

ICS 93.160

CCS P 55

团 体 标 准

T/CDSA 305.26--2022

水工建筑物水下缺陷检测技术要求

(Specification for Underwater Defect Detection of
Hydraulic structures)

2022-06-10 发布

2022-06-10 实施

中国潜水打捞行业协会

发 布

目 次

前言	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 一般要求.....	3
5 水下检测技术.....	4
5.1 一般规定.....	4
5.2 多波束声呐检测技术.....	5
5.3 侧扫声呐检测技术.....	7
5.4 成像声呐检测技术.....	9
5.5 水下目视与光学成像检测技术.....	10
5.6 水下激光检测技术.....	11
6 混凝土结构缺陷水下检测要求.....	12
6.1 一般规定.....	12
6.2 混凝土结构外观缺陷水下检测要求.....	12
6.3 混凝土结构裂缝水下检测要求.....	14
6.4 混凝土结构渗漏水下检测要求.....	15
7 金属结构缺陷水下检测要求.....	16
7.1 一般规定.....	16
7.2 金属结构外观形态检测要求.....	16
7.3 金属结构厚度检测要求.....	17
7.4 金属结构内部缺陷要求.....	18
附录 A（规范性）水下潜航器技术要求	20
附录 B（规范性）无人船技术要求	22
参 考 文 献.....	24

前 言

本文件按照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。

本文件由中国潜水打捞行业协会提出，本文件由中国潜水打捞行业协会归口。

本文件起草单位：中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司、杭州华能工程安全科技股份有限公司、雅砻江流域水电开发有限公司、清华四川能源互联网研究院、中电建(广东)工程监测检测技术有限公司。

本文件起草人：陈永灿、周梦樊、来记桃、吴方旻、聂强、孙红亮、王皓冉、胡洋、李乾德、冉健、陈思宇、李永龙、彭望、武致宇。

本文件为首次发布。

水工建筑物水下缺陷检测技术要求

1 范围

本文件规定了水利水电工程、水运工程、引调水工程、航道及港口工程等水工建筑物水下缺陷检测的一般要求、水下检测技术以及混凝土结构和金属结构缺陷水下检测要求。

本文件适用水工建筑物水下混凝土结构和金属结构缺陷检测的技术选择及应用。

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。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

NB/T 10227 《水电工程物探规范》

SL 734 《水利工程质量检测技术规程》

SL 713 《水工混凝土结构缺陷检测技术规程》

DL/T 5251 《水工混凝土建筑物缺陷检测和评估技术规程》

JTS 239 《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》

JTS 304 《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范》

JT/T 790 《多波束测深系统测量技术要求》

CH/T 7002 《无人船水下地形测量技术规程》

JT/T 1362 《侧扫声呐测量技术要求》

GB/T 18314 《全球定位系统（GPS）测量规范》

CH/T 2009 《全球定位系统实时动态测量（RTK）技术规范》

JJF 1334 《混凝土裂缝宽度及深度测量仪校准规范》

JB/T 11604 《无损检测仪器超声波测厚仪》

SL 751 《水工金属结构声发射检测技术规程》

SL105 《水工金属结构防腐蚀规范》

SL635 《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准-水工金属结构安装工程》

GB/T 11345 《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》

- GB/T 26951 《焊缝无损检测 磁粉检测》
- NB/T 47013.4 《承压设备无损检测第4部分：磁粉检测》
- T/CDSA 305.22 《水下钢结构交流电磁场裂纹检测规程》
- T/CDSA 305.23 《水下工程声呐渗漏检测技术规程》
- JT/T 746 《无人遥控潜水器协同潜水作业要求》
- GB 26123 《空气潜水安全要求》
- GB 28396 《混合气潜水安全要求》
- HY/T 225 《载人潜水器下潜作业规程》

3 术语和定义

3.1 多波束声呐技术 multibeam sonar technology

根据声呐阵列系统反射的回波信号水深信息，集成定位、姿态、罗经等修正，获取水下地物表现三维空间形态、数字信息的技术。

3.2 侧扫声呐技术 side-scan sonar technology

根据回声信号图像识别水底或水下被测物声学影像的主动声呐，检测水下物体表现形态、沉积物类型的技术。

3.3 成像声呐技术 imaging sonar technology

利用声学原理与图像分析技术获取物体方位、大小、形态等信息，实现目标探测与避碰的技术。

3.4 水下激光技术 underwater laser technology

利用蓝绿波段的脉冲激光发射的扇形光束，通过同步扫描技术逐个像素点重建图像，在清澈水域近距离精细检测水下结构物或缺陷尺寸特征的技术。

3.5 渗漏检测技术 leakage detection technology

利用测流、测渗压、测电流场、测温的勘探方法，对水下结构渗漏源头、渗漏形式、渗漏通道进行检测的技术。

3.6 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高强度水下作业、不能到达的深度和危险条件下的水下检测、探查作业的水下机器人。

3.7 无人船 unmanned vehicle

无人船是一种可远程遥控、借助精确卫星定位和自身传感器可搭载声学、光学传感器按预设任务在水面航行的水面机器人。

4 一般要求

4.1 检测对象

水工建筑物水下检测对象可为某个水下工程部位或整个水利水电枢纽的水下部分。

4.2 检测内容

水工建筑物水下缺陷检测应查明水工建筑物混凝土结构所存在的外观缺陷、裂缝、渗漏情况，以及金属结构外观形态、厚度、损伤情况。

4.3 检测技术要求

水工建筑物水下缺陷检测应根据检测目的、实施对象、工程状态、水域环境及检测指标要求等，制定适宜的单项技术手段或多项联合检测技术方案，清晰、准确地反应待检水工建筑物的缺陷现状，实现高效、准确检测。

4.4 金属结构内部缺陷检测技术要求

水下超声波测厚技术、水下磁粉探伤技术、水下交流电磁场检测技术是针对金属结构锈蚀、裂纹、内部缺陷等检测方法，应执行 JB/T 11604、SL 751、GB/T 26951、NB/T 47013.4、T/CDSA 305.22 规范的要求。

4.5 水下检测定位要求

水工建筑物水下缺陷检测定位，宜优先选用国家 2000 大地坐标系，对于有当地坐标系的应转换至当地坐标系。缺陷定位除需提供大地坐标或平面坐标外，应提供里程桩号、高程、深度、相对距离等定位信息。

4.6 水下检测频次

水工建筑物水下缺陷检测的频次应符合以下要求：

- a) 水工建筑物水下缺陷检测的频次不应大于其安全定检周期，间隔不宜大于 5 年。
- b) 对于坝前进水口易淤部位、常年受水流冲刷或发现缺陷隐患的部位，宜在每年汛后进行水下检测，及时观察淤堵或缺陷发展情况，为水工建筑物运行调控提供指导意见。
- c) 当水工建筑物出现危及工程安全的问题或其周边出现洪汛、地震等自然灾害时，应及时通过水下检测查明水下现状及缺陷分布情况。

4.7 水下检测安全要求

水工建筑物水下缺陷检测工作应遵守水利水电工程、水运工程、引调水工程、航道及港口工程等工程检测行业领域相关的安全作业规定。

4.8 水下检测人员资格要求

检测工作应由持有相应检测、测绘资格证书的专业人员进行，确保现场数据采集、资料分析与检测成果符合相关要求。

4.9 水下检测仪器设备要求

4.9.1 水下检测仪器设备应满足性能稳定、构件牢固可靠、防水、耐压、抗震和绝缘性能良好等要求，并应符合下列规定：

a) 应按仪器设备的使用频次、检验周期和技术指标进行定期维护、检定精度，记录检验结果，并出具有效检定（校准）证书。

b) 水下检测的仪器和设备指标精度，应符合各类仪器设备水下检测、水下测绘中的相关要求。

4.9.2 水下检测仪器设备的作业环境应满足下列要求：

a) 作业水流应符合载具抗流性能的要求，水流不宜大于 2 节。

b) 作业水深应符合仪器设备最小量程范围的要求，水深不宜小于 1m。

c) 作业水温应符合仪器设备适用温度的要求，不宜超过-10℃~40℃的范围。

4.10 水下检测作业及成果要求

水工建筑物水下缺陷检测应真实、直观的反映水工建筑物缺陷现状，遵循以下原则：

a) 水下检测工作宜先区域范围性普查，后局部精细化详查，普查应能检测出缺陷分布情况、具体位置，详查应能检测出缺陷性质、规模、精细形态等；

b) 水下检测工作应始终处于水上指导和监督之下。

c) 水下检测工作宜采用多种检测技术或方法相互对比、验证，保证检测成果的一致性。

5 水下检测技术

5.1 一般规定

5.1.1 检测技术应符合作业水域、水流情况和作业适用范围的要求，应符合相关的安全作业规定。

5.1.2 水工建筑物水下缺陷检测技术，以指导水工建筑物安全运行和后续水下修复施工工作的有效开展为最终目的，不同于水下地形测绘、测量技术，水下缺陷普查需有较高的定位精度，平面和高程系统实测定位误差应为 cm 级。水面定位技术应符合 GB/T 18314、CH/T 2009 的相关规定，不可采用 CORS、DGPS 定位技术；水下定位技术如惯导技术、水声通讯技术应进行仪器的精度和稳定性验证、校准，根据作业环境的通视情况进行选型。

5.1.3 检测技术宜遵循“全覆盖普查+局部详查”的技术思路，应先采用声呐技术或水下激光获取检测范围内被测物的表现信息，圈定异常或缺陷范围，再采用水下目视或光学成像技术通过声呐导引至缺陷部位进行局部的摄像、观测。

5.1.4 水下检测技术的实施，需借助水面载具和水下载具完成，水面载具包括载人船艇、无人船，水下载具包括潜水员、潜水器。潜水器、无人船作为多类检测传感器的搭载平台，其技术装备的先进性及复杂性对缺陷检测成果质量有决定性的影响，需根据不同的作业目的、作业环境、作业条件进行选型，不同于技术本身，潜水器、无人船技术要求在本文件附录 A、附录 B 中进行了规定。

5.1.5 水下渗漏检测技术常采用伪随机流场拟合法、水下工程声呐渗漏检测技术进行渗漏部位、类型的判定，检测技术要求包括系统配置、工作布置、数据处理及图件制作、须补测或重测的情况应符合 NB/T 10227、SL 713 和 T/CDSA 305.23 规范的要求。

5.1.6 水下金属结构的厚度和内部缺陷检测可采用水下超声数字测厚技术、水下超声探伤技术、磁粉探伤技术、水下交流电磁场检测技术和潜水器相联合，技术要求包括系统配置、工作布置、数据处理及图件制作等内容应符合 JB/T 11604、SL 751、SL105、NB/T 47013.4、GB/T 26951、GB/T 11345、T/CDSA 305.22 的相关规定。

5.2 多波束声呐检测技术

5.2.1 多波束声呐检测技术宜用于水工建筑物水下结构体型三维信息检测，常用于开阔水域或半封闭水域。

5.2.2 多波束声呐检测技术系统配置要求应符合下列规定：

- a) 输入设备应包括多波束测深仪、姿态传感仪、罗经、定位仪、声速剖面仪、潮位仪等。
- b) 数据采集设备应具备发射、接收换能器，监控设备应能实时监控采集数据的状态、有效性和各个输入设备的信息流稳定性。
- c) 数据采集软件应具有实时跟踪航迹、采集定位、测深、姿态等数据，以及调节发射、接收信号强度等功能。
- d) 多波束声呐最大量程不宜低于 300m，最大耐压水深不宜小于 100m。
- e) 多波束声呐的波束大小或量程分辨宽度应不大于 $0.5^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，波束条带宽不宜大于 15° ，距离分辨率不宜大于 2cm。

5.2.3 多波束声呐检测工作布置除应符合 JT/T 790 的规定外，还应符合下列要求：

- a) 测线布置应涵盖测量准确性测线、检测测线、校准测线的布置。

b) 测线布置方向宜选择平行于等深线的走向、水工建筑物轴线方向布设，测区内应覆盖“井”字形的探测测线，相邻测线重合覆盖应大于 20%。测线应尽量平直，可随水工建筑物的形状变化而平缓弯曲，调头转向时应暂停数据的采集。

c) 多波束声呐测线间距，主测线的间距应不大于有效测深宽度的 80%。在重点检测水域，测线的间距应不大于有效测深宽度的 50%。有效测深宽度根据仪器性能、回波信号质量、测区水深、水流速度、测量性质、定位精度、水深测量精度以及水深点的密度而定。

d) 作业过程中，测量船速不宜大于 5 节，对测量船的航行速度应通过采集监控软件进行实时监控，测量时的最大船速计算公式如下：

$$v = 2 \times \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times (H - D) \times N \dots\dots\dots (1)$$

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）。

e) 针对不同水工建筑物结构面，如平面、立面、斜面、垂直角，应适当加密声呐测线并调整声呐检测信号的参数，以获得高质量数据。

f) 对于水工建筑物数据采集过程中发现的局部缺陷，应加密局部缺陷及周边范围的检测测线，并宜调整测线方向进行多方向扫侧。

5.2.4 数据处理、图件制作除应符合标准 JT/T 790 的规定外，还应符合下列要求：

a) 应做好每条测深线的编辑情况、数据处理的参数及异常点的检查记录。

b) 绘制水工建筑物水下数字地形模型图、水深图，应能反映被测区水工建筑物水下结构现状特征。

c) 绘制水工建筑物典型结构或缺陷三维实测多视角点云成果图，应与原结构面对比分析缺陷体量的变化。

d) 绘制水工建筑物水下典型剖面图，水下典型剖面宜经过缺陷部位，体现剖面处形态变化特征。

e) 绘制水工建筑物典型缺陷解译成果图，应标注水流方向、周边结构物名称、里程桩号、特征高程信息。

5.2.5 资料检查中发现下列问题时应进行补测或重测：

- a) 测量区域内水深漏空或相邻测深线的重叠带宽度不符合规定；
- b) 相邻测深线或不同测量日期所测水深拼接误差超限；
- c) 检测数据精度无法达到分辨最小缺陷的要求；
- d) 其他需要补测或重测的问题。

5.3 侧扫声呐检测技术

5.3.1 侧扫声呐检测技术宜用于快速普查结构物表面现状情况，可用于混凝土面板堆石坝及混凝土坝水下部分存在的面板塌陷、混凝土裂缝等缺陷检测，还可用于混凝土坝塌陷裂缝及堤防洪水期顶冲崩岸状况、观测水下地形、抛石护岸等，水库地质、微地貌调查、水下考古调查、搜救和紧急救援等。

5.3.2 侧扫声呐检测技术系统配置要求应符合下列规定：

a) 输入设备应包括导航定位设备、侧扫声呐换能器和其他辅助设备。换能器安装角应大于 15° 以避免水面的杂波反射。

b) 数据采集软件应有实时记录时间、航向、侧扫声呐数据、调整发射功率和回放等功能。

c) 数据处理软件应具有增益补偿、船速改正、镶嵌等基本功能。

d) 侧扫声呐最大量程不宜低于 150m，最大耐压水深不宜小于 100m。

e) 侧扫声呐的水平波束宽度应不大于 0.3° ，航迹方向分辨率不宜大于 $0.005 \times$ 换能器距水底的深度 (m)，垂直航迹方向分辨率不宜大于 1.25cm。

5.3.3 侧扫声呐检测工作布置除应符合 JT/T 1362 的规定外，还应符合下列要求：

a) 声呐换能器离被测面的高度应为所选量程的 10%~15%，换能器入水深度不宜小于测量船吃水 0.4m，水底起伏较大的水域，可适当调整高度。

b) 测线布置方向宜选择测区长轴方向、目标走向平行布置，或与目标走向的夹角小于 30° 。

c) 侧扫声呐测线间距，宜根据设备量程、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，不应大于 0.8。扫测重叠宽度应按下列公式计算：

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

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。

d) 作业过程中，测量船速不宜大于 3 节，应匀速直线行驶，避免急转弯，转弯掉头时，不应进行侧扫数据的采集。

e) 对于立面、斜面结构的扫侧，为保证完整呈现结构表观信息，宜调整换能器的角度与距被测面的距离控制回波影像的采集。根据待测目标大小、所处深度、结构特点、换能器高度等因素，应适当调整声呐检测信号参数，确保信号质量达到检测目的。

f) 在数据采集过程中，若采用拖鱼的方式，应时刻注意换能器的水深状态，换能器所处水深应与待检测水域水深、设备检测量程相匹配，避免换能器与水下结构设备发生碰撞。

g) 水下目标识别应根据不同测线进行确认，当目标被探测到两次以上即可判定目标存在。测线与目标的平距应满足目标分辨率的要求，并考虑定位中误差，应将目标置于有效扫测带宽的中间位置，并应缩小量程。

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

a) 应做好每条测线工作布置、参数配置情况、数据处理的参数及异常点的检查记录。

b) 对声呐回波数据进行增益补偿，使图像显示均衡，提取水下地面线，进行斜距改正。

c) 对船速变化造成的记录与实际地形的比例失调进行改正。

d) 根据船舶位置、拖鱼沉放深度、拖缆入水长度及方位等信息，进行拖鱼位置归算。

e) 绘制侧扫声呐普查影像成果图。

f) 结合水下地形有关数据和侧扫数据图像，进行解译判定，绘制声呐影像解译成果图。

g) 根据工作任务要求，可绘制具有地理坐标的影像镶嵌图。

5.3.5 资料检查中发现下列问题时应进行补测或重测：

a) 船体与侧扫声呐换能器之间的松动、晃动，影响数据采集的质量和效果；

b) 检测数据精度无法达到分辨最小缺陷的要求；

c) 其他需要补测或重测的问题。

5.4 成像声呐检测技术

5.4.1 成像声呐检测技术可用于水下混凝土构筑物表观缺陷详查、水下导航，适用于对目标的精准探测。分为二维成像声呐和三维成像声呐，二维成像声呐包括双频识别声呐、多波束前视声呐、合成孔径声呐，三维成像声呐包括三维全景成像声呐、三维实时成像声呐和三维合成孔径声呐。

5.4.2 成像声呐检测技术系统配置要求应符合下列规定：

a) 成像声呐数据采集系统应包括搭载平台、声呐检测传感器、通讯供电电缆、通讯供电模块及控制终端计算机等。

b) 数据采集软件应具有采集数据、测量目标尺寸大小、实时记录影像及回放等功能。

c) 二维成像声呐最大扫描距离不宜小于 15m，工作频率不宜小于 900kHz，最大耐压水深不宜小于 100m。

d) 三维成像声呐最大扫描距离不宜小于 10m，工作频率不宜小于 1300kHz，最大耐压水深不宜小于 100m。

e) 二维成像声呐的波束大小应不大于 $1^{\circ} \times 30^{\circ}$ 。

f) 三维成像声呐的波束大小应不大于 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，距离分辨率不宜大于 15mm。

5.4.3 成像声呐检测工作布置应符合下列要求：

a) 成像声呐技术的工作布置应遵循由远及近、由宏观至局部的原则，需控制所采集水工建筑物局部表观缺陷或异常影像在合适的测程范围内，可进行精细的表观影像采集，三维成像声呐应逐站采集空间数字信息。

b) 根据测区水域环境，应调整声速、强度、伽马值使其能分辨最小待检目标。

c) 根据被测建筑物的结构形态，应调整声呐的探头方向使其清晰展现结构物的表观特征。

d) 成像声呐数据采集时需做好测线记录，标记并描述缺陷或异常出现的时刻及性状。

5.4.4 数据处理、图件制作应符合下列要求：

a) 根据现场记录整理并归档成像声呐影像、视频资料，拼接空间数字信息资料。

b) 绘制水工建筑物结构成像声呐影像成果图。

c) 绘制水工建筑物局部缺陷或异常成像声呐影像解译成果图。

d) 必要时，可剪辑成像声呐视频影像并描述水下详查现状。

5.4.5 资料检查中发现下列问题时应进行补测或重测：

a) 三维成像声呐采集数据时搭载平台晃动造成数据无法拼接或改正。

- b) 二维成像声呐长时间未进行仪器校验，换能器内的杂波影响了被测目标的检测精度与效果。
- c) 其他需要补测或重测的问题。

5.5 水下目视与光学成像检测技术

5.5.1 水下目视与光学成像检测技术宜用于水工建筑物水下结构表观缺陷详查、观测，主要通过潜水员下潜或潜水器搭载作业的方式，适用于对基本确定的检测目标探摸、观察其表观性状。作业的安全要求应符合 JT/T 746、GB 26123、GB 28396、HY/T 225 的相关规定。

5.5.2 水下目视与光学成像检测技术系统配置要求应符合下列规定：

- a) 数据采集设备应包括搭载平台、摄像设备、照明设备、通讯供电模块、控制终端计算机等。
- b) 数据采集软件应具有实时记录、截图捕捉、回放影像等功能。
- c) 水下目视与光学成像设备最大耐压水深不宜小于 100m，分辨率不宜小于 500 万像素。

5.5.3 水下目视与光学成像检测工作布置除应符合 JT/T 746、GB 26123、GB 28396、HY/T 225 的规定外，还应符合下列要求：

a) 检测工作布置应遵循点式、线式的布置原则，测点、测线宜根据局部异常或缺陷的形态、走势而定。

b) 根据测区水域环境，应调整、贴近被测水工建筑物表观，使其能清晰分辨待检目标，对于水域水质浑浊区域，应采用成像声呐辅助局部缺陷或异常的水下导引定位和检测。

c) 数据采集时需做好测点、测线记录，标记并描述局部缺陷或异常被检的起始时间段和表观性状。

5.5.4 数据处理、图件制作应符合下列要求：

a) 根据现场记录整理并归档影像、照片、视频资料。

b) 绘制水工建筑物结构典型局部缺陷或异常影像解译成果图，需标明水流方向和相对建筑物位置关系。

c) 必要时，可剪辑视频影像并描述水下详查现状。

5.5.5 资料检查中发现下列问题时应进行补测或重测：

a) 采集的目视与光学成像影像模糊不清、晃动较快，难以说明局部缺陷或异常的表观现状。

b) 当被测的水工建筑物水下结构表观附着物遮挡了局部缺陷或异常，未进行清理且采集的影像数据无法反映局部缺陷或异常的表观性状。

c) 其他需要补测或重测的问题。

5.6 水下激光检测技术

5.6.1 水下激光检测技术因受水域作业环境浑浊度和检测范围的影响，可用于水工建筑物水下混凝土结构或金属结构表观局部三维形态、空间信息普查或精细详查，仅适用于海洋或水质清澈条件下，对15m以内小范围目标体精细检测。

5.6.2 水下激光检测技术系统配置要求应符合下列规定：

- a) 输入设备应包括 PPS、ZDA、姿态传感器等。
- b) 数据采集设备应包括水下激光换能器、扫描仪、搭载平台或装配架、控制终端计算机等。
- c) 数据采集软件应具有实时记录测站、测深、姿态数据、调节参数和三维空间数字化信息采集的功能。
- d) 水下激光扫描最大量程不宜低于 10m，最大耐压深度不宜小于 100m。
- e) 水下激光波长稳定性为 $\pm 0.1\text{nm}$ ，覆盖角度不小于 45° ，可旋转角度 360° 。
- f) 水下激光量程分辨率或检测精度受水质浑浊度和距待测目标的远近影响，航迹分辨率 0.25m/s 航速时应不大于 4mm，垂直航迹分辨率 3m 范围内应不大于 1.3mm，旋转分辨率 3m 范围内应不大于 0.2mm。对于水工建筑物水下缺陷检测，需越精细越好。

5.6.3 水下激光检测技术工作布置应符合下列要求：

- a) 水下激光检测可采用潜水员、潜水器、无人船、爬行器、扶正器、装配架等方式进行布放。
- b) 对于局部区域普查可安置在潜水器或无人船上进行动态作业；对水工建筑物水下缺陷检测时需安置在固定点通过自身电机驱动器旋转开展水下检测扫描作业。应做好每条测线、每个测站的位置、方向、编号等记录。
- c) 水下激光检测系统进行动态作业时，应包括定位、姿态、罗经、深度等数据信息从而进行数据的改正。
- d) 水下激光扫描系统采集点云数据时应实时显示激光点云、航迹轨迹，可按测线或测站实时存储，采集的激光测距影像数据时应及时截图、命名储存。

5.6.4 数据处理、图件制作应符合下列要求：

- a) 应做好每条测线、每个测站的数据修正处理参数、编辑情况的记录。
- b) 绘制水工建筑物水下结构的三维点云图反映水下现状；
- c) 绘制水工建筑物水下结构局部缺陷或异常的解译图、矢量化体量分析计算图；
- d) 绘制水工建筑物水下结构局部缺陷或异常的典型剖面图。

5.6.5 资料检查中发现下列问题时应进行补测或重测：

- a) 水下激光固定式检测时受地部涡流等影响造成测站数据晃动，动态作业时输入信号中断、缺失。
- b) 其他需要补测或重测的问题。

6 混凝土结构缺陷水下检测要求

6.1 一般规定

6.1.1 混凝土结构缺陷水下检测主要包括外观缺陷、裂缝、渗漏缺陷，是外观可视或非接触式可检测到的缺陷，包括剥蚀、磨蚀、冲蚀、冻融、空蚀、淘蚀、破损、钢筋出露、错台等混凝土表面不平整或裂缝、渗漏、析钙、止水失效等缺陷。

6.1.2 混凝土结构缺陷水下检测主要针对水工建筑物挡水、过水、充水、引水、泄水、尾水建筑物的混凝土结构部位进行检测。

6.1.3 混凝土结构缺陷水下检测前，应收集但不限于水下检测区或被测水工建筑物的设计或竣工图纸、历年检测和修复情况及报告、作业区域水域特征。

6.1.4 混凝土结构外观缺陷检测主要采用水下声呐、激光检测技术进行定位、定量普查，采用水下目视与光学成像检测技术进行局部定性详查，普查和详查可采用多类检测技术联合判定、互相印证、客观反映缺陷现状。

6.1.5 混凝土结构裂缝检测主要采用水下侧扫声呐技术、成像声呐技术进行普查，查明其走向与长度，采用水下目视与光学成像检测技术、水下激光尺度仪追踪、抵近观察缝面及缝宽，采用示踪法检测裂缝的贯穿性或渗水情况，重要构筑物的裂缝深度检测需联合超声波等物探方法综合判定。

6.1.6 混凝土结构渗漏检测主要采用伪随机流场法、水下工程声呐渗漏检测技术进行渗漏区域范围的圈定，可根据实际情况辅以自然电场法、电阻率剖面法、水下探地雷达等水面物探方法联合判定。采用水下声呐、水下激光、示踪法可对圈定范围的渗漏缺陷进行形态、尺寸、渗漏量大小详查；采用高密度电法、瞬变电磁法、地震映像法、同位素示踪法等物探方法可对渗漏通道、路径综合判定。

6.1.7 混凝土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，再采用水下目视与光学成像技术抵近观察、示踪检测。

6.2 混凝土结构外观缺陷水下检测要求

6.2.1 混凝土结构外观缺陷检测，宜采用水面载具搭载多波束声呐、侧扫声呐、成像声呐或水下激光进行普查，圈定缺陷范围、位置、形态、尺寸，结合成像声呐对圈定的缺陷进行水下导航，根据潜水器、

潜水员的水下目视与光学成像检测详查结果，获知外观缺陷性状。

6.2.2 混凝土结构外观缺陷水下普查应覆盖混凝土结构水下整体区域，包括平面、立面、斜面、左右边坡边墙。

6.2.3 混凝土结构外观缺陷水下普查对于平面、底面、顶面，应覆盖“井”字形的检测测线，相邻测线重合覆盖应大于 20%，测线方向可垂直于等深线方向或平行于水工建筑物的轴线方向。

6.2.4 混凝土结构外观缺陷水下普查对于立面、斜面、左右边坡边墙的检测测线，测线间距可根据被测面的倾斜程度而定，相邻测线间距不宜大于 5m，调转测线波束角朝向被测面，同一位置处应采集往返测线，对于被测面与底面的交角，应调整发射参数避免局部数据缺失。

6.2.5 混凝土结构外观缺陷水下普查对于圆形、马蹄形隧洞的检测测线，宜采用潜水器搭载隧洞多波束声呐沿洞轴线方向往返多次覆盖，也可搭载多个侧扫声呐、成像声呐探头不同角度安装沿洞轴线方向往返覆盖。

6.2.6 混凝土结构外观缺陷水下普查对于存在高耸结构物导致卫星信号差或无信号的水域，应采用测站式布设特征点或搭载惯导的移动测量进行全覆盖采集，再与有卫星信号的水下检测联合拼接。

6.2.7 混凝土结构外观缺陷水下详查，宜采用二维成像声呐导引详查设备抵近缺陷目标，确定缺陷的尺寸及规模，结合水下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方位，避免被水下钢筋、线缆等缠绕。

6.2.8 混凝土水下立面、斜面结构外观缺陷尺寸形态细部详查，可采用三维成像声呐、水下激光靠近缺陷目标，采用潜水器、潜水员或水下装配架进行测站式缺陷范围精细检测，测站布置应根据缺陷的分布部位与冲蚀深度而定，精确获知缺陷的尺寸与三维空间数据信息。

6.2.9 混凝土结构外观缺陷水下普查定位方式对于不同的作业区域有不同的要求。对于开阔水域，应采用全球定位系统 RTK、PPK 进行绝对定位；对于半封闭、封闭水域，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。海洋中常采用水声声线跟踪的定位方式，因受水工建筑物混凝土结构体形多次回波反射的影响，参考使用。

6.2.10 混凝土结构外观缺陷水下详查定位，宜采用水下声呐传感器、深度高度传感器、结构物特征进行相对定位和修正，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。

6.2.11 水下多波束声呐、侧扫声呐、成像声呐的水下普查工作布置与实施应按照第 5.2、5.3、5.4 节的技术要求执行，应参照 JT/T 790、JT/T 1362 的相关规定执行；水下普查应能识别 2cm 以上的混凝土结构缺陷。

6.2.12 水下目视与光学成像、水下激光的水下详查工作布置与实施应按照第 5.5、5.6 节的技术要求执行，水下详查应能对水下普查识别到的缺陷进行定性、定量的分析、量测，检测精度应达 mm 级。

6.2.13 对于缺陷存在复杂的情况，水下详查可采用潜水器检测和潜水员复核验证的方式进行。

6.2.14 水下普查数据资料处理，应采用相应的专业进行拼接、去噪、校准、改正、消差、均衡后，与已有的工程设计、竣工资料进行二维、三维的比对与计算分析，圈定、量化缺陷的存在情况；水下详查数据资料，作为缺陷定性、精准定量的主要判断依据，数据的处理、解译，应结合详查的数据影像信息综合判定。

6.2.15 外观缺陷类别、级别的判定应执行 SL 734、SL 713、DL/T 5251、JTS 239、JTS 304 的相关规定，缺陷的存在部位、范围尺寸、变化速率均是影响级别判定的重要因素，应在每次检测或复测后提出针对性的建议与措施，指导水工建筑物的安全运行。

6.3 混凝土结构裂缝水下检测要求

6.3.1 混凝土结构裂缝水下检测，宜采用侧扫声呐技术、成像声呐技术、水下激光技术进行普查，圈定裂缝发育范围、走向、数量，再采用水下目视与光学成像、水下激光尺度仪沿缝面走向抵近观测裂缝缝宽、缝面渗出物及周边混凝土外观质量情况。对于缝宽大于 1mm 的裂缝，应采用潜水器搭载示踪剂进行贯穿性和渗水情况检测，可采用潜水员或载人潜水器携带水下超声探头等物探方法的裂缝深度检测。

6.3.2 混凝土结构裂缝水下普查应覆盖整个被侧面，需确保被侧面表面基本无附着或遮挡。

6.3.3 混凝土结构裂缝水下普查也可采用潜水器搭载二维成像声呐、光学成像传感器布置网格状或纵环向测线进行普查，相邻测线间距不宜大于 5m，对于纵向测线、历史或异常缺陷部位可加密。

6.3.4 混凝土结构裂缝采用侧扫声呐、成像声呐、水下激光进行普查时，应沿被侧面的长轴方向覆盖检测，可采用定深或定高模式。

6.3.5 混凝土结构裂缝水下详查应顺沿缝面走向，覆盖整个裂缝出没至尖灭、分叉，定位分布部位、所处深度。

6.3.6 水下裂缝定位，裂缝走向分布宜采用惯性导航系统进行绝对定位，或采用结构特征物、结构缝、深度、高度信息进行相对定位的联合标定。

6.3.7 对于贯穿或渗水裂缝，应准确定位，检测渗漏量大小、渗漏速率、缝面情况，并绘制、复原裂缝的矢量特征。

6.3.8 侧扫声呐、成像声呐裂缝普查检测时，应发射高频采集信号，水下激光裂缝普查检测时，应发射高能脉冲的蓝绿激光信号。

6.3.9 水下详查时,潜水器宜配置二维成像声呐、光学成像设备、机械臂、缝面清理装置、激光尺度仪、喷墨示踪装置,对缝面进行清理和定点、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。

6.3.10 水下裂缝深度的判定,可采用潜水员或载人潜水器配置光学成像录像设备、混凝土裂缝综合测量仪在缝面两侧放置水下超声探头进行平测法或斜侧法的水下无损裂缝深度探测,裂缝综合测量仪的校准及使用应按 JJF 1334 的相关规定执行,必要时,可辅助钻孔透射法进行跨孔声波、钻孔全景影像检测。

6.3.11 混凝土结构裂缝类别、级别判定应执行 SL 713、DL/T 5251 的相关规定。

6.3.12 混凝土结构裂缝水下检测数据处理、解译、制图,宜结合水工建筑物设计图纸进行裂缝发育情况的标识或在三维模型上进行裂缝缺陷建模,应根据检测结果给出裂缝的处理修复建议。

6.4 混凝土结构渗漏水下检测要求

6.4.1 混凝土结构渗漏水下检测,宜采用伪随机流场拟合法、水下工程声呐渗漏检测系统进行普查,划分渗漏异常区域;结合潜水器、潜水员的水下目视与光学成像检测技术详查,高清视频拍摄及连通性试验验证。

6.4.2 混凝土结构渗漏水下普查应覆盖混凝土结构整体区域,并最少外延 50m。

6.4.3 混凝土结构渗漏水下普查应网格状布置测点,测点间距不宜大于 5m;应结合工程结构设计,分部位进行水下详查。

6.4.4 混凝土结构渗漏开阔水域水下普查应采用 RTK 实时差分定位,水下详查或半封闭、封闭水域渗漏水下检测宜采用水下声呐相对定位。

6.4.5 伪随机流场拟合法供电电极到检测中心点的距离应为检测区域长度的 5~6 倍,接收探头至检测位置距离保持在 0m~1m。

6.4.6 水下工程声呐渗漏检测时应避开环境噪声,如无法避开,应进行噪声影响区内外声源条件检测对比试验,并在数据处理时进行声源过滤处理。

6.4.7 采用潜水器进行渗漏详查时,应配置二维图像声呐、激光尺度仪、喷墨示踪装置,对异常区域进行定点、定时观测,可搭载流速计辅助流向流量的判定。

6.4.8 潜水作业人员应配备水下录像机和潜水电话,供水面工程人员检查、指导,保证检测作业水上水下的统一性、同步性。当发现有结构被测面破损或缺陷部位时,对缺陷部位进行喷墨示踪和测量。

6.4.9 混凝土结构渗漏异常区域应根据测值大小进行圈定并划分相对等级,平面位置应根据 RTK 实时

差分定位，高程大小可根据三维多波束声呐数据或设计图纸进行读取。

6.4.10 混凝土结构渗漏类型分为：轻微渗漏，混凝土轻微的面渗或点渗；一般渗漏，局部集中渗漏、产生溶蚀；严重渗漏，存在射流或层间渗漏。

6.4.11 混凝土结构渗漏通道分析应结合工程设计、工程地质、渗漏检测成果进行综合分析判定。

7 金属结构缺陷水下检测要求

7.1 一般规定

7.1.1 金属结构缺陷水下检测主要包括外观形态、厚度、内部缺陷，是外观可视、接触式或非接触式可检测到的缺陷，如缺损、变形、衬砌翻卷、止水失效、闸门卡阻、淤堵、锈蚀、裂纹、气孔、夹杂等，为金属结构的评价和鉴定提供依据。

7.1.2 金属结构缺陷水下检测主要针对水工建筑物过水、充水、引水、泄水、尾水建筑物的金属结构部位进行检测，包括闸门、门槽、拦污栅、流道及压力管道的金属结构及衬砌。

7.1.3 金属结构缺陷水下检测前，应收集但不限于待测金属结构的设计或竣工图纸、材质、焊接工艺、历次维修和改造情况及报告。

7.1.4 金属结构外观形态检测主要采用水下声呐、激光检测技术进行定量普查，采用水下目视与光学成像检测技术进行局部定性详查，普查和详查可采用多类检测技术联合判定、互相印证、客观反映缺陷现状。

7.1.5 金属结构厚度检测主要针对其锈蚀程度进行测厚测量，可采用水下数字式测厚仪进行超声波测厚。

7.1.6 金属结构内部缺陷检测主要针对水下焊缝的内部缺陷和结构材料表面或近表面的裂纹，可采用水下超声检测技术、水下磁粉探伤技术和水下交流电磁场技术检测缺陷的尺寸、深度。

7.1.7 金属结构厚度、内部缺陷水下检测前，需把附着在被测结构物表面的生物、杂物等异物清除，以满足可视、摄像、接触式或非接触式检测设备的作业要求。

7.2 金属结构外观形态检测要求

7.2.1 金属结构外观形态检测，宜采用潜水器搭载成像声呐、水下激光对闸门、门槽、拦污栅、流道及压力管道钢结构的表现现状进行全覆盖普查，再搭载光学成像设备对其结构表现缺陷的性质、状态进行水下详查；必要时，采用潜水员探摸水下目视检查。

7.2.2 金属结构外观形态检测应覆盖金属结构水下整体区域，包括金属构件表现、衬砌表面、焊缝及与

混凝土结构接合部位。

7.2.3 金属结构外观形态检测水下普查可采用潜水器或装配架搭载成像声呐顺沿结构物长轴方向布置测线，检查金属结构衬砌表面翻卷、变形、缺损、闸门卡阻、淤积堵塞等情况。

7.2.3.1 对于隧洞涵管类建筑物的钢衬，宜用多个方位的成像声呐沿洞轴线普查钢衬表面的异常情况。

7.2.3.2 对于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普查其表面的缺陷现状。

7.2.4 金属结构外观形态检测水下详查可采用潜水器搭载水下目视与光学成像设备、水下激光对钢衬表面锈蚀、闸门卡阻、淤积堵塞及附着物、焊缝与混凝土接合部位的接触情况进行抵近检测、观察，详查测线宜根据表面及接合部位的形态布置。

7.2.5 金属结构外观形态检测水下详查也可采用磁性吸附载具作为搭载平台进行检测、摄像。

7.2.6 金属结构外观形态检测水下普查、详查的缺陷定位均根据水下成像声呐、深度高度传感器、结构物特征进行相对定位和修正，对于隧洞涵管类轴线结构物，缆长计数可作为相对定位的辅助参考。

7.2.7 水下普查时，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，避免所采集的声呐影像明暗无序、难以识别缺陷，工作实施应按照第 5.4 节的技术要求执行。

7.2.8 水下详查工作应在金属结构表面附着物、底坎淤堵清理后再进行，对于摄像观察到的焊缝脱开情况，工作实施宜按照 GB/T 26951 的相关要求执行。

7.2.9 金属结构外观形态缺陷级别应根据翻卷、变形、缺损损伤面积、变形率、失效情况综合判定，可参照 JTS 304-2019 的相关要求执行。

7.2.10 金属结构外观形态缺陷成果数据解译应根据普查、详查的缺陷尺寸、部位、形态、高程、描述在设计图或模型图上标注示意，并将缺陷影像挂接于各部位的展开图，离散的影像宜按照相邻的影像拼接成整张图像，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。

7.3 金属结构厚度检测要求

7.3.1 金属结构厚度检测，宜采用水下数字式测厚仪对金属结构锈蚀程度进行测量，可采用潜水器搭载或潜水员携带液晶显示的手枪式超声测厚仪进行检测。

7.3.2 金属结构厚度检测应覆盖金属结构水下整体区域可能存在锈蚀的部位，包括金属构件、衬砌等。

7.3.3 金属面状结构厚度检测，应采用网格状布点，网格大小不宜超过 3m，每组网格应测 3 个点的厚度值，此外，测区布置应符合 SL105 的相关规定。

7.3.4 金属管件结构厚度检测，应采用环向时钟法布点，环间距不宜超过 5m，在 12:00、3:00、6:00、9:00 时钟位置布置 4 个测点检测厚度值。

7.3.5 金属结构厚度检测，宜根据结构分布的范围采用成像声呐、量尺、线标等相对定位开展检测。

7.3.6 金属结构厚度水下检测开展前，应清除表面附着物质，如海生物、尘土、油脂及腐蚀物质等表层覆盖物质，表面应清理至使探头能平稳移动，可采用手动刮刀刷子清理，或采用高压水射流技术清理，使探头与探测面耦合良好，必要时对探测点进行打磨。

7.3.7 金属结构厚度检测前后均应对仪器进行示值校正，钢结构水下超声测厚仪允许偏差为 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

7.3.8 金属结构厚度水下检测实施过程中，声程设置宜大于或等于 2 倍壁厚，测点布置处若采集到的数据与设计或原有资料差别较大时，可在测点周围 $\phi 0.5\text{m}$ 范围内适当移动进行厚度测量。

7.3.9 金属结构测点厚度值宜根据网状或环状布点分区求平均值，应对代表性区域的测值用数理统计方法计算钢结构厚度的最大值、最小值、平均值和标准差，确定构件或衬砌部位的厚度。

7.3.10 金属结构厚度检测的级别判定、成果数据解译，应符合 SL105、SL635 的相关规定。

7.3.11 金属结构厚度检测成果，宜基于设计或原有竣工资料图纸资料，素描描绘测区内厚度的测定情况、差异情况，进行异常区圈定、标注、图示。

7.4 金属结构内部缺陷检测要求

7.4.1 金属结构内部缺陷检测，宜采用水下超声探伤仪、水下磁粉探伤仪对铁磁性表面、近表面及目视难以看出的裂纹、砂眼、气孔、白点、夹杂等进行检测，可辅以水下交流电磁场检测仪对裂纹长度、深度进行非接触式探测。

7.4.2 金属结构内部缺陷检测应覆盖金属结构水下整体区域的焊缝和金属板件等铁磁性表面区域。

7.4.3 金属结构焊缝内部缺陷检测，检测应沿着两焊脚进行，检测区段连续覆盖整条焊缝及两侧不小于 10cm 的范围。

7.4.4 金属结构板件内部缺陷检测，测区布置原则应符合 NB/T 47013.4 的相关规定。

7.4.5 金属结构内部缺陷检测，宜根据被测对象的分布范围采用成像声呐、量尺进行相对定位。

7.4.6 金属结构焊缝内部缺陷水下超声探伤检测前，应采用对水下超声探伤仪进行零点、K 值和定量校正，进行缝面清理，清理范围应满足包括焊缝在内的一条宽度为 160mm~240mm 的带状区域，经清理后表面应光滑无锈迹、油漆图层或附着物残留。

7.4.7 金属结构焊缝内部缺陷水下磁粉探伤检测前，应对焊缝两侧各 100mm 的范围进行清理，用钢丝刷、高压水或气动除锈工具等方法清理到足以能探测到磁痕所需的程度。

7.4.8 金属结构内部缺陷水下超声探伤检测实施过程中，应按照先粗后精的探伤顺序进行，对粗探发现的缺陷采用更换探头的方法验证，探测时需保证波束中心线与焊缝的长度方向垂直，提高缺陷的检出率。

7.4.9 水下超声探伤仪宜选择小尺寸、高频率的探头，折射角应由多种规格、相互补充，精度宜满足：水平线性误差不宜大于 1%，垂直线性误差不宜大于 5%，仪器与探头的组合灵敏度余量应大于 40dB，衰减器增益控制器精度为任意相邻 12dB 之内的误差不宜超过 1dB，步进级每档不宜大于 2dB，总调节量应大于 60dB。

7.4.10 水下交流电磁场检测仪适宜对材料表面不大于 5mm 的非导体涂层厚度的碳素钢或导磁性表面、对接焊缝进行检测。

7.4.11 金属结构焊缝内部缺陷水下磁粉探伤检测实施过程中，宜对焊缝两侧进行水下目视或光学摄像记录，并采用经滤波的紫外光下校验过的水溶性荧光磁悬液对咬边、焊瘤、气孔、弧坑、夹层、锈斑、飞溅等可能出现的假显示进行记录区分。

7.4.12 金属结构水下磁粉探伤检测内部缺陷的判定，须根据紫外线滤光片进行，应定期清洗、校验紫外线滤光片及强度，紫外线的辐射波长范围为 320nm~380nm，最大强度在 365nm 处，检测面紫外线的照射幅度应不小于 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 且不大于 $3000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

7.4.13 金属结构内部缺陷检测的级别判定、成果数据解译，应符合 GB/T 11345、GB/T 26951 的相关规定。

7.4.14 金属结构内部缺陷检测成果，宜基于设计或原有竣工资料图纸资料，素描描绘检测范围内缺陷的形态、分布、尺寸、深度等情况，进行缺陷的圈定、标注、图示。

附 录 A
(规范性)
潜水器技术要求

A.1 概述

潜水器分为无人潜水器和载人潜水器(HOV)，无人潜水器包括有缆遥控潜水器(ROV)、自主式潜水器(AUV)、自主遥控潜水器(ARV)。潜水器用于搭载水下声学、光学、电学等检测探测传感器、工具包及辅助定位设备(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)，进行水工建筑物水下观察、检测、作业。

A.2 系统配置

A.2.1 潜水器系统抗流能力不宜低于2节。

A.2.2 潜水器系统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。

A.2.3 所搭载的检测、探测传感器应在作业水体条件中实现对检测目标物的辨识和定位。

A.2.4 潜水器定位可采用成像声呐、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。

A.2.5 数据采集软件应可监控潜水器本体单元的水下作业状态及航行轨迹，水下检测数据、影像及视频可通过网络端口实时回传，可通过监视窗口调试检测参数并存储数据资料。

A.2.6 数据处理软件应根据不同类别的检测、探测传感器采集的数据分项处理。

A.3 工作布置

A.3.1 搭载检测、探测设备进行全覆盖普查时，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，测线间距宜为2m。对于异常部位或重点关注部位，应加密测线、或抵近观察。

A.3.2 搭载检测、探测设备进行缺陷或异常的局部详查时，宜采用成像声呐、前视声呐导航，引导潜水器行进至重点部位附近，再采用其他传感器进行详查。

A.3.3 检测作业过程中应关注脐带缆的状态，规划行进航迹，减小脐带缆扭力，避免发生缠绕。

A.4 采集记录

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、位置及性状。

A.5 数据处理、图件制作

A.5.1 根据现场采集传感器记录整理并归档声呐影像及视频资料，绘制。

A.5.2 绘制水工建筑物多源数据综合分析的水下局部缺陷或异常典型影像解译成果图，联合进行标定与性状描述，宜形成缺陷可视化展示图。

A.5.3 必要时，可剪辑视频影像并描述水下详查现状。

A.6 补测或重测

A.6.1 潜水器搭载的采集传感器数据异常、录制不全、深度信息显示不准确时。

A.6.2 录制的影像及视频信息未反应缺陷或异常的表观现状信息时。

附录 B
(规范性)
无人船技术要求

B.1 概述

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人，用于搭载水下声呐、惯导、罗经、姿态等定位传感器和水上激光等测量、观测设备，对开阔水域的水工建筑物水下部分的深度、形态进行探测。无人船技术不适用于洞室等封闭空间的缺陷检测探测。

B.2 系统配置

B.2.1 无人船系统抗流能力应不低于 2 节。

B.2.2 无人船系统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。

B.2.3 所搭载的检测、探测传感器应在使用前进行性能检验，以确保能正常工作。

B.2.4 无人船定位常采用 GNSS 主辅天线定位，采用无人船进行水下冲淤和库岸地形测量应符合 CH/T 7002、GB/T 18314、CH/T 2009 的相关规定；进行水工建筑物水下检测时，应采用 RTK、PPK、惯导进行平面和高程控制测量，高程控制测量应联合潮位计的观测数据解译。

B.2.5 数据采集软件应可监控无人船本体单元的作业状态及航行轨迹，采集的数据可通过网络接口实时回传，可通过监视窗口调试行进方向、检测参数并存储数据资料。

B.2.6 数据处理软件应根据不同类别的检测、探测传感器采集的数据格式分项处理。

B.3 工作布置

B.3.1 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，测线间距宜为 2m，往返采集多次覆盖数据。对于异常部位或重点关注部位，应加密测线。

B.3.2 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，根据实际需求选用。

B.3.3 检测作业过程中应避开水草茂密或暗礁聚集区域，对于流动水域，航行测线宜沿水流方向布控，或与水流方向成一定的夹角。

B.3.4 作业前、中、后宜采集不少于 3 次的水深声速剖面数据，用以进行水深数据后处理修正。

B.4 检测精度

无人船进行开阔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，均应高于水下地形测量的要求，缺陷平面实测定位精度不应大于 2cm，高程实测定位精度不应大于 5cm。

B.5 数据处理、图件制作

B.5.1 定位数据处理应剔除定位粗差点，水深数据处理应包括检测、探测设备的吃水改正、声速改正和水位改正。

B.5.2 根据处理后的水下三维数据，比对原结构体型进行差异分析，制作缺陷分布图、缺陷形态图，并计算缺陷体量，图件制作应符合所搭载的检测传感器相关的技术要求。

B.5.3 数据处理、图件成果各阶段应进行交叉检查，确保数据无误。

B.6 补测或重测

B.6.1 无人船搭载的设备采集数据异常、无效、存储信息不全时。

B.6.2 无人船系统在作业过程中故障或不受控制时。

参 考 文 献

- [1] SL 258-2017 水库大坝安全评价导则
- [2] DL/T 5313-2014 水电站大坝运行安全评价导则
- [3] CECS21 超声法检测混凝土缺陷技术规程
- [4] T/CDSA-305.20 海上平台水下检测操作规程
- [5] 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—初级潜水员
- [6] 中国潜水打捞行业协会《会员自律公约》及配套文件

