

ICS 编号

CCS 编号

# 团体标准

T/CHES XXX—20XX

## 调水工程水下机器人检查技术导则

Technical Specifications for Underwater Robot Inspection in Water

Diversion Projects

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

# 前 言

本标准按照 SL/T 1-2024《水利技术标准编写规程》的规定起草。

本标准共分为 9 章和 1 个附录，主要技术内容有：

- 基本规定；
- 检查内容；
- 作业程序；
- 技术要求；
- 资料整理与归档；
- 作业安全与环境保护。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条 16 号，邮编 100053），以便今后修订时参考。

本标准主编单位：中国南水北调集团中线有限公司

水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院

本标准参编单位：水利部大坝安全管理中心

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

广东粤海珠三角供水有限公司

南京水科院瑞迪科技集团有限公司

河海大学

深圳潜行创新科技有限公司

本标准主要起草人：

本标准主要审查人：

# 目 次

前言 .....	I
1 总则 .....	2
2 术语和定义 .....	3
3 基本规定 .....	4
4 检查内容 .....	5
4.1 一般规定 .....	5
4.2 水库大坝 .....	5
4.3 水闸 .....	5
4.4 泵站 .....	5
4.5 渠道（堤防） .....	5
4.6 渡槽 .....	5
4.7 管（涵） .....	6
4.8 隧洞 .....	6
4.9 倒虹吸 .....	6
5 作业程序 .....	7
5.1 一般规定 .....	7
5.2 水下检查准备 .....	7
5.3 水下检查实施 .....	8
5.4 水下检查结束 .....	9
6 技术要求 .....	10
6.1 一般规定 .....	10
6.2 水下机器人选型 .....	10
6.3 安全防护 .....	11
6.4 水库大坝 .....	11
6.5 水闸 .....	12
6.6 泵站 .....	12
6.7 渠道（堤防） .....	13
6.8 渡槽 .....	14
6.9 管（涵） .....	14
6.10 隧洞 .....	15
6.11 倒虹吸 .....	15
7 成果整理与归档 .....	17
7.1 一般规定 .....	17
7.2 检查工作日志编制 .....	17
7.3 水下检查报告编制 .....	17
7.4 成果归档 .....	17
8 作业安全与环境保护 .....	18
附录 作业准备检查表 .....	19
引用标准名录 .....	22

# 1 总 则

1.0.1 本标准规定了调水工程水下机器人检查的检查内容、作业程序、检查方法（含水下机器人检查的设备选型）、成果整理与归档、作业安全与环境保护等工作的技术要求。

1.0.2 本标准适用于水库大坝、水闸、泵站、渠道（堤防）、渡槽、管（涵）、隧洞、倒虹吸、穿跨邻接等调水工程主要建筑物的机器人水下检查。

1.0.3 调水工程水下施工修复项目实施前水下摸查、过程质量检查、实施后效果复核可参考本标准要求执行。

1.0.4 本标准主要引用下列标准：

GB/T 11345 《焊缝无损检测超声波检测技术、检测等级和评定》

GB/T 14173 《水利水电工程钢闸门制造、安装及验收规范》

GB/T 3323 《焊缝无损检测》

GB/T 35490 《预应力钢筒混凝土管防腐技术》

GB/T 36896.1 《轻型有缆遥控水下机器人》

GB 50265 《泵站设计标准》

GB 50286 《堤防工程设计规范》

GB/T 50344 《建筑结构检测技术标准》

GB/T 50315 《砌体工程现场检测技术标准》

SL 36 《水工金属结构焊接通用技术条件》

SL 101 《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》

SL 210 《土石坝养护修理规程》

SL 230 《混凝土坝养护修理规程》

SL/T 430 《调水工程设计导则》

SL 548 《泵站现场测试与安全检测规程》

SL 599 《衬砌与防渗渠道工程技术管理规程》

SL 734 《水利工程质量检测技术规程》

SL/T 790 《水工隧洞安全鉴定规程》

DL/T 5251 《水工混凝土建筑物缺陷检测和评估技术规程》

JT/T 790 《多波束测深系统测量技术要求》

T/CHES 22 《渡槽安全评价导则》

T/CWEA 26 《水工建筑物水下检测技术导则》

T/GDWHA 0014 《倒虹吸管安全评价导则》

DB 37/T 4386 《水下工程有缆机器人检测规程》

1.0.5 机器人水下检查除应符合本标准外，还应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和定义

### 2.0.1 水下检查 underwater inspection

以水下机器人探测设备为载体，通过其搭载的检查装置，对工程水下运行情况等目标体实施的水下检查和监测工作。

### 2.0.2 声呐检查 sonar inspection

通过水下机器人探测设备配置的声呐系统对水下检查区域进行扫测，获取检查区域声呐图像以确定目标位置，并对其形态进行判定的过程。

### 2.0.3 水下摄像检查（光学成像检查） underwater camera inspection （Optical Imaging Inspection）

通过水下机器人探测设备配置的水下摄像头对检查目标进行录像、拍照，获取图像及视频资料，并对表观状态进行判定的过程。

### 2.0.4 水下示踪检查 underwater tracer inspection

通过水下机器人探测设备搭载示踪检查装置，在检查区域释放特定示踪剂，实现对目标区域缺陷检查的过程。

### 2.0.5 有缆机器人 Remote Operated Vehicle

由水面设备（包括操作控制台、电缆绞车、吊放设备、供电系统等）和水下设备（包括中继器和潜水器本体等）组成，水面设备和水下设备通过脐带缆（提供动力和实时传输数据等作用）连接的水下机器人。

### 2.0.6 无缆机器人 Autonomous Underwater Vehicle

不需要脐带缆提供动力支持和信号传输，依靠内置智能化控制系统和自主导航系统开展水下检测工作的水下机器人。

### 2.0.7 水下机械手臂 underwater robot arm

通过水下机器人探测设备搭载的多功能机械手臂，对水下目标体表面进行清扫、取样、维修的过程。

### 3 基本规定

- 3.0.1 水下检查应结合建筑物布置、结构特点和运行特点，明确检查部位、项目、内容、方法、要求。
- 3.0.2 水下检查所使用的水下机器人及检测仪器技术指标应满足水下检查方案要求。
- 3.0.3 水下机器人及检测仪器应通过检定合格或校准。
- 3.0.4 机器人水下检查单位应具备相关资质，并配备水下检查相关技术人员。
- 3.0.5 水下检查作业前，应制定安全作业方案，进行安全教育和培训。
- 3.0.6 水下检查应保存各项原始记录（含电子数据文件），及时检查数据、影像质量。水下记录内容应全面、完整，并附有略图、素描图或照片、影像等资料。
- 3.0.7 水下检查成果应与以往检查成果对比分析，形成成果报告。
- 3.0.8 机器人水下检查应遵循“安全可靠、技术先进、节能环保”原则，确保对调水工程生态环境影响最小化，避免水体污染及生物干扰。
- 3.0.9 机器人水下检查在开展必要的试验和验证工作基础上可探索使用新装备、新技术和新方法。
- 3.0.10 水下检查应满足安全作业及环保的要求。

## 4 检查内容

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 水下机器人检查内容包括对水下结构和环境的评估与监测。
- 4.1.2 按调水工程主要建筑物类型划分，机器人水下检查包括水库大坝、水闸、泵站、渠道（堤防）、渡槽、管（涵）、隧洞、倒虹吸、穿跨邻接等水工建筑物的水下检查工作。
- 4.1.3 水下机器人应根据具体建筑物类型进行针对性检查，确保安全和可靠。

### 4.2 水库大坝

- 4.2.1 水下大坝表面裂缝、破损、侵蚀或其他形式的物理损坏。
- 4.2.2 混凝土或岩石表面磨损情况。
- 4.2.3 混凝土接缝、伸缩缝及其他结构连接处的渗漏等。
- 4.2.4 水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。
- 4.2.5 异物阻塞情况（如石头、动植物残骸等）。

### 4.3 水闸

- 4.3.1 水下混凝土裂缝、表面剥落、破损。
- 4.3.2 闸墩与底板结合部位沉降、错台等。
- 4.3.3 闸孔内泥沙淤积、异物阻塞（如石头、动植物残骸等）及水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。
- 4.3.4 闸门金属结构及门槽裂缝、变形、锈蚀等情况。
- 4.3.5 启闭机金属部件磨损、锈蚀或损坏情况。
- 4.3.6 门槽边缘是否平直，有无明显翘曲。

### 4.4 泵站

- 4.4.1 混凝土裂缝、表面剥落、蜂窝麻面、破损及钢筋外露情况。
- 4.4.2 进水口、拦污栅、流道与泵室等泥沙淤积、异物阻塞（如石头、动植物残骸等）情况。
- 4.4.3 水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。
- 4.4.4 闸门、拦污栅、轨道等部位异物卡阻、腐蚀、变形或焊缝开裂情况。
- 4.4.5 金属部件磨损、锈蚀或损坏情况。

### 4.5 渠道（堤防）

- 4.5.1 衬砌板裂缝、错台、下滑、隆起、塌陷，渠道（堤防）渗漏等。
- 4.5.2 衬砌板与跨渠桥梁、建筑物墩柱结合部位开裂、塌陷等。
- 4.5.3 逆止阀阻塞、损坏、缺失。
- 4.5.4 水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。
- 4.5.5 渠道（堤防）内泥沙淤积及异物阻塞情况（如石头、动植物残骸等）。

### 4.6 渡槽

- 4.6.1 槽身裂缝，混凝土表面剥落、破损，聚脲等防渗材料开裂、脱落。

4.6.2 结构缝密封胶条开裂、脱落。

4.6.3 槽内泥沙淤积、异物阻塞（如石头、动植物残骸等）及水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。

## 4.7 管（涵）

4.7.1 PCCP 管道水下检查内容宜包括下列内容：

- 1 管身裂缝，混凝土表面剥落、破损、腐蚀、脱壳及生物附着，管身鼓包。
- 2 管道内衬剥落、侵蚀或沉积物堆积。
- 3 管道承插口碰损、外保护层脱落，橡胶密封圈气孔、裂缝。
- 4 管身内泥沙淤积、异物阻塞（如石头、动植物残骸等）及水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。

4.7.2 涵洞水下检查内容宜包括下列内容：

- 1 混凝土表面裂缝、剥落、破损。
- 2 结构缝错台，聚脲、密封胶条等防渗材料开裂、脱落。
- 3 涵洞内泥沙淤积、异物阻塞（如石头、动植物残骸等）及水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。

## 4.8 隧洞

4.8.1 洞顶塌落、底板坍塌物堆积。

4.8.2 混凝土表面裂缝、破损。

4.8.3 结构缝错台。

4.8.4 洞内泥沙淤积、异物阻塞（如石头、动植物残骸等）及水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。

## 4.9 倒虹吸

4.9.1 管身裂缝，混凝土表面剥落、破损。

4.9.2 管身结构缝错台，密封胶条开裂、脱落。

4.9.3 管身内泥沙淤积、异物阻塞（如石头、动植物残骸等）及水生生物（水生植物、淡水壳菜等附着）生长分布情况。



## 5 作业程序

### 5.1 一般规定

5.1.1 水下检查作业程序，应包括下列内容：

- 1 资料收集、现场调查。
- 2 制定检查方案。
- 3 施工进场。
- 4 进场资料审查。
- 5 检查前准备。
- 6 现场检查作业。
- 7 数据记录与分析。

5.1.2 水下机器人及检测仪器在作业前应进行检验和调试，并填写作业准备检查表，内容及格式见附录 A.1。在作业后应进行维修和保养，并填写设备维护保养表，内容及格式见附录 A.2。

5.1.3 水下检查单位应按要求提交安全生产技术方案及应急预案。

5.1.4 若现场工况无法满足水下检查时，在不影响调水工程正常运行条件下，相关部门可通过调度措施保障水下检查顺利实施。

### 5.2 水下检查准备

5.2.1 水下检查准备工作包括下列主要内容：

- 1 查勘现场作业环境，确定检查设备的安放和布设位置。
- 2 按检查要求，布置水上工作平台，安放检查所用设备与器具。
- 3 布设电源，安装和调试仪器设备。
- 4 开展技术交底和安全作业教育。

5.2.2 水下检查作业前，应先开展现场踏勘，可根据需要携带水深仪、流速仪等仪器设备，获知作业区域水情及周边环境等基本信息，具体信息宜包括下列主要内容：

- 1 测量控制基准点位置。
- 2 作业下船点或吊放点。
- 3 水流情况、水体能见度。
- 4 水下暗礁或结构的存在情况。
- 5 水深变化情况。

5.2.3 水下检查作业前，应识别可能存在的风险源及安全隐患，并进行应急演练。

5.2.4 水下检查作业前，应编制检查实施方案，实施方案大纲应包括下列主要内容：

- 1 工程概况。
- 2 检查目的和要求。
- 3 检查依据的标准及有关技术资料等。

- 4 检查项目内容、检查方法。
- 5 检查技术要求。
- 6 预期成果。
- 7 检查人员和仪器设备。
- 8 工作进度计划。
- 9 协调与配合工作。
- 10 安全、环保和职业健康。

5.2.5 有缆机器人下水前应进行设备检查，应包括下列内容：

- 1 外观检查：启动有缆机器人电子或液压设备前，应检查有缆机器人是否有裂纹、凹陷、油污、老化、部件松动、电缆或液压管松动、摄像机镜面污渍、推进器桨叶内杂物等。
- 2 脐带缆检查：有缆机器人脐带缆外观应完好、顺直，无损伤、扭结、缺陷或污染；有缆机器人脐带缆宜选用零浮力电缆，作业前应对脐带缆抗拉强度进行评估，不应超负荷工作。
- 3 通信及控制系统检查：检查所有控制指令功能，确认有缆机器人响应正常。检查有缆机器人报警状态、数据显示、指示灯等，确定工作状态正常。
- 4 作业工具检查：检查搭载工具与水下作业项目匹配性，检查搭载工具功能完整性。
- 5 脐带缆收放设施检查：检查脐带缆收放设施结构、电气连接、液压部件完整性。

5.2.6 无缆机器人应检查独立供电是否稳定，检查备用电源是否完好。独立供电提供的续航能力应确保机器人能在预定时间内完成任务。

5.2.7 无缆机器人下水前应进行检查，检查内容包括：外观检查、通信系统检查、自主导航系统检查、避障系统检查等。

5.2.8 针对存在严重问题的水工建筑物开展水下检查，作业前应开展技术方案、安全应急预案的论证。

### 5.3 水下检查实施

5.3.1 机器人水下检查宜采用先普查后详查的工作思路，普查阶段成果应能圈定缺陷或异常部位分布情况；详查阶段成果应能确定缺陷性质、具体位置和规模等信息。

5.3.2 水下检查过程中，若发现损坏等缺陷时，机器人应抵近、悬停，进行多角度录像观察。

5.3.3 水下缺陷定位应以机器人搭载定位传感器数据为主，必要时机器人可上浮至水面进行人工复核。

5.3.4 水下检查应遵循外业实施与内业分析同步进行、内业成果指导外业实施原则，作业过程中，及时对实测数据进行初步整理和解释，检查数据质量。

5.3.5 水下检查过程中，若发现下列问题应补测或重测：

- 1 机器人搭载传感器数据异常、采集数据不全、采集数据明显错误。
- 2 录制的影像及视频信息不足以反映现状缺陷或异常信息。

5.3.6 水下检查可针对同一检查内容采用多种方法进行综合检查，必要时创造无水环境条件进一步

验证。

## 5.4 水下检查结束

5.4.1 水下检查应保存各项原始记录（含电子数据文件），及时检查数据、影像质量。水下记录内容应全面、完整，并附有略图、素描图或照片、影像等资料。

5.4.2 水下检查成果应与以往检查成果对比分析，并形成成果报告，成果报告大纲宜包括下列内容：

- 1 工程概述。
- 2 检查目的、依据及要求。
- 3 检查内容。
- 4 检查方法。
- 5 检查成果。
- 6 存在问题及意见建议。

## 6 技术要求

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 水下检查应根据建筑物特点和运行情况，选择合适检查方法和设备，确保检查全面性和准确性。
- 6.1.2 检查过程中应记录详细数据和影像资料，确保检查结果完整性和可追溯性。
- 6.1.3 所有检查应符合相关安全标准和环境保护要求，确保工作人员和设备安全。

### 6.2 水下机器人选型

- 6.2.1 水下检查宜优先选择有缆机器人开展作业，在通视条件好及开阔水域，可选择使用无缆机器人。
- 6.2.2 水下检查机器人选型及技术指标应符合下列规定：
  - 1 应根据实际作业工况合理选定机器人型号、级别、搭载的检测设备及相应工具，保证机器人及设备满足作业要求。
  - 2 现场检查临时用电应满足相关规定要求，供电电源应匹配水下机器人作业负载，各控制模块应满足绝缘、通风、散热、防雨、防火的安全要求，并落实可靠接地。
  - 3 水下机器人应满足水下静态平衡、水下动态平衡的运动控制要求，应具备耐压、防水、绝缘等特性。
- 6.2.3 水下机器人可搭载的检测设备包括声学探测传感器、光学探测传感器、水下定位传感器、机器人工作状态监测传感器、水下作业工器具。
- 6.2.4 水下机器人配备有导航定位系统时，水平位置定位误差不大于 $\pm 1.0\text{m}$ ，高度定位误差不大于 $\pm 0.5\text{m}$ 。
- 6.2.5 在计划和作业阶段，应充分获取并评估作业环境因素以及可能存在的风险，作业环境因素对水下机器人作业的影响应在可接受范围内。水下机器人操作人员应熟悉作业限制条件。
- 6.2.6 水下检查应复核作业范围环境情况，包括水深、流速、水温、水质、泥沙淤积、能见度等。
- 6.2.7 有缆机器人的适用范围及技术指标应符合下列规定：
  - 1 适用于包括开阔水域、狭窄空间、水体能见度低环境下的水下检查。
  - 2 在开阔水域、水体能见度低环境下，有缆机器人应在搭载有水下定位导航传感器、工作状态监测传感器的基础上，组合搭载声学探测传感器及光学探测传感器开展水下检查作业。
  - 3 在狭窄水域环境下，应有缆机器人搭载工作状态监测传感器、光学探测传感器，宜组合搭载水下定位导航传感器及声学探测传感器开展水下检查作业。
  - 4 根据具体水下检查作业任务，选择有缆机器人，搭载不同种类水下检查工器具，包括清洁刷、水下激光测距仪、机械臂、示踪剂、液压剪、无损检测传感器等。
  - 5 有缆机器人地面控制台应放置在稳定牢靠平台，临空临水作业宜参照 SL 714 的规定设置防护措施。
  - 6 有缆机器人脐带缆，在水下作业过程中应保持与水下结构物的有效安全距离。

7 有缆机器人本体单元，最大安全作业水流流速应满足以下要求：作业半径不大于 0.4km 时，目标水域最大水流流速应 $\leq 2.0\text{m/s}$ ；作业半径介于 0.4km 至 1.0km 之间时，目标水域最大水流流速应 $\leq 1.5\text{m/s}$ ；作业半径大于 1.0km 时，目标水域最大水流流速应 $\leq 0.5\text{m/s}$ 。

8 有缆机器人装备在水下作业期间应及时维护，确保装备始终处于良好工作状态。

6.2.8 有缆机器人的适用范围及技术指标应符合下列规定：

1 无缆机器人适用于通视条件好及开阔环境下的水下检查。

2 无缆机器人在通视条件好且开阔水域环境下，应搭载有水下定位导航传感器、声学探测传感器、工作状态监测传感器，宜组合搭载光学探测传感器开展水下检查作业。

3 无缆机器人应具有避障避碰、紧急上浮返航及自主导航功能。

4 无缆机器人本体单元，最大安全作业水流流速应 $\leq 2.0\text{m/s}$ 。

5 水下作业前，无缆机器人应开展安全性、可靠性、可维修性和环境适应性测试，确保水下作业安全及满足作业要求。

## 6.3 安全防护

6.3.1 人员安全防护应满足下列规定：

1 水下机器人操作人员应持有效健康证明，并接受专业培训，熟练掌握设备操作、维护及应急程序。

2 现场作业前应进行安全风险评估，制定安全应急预案，明确人员职责与撤离路线。

3 作业过程中需保持实时通讯，定期测试通信设备状态，确保人员与设备有效联络。

4 涉及交叉作业或复杂环境（如超浅水区域）时，应采取额外防护措施，并指派专人监督。

6.3.2 设备安全防护应满足下列规定：

1 水下机器人选择应确保对调水工程生态环境影响最小化，避免水体污染、生物干扰等。

2 机器人及设备下水前应进行检验和调试，填写水下机器人作业准备检查表，格式应符合附录 A.1；下水作业后应进行维修保养，填写水下机器人设备维护保养程序表，格式应符合附录 A.2。

3 在完成水下作业任务后、水下机器人出现故障时、天气预报的作业环境因素不能满足要求时，应回收水下机器人，回收前应通报作业场所及相关方。

## 6.4 水库大坝

6.4.1 水库大坝裂缝、破损、侵蚀或其他形式结构损坏水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐及光学摄像法开展水下检查。

2 水库大坝上游坝面的水下检查，宜分坝段采用“N”字形行走路线，确保覆盖水库大坝的所有关键区域。

3 采用水下机器人搭载声呐对水库大坝表面裂缝、破损、侵蚀或其他形式的结构损坏情况进行普查，针对发现的缺陷和异常部位，宜采用水下机器人搭载光学摄像设备抵近详查。

6.4.2 坝面混凝土接缝、伸缩缝及其他结构连接处渗漏等水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用示踪剂法和光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人宜沿接缝、伸缩缝及其他结构连接处的路线进行检查。

3 水下机器人宜搭载水下进水罩及水下示踪剂装置抵近疑似渗漏部位并释放示踪剂，通过水下摄像观察示踪剂扩散情况，确认疑似渗漏部位状况及位置。

6.4.3 水生生物生长分布及异物阻塞水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐及光学摄像法开展水下检查。

2 宜沿水库大坝的外表面和取水通道进行巡查，详细记录水生植物等附着的位置和分布情况。

3 宜采用声呐对水库大坝坝前淤积进行大范围扫测，确定淤积位置和范围，重点检查取水口、滤网及排水沟等部位。必要时，机器人应具备小型工具来实时清除轻微阻塞物。

## 6.5 水闸

6.5.1 混凝土裂缝、表面剥落、破损水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐和光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人宜搭载声呐对水闸混凝土表面进行全面扫描，识别出裂缝、剥落和破损的潜在位置。对于声呐检查出的异常部位，使用水下摄像进行详细的近距离检查，记录裂缝的长度、宽度及具体的剥落和破损情况，确保精确评估结构状态，重点关注闸墩及底板结合处的混凝土裂缝和剥落部位，尤其是水流冲刷强烈的区域和接缝处。

6.5.2 闸墩与底板结合部位沉降、错台等水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐和光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人宜搭载声呐扫描识别闸墩与底板结合部位的沉降和错台情况，对于声呐图像中显示出沉降或错台的区域，使用水下摄像进行细致的观察和记录，评估沉降的深度和错台的高度，确保识别任何可能影响结构稳定性的细节。

6.5.3 门槽水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐和光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人宜搭载声呐扫描门槽的整体形状，识别磨损和锈蚀的区域，再利用水下摄像对这些区域进行详细的视觉检查，评估锈蚀的程度和磨损的具体位置，确保门槽的正常运行状态。

6.5.4 闸孔内淤积、异物及水生生物情况等的水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐和光学像相结合的方法。

2 水下机器人宜搭载声呐对闸孔内部进行全面扫描，检查淤积、异物和水生生物的位置和范围。对于声呐识别出的异常区域，使用水下摄像进行进一步的观察和记录，详细评估淤积物的厚度、异物的种类及水生生物的种类和数量。

3 必要时宜使用机械臂进行清理和取样分析。

## 6.6 泵站

6.6.1 混凝土裂缝、表面剥落、蜂窝麻面及钢筋外露情况等水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐及光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人宜沿泵站流道、泵室及进水口等关键部位布置“N”字形测线，自下游向上游逐段推进。

3 水下机器人应搭载声呐对混凝土表面进行全面扫描，识别裂缝、剥落及蜂窝麻面区域；对声呐异常部位，应抵近使用光学摄像设备进行多角度录像，记录裂缝长度、宽度及钢筋外露程度，重点关注水流冲刷频繁区域及结构接缝处。

6.6.2 泥沙淤积、异物阻塞及水生生物分布情况等水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐及光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人应沿进水口、拦污栅及泵室底部布置连续测线，对淤积物厚度及异物分布进行声呐扫测。

3 对声呐发现的异常区域，应使用光学摄像抵近观察，详细记录泥沙淤积范围、异物种类（如石块、残骸）及水生生物附着密度，必要时可搭载机械臂进行局部清理或取样分析。

6.6.3 闸门、拦污栅及轨道等金属部件腐蚀、变形情况等水下检查宜按以下规定：

1 宜采用光学摄像法结合磁粉检测传感器。

2 水下机器人应沿闸门轨道、拦污栅栅条等金属结构表面近距离巡航，利用光学摄像记录锈蚀斑点、焊缝开裂及变形区域。

3 对疑似腐蚀部位，应使用磁粉检测传感器进行无损探伤，评估锈蚀深度及裂纹扩展趋势，重点关注水流冲击面及长期浸水区域。

## 6.7 渠道（堤防）

6.7.1 渠道衬砌板水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐及光学摄像法开展水下检查。

2 侧渠坡及渠底的水下检查，宜采用“N”字形行走路线，沿侧渠坡顺水流方向布置检查测线，水下机器人入水后行进至最大作业半径后，由渠底自下游向上游回收。

3 水下机器人宜搭载声呐对衬砌板表面裂缝、错台、下滑、隆起和塌陷情况进行普查，针对发现的缺陷和异常部位，宜采用水下机器人搭载光学摄像设备抵近进行详查。

6.7.2 渠道渗漏水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用示踪剂法和光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人宜搭载水下进水罩及水下示踪剂装置抵近疑似渗漏部位并释放示踪剂，通过水下摄像观察示踪剂扩散情况，确认疑似渗漏部位的状况及位置。

6.7.3 衬砌板与跨渠桥梁、建筑物墩柱结合部位开裂、塌陷水下检查符合下列规定：

1 宜采用声呐及光学摄像法开展水下检查。

2 水下机器人宜搭载声呐对衬砌板与跨渠桥梁、建筑物墩柱的结合部位开展普查，初步识别沉降、错台及其他异常情况。

3 对于普查阶段发现的缺陷和异常部位，宜搭载水下摄像设备抵近进行详查。

6.7.4 逆止阀阻塞、损坏、缺失水下检查符合下列规定：

1 宜采用光学摄像法开展水下检查。

2 水下机器人宜搭载水下摄像设备抵近逆止阀详细记录其工作状态，包括其是否存在阻塞、损坏、卡滞或缺失情况，并详细观察逆止阀周围的结构，确认附着物或阻塞物是否影响其正常工作。

6.7.5 渠道内淤积及异物阻塞水下检查宜符合下列规定：

- 1 宜采用声呐及光学摄像法开展水下检查。
- 2 水下机器人宜搭载声呐对闸孔内部结构进行全覆盖扫描，检查淤积、异物和水生生物的位置和范围。对于声呐识别出的异常区域，宜采用水下摄像抵近观察和记录，详细评估淤积物厚度、异物种类及水生生物的种类和数量。
- 3 必要时宜使用机械臂进行清理和取样分析。

## 6.8 渡槽

6.8.1 槽身裂缝，混凝土表面剥落、破损，防渗材料开裂、脱落等水下检查宜符合下列规定：

- 1 宜采用声呐及光学摄像法开展水下检查。
- 2 水下机器人宜由渡槽的进口端（上游侧）进入渡槽内部，沿渡槽底部中间位置布置检查测线并向出口端（下游侧）行进，重点关注渡槽下部接近水流冲刷区域。
- 3 水下机器人宜搭载声呐进行普查，初步识别裂缝、剥落和破损情况后，宜使用水下摄像抵近详细观察和记录，确保对防渗材料状况的准确评估。

6.8.2 结构缝部位密封胶条开裂、脱落等水下检查宜符合下列规定：

- 1 宜采用光学摄像法开展水下检查。
- 2 水下机器人宜搭载光学摄像设备行进至结构缝处，采用“U”字形行进路线布置检查测线，通过水下摄像完成伸缩缝部位检查。

6.8.3 渡槽内淤积、异物及水生生物情况等水下检查宜符合下列规定：

- 1 宜采用声呐及光学摄像法开展水下检查。
- 2 水下机器人宜搭载声呐对渡槽内部进行普查，检查淤积、异物和水生生物的位置和范围。
- 3 对于声呐识别出的异常区域，宜采用水下摄像抵近观察和记录，详细评估淤积物的厚度、异物的种类及水生生物的种类和数量。
- 4 必要时宜使用机械臂进行清理和取样分析。

## 6.9 管（涵）

6.9.1 裂缝、混凝土表面脱落、破损等水下检查宜符合下列规定：

- 1 宜采用声呐和光学摄像相结合的方法。
- 2 水下机器人宜由管（涵）或 PCCP 管道的进口端（上游侧）进入，沿隧洞或管道底部中间位置布置检查测线，向出口端（下游侧）行进开展水下检查。
- 3 水下机器人宜搭载声呐检查管身裂缝、混凝土表面剥落及破损情况，发现异常时，宜利用水下摄像进行详细录像检查，并通过后处理软件完成三维重构，详细记录异常情况。

6.9.2 错台，聚脲、密封胶条等防渗材料等水下检查宜符合下列规定：

- 1 宜采用声呐和光学摄像相结合的方法。
- 2 水下机器人宜搭载声呐扫描洞身和管身，重点关注结构缝、管道接缝处的错台部位，特别是易受水流和压力变化影响的区域。
- 3 对于声呐检查出的异常部位，宜通过水下摄像进行详细观察和记录，确保对防渗材料状态的



准确评估和问题定位。

6.9.3 淤积、异物及水生生物情况等水下检查应符合下列规定：

- 1 宜采用声呐和光学摄像相结合的方法。
- 2 水下机器人宜搭载声呐对闸孔内部进行全面扫描，检查淤积、异物和水生生物的位置和范围，重点关注隧洞或管道底部区域，特别是在水流较缓、沉积物易积聚的位置，以及管道转弯或结构变化区域的异物和水生生物分布情况。
- 3 对于声呐识别出的异常区域，宜使用水下摄像进一步进行观察和记录，详细评估淤积厚度、异物的种类及水生生物的种类和数量。
- 4 必要时宜使用机械臂进行清理和取样分析。

## 6.10 隧洞

6.10.1 洞顶塌落及底板坍塌物堆积水下检查应符合下列规定：

- 1 宜采用声呐及三维激光扫描相结合的方法。
- 2 水下机器人宜沿隧洞轴线方向对洞顶及底板进行全覆盖声呐扫测，识别塌落物位置与堆积高度。
- 3 对声呐异常区域，应使用三维激光扫描仪进行高精度建模，量化塌落体积及坍塌物分布范围，重点关注地质薄弱带或施工接缝处。

6.10.2 混凝土表面裂缝、破损及结构缝错台水下检查应符合下列规定：

- 1 宜采用声呐与光学摄像相结合的方法。
- 2 水下机器人应沿隧洞侧壁及拱顶布置平行测线，搭载声呐扫描裂缝与错台分布，同步记录结构缝偏移量。
- 3 对声呐发现的裂缝或错台区域，应抵近使用光学摄像设备进行多角度录像，标注裂缝走向、错台高度及破损面积，并通过后处理软件生成三维缺陷分布图。

6.10.3 洞内淤积、异物及水生生物情况等水下检查应符合下列规定：

- 1 宜采用声呐及光学摄像相结合的方法。
- 2 水下机器人应沿隧洞底部布置网格状测线，利用声呐扫测淤积物厚度及异物分布，重点关注弯道、渐变段等易沉积区域。
- 3 对声呐异常区域，应使用光学摄像抵近观察，记录淤积物成分（如泥沙、碎石）、异物类型（如沉木、垃圾）及水生生物种类，必要时可搭载机械臂清除小型阻塞物或取样留存。

## 6.11 倒虹吸

6.11.1 管身裂缝，混凝土表面剥落、破损等水下检查应符合下列规定：

- 1 宜采用声呐及光学摄像法开展水下检查。
- 2 水下机器人宜由倒虹吸的进口端（上游侧）进入管道内部，沿管道底部中间位置布置检查测线，向出口端（下游侧）行进开展检查。
- 3 水下机器人宜搭载声呐扫描识别管身裂缝、剥落和破损情况后，通过水下摄像进行详细观察和记录，确保对结构状况的准确评估。

4 倒虹吸下平段的上游端及下游端，宜加密布置测线进行水下检查。

6.11.2 管身结构缝错台，密封胶条开裂、脱落等水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐和光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人宜搭载声呐扫描管身结构缝，识别错台及密封胶条的开裂、脱落情况，重点关注伸缩缝处和管道弯曲区域。

3 对于声呐检查出的异常部位，宜使用水下摄像抵近详细观察和记录，确保对结构缝状态的准确评估和问题定位。

4 倒虹吸下平段的上游端及下游端，宜加密布置测线进行水下检查。

6.11.3 倒虹吸内淤积、异物及水生生物情况等水下检查宜符合下列规定：

1 宜采用声呐和光学摄像相结合的方法。

2 水下机器人宜搭载声呐对闸孔内部进行全面扫描，检查淤积、异物和水生生物的位置和范围，重点关注倒虹吸的低洼段和弯曲区域。

3 对于声呐识别出的异常区域，宜使用水下摄像抵近进一步的观察和记录，详细评估淤积物的厚度、异物的种类及水生生物的种类和数量。

4 必要时宜使用机械臂进行清理和取样分析。

## 7 成果整理与归档

### 7.1 一般规定

7.1.1 水下检查资料整理工作内容包括声呐、水下摄像头所采集的图像和视频数据、机器人检查路线和部位，水下检查工作日志及水下检查报告等。

7.1.2 每日/次水下检查工作结束后，填写水下检查作业记录表和水下机器人检查工作日志，并及时对图像、视频数据进行整理，剔除无效数据和图像后，摘取关键截图备份保存至专用移动硬盘。

7.1.3 水下检查日志、检查报告应及时归档存储。

### 7.2 检查工作日志编制

7.2.1 水下检查日志应包括下列主要内容：

- 1 水下检查范围、检查工程概况及检查路线，如建筑物特征、地质特性等。
- 2 水下检查工作开展情况。包括人员、设备投入情况，检查方式等。
- 3 水下检查情况。以图像和视频方式对水下检查过程中发现的问题进行直观描述，将衬砌板损坏部位以网格示意图形式画出。

### 7.3 水下检查报告编制

7.3.1 专项检查任务完成后，应及时编制检查报告。

7.3.2 水下检查报告应包含下列主要内容：

- 1 工程概况。包括检查渠段的工程基本情况、地质情况、异常概况等。
- 2 水下检查工作开展情况。包括检查设备布放情况、检查方式及范围。
- 3 水下检查发现的问题。对水下检查过程中发现的问题进行统计，绘制损坏部位网格示意图，并以图像和视频方式对每条问题给出直观描述。
- 4 有关的建议和意见。根据水下检查所发现的问题并结合安全监测数据及工程现场实际情况，对工程水下运行状态给出评价，对存在的问题提出意见。

### 7.4 成果归档

7.4.1 成果归档应包括水下检查的原始数据、过程记录、运行参数、结果报告及与检查相关的其他文件。

7.4.2 成果归档应满足以下要求：

- 1 所有归档资料应完整、准确、清晰，不得有涂改、缺失等情况。
- 2 按照检查项目进行分类归档，每个项目应建立独立的档案。
- 3 归档资料应采用电子文档和纸质文档相结合的方式，电子文档应备份保存。
- 4 电子文档应按照规定的格式进行存储，纸质文档应装订整齐。
- 5 归档资料的命名应规范，应包含项目名称、检查时间、检查人员等信息。

7.4.3 应制定规范的归档流程及存档地点，水下检查成果报告的保管期限不低于 10 年，对于重要的检查项目或涉及重大安全问题的检查报告，保管期限应适当延长。

7.4.4 应制定规范的档案查阅流程及保密规定。

## 8 作业安全与环境保护

8.0.1 作业现场应进行危险源识别，并制定有效的控制措施。重大危险源必须制定专项方案、控制措施和应急预案，应制定危大工程专项施工方案。

8.0.2 水下机器人作业过程中，应关注下列工作：

- 1 过程记录：水下作业过程中，应保持完整的水下检查过程，并存档。
- 2 通讯检查：作业过程中，应定时测试通信状态，维持人员和设备的有效沟通。
- 3 风险管控：涉及交叉作业、超浅水作业时，应依据风险评估，采取预防措施。

8.0.3 在水下机器人出现故障、天气条件等不满足安全作业要求时，应及时回收水下机器人并及时通报相关管理方。

8.0.4 水下作业前，作业人员应进行安全培训、技术交底。

8.0.5 作业现场用电应符合 GB 50194 的有关规定。

8.0.6 作业现场消防灭火器材配置应按 GB 50720 的有关规定执行，不应使用明火。

8.0.7 水下作业对技术人员、设备系统以及程序等的要求应符合国家相关规定。

8.0.8 水下检查采用的方法、工艺、装备、材料应满足环保的要求，饮用水源地水下检查时应无毒、无害，符合 SL 398、SL 399、SL 492 的相关规定。

## 附录 作业准备检查表

表 A.1 有缆机器人作业准备检查表

编号：

日期：

作业前检查

机器人外观			
吊装设施		所有电缆和软管情况（无缆机器人不涉及）	
脐带受力情况（无缆机器人不涉及）		补偿器是否正常	
配重情况		电子仓情况	
设备有无松动		液压系统情况	
电缆连接或插接头是否良好		电源电压	
未使用的接口是否有接口		电源频率	

启动

线路接地/绝缘监视		声呐控制	
图形画面		监视器	
微调旋钮		机械手控制开关	

机器人检查

有缆机器人电器接通电源并检查绝缘 （无缆机器人信号连接并检查绝缘）		推进器补偿器读数	
液压动力源装置温度		罗盘读数	
电子舱真空		深度读数	
摄像头聚焦变焦		声呐功能	
灯泡及调光		沉没功能	
电机补偿器读数		通信信号	
云台转动检查		螺旋桨	
拆除固定绑带		下水前去掉摄像头封盖	

记录人员：

日期：

表 A.2 有缆机器人设备维护保养程序

第 周

日期:

序号	部位名称	保养内容	保养周期	状况	备注
1	浮体	1.检查浮材有无破损及局部塌陷, 填充破损区域并进行表面处理	检测前/后		
2	吊环	1.检查吊环有无腐蚀及裂缝/磨损, 对损坏区域进行必要的修补	检测前/后		
3	框架	1.检查是否发生腐蚀、裂缝/磨损, 对损坏区域进行必要的修补	检测前/后		
		2.检查与各装置的连接是否松动	检测前/后		
		3.检查各支撑安装是否松动	检测前/后		
		4.定期对框架部分进行表面处理	检测前/后		
4	推进器	1. 清洗螺旋桨, 检查有无裂缝, 修补损伤或及时更换	检测前/后		
5	机械手	1. 检查机械手各处连接灵活及松动情况及腐蚀情况	检测前/后		
		2.若机械手长时间不用, 就在调节杆涂润滑油进行防护	六个月/检测前/后		
		3.检查液压软管是否磨损或割伤, 及时修理或更换已损坏的软管	六个月/检测前/后		
		4.确认机械手关节处、调节杆上的转动销及枢轴上的转动销完好牢固	六个月/检测前/后		
		5.检查调节器主体和轴有无凹陷、变形或其他损坏, 每一个或更换已损坏的组件	六个月/检测前/后		
		6. 定期对机械手进行表面处理	六个月		
6	云台	1. 定期对云台进行清理	六个月		
7	连接箱	1. 定期清理水分和灰尘	六个月		
8	电子仓	1. 确定绝缘良好, 拍下所有开关并清洗	根据显示		
		2. 确定电子仓内各电路板安装牢固, 无损坏	根据显示		
9	控制室	1. 确定控制台上所有设备安装牢固	检测前/后		
		2. 用防静电清洗控制台和监视器	检测前/后		
		3. 用去油剂擦拭台壁、变压器配电箱	检测前/后		
		4. 检查控制箱外壁有无损伤和锈蚀	检测前/后		
		5. 确定控制台和变压器固定螺栓紧固, 控制台减震放置良好	检测前/后		
		6. 清洗电脑和风扇滤网	检测前/后		
		7. 确定所有进入控制箱的电缆固定可靠	检测前/后		
		8. 控制箱合页进行润滑	检测前/后		
10	光纤	1. 检查表面有无磨损, 及时修复	检测前/后		
		2. 检查信号传输是否正常	检测前/后		
		3. 检查链接头传输是否正常	检测前/后		
		4. 确保动力输出及信息输入, 及时更换	检测前/后		
11	缆车	1. 计数器是否工作正常	检测前/后		
		2. 受遥/电动 收放状况	检测前/后		

序号	部位名称	保养内容	保养周期	状况	备注
		3. 车架坚固度	检测前/后		
12	配重块	1. 连接固定是否牢固	检测前/后		
13	检测工具	1. 连接牢固检查	检测前/后		
		2. 工作状态是否正常	检测前/后		
		3. 传输是否正常	检测前/后		
		4. 清洗表面，检查磨损并及时维护	检测前/后		

保养人：

复核人：

## 本标准用词说明

- 1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。