面的交角，应调整发射参数避免局部检测数据缺失。

3 混凝土结构裂缝或渗漏普查，相邻测线间距宜不大于5m。

4 对重点部位、存在外观缺陷部位、历次修复或检测结果异常部位应加密布置测线，加密测线间距宜不大于2m。

6.1.3 水下检测详查宜采用成像声呐联合水下光学成像设备，覆盖普查发现的重点部位或检测结果异常部位，对水下普查识别的外观缺陷进行定性、定量的分析，应符合下列规定：

1 宜采用二维成像声呐导引详查设备抵近检测目标，确定缺陷的尺寸及形态，结合水下外观缺陷的范围开展测点、测线的水下摄像观察，详查测线应注意行进路线与方位，避免被水下钢筋、线缆等缠绕。

2 水下立面、斜面结构尺寸形态细部详查，可采用三维成像声呐、水下激光抵近目标，采用潜水器、潜水员或水下装配架进行测站式精细检测，其布置应精确获取目标的尺寸与三维空间数据信息。

3 对发现的混凝土破损等表现外观缺陷，可采用激光尺度仪、钢尺等测量设备进行尺寸测量，测量精度应小于1cm。

4 对复杂外观缺陷详查，可联合采用潜水器检测与潜水员复核验证的方式。

5 潜水器宜配置二维成像声呐、光学成像设备、机械臂、表面清理装置、激光尺度仪、喷墨示踪装置，对外观缺陷定点、定时观测；潜水员宜配置水下录像机、潜水电话、示踪剂和水下清理工具，在成像声呐导引监控下对裂缝进行测量、录像。

6 裂缝水下详查应顺沿缝面走向，覆盖整个裂缝起止点、转折点、分叉点，定位分布位置。

6.1.4 水下检测定位，应符合下列规定：

1 普查定位：对于开敞水域，应采用全球定位系统结合差分处理技术进行绝对定位，可

采用信标或超短基线进行相对定位；对于洞室水域，宜采用惯性导航系统进行绝对定位，可采用声呐传感器、结构物特征综合进行相对定位和修正。

2 详查定位：除采用普查定位方法外，宜采用信标、超短基线、水下声呐、深度计、高度计、结构物特征进行相对定位和修正，也可采用惯性导航系统进行绝对定位，对于隧洞类轴线结构物，缆长计数可作为相对定位的辅助参考。

3 对于高耸结构物导致卫星信号差或无信号的水域，应采用布设测站的定点测量或搭载惯导的移动测量进行全覆盖采集，再与有卫星信号区域的水下检测数据联合拼接。

6.1.5 水下检测现场工作，应符合下列规定：

1 应记录检测方法与技术使用的参数、测线编号、定位参数等数据，记录表应符合附录D的相关要求。

2 若由于定位精度下降出现信号波动或丢失，应排除故障并经调试正常后方可继续工作。若发现检测数据不连续，应进行补测。

3 应遵循内外业同步进行、内业指导外业的原则，现场应及时对检测数据进行初步整理和分析，检查采集数据的质量，确保检测数据完整、有效。发现检测数据存疑或成果解释不清楚时，应补测或重测。

4 外业工作结束后，应检查仪器设备完好性、齐备性，清点设备并规整装箱。

6.2 堤坝

6.2.1 检测对象应为坝、堤防、库坡等开敞水域的水工建筑物，包括土、石、混凝土材质。

6.2.2 重点应查明堤坝的水下塌陷、孔洞、冲淤、渗漏、裂缝等外观缺陷。

6.2.3 检测项目为外观缺陷及结构形态，宜包括以下内容：

1 外观缺陷包括蜂窝、孔洞、露筋、裂缝、破碎、剥蚀、脱落、空蚀、错台、凹陷、塌陷、冲蚀等。

2 结构形态、表观状态等检测宜包括水下建筑物的表观尺寸、附着物、淤积物、渗漏等。

6.2.4 对堤防水下表观状态检测，还应查明以下内容：

1 堤坡：有无滑坡、裂缝、塌坑、洞穴等。

2 堤脚：有无沉陷，有无冲刷、残缺、洞穴等。

6.2.5 对堤坝水下外观缺陷的检测方法选择，应符合下列规定：

1 宜采用多波束声呐技术、侧扫声呐技术进行全覆盖普查。

2 局部外观缺陷或异常部位，在水流平稳的测区，可采用无人潜航器搭载声呐传感器、光学摄像设备及相关辅助设备进行检测、验证。

3 对坝面裂缝，可采用侧扫声呐技术进行检测，检测裂缝走向与长度；采用光学成像技术和激光尺度仪进行检测，检测缝宽。

4 对防渗面板外观缺陷，可采用多波束声呐技术和示踪法，沿分缝止水进行检测，主要

检测面板挤压破坏、裂缝、塌陷、分缝止水失效等。

5 对贯穿或渗水裂缝,可采用示踪法检测裂缝的贯穿性或渗水情况,可准确定位,检测渗漏、裂缝情况。

6 对发现的混凝土破损等外观缺陷,可采用激光尺度仪、钢尺等测量设备进行测量。

6.2.6 对堤坝前、进水口前淤积情况的检测,宜采用多波束声呐技术、侧扫声呐技术检测淤积形态,淤积厚度宜采用浅地层剖面仪探测。

6.2.7 库区库岸、边坡及护岸水下检测,测线宜沿平行于岸线布置,主要检测水下坍塌、滑坡等外观缺陷,应对照原库岸或护岸地形特征开展缺陷识别。

6.3 闸站

6.3.1 检测对象应为各类水闸、船闸和泵站等,包括混凝土、砌石、金属材质。

6.3.2 重点应查明闸站的水下混凝土结构、砌石结构和金属结构的表观缺陷。

6.3.3 检测项目为闸站水下外观缺陷及形态,宜包括下列内容:

1 混凝土或砌石结构:宜包括闸墩、底板、铺盖及护坦等部位,检测项目包括表面变形、破损、裂缝、附着物、底坎堆积等。

2 金属结构:宜包括闸门、门槽、拦污栅、流道及压力管道等部位,检测项目表观形态、外观缺陷和蚀余厚度等,如缺损、变形、止水失效、渗漏、淤堵、锈蚀等。

6.3.4 混凝土或砌石结构建筑物外观缺陷检测,应符合以下规定:

1 可采用包括潜水器搭载光学摄像、成像声呐等设备抵近进行外观缺陷详查。

2 结构表面被淤堵或被硬质泥砂覆盖,且存在裂缝、渗漏、破损等水下缺陷时,应对结构表面进行清理后,采用水下目视与光学成像技术抵近观察、示踪法检测。

6.3.5 金属结构外观缺陷检测,应符合以下规定:

1 可采用潜水器搭载光学摄像、成像声呐等设备,对表面锈蚀、闸门卡阻、淤积堵塞、附着物、焊缝、金属结构与混凝土接合部等进行抵近摄像、检测,也可采用磁性吸附载具作为搭载平台进行摄像、检测。

2 测线宜沿金属结构构件长轴平行布置,检查金属结构变形、缺损、闸门卡阻、淤积堵塞等情况。

3 成像声呐应根据金属结构的表面形态调整入射角度、反射强度和吸收系数,有利于声呐影像目标的识别。

4 应识别金属结构锈蚀、止水失效、变形、破损、预埋件脱落、淤积堵塞等缺陷位置及尺寸。

5 对隧洞涵管类建筑物的钢衬,宜用多个方位的成像声呐沿洞涵管轴线检测。

6 对闸门门槽类建筑物的金属结构及钢衬,宜采用测站式点阵分布检测。

6.3.6 金属结构焊缝缺陷水下检测应符合以下规定:

- 1 可采用水下超声波探伤技术和水下磁粉探伤技术检测焊缝表面缺陷的尺寸、深度。
- 2 焊缝缺陷检测，应沿两焊脚布置测线，连续覆盖整条焊缝及两侧 10cm 范围，测区布置应符合 SL713 的相关规定。

6.4 消能工

- 6.4.1 检测对象应为消力池、海漫、尾坎、分流墩、溢洪道等，包括混凝土、砌石材质。
- 6.4.2 重点应查明消能建筑物或消能设施的冲蚀、裂缝、露筋、附着物等外观缺陷。
- 6.4.3 消能建筑物外观缺陷水下检测方法选择，应符合以下规定：
 - 1 宜采用多波束声呐技术、侧扫声呐技术进行普查。
 - 2 局部缺陷或异常部位，在水流平稳的测区，可采用潜水器搭载成像声呐、光学摄像及相关辅助设备进行详查、验证。
 - 3 ROV 详查时，应注意航向及脐带缆的状态；ROV 搭载三维声呐进行扫描时，应注意沉底坐稳，以免造成点云假异常。
 - 4 对发现的外观缺陷，可采用激光尺度仪、钢尺等设备进行测量，测量精度应不大于 1cm。

6.5 隧洞及涵管

- 6.5.1 检测对象应为水工隧洞、倒虹吸、涵管等，包括混凝土、钢衬材质。
- 6.5.2 主要检测项目应为水工洞室、涵管、压力管道及其附属设施外观缺陷、渗漏等。
- 6.5.3 检测时应关闭待检查下游洞室相关的运行机组及闸门，可用 ROV 搭载成像声呐及水下高清摄像设备进行水下检测。
- 6.5.4 隧洞及涵管水下外观缺陷检测，应符合以下规定：
 - 1 宜采用潜水器搭载多波束声呐设备获取洞壁或涵管三维空间信息，也可搭载多个成像声呐、侧扫声呐探头按不同安装角度、沿隧洞或涵管轴线往返普查外观缺陷信息。
 - 2 宜采用潜水器或履带式爬行者搭载定位传感器设备及线缆计数装置，里程定位精度不低于里程的 2%。
 - 3 声学、光学探测传感设备沿轴向或环向布置测线普查混凝土衬砌表观缺陷，同时采用光学摄像设备获取底部或两侧洞壁衬砌局部影像资料。
 - 4 对于长隧洞外观缺陷可采用一体式或子母分体式潜水器进行检测，应与普通洞室或涵管检测使用的潜水器具有同样的稳定性、定位及识别精度。

6.6 渠道

- 6.6.1 检测对象应为渠道、渡槽等，包括混凝土、砌石材质。
- 6.6.2 主要检测项目应为河道冲淤、根石或抛石、渠道水下外观缺陷等。
- 6.6.3 渠道冲淤情况水下检测方法宜采用多波束声呐技术进行普查，也可采用单波束声呐

和浅地层剖面技术进行断面测量。

6.6.4 水下根石或抛石宜采用浅地层剖面技术进行小尺度、精细化探测，探测应符合 HY/T 253 的相关规定，也可采用人工锥探方式辅助验证。

6.6.5 渠道边坡稳定性及护岸混凝土表观缺陷水下检测，应符合以下规定：

- 1 侧扫声呐技术和多波束声呐技术应沿堤防、渠道轴线或河道轴线平行布置测线。
- 2 水下根石或抛石检测宜沿河岸或渠道轴线垂直布置测线，也可根据检测目标需要进行调整。
- 3 当水流速度快，导致行船航迹不能沿设定断面探测时，也可采用绕岸探测模式。
- 4 水下根石或抛石检测运用浅地层剖面的检测结果，应能判断淤泥、砂质或卵石、抛石分层或分布情况。

7 检测报告

7.1 数据处理与资料整编

7.1.1 水下检测数据处理与分析，应符合以下规定：

- 1 检测成果数据处理应符合相关标准的要求。
- 2 普查成果数据宜采用相关处理软件进行缺陷空间三维展示、体积计算，提取横、纵剖面，反映不同里程桩号处的缺陷大小、高程或高差情况，并与相关设计、竣工资料及历次检测资料进行对比分析。
- 3 详查成果数据应截取典型缺陷部位影像，缺陷范围较大时，其影像资料可拼接。
- 4 宜制作各个结构部位与构件表观影像图，展现各构件的缺陷类别、尺寸、范围。
- 5 宜剪辑典型摄像视频表述水下现状，图件、视频宜标注周边结构物的相对位置关系及水流方向。

7.1.2 水下检测成果整编，应符合以下规定：

- 1 水下检测成果应依据项目合同、任务书、检测方案、工作调整批复等文件进行整编。
- 2 成果解释应定性表述与定量分析相结合，宜结合相关设计、竣工图纸或历年检测资料进行对比分析。
- 3 检测成果图件应清晰显示水下外观缺陷的部位、形态，绘制缺陷位置图和剖面图，截取多视角的点云图和局部影像资料，来表征水下缺陷的尺寸、高程及相对位置。
- 4 检测成果应直观、清晰反映水工建筑物运行状态，根据普查和详查结果，将缺陷尺寸、部位、形态、高程和描述在设计图或模型图上标注示意，并将缺陷影像链接至各建筑物部位的展开图，离散的影像宜按照位置关系进行拼接，辅助摄像视频作为验证成果，视频宜标注与周边结构物的相对位置关系及水流方向。

7.1.3 水下检测成果审查应参照有关技术标准，审查内容包括检测任务和目的、成果图件制作规范，报告表达、逻辑清晰，质量合格。

7.1.4 水下检测成果应按相关要求，进行数字化归档。

7.2 报告编制

7.2.1 检测成果报告封面应包含报告编号、项目名称、检测单位及编写日期。

7.2.2 检测报告内容宜包括下列内容：

- 1 概况：工程概况，检测目的及范围，检测工作完成情况等。
- 2 检测依据：应用的技术标准、规范。
- 3 工程特征与环境条件：描述受检区域的尺寸、结构形态等特征，检测作业的水深、水流、水质等水域环境特征及光照条件。

- 4 检测技术方法：明确水下检测采用的技术方法、投入设备及其参数。
 - 5 检测工作实施：检测工作组织、质量保证措施、检测工作准备、工作布置、数据处理与分析等。
 - 6 检测成果：检测成果现状，对比分析数据，可补充检测成果精度评价、一致性评价。
 - 7 结论与建议：检测结论，对运行管理的建议。
- 7.2.3 水下检测成果报告附图和附表，应符合本标准第4章各检测方法与技术的要求。

附录 A 水下检测技术应用一览表

表 A 水下检测技术应用一览表

技术名称	应用范围
多波束声呐	1.坝前、闸前、进水口类水工建筑物淤积情况检测。 2.堤防、渠道、消能建筑物类水工建筑物混凝土外观缺陷普查检测。 3.隧洞、涵管类水工建筑物混凝土外观缺陷普查检测。
侧扫声呐	1.坝面、闸面、消能建筑物类水工建筑物表面形态、缺陷快速普查。 2.渠道、堤防、库岸、边坡类水工建筑物水下岸坡稳定情况、滑塌情况影像探测。
成像声呐/水下激光成像	1.大坝、水闸、消能建筑物类水工建筑物混凝土结构、金属结构表面形态、缺陷详查检测。水下激光成像仅在水质清澈时适用。 2.隧洞、涵管混凝土衬砌、钢衬衬砌局部外观缺陷形态、尺寸详查。 3.成像声呐浑水域水下检测、或水下详查时辅助导航。
光学成像	水工建筑物水下局部、外观缺陷性态详查。
浅地层剖面	库区、河道等开敞水域，对水下地层和水底表面有根石、抛石、淤积厚度淤积覆盖的分层界面探测。

附录 B 水下检测常用仪器设备一览表

表 B 水下检测常用仪器设备一览表

类别	仪器名称	用途
声呐检测	多波束声呐	水下环境和水工建筑物表面状态、外观缺陷全覆盖探测、检测
	侧扫声呐	水底底质地貌和水工建筑物表面状态影像快速普查
	成像声呐（二维成像声呐、三维成像声呐）	水下建筑物实时表面影像空间信息精细探测与避障
光学成像	水下照相机	水下拍照
	水下摄像机	水下摄像
	水下激光成像仪	水工建筑物局部外观缺陷精细扫描
辅助仪器	导航定位仪（RTK、PPK）	水面高精度定位测量
	星站差分定位系统（GNSS）	水面差分定位测量、艏向定向测量
	潮位仪	潮位监测，用于潮位改正
	声速仪（表面声速仪、声速剖面仪）	水深声速测量，用于声速校正
	姿态仪	实时姿态监测
	测深计、高度计	水深深度测量、水底高度测量
	水下定位系统（超短基线、导引声呐、多普勒计程仪、惯性测量单元等）	水下定位测量
	激光尺度仪	水下缺陷、裂缝长宽测量
	多普勒声速仪	搭载传感器的水面远程操控平台，开敞水域的水工建筑物水下部分的深度、形态探测
搭载平台	无人船	搭载传感器的水面操作人员作业平台，开敞水域的水工建筑物水下部分深度、形态进行探测
	有人船	搭载水下检测、探测传感器及辅助定位设备对水工建筑物水下部分外观缺陷进行详查
	潜水器（ROV、AUV、ARV、HOV）	水下环境和水工建筑物表面状态、外观缺陷全覆盖探测、检测

附录 C 水下检测搭载平台技术要求

C.1 无人船

C.1.1 无人船是一种可远程操控、借助精确卫星定位和自身传感器按预设任务在水面航行的全自动水面机器船，搭载水下声呐、惯导、罗经、姿态等定位传感器和水上激光等测量、观测设备，对开敞水域的水工建筑物水下部分的深度、形态进行检测。无人船技术不适用于洞室水域的缺陷检测。

C.1.2 系统配置应符合下列规定：

- 1 抗流不应低于 1m/s。
- 2 运载平台应配备脱扣装置、推进器、定位系统、多元传感器接口、陆上控制监控单元等。
- 3 所搭载的检测、探测传感器应在使用前进行性能检验。
- 4 定位方案应进行平面和高程控制测量，高程控制测量应联合自动验潮仪的观测数据解释，采用无人船进行水下冲淤和库岸地形测量应符合 CH/T 7002 的相关要求。
- 5 接收机的检验要求如下：使用期间每年及接收机大修后，应在一个等级点上做一次不少于 8h 比对性检验，采样间隔不大于 3min；作业前后在一个等级点上进行不少于 1h 比对性检验，采样间隔不大于 3min，仪器采集数据稳定且采集数据精度满足测图要求后方可使用。
- 6 数据采集可监控无人船本体单元的作业状态及航行轨迹，可调整行进方向。

C.1.3 工作布置应符合下列要求：

- 1 搭载检测、探测设备进行水下缺陷检测时，测线应根据被测对象的结构特征进行布设，宜采用网格测线，测线间距根据被测对象的范围、波束的开角大小、检测的精度需求进行合理布设。对于斜坡面，应布置垂直于坡向的平行测线，往返采集多次覆盖数据。对于异常或重点关注部位，应加密测线。
- 2 根据检测目的选择搭载检测、探测设备进行水上库岸地形测量，可辅助水下缺陷分布的联动分析。
- 3 检测作业过程中应避开水草茂密或暗礁集聚的区域，对于流动水域，航行测线应沿水流方向布设。
- 4 作业前、中、后应采集不少于 3 次的水深声速剖面数据。

C.1.4 无人船进行开敞水域水工建筑物水下缺陷检测时，其定位精度、测线覆盖密度，不应低于水下地形测量的要求，缺陷平面定位精度优于 cm 级，高程定位精度优于 2cm。

C.1.5 无人船抗流性能与吃水深度成正比，针对高流速水域的检测，应协调作业时机，在满足设备作业性能的条件下安全地开展检测作业。

C.1.6 数据处理、图件制作应符合所搭载的设备检测技术要求。

C.1.7 发现下列问题时应进行补测或重测：

- 1 搭载的设备采集数据异常、无效、存储信息不全时。
- 2 无人船系统在作业过程中故障或不受控制时。

C.2 潜水器

C.2.1 在水工建筑物水下检测时，遥控式无人潜水器（ROV）、自主遥控混合式潜水器（ARV）较常用。潜水器可用于搭载水下检测、探测传感器及辅助定位设备（如声学传感器、光学传感器、水下激光测距仪、罗经、惯导、深度计、高度计、机械臂、示踪剂等），对水工建筑物水下部分外观缺陷进行详查。

C.2.2 系统配置可参照 JT/T 746 的相关要求，应符合下列规定：

- 1 水工建筑物水下检测时，抗流不应低于 1.0m/s。
- 2 运载平台应配备脱扣装置、推进器、缆线、多元传感器接口、陆上控制监控单元等。
- 3 所搭载的检测、探测传感器应对检测目标物的辨识和定位。
- 4 定位方案可采用成像声呐、避碰声呐、罗经、姿态、深度计、高度计、缆长计数器等进行相对定位，也可采用超短基线 USBL、惯性导航系统进行绝对定位。

C.2.3 工作布置，应符合下列要求：

- 1 全覆盖普查时，可搭载侧扫声呐、成像声呐等，采用网格测线检测，测线应根据被测对象的结构特征进行布设。
- 2 缺陷局部详查时，宜采用成像声呐、前视声呐导航，引导潜航器行进至重点部位附近，可搭载光学成像、水下激光成像仪抵近测量、观察。
- 3 检测作业过程中应关注脐带缆的状态，规划行进航迹，减小扭力，避免发生缠绕。

C.2.4 潜水器数据采集时应做好测线记录，标记并描述缺陷或异常出现的时刻及性状。

C.2.5 潜水器抗流性能与推力大小、设备体型成正比，针对有流速的水域，应协调作业时，在满足设备作业性能的条件下安全地开展检测作业。

C.2.6 数据处理、图件制作、补测或重测要求，应符合所搭载的设备检测技术要求。

附录 D 水下检测现场记录表

附表 D-1 多波束声呐现场记录表

工程名称： 检测日期： 测区调查船：
检测设备： 工程部位： 工作区水深：
控制点（编号）： 坐标系： 中央子午线：

测线号	时间 (时:分)	水深 (m)	波束数 (个)	幅宽 (m)	航向 (°)	船速 (kn)	纬度 (°)	经度 (°)	备注

操作： 记录： 校核：

附表 D-2 侧扫声呐现场记录表

工程名称： 检测日期： 测区搭载平台：
检测设备： 工程部位： 工作区水深：
控制点（编号）： 坐标系： 中央子午线：

测线号	时间 (时:分)	定位 点号	航向 (°)	船速 (kn)	拖缆长度 (m)	拖鱼距水底距离 (m)	声呐量程 (m)	工作频率 (Hz)	备注

操作： 记录： 校核：

注：悬挂式安装时可删去拖缆长度列，换能器距水底的距离换位入水深度，增加换能器旋转角度列。

附表 D-3 移动式成像扫描声呐现场记录表

工程名称： 检测日期：
检测设备： 工程部位： 工作区水深：

测线条数	检测起始时间 (时:分)	检测终止时间 (时:分)	检测/探测情况说明

操作： 记录： 校核：

附表 D-4 测站式三维成像声呐及水下激光成像仪水下检测现场记录表

工程名称: 检测日期:
检测设备: 工作区水深:

工程部位	测站编号	检测起始时间(时:分)	测站深度(m)	潜水器首相(°)	扫描角度(°)	声速(m/s)	测程范围	检测终止时间(时:分)	检测情况/测站位置说明

注: 扫描角度分球扫 spherical360°, ±45°, ±15°, 单扫 single。

操作: 记录: 校核:

附表 D-5 潜水器检查现场记录表

工程名称: 检查日期: :
检测设备: 工作区水深: 水位高程:

工程部位	测线编号	记录时间及深度				异常时间点及深度		检查情况说明
		起点(时:分)	显示深度(m)	终点(时:分)	显示深度(m)	时间(时:分)	深度(m)	
其它必要说明	潜水器入水深度: 潜水器坐底深度: 潜水器到达 xxx(工程部位)深度: 水位变化情况: (检查情况总体描述等)							

操作: 记录: 校核:

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

团体标准

水工建筑物水下检测方法

T/CWEA XX -202X

条 文 说 明

目 次

1 总 则.....	29
2 术 语.....	30
3 基本规定.....	31
4 检测技术.....	33
4.1 一般规定.....	33
4.2 多波束声呐技术.....	33
4.3 侧扫声呐技术.....	35
4.4 成像声呐技术.....	36
4.5 光学成像技术.....	36
4.6 浅地层剖面技术.....	37
4.7 水下激光技术.....	37
5 检测准备.....	38
5.1 一般规定.....	38
6 检测作业.....	39
6.1 一般规定.....	39
6.2 堤坝.....	39
6.3 闸站.....	39
6.4 消能工.....	40
6.5 隧洞及涵管.....	40
6.6 渠道.....	41
7 检测报告.....	42
7.1 数据处理与资料整编.....	42
7.2 报告编制.....	42

1 总 则

1.0.2 规定本标准的适用范围。

本标准适用的水工建筑物，包括堤坝、闸站、消能工、隧洞及涵管、渠道等水利水电工程，不包括港口、码头、船坞等建筑物。本标准适用于水工建筑物水下表观状态或外观缺陷的检测，主要指水工建筑物的运行状态（如冲刷、沉积现状，闸门的启闭、淤堵、抛石岸坡的坍塌等表观状态），以及外观缺陷（如：混凝土蜂窝、麻面、孔洞、疏松脱落、掉块、裂缝、露筋、破损、冲蚀，及金属结构变形、焊缝脱开、锈蚀、防腐层剥落等表面可见的缺陷或病害）的检测。对于水下地形现状探测、水工建筑物渗漏检测、金属结构内部缺陷检测等，需参考相关的技术规范，在本标准中不再规定。

1.0.3 水下检测需要遵守各行业安全相关作业规定，主要参照《水利水电工程施工通用安全技术规程》SL398 与运营单位的安全规定，包括临边作业、高处作业、水上作业、特种作业等相关的安全作业管理规定。

2 术 语

2.0.1 多波束声呐技术 multibeam sonar technology

多波束声呐系统也称声呐阵列测深系统，包括多波束声呐发射换能器、接收换能器、定位仪、姿态传感器、艏向测量仪、表面声速仪、声速剖面仪、数据采集和处理单元。按技术特点，分为多波束测深声呐测深、前视多波束声呐、三维多波束声呐；按扫测方式，分为移动式多波束声呐、测站式多波束声呐。

2.0.3 成像声呐技术 imaging sonar technology

成像声呐包括双频成像声呐、二维实时图像声呐、三维全景成像声呐、合成孔径声呐，可安装在各种水下航行器或水下平台上，可在工作距离范围内获得超清晰的成像，还可精确测距，获取水下物体方位、大小、形态等信息，实现目标的二维或三维实时探测，还可用于水工隧洞或浑浊水域的导航与避障。

2.0.7 潜水器 submersible vehicle

潜水器是一种能够在水下环境中长时间作业的高科技装备，替代潜水员无法承担的、或不能到达的深度和危险条件下的水下作业机器人。根据遥控方式，可分为遥控式无人潜水器（remotely operated underwater Vehicle，简称 ROV）、自主式水下航行器（autonomous underwater vehicle，简称 AUV）、自主遥控混合式潜水器（autonomous & remotely operated vehicle，简称 ARV）、载人潜水器（human occupied vehicle/manned submersible，简称 HOV）。遥控无人潜水器（ROV），是通过脐带缆供电，并进行操纵或控制，用于水下观察或作业的无人潜水器；自主水下航行器（AUV），是通过自主供电，并进行自主导航，用于水下观察或作业的无人潜水器；自主遥控混合式潜水器（ARV），是通过自主或脐带缆供电，由光纤微缆实现数据实时传输，既可较大范围检测，又可定点精细观测，还可携带轻型设备完成作业的潜水器；载人潜水器（HOV），是潜水人员水下活动基地，具有水下观察和作业能力的潜水器。

2.0.9 校准测线 calibrate lines

声呐测深系统各配套设备的传感器位置变动或更换设备后，或测量期间受到外力影响时，应重新测定和重新校准。系统误差的测定和校准应包括定位延时、横摇偏差、纵摇偏差、艏向偏差、综合测深误差、与单波束测深精度比对、定位中误差等项目。校准测线应选择地形起伏、平坦、有特征结构物的区域，布设 2 条往返测量测线。检查测深线应垂直于主测深线均匀布设，并至少通过每一条主测深线一次；检查测深线总长不应少于主测深线总长的 5% 的检查测线，当使用多波束测深系统做检查测深线测量时，应使用其中心区域的波束。

3 基本规定

3.0.1 水工建筑物水下检测应包括挡水建筑物、取水建筑物、泄水建筑物、输水建筑物、整治建筑物、水电站建筑物、农田水利建筑物、通航建筑物、过鱼建筑物、过木建筑物等各类建筑物水下部位。

水工建筑物水下检测的目的是为水工建筑物水下运行现状评价提供基础数据。目前，基于声学及光学原理的（除浅地层剖面和水下金属结构内部缺陷探测外）水下检测技术仅能解决水下建筑物的表观状态检测的问题，对于水下建筑物的内部缺陷或病害检测尚无成熟有效的技术手段。

水工建筑物表观状态与外观缺陷的水下检测技术实施，因与水工建筑物种类、对象材质关系不大，但与检测水域范围和水下定位特点密切相关，检测方法适应的介质是水域，故本标准未按照水工建筑物分类划分，而是根据检测技术应用采用的定位方式和测线布置来划分。

3.0.2 随着水下检测方法、技术的快速发展、以及新型检测仪器和装备的不断涌现，为水工建筑物水下检测工作的开展创造了良好条件，有利于检测效率和质量提高。为适应水利水电工程建设及运行管理的需要，水下检测工作宜采用国内外先进的水下检测技术，尤其被工程实践证明准确可靠的检测技术，必要时采用传统检测手段进行结果验证。由于各类水下检测技术适用范围及检测效果各有优劣，为查明水下空间分布及表观状态影像，一般采用两种或以上检测方法进行综合检测，不同的水下检测技术与方法，所检测的隐患、缺陷特征需一致、对应或互补，以获取准确、可信的检测成果，提高检测精度。

检测工作的开展需以保证水下作业设备和人员的安全为基础，水下作业需始终处于有效的监督、管控之下，确保供电、通信正常后再开展。若存在通信、供电中断的情况，应确保断电后，能收回仪器设备进行全面检查。

3.0.3 水工建筑物水下检测工作，应与水工建筑物安全定检周期、水流冲刷影响、突发自然灾害等情况相关联，一般由运营单位提出检测任务的需求，根据工程实际情况定期或不定期开展。对于常年水下发电、泄洪部位，每年应进行 1 次水下检测；对于应急突发情况，应在短时间内采用多种检测技术高效地完成水下检测，查明水工建筑物水下表观状态或外观缺陷的分布范围。

3.0.4 水下检测技术，以指导水工建筑物安全运行和后续水下修复施工为最终目的，不同于水下地形测绘、测量技术，水下缺陷检测需有较高的定位精度，平面和高程系统定位误差应为 cm 级。水面定位技术需符合 GB/T 18314 的相关规定；水下定位技术如惯性导航联合多普勒计程仪、水声定位系统需进行仪器的精度和稳定性验证、校准，也可采用相对定位或测算定位，需根据作业环境的通视情况对采用的组合定位技术进行选型。随着 VR 技术的发展，目前已有将虚拟现实技术、水下检测作业场景、检测搭载平台与传感器相结合

的技术手段研发，可实现在虚拟场景中辅助操控的可视实时定位。

3.0.5 水工建筑物水下检测作业属于专业性较强的工作，工作过程中存在安全风险，需要由经过系统、专业培训的检测人员开展相关的检测工作。水下检测工作的全过程需要符合相关规定中各项程序、措施、方案的要求。

3.0.6 水下检测仪器设备应满足技术指标的要求，由岸上供电、水域作业中的设备应绝缘良好、须设有漏电保护装置。针对不同工程部位开展检测作业时，采用的仪器设备应满足检测作业精度的相关要求，仪器设备的精度指标应有相关的证书或证明材料。水下作业使用的设备应及时维护保养，每次作业结束后，声呐元件、探头应用淡水冲洗、清拭干净，减小水体对仪器设备的损耗。

3.0.7 由于水下检测具有一定的安全风险，检测工作需保证水下作业仪器设备和人员的安全。检测开展前除应编制检测方案外，还应编制安全应急预案，预案中应根据水域环境、作业条件，识别和分析水下检测的安全风险，提出防范控制措施和环保措施。对于工况复杂、作业安全风险较大的水下检测作业，应组织专家进行论证。

3.0.8 水下检测工作的全过程需要符合相关规定中各项程序、措施、方案、指标的要求。确保检测工作程序有序、检测数据可追溯。检测工作措施包括人员培训、质量及安全措施、设备工具要求等，确保检测工作各个环节可靠。方案和检测指标的制定有助于确保检测工作的一致性和可比性，同时为检测成果质量控制提供保障。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 水工建筑物水下检测普查和详查涉及到的检测技术主要为水工建筑物水下结构表观、表面状态检测。针对混凝土结构内部缺陷如不密实、空洞、内部钢筋锈蚀、保护层厚度不足等缺陷检测，因受水下检测技术发展的制约，目前仍是国内外待研究解决的前沿技术难题，本标准中暂不对此类内部缺陷的水下检测技术做相关规定。

4.1.2 水下检测技术采用的仪器设备，需保障其作业安全的基础上，符合极限作业水域环境的要求，对于超出仪器设备作业安全要求的水域环境，谨慎下水检测，待具备作业条件后再开展水下检测作业，以防对硬件设备造成损伤。水域流速对水下检测的搭载平台提出具体要求，若流速过快的水域，搭载平台的抗流能力不足，容易造成设备损失，故为了保证无人船、潜水器的作业安全，根据行业内主流仪器设备的抗流指标，提出作业水域的水流速不宜大于 1m/s，实际开展作业的过程中，对不同水流速的水工部位进行水下检测时，可根据作业设备的抗流能力对仪器设备进行选型。

4.1.3 检测搭载平台为水下检测技术的应用提供了更加便利的路径，传统检测技术常用有人船艇、潜水员，其作业方式已有较为成熟的技术规范。无人船和潜水器为我国近年兴起的新兴技术，从军事、海域逐渐发展成熟，目前行业内、国内外也已有相关地形测量、操作用业规程，但针对水工建筑物水下检测，无人船和潜水器在水下建筑物结构检测使用过程中，受建筑物的布置、水域水质及流速等作业环境因素限制，在适用性和使用方案上不同于海域作业，经多家单位在水利水电工程运行期水下检测中总结了 5 年的工程实践经验，梳理出无人船和潜水器在水工建筑物水下检测中需根据不同的作业目的、作业环境、作业条件进行选型，以及工作布置的相关条款，本标准中在附录 C 作了逐项规定。

4.2 多波束声呐技术

4.2.1 多波束声呐技术用于水下三维扫测，常用的多波束声呐技术为多波束测深声呐、三维多波束声呐、隧洞版多波束声呐。多波束测深声呐可联合 RTK（实时动态差分 real time kinematic，利用基准站和流动站之间的实时数据链路和载波进行相对定位快速解算技术）、PPK（动态后处理差分 post processed kinematic，利用载波相位进行 GNSS 事后差分）定位技术通过水深探测完成水下地形、水下结构物体型表观检测，但卫星定位精度受高耸的水工建筑物遮挡会影响数字信息的采集。三维多波束声呐可用于狭窄流道、闸门前等水域的扫测，扫测方式可分为测站式或移动式，测站式主要通过特征点定位，移动式主要通过惯导或水声通讯定位。隧洞版多波束声呐用于隧洞、管道等有限空间的扫测，主要联合惯导系统完成水工隧洞或管道三维数字信息采集。

4.2.2 多波束声呐的分辨率对水工建筑物水下检测的精度影响较大，通常，多波束测深声

呐的距离分辨率较三维多波束声呐、隧洞版多波束声呐的分辨率低，但考虑到检测数据的质量，投入的多波束声呐设备距离分辨率需不大于 2cm。

4.2.3 多波束声呐技术的工作布置，对于不同的作业场景，测线布置有不同的要求。需根据检测对象和检测目的划分测区，根据水工结构布置和水域水流环境布置测线。

1 对于数据采集时的航行速度，需予以控制。在洞室水域，潜水器搭载三维多波束声呐、隧洞版多波束声呐在水下检测时，潜水器的航行速度需控制在最低航速，通过水上监控平台获取的数据采集画面缓慢移动采集。在开敞水域，检测数据采集过程中，对测量船的航行速度需进行实时监控，测量时的最大船速按照下式计算确定：

$$v = 2 \times \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times (H - D) \times N$$

式中：

v-最大船速，单位为米每秒（m/s）；

α -纵向波束角，单位为度（°）；

H-测区内最浅水深，单位为米（m）；

D-换能器吃水，单位为米（m）；

N-多波束的实际数据更新率，单位为赫兹（Hz）。

5 移动式多波束测深系统，相邻测线的检测数据需有一定程度的搭接覆盖，有效测深宽度根据波束扫测宽度范围、测区水深、水流速度而定。

6 测站式三维多波束声呐，通过水下特征点或放置的水下特征标靶进行水下采集数据的拼接，相邻测站的检测数据需覆盖同样有效探测距离的特征点区域，有效探测距离根据扫描测站位置、扫描角度及量程设定而定。

7 测线长度，跟水工建筑物的结构布置、水流情况、卫星定位数据质量和测深系统异常警告发出情况有关，若发生测深系统姿态补偿数据异常、卫星定位数据漂移，或即将进入水流流速过大的危险区域，均需停止测线的采集。水工建筑物水下检查测线，需根据被测面的走向，在转向时需断开采集测线，控制好方向和船速后再记录新的采集测线，并且，需考虑正向、反向波束采集有效数据。

8 校准测线，需符合多波束测深系统操作手册中有关校准测线的布置相关标准，选取用作校准测线的区域，需具备有平坦区域、地形起伏、地物结构的特征，目的是为了保证同一天的采集测线，能有统一的校准值去反应地形或水下结构物的特征。

11 水工建筑物陡立面、拐角、垂角扫测时，数据采集收到多次回波折射的影响，会存在局部数据缺失的情况，此时需根据实际情况，增大增益、强度等参数设置，调整作业搭载平台距离结构面或角落的距离，多次、多向采集，从而获得完整的结构表观数据。

4.2.4 多波束声呐的数据处理，需符合制图规范，展现水下地形、结构的分布特征，需具备相关的里程、坐标、高程或水深、周边结构物、缺陷范围与尺度等特征，局部放大图、三

维图需标明水流方向、相对位置关系。

4.3 侧扫声呐技术

4.3.1 侧扫声呐技术主要用于获取地貌影像、水下结构物表观影像信息，通过高效、快速的普查扫测，提供影像数据辅助多波束声呐数据采集与解释，也可单独使用，先快速获知水下结构影像特征及缺陷存在范围，再与潜水器联合详查缺陷。对于混凝土裂缝，侧扫声呐技术难以判别缝宽或缝面析出物附着的影响，经多次、高频覆盖，若发现异常或缺陷范围，需结合成像声呐和水下摄像的结果综合判定。对于隧洞、涵管类水工建筑物，体型特征为圆形或马蹄形，侧扫声呐通过测算探头至水底、结构物表面距离，形成的反射强度影像条带会产生多个角度影像叠加假异常，无法有效识别缺陷情况，故侧扫声呐不适用于此类水工结构物的检测。

4.3.2 侧扫声呐的系统配置，除了考虑水下地形地貌的采集配置外，还需考虑到水下结构物缺陷检测时系统配置需具备的要求。

4.3.3 侧扫声呐的工作布置，主要与声呐换能器安置方式、测区水深、被测面的结构布置及水下特征物距换能器的距离有关。

1 侧扫声呐测线间距，需根据设备量程、水深等因素综合考虑。当要求 100%覆盖时，测线间距为 $D \leq 2nR$ ；200%覆盖时，测线间距为 $D \leq nR$ 。D 为测线间距（m），R 为选用的侧扫声呐量程（m），n 取值依据航向误差和位置精度而定，一般 ≤ 0.8 。扫测重叠宽度一般按下式计算：

$$S_0 = 2\sqrt{E_0^2 + m_1^2 + m_2^2} + E_1$$

式中：

S_0 —扫测重叠宽度，单位为米（m）；

E_0 —测量船定位中误差，单位为米（m）；

m_1 —测量船测定拖鱼位置的定位中误差，单位为米（m）；

m_2 —定位点记入中误差，单位为米（m），格网记入取图上 1mm；

E_1 —测量船偏航的系统误差，单位为米（m），测量船航线与两定位点相连直线之间的最大横向位移，取图上 1mm。

2 拖曳式安装适用于水深较深的长条形水域，多用于水下地形的扫测；悬挂式安装适用于水工建筑物水下结构的扫测，不易与水下结构物发生碰撞，可设定入射角度，调整声呐换能器与被测面的距离。

3 侧扫声呐可搭载在无人船、有人船、潜水器上进行检测，搭载平台的航行速度会影响侧扫声呐的数据采集质量，过慢的航行速度会造成水下特征物的影像被拉长，过快的航行速度会导致水下缺陷特征尺寸被压缩或遗漏，难以分辨水下缺陷或特征物的真实存在情况，故最佳的航行速度一般控制在 1.5m/s~3.0m/s。

侧扫声呐在水下检测过程中，若产生船体、声呐换能器的晃动，可能造成采集的影像数据拉条严重，检测的水下特征物或缺陷影像畸变或重影，无法准确判断缺陷的形态特征。

8 侧扫声呐在针对水工建筑物的陡立面、倾斜面检测时，为保证两个声呐换能器采集数据的质量，首先需将换能器旋转一定角度，尽可能与陡立面、倾斜面平行，避免存在交角产生的影像叠加对数据质量的影响。

9 采用悬挂式安装，使声呐换能器尽可能靠近被测面，是为了减小盲区条带，尽可能呈现水面至被测面底部的影像全貌，获取稳定、清晰的数据影像条带。

4.3.4 侧扫声呐数据处理主要是对水下结构影像进行定位和解释，对于多条测线的覆盖检测，可通过专业软件进行镶嵌处理，以展示水下地形或结构全貌。

4.4 成像声呐技术

4.4.1 成像声呐用于水下的二维、三维成像，主要用于详查阶段，包括前视声呐、二维图像声呐、多频数字图像声呐、三维全景成像声呐、三维实时成像声呐，三维全景成像声呐即同测站式三维多波束声呐，通常安置于潜水器上，可通过固定杆件安置在水面搭载平台上，也可通过潜水员手持。

4.4.2 成像声呐系统配置除了固定支架、采集传输控制系统外，还包括辅助定位系统。

4.4.3 成像声呐的工作布置，主要根据使用用途、被测面结构特征而定，因主要是用于详查阶段，布置原则遵循由远及近、由整体至局部的工作思路。

4.4.4 成像声呐数据采集记录很关键，是数据后处理和数据解释的核心，在发现异常或缺陷的时刻，需进行时间和相对位置的记录，也可专门对异常或缺陷进行单独的采集记录。

4.4.6 针对实施过程中不能及时发现、或通过数据处理后无法改善的问题，应重测，主要包括下列问题：

- 1 声束入射角度偏大导致成像不清晰。
- 2 声呐杂波影响外观缺陷影像的识别。
- 3 成像声呐录制视频时间过长卡屏，或溢出储存空间内存等原因造成未成功录存。

4.5 光学成像技术

4.5.1 空气中的光学成像技术已经比较成熟，但在水下环境中能见度却非常有限，主要原因是水对光的散射、折射和水中杂质的影响。水工建筑物水下检测光学成像技术主要包括水下可见光成像、水下激光成像和水下红外成像，本节中光学成像技术主要指水下可见光成像，水下红外成像在实际水工建筑物检测中应用较少，水下激光成像相关要求见 4.7。

水下检测中光学成像需抵近观察，补足光源，浑水域中建议使用浑水摄像机，光照较弱的环境建议使用微光摄像机。

4.5.2 为确保光学成像检测精度，水下检测光学摄像要求分辨率不低于 200 万像素，即需使用 1080p 及以上的光学摄像头。

4.5.3 根据水工建筑物水下检测经验，深水环境下，水下光学成像的质量主要受限于两方面：一是光源的亮度和摄像头与目标物间的距离，二是水质的清澈程度。当光源亮度不足，或水中悬浮物影响成像质量时，需及时调整光源亮度，或待悬浮物沉淀后再实施检测。

4.6 浅地层剖面技术

4.6.1 浅地层剖面技术是在测深技术的基础上发展起来的，多用于近海工程勘察的地球物理探测技术。近十多年来，在水利工程领域主要用于坝岸工程水下基础探测，是水下地层探测、水下抛石、淤积检测的主要技术手段。常用于黄河流域的根石、水库及河道淤积、堤防抛石探测等方面。当水工建筑物底板表面有淤积或堆积物时，也可通过该技术探测混凝土表面的冲刷剥蚀情况。浅地层剖面仪可通过水面搭载平台进行固定式安装或拖曳式安装，检测要求需符合 HY/T 253 的相关标准。

4.6.2 浅地层剖面系统配置主要来源于现有主流的设备硬件参数。垂直分辨率与发射和接收的频率相关，只有在高频段工作时才能获得高分辨率，在水工建筑物检测中，适用的频率范围为 2 kHz ~15kHz。

4.7 水下激光技术

4.7.1 水下激光成像技术起源于海域水下检测，适用于水质清澈、无悬浮杂质的水域环境中，现国外研发的水下激光成像仪最大测程为 15m，可用于水工建筑物水下混凝土结构、金属结构局部外观缺陷的三维形态、空间信息的重建。

4.7.2 水下激光成像仪系统配置主要由扫描传输控制系统和辅助传感器组成，扫描仪精度和分辨率主要来源于现有的设备硬件参数。

4.7.3 水下激光成像仪工作布置因考虑到采集数据受到水体透明度、环境光线、被测物表面材料、设备稳定性以及扫描仪到目标的距离等因素影响，实际作业中，需对影响数据采集的各种因素进行分析，尽可能减少外部环境对激光成像作业的影响，获取高质量的点云数据，为后续建模和测量提供更精确的数据。

5 检测准备

5.1 一般规定

5.1.1 水下检测准备工作需要完成以下任务：

- 1 确定检测区域：根据项目要求或任务目标，确定需要进行水下检测的具体区域。
 - 2 考察环境条件：考察水体的深度、流速、透明度、水下能见度等因素，以及水下结构的位置、形状、尺寸等信息。
 - 3 评估安全风险：评估和记录与水下检测相关的安全风险，包括潜在的危险物质、水下障碍物、不利天气条件等。评估安全风险可以为后续的工作安排和安全措施提供依据。
 - 4 资料收集：获取与水工建筑物水下结构相关的工程资料，包括设计图纸、结构参数、施工记录、历次检测情况等。分析关于结构形态、构造特征和可能存在的问题的信息，指导水下检测的目标和方法选择。
 - 5 确定实施方案：根据现场踏勘的情况和任务要求，编制适合的实施方案。包括使用的设备、工具和技术，以及测线测点的位置和数量等。
 - 6 检测仪器设备检查应在检测工作之前以及实际检测过程中进行，检查内容应包含：检测设备清单核对、外观检查、电源检查、通电测试、功能测试、校核和检验、数据存储和传输测试、安全检查、使用记录检查、维护和保养。
- 5.1.3 对于水下检测技术安全风险较大和存在严重问题的复杂工况，如水流流速大、水深深度大、水工结构布置复杂或水下存在涡流、吸卷等复杂水域环境，以及已知存在严重渗漏、泄洪冲毁、库岸滑坡坍塌的水工建筑物，开展水下检测时，需制定针对复杂工况下的检测实施方案、安全专项方案或应急预案，通过现场踏勘、复核作业区域条件，完善技术实施方案及应急处置措施。

6 检测作业

为了更有效的指导水下检测工作的开展，本章在对工程检测对象分类时，从水下检测实际工作开展的角度，根据检测水域范围和水下定位特点进行分类，检测对象基本涵盖了在水下检测实际工作中可能遇到的水工建筑物，分类基于以下考虑：

1) 堤坝：大坝、堤防、岸坡等——开敞大空间水域，包括土、石、混凝土材质，主要关注塌陷、冲淤、渗漏、裂缝等坝面缺陷情况和岸坡稳定性。

2) 闸站：水闸、船闸、泵站、水电站等——开敞、半开敞或洞室等小空间水域，混凝土、砌石和金属结构材质，主要关注混凝土结构或金属结构是否有效、安全运行。

3) 消能工：消力池、海漫、尾坎、分流墩、溢洪道等——开敞小空间水域，石、混凝土材质，主要关注冲蚀、淘蚀等缺陷情况。

4) 隧洞及涵管：水工隧洞、倒虹吸、涵管等——封闭小空间水域，混凝土、钢衬材质，主要关注在高压水流和外部围岩压力作用下的运行状态。

5) 渠道：渠道、渡槽等——开敞水域，土、石、混凝土材质，主要关注塌陷、冲淤、根石、抛石、外观缺陷情况。

6.1 一般规定

6.1.1 水工建筑物水下检测作业难度大，环境条件相对复杂，现场作业时，一般采用“普查+详查”的思路，既可掌握水工建筑物水下部分整体的表观状态，又可对病害或隐患点开展详细检测。实施过程中，通常先采用声呐获取检测范围内整体的表观信息，确定异常或缺陷范围，再采用水下目视或光学成像技术进行局部的观测与检测。

6.1.3 观察闸门、护坡等具有结构构造线的水下建筑物时，一般沿构造线、边墙、易受损部位详细观察。观察水平分布的消力池、堆石坝面板时，需布置测网，沿测线观察。观测过程中发现建筑物缺陷部位需做好记录，便于详查时进行重点观察和定位，需准确记录探查时间、空间位置、异常特征等信息。判断缺陷尺寸一般利用激光标尺或其他带有刻度的参照物。

6.2 堤坝

6.2.1 从水下检测技术适用性的角度，在大坝、围堰、堤防、岸坡等开敞水域开展水下检测时，采用的检测和定位技术相同，检测工况基本类似，故将大坝、围堰、堤防、岸坡等拦水开敞水域归为堤坝类建筑物。

6.2.3 主要检测项目为外观缺陷，如破损、冲蚀、裂缝、露筋、土工膜鼓包等，以及结构形态、状态等。对于坝前地形及淤积、渗漏等情况可参照以下介绍。

6.3 闸站

6.3.5 目前对于水闸水下检测的常规主要方法为潜水员潜水探摸或水下摄像方法，潜水员作业受制于环境条件影响，作业深度有限，且作业时间短，探摸描述时存在主观因素。

随着新技术的发展，主要利用水下机器人搭载声学及光学传感器的方法对水闸水下结构进行检测。在水下能见度较高时，可以选择高清摄像头进行检测。当水下能见度低时，可先进行水下声呐普查，通过普查结果确定水下结构异常或疑似存在异常区域，再利用摄像头对异常区域进行详查，能见度差时水下机器人在进行检测时要尽可能贴近目标，确认异常的形态、尺寸和发育走向等。

也可利用水下三维声呐系统对水闸水下结构进行全覆盖三维扫描，通过点云成图模式，将水下结构物表观形态展现出来。通过对三维声呐系统成果分析，查明水闸水下结构及周边结构是否存在异常。根据分析结果，利用水下机器人对结构异常或疑似存在异常区域进行局部详查。

对闸门门槽检测一般采取在下游做围堰、潜水员携带摄像头下潜或水下机器人搭载高清摄像头的方式进行。下游做围堰检查尾水闸门槽不仅机组停机时间长，且成本较高。潜水员携带摄像头下潜虽然可以观察门槽，但因门槽结构特殊，对潜水员的素质要求高，且具有较大的安全风险。采用水下机器人搭载高清摄像头的方式不仅成本低，而且安全风险低，逐渐成为首选方式。采用该方法检测可以清晰获得门槽的状态，同时配合激光标尺，还可较为准确地测得缺陷的尺寸。

6.4 消能工

6.4.1 根据多年来开展水下检测工作的成果和经验，泄水和消能建筑物在高速夹砂水流作用下易受冲刷破坏，查明这些建筑物的缺陷及水下淤沙形态对确保其健康运行尤为重要。检测对象主要包括消力池、海漫、尾坎、分流墩、溢洪道等。

6.5 隧洞及涵管

6.5.1 从水下检测和水下定位技术适用性的角度，对于隧洞、涵管、调压室等隧洞及涵管类建筑物的水域，开展水下检测时，采用的检测和定位技术与开敞水域不同，故将引水、输水、泄洪、尾水等水工隧洞、调压室、倒虹吸、箱涵、暗涵等归为隧洞及涵管类建筑物。

隧洞类工程普遍具有围岩地质条件复杂、洞线长、洞径大等特点，长期运行可能会出现裂缝、坍塌、露筋、混凝土剥落等缺陷，如不及时检查并处理可能会严重影响工程安全运行。常规放空检查存在成本高、风险大、效率低等突出问题，部分工程甚至不具备放空检修条件。受水工隧洞空间封闭、结构异型、高水压、弱光等复杂环境条件限制，潜水员水下检查面临人身安全风险，存在检查效率低、作业范围受限等问题。为及时、全面掌握水工隧洞结构运行状况，需采用水下检测技术方法进行常态化检查。

6.5.4 水工隧洞结构型式多变，水体能见度低，水下摄像视角窄。为实现大直径隧洞内壁全覆盖检测，可采用声呐扫描普查和光学摄像详查相结合的隧洞全覆盖检测方案，即先通过声学检测为主、光学检测为辅的方式快速普查并判断缺陷规模和部位，再通过 ROV 抵近缺陷部位做进一步光学摄像详查、勘验。高精度声呐扫描是普查的关键。采用三维扫描声

呐系统，可实现隧洞结构的实时三维扫描并提供连续的高分辨率图像，实时创建一个密集的三维点云图像，清晰展示隧洞结构细节，以进行缺陷评估。通过多波束三维成像声呐全覆盖扫描，解释分析后对重点关注部位进行 ROV 抵近摄像、激光测距等精细量测，从而实现水工隧洞更高精度的表现全覆盖高效检测。

6.6 渠道

6.6.3 侧扫声呐法是对水底地形进行扫描探测，可清晰反映水下出露部分抛石体的位置和形态，可辅助探测抛石区范围及淤积情况，适合水下抛石体未被覆盖情况下对其形态的快速扫描，但该方法只能成像，无法提供三维坐标数据。多波束测深适合于水下抛石形态的扫描，可精确测量水下三维地形和坐标，适合于目标物形态检测和水下三维建模。

6.6.4 采用浅地层剖面系统开展水下根石或抛石状态探测时，由于河水、沉积泥沙、根石或抛石界面之间存在着很大的波阻抗差异，当声波入射到水与沉积泥沙界面及沉积泥沙及根石界面时，会发生反射，但如遇泥沙含量大的浑水介质，该差异将不明显，需根据河床底部沉积泥沙、硬泥等物性参数变化，调整相应探测参数。为保证探测结果的可靠性，可采用人工锥探方式开展浅地层剖面探测结果复核。

6.6.5 1 在传统的水道地形测量中，一般采用单波束测深系统。测深前需要垂直水流方向预置计划线，成图比例尺决定了计划线的间隔以及计划线上的测点间距。在地形起伏变化较大处，一般需加密计划线或采用其他的布线方式，受人为因素影响较大，对测量人员经验要求较高。总体来说，针对水下测量地形精度要求较高且地形变化较大的区域，单波束测深系统难免会漏测特征点，无法精准反映真实地形。在成图后，一般还需凭借经验对疑似漏测区域进行补测，无形之中增加了大量的工作及不确定因素。

采用多波束测深系统时，一般沿水流方向布设测线，相邻测线间有一定的重叠区域，从而保证了对水下地形的全覆盖测量。通过内业数据处理，可在点云数据中提取各种比例尺与各种密度的数据，一次测量可以形成多种比例尺的成果，大大地提高了测量效率，节省了测量时间。

2 河道根石或抛石探测作业范围小，坝垛附近流态复杂，布设测线困难，现场探测时可根据现场条件灵活布置测线。

7 检测报告

7.1 数据处理与资料整编

7.1.2 水下检测成果的整编应依据项目合同、任务书、检测方案、工作调整批复等文件进行，需符合水下检测技术数据处理、图件制作的相关标准，遵循普查与详查的检测思路，在成果数据图件表达上需侧重反映各类成果的检测特征，并对检测精度、缺陷级别、检测效果等进行相应的评价，且需根据数字化管理的需求，建立三维数字化档案以便于后期成果的查询与数据调用。

7.2 报告编制

7.2.2 检测成果与分析，需对比往年检测数据成果、设计竣工资料，从平面图、断面/剖面图、三维体量方面进行分析对比。进行精度评价时，因水下检测工作为非直观可视的检测，检测精度除与检测仪器设备的本身精度、分辨率有关以外，还与检测人员在数据采集过程中的工作布置、参数设置、搭载平台性能与操控有关，故水下检测需对采集数据的精度、多种方法互相验证的准确度作出客观的评价，可考虑从数据的中误差、标准差、点密度、定位精度等方面提供评价依据。