

水下工程有缆机器人检测规程

Code for detection of underwater projects using remote operated vehicle

2021 - 07 - 09 发布

2021 - 08 - 09 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 有缆机器人与检测设备 1

 4.1 通用要求 1

 4.2 有缆机器人技术要求 2

 4.3 水下定位 3

 4.4 水下检测设备 3

 4.5 机器人及设备的检验和调试 4

5 检测内容及作业程序 4

 5.1 检测内容 4

 5.2 检测方法 4

 5.3 检测作业程序 6

6 检测成果与分析评价 7

 6.1 一般规定 8

 6.2 检测成果判读 8

 6.3 缺陷类型与等级 8

 6.4 资料整理分析与评价 9

 6.5 检测结论与评价 10

附录 A（规范性） 有缆机器人作业准备检查表 11

附录 B（规范性） 有缆机器人设备维护保养程序 12

附录 C（规范性） 有缆机器人现场作业记录 14

附录 D（规范性） 有缆机器人应急程序 15

 D.1 目的 15

 D.2 应急程序 15

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。

本文件由山东省水利厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：山东省水利科学研究院、山东省海河淮河小清河流域水利管理服务中心、南水北调东线山东干线有限责任公司、山东未来机器人有限公司。

本文件主要起草人：刘力真、顾红鹰、曹方晶、董延朋、顾霄鹭、崔庆福、陶泽文、周大光、张山、李福超、余楠、郑茂海。

水下工程有缆机器人检测规程

1 范围

本文件规定了水下工程有缆机器人检测的设备技术要求、检测内容及作业程序、检测成果与分析评价等。

本文件适用于指导水库、水闸、泵站、隧洞与暗涵、河道、湖泊及港口等水利工程利用有缆机器人对水下部分进行的检查、检测、探测及水下作业等活动。

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。

- SL 197 水利水电工程测量规范
- SL 713 水工混凝土结构缺陷检测技术规程
- SL 734 水利工程质量检测技术规程
- T/CDSA—305.23 水下工程声纳渗漏检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

有缆机器人 Remote Operated Vehicle

有缆遥控机器人（也称“缆控机器人”），其主要特点是能够潜入水下环境，代替人完成某些操作。

注：在水利工程运用中，可搭载深度计、声呐系统、罗经等各种传感器及计算机视觉系统，某些机器人还可搭载切割机等操作手，完成水下作业任务。机器人主要由4部分组成：水上控制台、电源、脐带缆及绞车、机器人本体。

3.2

脐带缆 umbilical cable

连接水上控制系统与水下本体的介质并为控制系统提供电力传输、用于控制系统通信的电缆。

3.3

水下作业区 underwater operating area

有缆机器人按照作业任务要求进行水下后续检测等工序的作业区域。

3.4

检测单元 detection unit

根据水利工程的结构或设备特点及检测工作需要，采取相应检测技术、方法划分的可独立评价其质量的基本单位。

4 有缆机器人与检测设备

4.1 通用要求

设备选型与技术要求如下：

- 应合理选定机器人型号、级别及搭配的检测设备和相应工具，保证机器人及设备能适应作业要求；
- 水面控制台应放置在稳定牢靠的平台，临空临水操作应设置防护措施；
- 电源柜的容量应与实际负载相匹配，各控制模块和功率电源应满足绝缘、通风、散热、防雨、防火等安全要求，外壳及底座应可靠接地；
- 脐带缆外观应完好、顺直，无损伤、扭结、缺陷或污染，检测前应按要求对脐带缆进行外观检查；
- 水下检测机器人本体应满足耐压、防水、绝缘、静态平衡、动态平衡等运动控制要求。

4.2 有缆机器人技术要求

4.2.1 基本配置

有缆机器人检测平台可分为观察级和作业级。水下裂缝、伸缩缝、止水、闸门锈蚀及结构沉陷宜采用小型观察级有缆机器人，搭载高清摄像头、成像声呐等设备完成。需要执行水下取样、测量、渗漏检测等操作任务时宜采用中、大型的作业级有缆机器人，基本配置见表1。

表1 水利工程检测有缆机器人基本配置表

平台分类		尺寸 mm	基本照明	摄像头	驱动方式	选配 性能
观察级	小型	≤400	2×25WLED	水下高清	2~4 螺旋桨	1~2 项
作业级	中型	400~1 500	4×25WLED	水下高清	4~6 螺旋桨	多种
	大型	≥1 500	4×25WLED	水下高清	6~8 螺旋桨或履带式	多种

4.2.2 控制系统

有缆机器人控制系统的技术要求如下：

- 水上控制系统应具有在监视器上同步显示日期、时间、水深、行进距离等基本信息的功能，并应可以进行数据处理；
- 操控台可采用按键和摇杆发送指令控制机器人本体在水下实现检测作业；应能够采集摄像头清晰的图像，并实现抓拍录制视频的功能；
- 机器人本体应能在水中实现上浮下潜、进退、转艏、横滚等多自由度灵活运动，能够实现定深、定航及定横滚动作；
- 摄像系统应密封、耐压，镜头应具有平扫与旋转、俯仰与旋转、变焦功能，摄像头高度应可以自由调整；
- 控制器应能够实时采集舱内各个传感器的信息，时刻监测舱内温湿度及漏水情况；
- 照明灯光强度应能自主调节。

4.2.3 脐带缆

脐带缆应选用零浮力电缆，保持在水中重力与浮力相等。
作业前应对脐带缆的抗拉强度进行评估，不应超负荷工作。

4.2.4 机器人本体

检测用机器人本体作为检测设备和定位系统的搭载平台，选型应满足以下条件：

- 扩展性：机器人本体结构具有开放性，便于搭载设备，控制台能提供额外传感器控制输入；
- 推进器：保证设备在流速不大于 1 m/s 的水体中能够稳定作业；
- 负载能力：根据作业要求满足携带机械手、成像设备、声呐等传感器的要求；
- 摄像照明：摄像头和照明设施能同时转动，保证摄像头旋转角度内照明无死角；
- 辅助设备：机器人本体平台宜搭配功能机械手，可完成一定的水下作业任务。

4.3 水下定位

4.3.1 超短基线定位系统

超短基线定位系统的定位基点宜布置在水面船底并集中在一个阵列上，基线可为几厘米，换能器安装于船底并保持船体稳定，并应在船上配备姿态补偿器或选择集成姿态补偿器的超短基线。为避免应答器回波经水下建筑物反射对定位精度的影响，船只距离水下建筑物不宜太近。

4.3.2 基于 GPS 的水下定位系统

基于GPS的水下定位系统适用于开敞式水域。水下GPS定位系统应包括由GPS定位浮标、GPS卫星星座和差分基站共同组成水面大地测量基准。作为水下定位的水面测量基线可对有缆机器人所配备的收发机进行精确位置标定。

4.3.3 管道、输水隧洞等水下建筑物检测定位

有水管道、输水洞、倒虹吸或涵洞检测可根据电缆上的标记长度结合计数器显示数值进行定位。

4.4 水下检测设备

4.4.1 通用要求

有缆机器人搭载使用的仪器设备的精度应满足检测要求并按规定检定合格。

4.4.2 光学设备要求

摄像头可以安装在云台上，或固定在机械手上。在不同照度条件下，摄像头应能观察目标对象，并能清晰地成像。云台能使摄像头进行全方位的观察。

4.4.3 声学设备

声学设备应满足要求如下：

- 在低能见度、浑浊水体环境下的探测宜选用图像声呐；
- 水下地形地貌检测可采用单波束声呐和多波束声呐。声呐工作前应规划好行进路线并应保持平台和探头的稳定；
- 水下三维成像宜采用多波束声呐；多波束声呐水下测量应执行 SL 197 的规定；
- 大范围湖底或水库库底图像输出宜采用侧扫声呐或多波束声呐。

4.4.4 机械设备要求

机械设备应满足要求如下：

- 清洗设备：有缆机器人可搭载清洗工具完成某些结构物清洗。这类工具包括旋转打磨刷、高压水枪等；
- CP 探头主要用于检测水下金属结构上牺牲阳极的电位，以判断其腐蚀情况；宜与清洗设备配合使用，以提高测量的准确性；

——液压剪由液压驱动，用于剪切连接缆或吊装缆。

4.4.5 传感器或无损检测设备

电位测量仪、超声测厚仪和构件漏水探测系统等无损检测(NDT)传感器应满足精度要求或相关仪器设备适用条件。

4.5 机器人及设备的检验和调试

机器人及设备下水前应进行检验和调试，填写机器人作业准备检查表，格式应符合附录A；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，格式应符合附录B。

5 检测内容及作业程序

5.1 检测内容

5.1.1 检测内容与项目

根据水利工程水下检测对象和运行状态，检测内容和项目列举如下：

- 河、湖、水库等开敞水域的水下地形、地貌检测；
- 河道、渠道、湖泊及水库水下淤积、冲刷、岸坡情况检测；
- 土石坝护坡表观质量、块石尺寸、沉陷等；
- 混凝土坝、拱坝坝体表观质量、裂缝、连接缝止水；
- 水闸结构体表观质量、裂缝、连接缝止水、基础异常沉陷等；
- 水闸闸门门体结构和闸门锈蚀、止水等情况等；
- 泵站进出水渠、流道等水下各结构物情况检查；
- 倒虹吸淤积、各箱涵体止水和不均匀沉降等；
- 涵洞、暗渠内部隐患排查。

5.1.2 检测单元划分

检测单元应根据工程特点和运行工况按下列要求划分：

- 对于土石坝水下护坡结构，可沿长度或轴线方向每 10 m 或按面积不超过 50 m² 划分为 1 个检测单元；
- 对于水闸、泵站等结构体建筑物，按结构体功能分类，上游连接段、闸室段和下游连接段等均可独立划分为检测单元；
- 闸室段的闸墩、导墙、底板等检测单元不宜大于 100 m²；
- 重力坝、拱坝和碾压混凝土坝可按坝体段结构体和过水建筑物结构体两部分分别进行划分：
 - 坝体段结构体可沿大坝轴线方向 50 m 长，50 m 水深及相应位置断面宽度划分为 1 个检测单元；水下坝体深度不足 50 m，可按实际深度划分为 1 个检测单元；
 - 坝体溢流面部位、引输水建筑物导墙等过水建筑物结构体，可按水下侧面不超过 200 m² 划分为 1 个检测单元。
- 隧洞工程按长度划分检测单元，不宜大于 100 m。

5.2 检测方法

5.2.1 水下检测方法适用范围

各水下检测方法的适用范围如下：

- 摄像（照像、录像）检测：混凝土构件的表面情况，包括裂缝、止水、缺陷、变形、完整性、搭接和固定方式、涵管的连接部位的止水、连接装置及连接；金属机电构件的表面情况，包括裂缝、砂眼、变形等；水下摄录法应执行 SL 713 的规定；
- 声呐检测：混凝土构件的表面情况，包括裂缝、止水、缺陷、变形、完整性、搭接和固定方式、涵管的连接部位的止水、连接装置、连接质量及内部缺陷以及水下地形地貌、水下地质分层等；
- 渗漏声呐检测：渗漏声呐可检测渗、漏水情况；渗漏声呐检测应执行 T/CDSA—305.23 的规定；
- 电位差检测：金属构件的腐蚀检测；
- 水下金属探伤检测：金属材料内部气孔、砂眼、夹杂、折叠、裂纹、焊缝的未熔合和未焊透性等的检测、定位、评估及诊断，同时具有轴类、筒类、无缝钢管、直缝焊管等工件外圆周向探伤功能；
- 其他检测：可根据具体要求进行相关检测。

5.2.2 水下检测要求

检测时应符合下列要求：

- 检测时应分条、块进行，条宽不宜大于摄录机最佳视角宽度，块长不宜大于一次水下作业长度，条、块应做醒目刻度标记或有固定参照物，标记的起点位置应明确，标记的数字不宜重复出现；
- 应选择最佳摄录距离和角度，摄录的每帧图像应清晰，并标记相应编号；
- 应结合目视对缺陷范围、裂缝走向、宽度和长度进行量测，对缺陷和裂缝性质进行描述；
- 水下渗漏检测的测线布置应符合下列要求：
 - 在检测区域水面上平行和垂直建筑结构表面布置纵向和横向测线，测线布置宜兼顾结构缝位置，在水深大于10 m的水域进行渗漏缺陷检测普查时，测点的间距不宜大于5 m；
 - 纵、横测线组成的渗漏检测网格区域应大于被检测的渗漏区域；
 - 对网格结点逐一编号，每一结点为一个测点。

5.2.3 水下检测设备

水下检测的设施主要有：水下摄像头、声呐、激光尺度仪、电位差仪、声呐流速矢量探头、多波束测深系统、侧扫声呐、浅地层剖面仪等。不同的水下检测项目和内容适用的检测设备可参考表2。

表2 水下建筑物检测项目及检测设备表

建筑物		检测项目和内容	检测设备
挡水建筑物	大坝	坝体质量情况、整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪；部分区域可用手持式
	堤防	堤坝水下部分的损坏及缺陷情况、堤坝的完整性	搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪；部分区域可采用手持式
	水闸	针对严重损坏的、不能露出水面的闸门及门槽水下部分，及水下土建基础部分	搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪，金属部分可搭载电位差仪；部分区域可采用手持式
泄水建筑物	溢洪道	水下部分整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	有缆机器人搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪；部分区域可采用手持式
	泄洪洞	水下部分整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	

表2 水下建筑物检测项目及检测设备表（续）

建筑物		检测项目和内容	检测设备
输水建筑物	输水洞	水下部分整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	有缆机器人搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪
	引水管	水下部分整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	有缆机器人搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪
	渠道	水下部分整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	有缆机器人搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪
	渡槽	水下部分整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	有缆机器人搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪
	倒虹吸	水下部分整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	有缆机器人搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪
取水建筑物	进水闸	针对严重损坏的、不能露出水面的闸门及门槽水下部分，及水下土建基础严重损坏的部分	有缆机器人搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪；金属部分可搭载磁粉测量仪和电位差仪；部分区域可用手持式
	泵站	水下部分整体完整性、损坏及缺陷等，如裂缝、变形	有缆机器人搭载成像声呐、水下摄像机、激光尺度仪；金属部分可搭载磁粉测量仪和电位差仪
水库、渠道、湖泊等水域底部		水下地形、地貌、淤积	多波束测深系统、侧扫声呐、浅地层剖面仪等

5.3 检测作业程序

5.3.1 基本程序

检测作业基本程序应包括：

- 资料搜集、现场踏勘并编制检测方案；
- 检测前准备；
- 现场检测作业；
- 资料整理，缺陷判读及工程评估；
- 编写检测报告。

5.3.2 检测资料搜集

检测单位首先应搜集水下作业区域工程的地质、设计、施工、运行管理等相关资料，组织技术人员进行现场踏勘，结合工程特点及现场条件，编制检测方案，并提交委托单位备案。检测前应搜集下列资料：

- 水下作业区域内的工程地质和水文地质资料；
- 水下工程的图纸等技术资料；
- 工程监测资料、运行中出现的主要问题等；
- 水下工程检测的历史资料；
- 评估所需的其它资料。

5.3.3 检测前现场踏勘

现场踏勘应包括下列内容：

- 察看水下作业区域及入水区域的地物、地貌、交通状况等周边环境条件；

- b) 检查入水点位置、水深、流速；
- c) 检查评估水下淤积、水下作业区深度、作业面情况等。

5.3.4 检测方案编制

检测方案应包含下列内容：

- a) 检测任务、目的、范围和工期；
- b) 水下待检区域基本情况（包括现场交通条件、水下待检区基本情况及对历史资料分析）；
- c) 选用水下检测机器人的型号及搭载的具体设备；
- d) 作业质量、健康、安全、交通组织、环保等保证体系与具体措施；
- e) 出入水及实施过程的控制措施及应急方案；
- f) 可能存在的问题和对策；
- g) 工程量估算及工作进度计划；
- h) 人员组织、设备、材料计划；
- i) 拟提交的成果资料。

5.3.5 检测作业准备

人员和设备作业准备如下：

- 水下检测实施前应进行水下检测方案的技术交底，以保证操作人员对检测目的、方法、时间、项目及内容等有详细的了解，并进行沟通协调。检测期间，各方应配合检测单位实施水下检测，同时检测单位应合理安排检测时间，尽量减小对工程运行的影响；
- 机器人在入水检测前应对有缆机器人及附属设备进行检查，填写机器人作业准备检查表；机器人作业须填写现场作业记录表，格式应符合附录 C，记录表填写自陆地检查开始至出水检查结束。记录表应详细记录设备陆地检查、水下作业过程和出水检查的情况，不断提高设备管理、作业管理和档案管理水平。

5.3.6 检测作业要求

检测作业技术要求：

- 检测人员应对作业过程中的传输视差、能见度、温度、盐度、污染物、水流等环境因素的影响进行预估，同时应考虑风力大小对支持船定位的影响。必要时可制定应急预案。应急预案可参照有缆机器人应急程序执行，格式应符合附录 D。应急情况处置过程中应严格操作程序，做好操作记录。如果一天作业时间超过一个班，应做好交接班记录；
- 检测影像记录应连续、完整，实施检测过程并初步判读；录像画面上方应标有“项目名称、编号、检测时间”等内容，并宜采用中文显示；
- 对发现的缺陷或疑似缺陷应进行二次检测，判断缺陷性质，详细描述并评估；缺陷位置的纵向始点应为机器人入水点，缺陷纵向定位误差应小于 0.5 m。检测系统设置的长度计量单位应为米，缆线长度计量精度不宜大于 0.1 m；
- 现场检测完毕后，应由相关人员对检测资料进行复核并签名确认；应及时清理现场、保养设备；
- 检测数据与成果资料的整理归档应执行 SL 734 的规定；建立检测台账，整理历次检测报告并归档。

6 检测成果与分析评价

6.1 一般规定

- 6.1.1 对检测发现的缺陷按表 3、表 4 进行分类，按严重程度进行评估。
- 6.1.2 工程评估应以检测单元为最小评估单位，并进行总体评估。

6.2 检测成果判读

- 检测成果判读要求如下：
- 水下成像或声呐检测截取的图片应标明编号、测区序号、水流流向、水深等信息，采样位置和图形变异处应现场捕捉成像并进行数据保存，经校准后的检测断面定位测量误差应小于 3 %；
 - 声呐轮廓图不应作为结构性缺陷的最终评判依据，应采用摄像检测方式予以核实或以其他方式检测评估；
 - 缺陷的类型、等级应在现场初步判读并记录。现场检测完毕后，应由复核人员对检测资料进行复核；
 - 缺陷尺寸的判定可依据机器人自带的刻度标尺判定；
 - 无法确定的缺陷类型或等级应在评估报告中加以说明；
 - 缺陷图片宜采用现场抓取最佳角度和最清晰图片的方式，特殊情况下也可采用观看录像截图的方式；
 - 对直向摄影和侧向摄影，每一处结构性缺陷抓取的图片数量不应少于 1 张。

6.3 缺陷类型与等级

- 6.3.1 缺陷类型分为结构性缺陷和功能性缺陷两类，缺陷等级应按表 3 规定分类。

表3 缺陷等级分类表

缺陷性质	等级		
	1	2	3
结构性缺陷程度	轻微缺陷	中等缺陷	严重缺陷
功能性缺陷程度	轻微缺陷	中等缺陷	严重缺陷

- 6.3.2 结构性缺陷的名称、等级划分应符合表 4 的规定。

表4 结构性缺陷名称、等级划分

缺陷名称	定义	等级	缺陷描述
结构裂缝或破损	因外部压力超过自身的承受力、温度或其他原因致使结构体混凝土发生裂缝、破损或破裂。	1	裂痕——当下列一个或多个情况存在时： 1) 在混凝土表面可见细裂痕； 2) 在混凝土表面由细裂缝处冒出少量沉积物； 3) 轻度剥落。
		2	裂口——破裂处已形成明显间隙，但混凝土表面未错位且破裂无脱落。
		3	错位变形——当下列一个或多个情况存在时：裂缝为贯通性，且宽度大于1mm；沿裂缝两侧错位超过5mm。

表 4 结构性缺陷名称、等级划分（续）

缺陷名称	定义	等级	缺陷描述
变形	断面或洞身受外力挤压造成形状变异	1	变形不大于断面尺寸或管道直径的1%。
		2	变形为断面尺寸或管道直径的1%~5%。
		3	变形大于断面尺寸或管道直径的5%。
腐蚀	侧壁受侵蚀而流失或剥落，出现麻面或露出钢筋	1	轻度腐蚀——表面轻微剥落，侧壁出现凹凸面。
		2	中度腐蚀——表面剥落显露粗骨料或钢筋。
		3	重度腐蚀——粗骨料或钢筋完全显露。
错位	同一接口的两个洞口产生横向偏差或错位	1	轻度错位——相接的两个管口偏差不大于管壁厚度的1/10。
		2	中度错位——相接的两个管口偏差为管壁厚度的1/10~1/5之间。
		3	严重错位——相接的两个管口偏差为管壁厚度的1/5以上。
渗漏	埋管洞外水流入洞内	1	线漏——水持续从缺陷点流出，并脱离管壁流动。
		2	涌漏——水从缺陷点涌出，涌漏水面的面积不大于管道断面的 1/3。
		3	喷漏——水从缺陷点大量涌出或喷出，涌漏水面的面积大于管道断面的1/3。

6.3.3 能性缺陷名称、等级划分应符合表 5 的规定。

表5 功能性缺陷名称、等级划分

缺陷名称	定 义	缺陷等级	缺陷描述	备注
沉积	杂质在洞身底部沉淀淤积	1	沉积物厚度小于管径的10%。	
		2	沉积物厚度在管径的10%~20%之间。	
		3	沉积物厚度大于管径的20%。	
结垢	建筑物侧壁或洞身内壁上的附着物	1	硬质结垢造成的过水断面损失不大于5%；软质结垢造成的过水断面损失在10%~15%之间。	
		2	硬质结垢造成的过水断面损失在5%~10%之间；软质结垢造成的过水断面损失在15%~25%之间。	
		3	硬质结垢造成的过水断面损失大于10%；软质结垢造成的过水断面损失大于25%。	
障碍物	洞内影响过流的阻挡物	1	过水断面损失不大于10%。	
		2	过水断面损失在10%~20%之间。	
		3	过水断面损失大于20%。	
浮渣	水面上的漂浮物	1	零星的漂浮物，漂浮物占水面面积不大于 20%。	
		2	较多的漂浮物，漂浮物占水面面积为20%~40%。	
		3	大量的漂浮物，漂浮物占水面面积大于40%。	

6.4 资料整理分析与评价

6.4.1 检测结果整理

检测结果及整理应符合下列要求：

- 检测结果应包含整个检测区域，不应有遗漏；
- 离散的图像宜按相邻条或块拼接成整张图像；
- 拼接后的图像应附有刻度标记。

6.4.2 检测评估报告

检测工作结束后应及时整理数据及影像资料，并编写检测与评估报告。检测与评估报告应符合下列规定：

- 应描述任务及工程概况，包括任务来源、检测与评估的目的和要求、被检工程的平面位置图、地质条件、检测时的天气和环境、检测日期、主要参与人员的基本情况、实际完成的工作量等；
- 应记录现场踏勘成果；
- 应说明现场作业和检测评估的标准依据、采用的仪器和技术方法，以及其他应说明的问题及处理措施；
- 应提出检测与评估的结论与建议。

6.4.3 检测资料提交

提交的检测与评估资料应包括下列内容：

- 任务书、技术设计书；
- 所利用的已有成果资料；
- 现场工作记录资料，包括：
 - 检测单位、监督单位等代表签字的证明资料；
 - 现场踏勘记录、检测现场记录表、工作地点示意图、现场照片。
- 检测与评估报告；
- 影像资料。

6.5 检测结论与评价

对所有视频资料及声呐影像资料进行详细分析、对水下工程运行情况做出判断，并形成以下结论。

- 是否发现明显的工程隐患问题，水下工程有无结构性、功能性的缺陷；
- 对各检测指标、检测单元作出评价。无结构和功能性缺陷，结构体可正常运行，应评价等级为合格；存在轻微结构或功能性缺陷，经评估或经采取措施后对结构体影响较小，不影响运行，可评价未合格；存在较严重结构或功能性缺陷，经评估或经采取措施后对结构体影响较大，影响安全运行，应评价等级为不合格；
- 对工程运行状况进行总体评价，并分析对运行产生的影响。

附录 A
(规范性)
有缆机器人作业准备检查表

有缆机器人作业准备检查表见表A. 1。

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	
脐带受力情况		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头		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		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：

附 录 B
(规范性)
有缆机器人设备维护保养程序

有缆机器人设备维护保养程序见表B. 1。

表B. 1 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	六个月		
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			
		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		
		6. 清洗电脑和控制箱的风扇滤网	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		

表 B.1 有缆机器人设备维护保养程序（续）

序号	部位名称	保养内容	保养周期	状况	备注
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. 手摇/电动 收放状况	检测前/后		
		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：

附 录 C
(规范性)
有缆机器人现场作业记录

有缆机器人现场作业记录见表C. 1。

表C. 1 有缆机器人现场作业记录

项目：日期：

下水编号		系统	
地 点			
负责人		主检	
天气		气温	
风速		水深	
水温		流速	

检测内容：

时间	描述	时间	描述

备注：工作时间，依次记录工作顺序及内容（从陆地检查开始至设备出水后检查结束）

记录人员：
日 期：

附 录 D
(规范性)
有缆机器人应急程序

D.1 目的

事先分辨出有缆机器人在作业过程中可能出现的紧急情况，制定出相应的应变措施，做到当描述的紧急情况发生时，能够及时采取有效措施，按照预定步骤逐项执行，避免损失或将损失降到最低。

D.2 应急程序

应急状态及应急措施与步骤见表D.1。

表D.1 应急状态及应急措施与步骤

序号	应急状态	状态说明	应急措施与步骤
A	动力电力中断	有缆机器人最危险状况：不受控制，处于自由漂泊状态	1. 迅速通知陆地（船）上工作人员 2. 有缆机器人操作人员观察其脐带的状态 3. 查明电力中断原因，及时排除故障，或故障短时间内无法排除，应接入临时电源 4. 及时利用脐带回收，注意回收速度防止脐带过度受力损伤
B	光纤通讯中断	有缆机器人最危险状况：不受控制，处于自由漂泊状态	1. 迅速通知陆地（船）上工作人员 2. 有缆机器人操作人员观察其脐带的状态 3. 查明光纤通讯中断原因，及时排除故障，或故障短时间内无法排除，主检人重启电子装置恢复通讯，或光纤通讯不能恢复则及时利用脐带回收，注意回收速度防止脐带过度受力损伤 4. 有缆机器人回收后组织人员进行修理
C	控制电力中断	有缆机器人最危险状况：不受控制，处于自由漂泊状态	1. 迅速通知陆地（船）上工作人员 2. 有缆机器人操作人员观察其脐带的状态 3. 及时利用脐带回收，注意回收速度防止脐带过度受力损伤 4. 工作人员迅速查明配电室有无异常（火花、烟雾、异常气味等等）并检查断电原因，在原因不明的情况下决不允许强行加电。有缆机器人出水后检查原因修复
D	有缆机器人脐带缠绕	有缆机器人最危险状况，特别是在较差能见度的水下作业时其危险性最大。	1. 迅速通知相关人员 2. 在情况不明时有缆机器人尽量保持不支，防止进一步缠绕 3. 回忆有缆机器人行走路线或通过回话录像分析可能与有缆机器人缠绕的目标位置和状态 4. 观察脐带受力情况并慢慢回收脐带，在脐带的回收过程中注意观察脐带的受力角度和有缆机器人去向，决不能使脐带过度受力 5. 旋转有缆机器人用摄像头看能否观察到缠绕位置，若看不到缠绕点，可操控有缆机器人沿着脐带向回行走至缠绕点 6. 根据缠绕情况操控有缆机器人解开缠绕 7. 有缆机器人出水后检查脐带是否受损

表 D.1 应急状态及应急措施与步骤（续）

序号	应急状态	状态说明	应急措施与步骤
E	失去液压动力	有缆机器人最危险状况，不受控制，处于自由漂泊状态	1. 迅速通知陆地（船）上工作人员 2. 有缆机器人操作人员观察其脐带的状态 3. 查明电力中断原因，及时排除故障，或故障短时间内无法排除，应接入临时电源及时利用脐带回收，注意回收速度防止脐带过度受力损伤。 4. 有缆机器人回收后组织人员进行修理
F	收放系统故障	有缆机器人处于危险状况，该系统有效运行，影响有缆机器人正常的投放和回收	1. ROB 未下水作业时收放系统发生故障：找出故障源进行有效修复 2. 有缆机器人下在水下作业时收放系统发生故障：找出故障源进行有效修复，若短时间无法修复，根据现场作业的实际状况将有缆机器人回到陆地再进行修复
	回收时风浪对有缆机器人的冲击	有缆机器人处于危险状况，有缆机器人本体及脐带部分易受破坏	1. 水面回收时，密切配合，安全有效地进行回收 2. 风浪过大时，尽可能使用水下回收方式
	系统显示异常	有缆机器人处于危险状况，系统显示异常，极大的影响操控人员对有缆机器人本体在水下状况的合理判断	1. 结合现场作业的实际状况，争取第一时间将有缆机器人回收至陆地进行故障的查找及修复
	摄像系统异常	有缆机器人处于危险状况，地面操作人员无法通过摄像头看到实物，有缆机器人处于不受控状态	结合现场作业的实际状况，依靠其他设备如声呐系统争取第一时间将有缆机器人回收至地面进行故障查找及修复
	声呐异常	有缆机器人处于最危险状况，尤其是在能见度低的水下，有缆机器人将处于不受控状态	1. 结合现场作业的实际状况，争取第一时间将有缆机器人回收至陆地进行故障的查找及修复
	罗盘异常	有缆机器人处于最危险状况，不能对有缆机器人定位，有缆机器人将处于不受控状态	1. 结合现场作业的实际状况，争取第一时间将有缆机器人回收至陆地进行故障的查找及修复
	有缆机器人水下照明出现故障	有缆机器人处于危险状况，没有照明相当于失去摄像头功能，仅依靠声呐系统有缆机器人很难进行较为细致的水下作业	1. 结合现场作业的实际状况，争取第一时间将有缆机器人回收至陆地进行故障的查找及修复
	恶劣天气	有缆机器人处于最危险状况	1. 作业中因风浪大无法回收时，可暂座于水底 2. 尽可能避开恶劣天气
	人员伤亡	水下作业人受伤生病等	1. 严格按照项目组要求进行作业 2. 严格依据有缆机器人操作及安全规定进行作业 3. 作业前进行安全教育 4. 做好防护防卫