

ICS 25.040.30

CCS J70

CC

团 体 标 准

T/CC X—2022

混凝土结构智能检测机器人

Intelligent detection robot of concrete structure

(征求意见稿)

2022-xx-xx 发布

2022-xx-xx 实施

中国合作贸易企业协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本参数及工作特点	2
4.1 基本参数	2
4.2 工作特点	4
5 系统组成	4
5.1 基本要求	4
5.2 智能机器人	4
5.3 空气耦合无线雷达	4
5.4 混凝土结构智能监控系统	5
6 技术要求	5
6.1 基本要求	5
6.2 适应性要求	5
6.3 功能要求、性能要求	6
6.4 其他要求	6
7 标志、标签、分类和随行文件	7
8 包装、运输、贮存、维护和保养	7
8.1 包装	7
8.2 运输	8
8.3 贮存	8
8.4 维护和保养	9
附录 A（规范性）混凝土结构智能检测机器人检测技术导则	10
参考文献	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。

本文件由中铁十二局集团山西建筑构件有限公司提出。

本文件由中国合作贸易企业协会归口。

本文件起草单位：中铁十二局集团山西建筑构件有限公司、XXX。

本文件主要起草人：XXX。

引 言

目前，国内混凝土结构雷达检测采用机械设备配合人工进行检测，人员高空作业安全风险高、传统雷达连接繁琐且受现场施工因素的影响检测效率低，检测完成后资料整理繁琐。

本文件对混凝土结构智能检测机器人产品生产进行统一规范，有必要对产品基本参数、工作特点、系统组成和技术要求作出规定，特制定本文件。

混凝土结构智能检测机器人

1 范围

本文件规定了混凝土结构智能检测机器人的基本参数及工作特点、系统组成、技术要求、标志、标签、分类和随行文件、包装、运输和贮存的要求。

本文件适用于公路、铁路、水利、市政、工业与民用建筑等领域的混凝土构筑物检测。

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。

GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 24001 环境管理体系 要求及使用指南

GB/T 27693 工业车辆安全 噪声辐射的测量方法

GB/T 45001 职业健康安全管理体系 要求及使用指南

3 术语和定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1

无损检测 *undestructive detection*

无破坏性检测。

3.2

混凝土结构智能检测机器人 *intelligent detection robot of concrete structure*

具有飞行、爬行、自主避障功能，能够携带检测装置的设备。

3.3

感知 *perception*

通过各种传感技术获取信息并处理，使机器人具备识别、判断自身、环境及人的状态的能力。

3.4

定位 *localization*

在环境地图上识别或分辨移动机器人的位置。

3.5

探测深度 depth of investigation

空气耦合无线雷达通过电磁波传播到被检测物体的深度。

3.6

纵向分辨率 axial resolution

分辨两个相近反射界面对应地层厚度的能力。

3.7

数据位数 data bits

表示一个时钟周期里，处理器处理的二进制位数。

3.8

扫描速率 draw the rate

对输入通道的采样[速]率，以每秒输入通道数表示。

3.9

记录道长度 record length

采集样点数，决定了垂直分辨率的大小。

3.10

实时软件处理功能 real-time software processing function

在检测过程中自动处理数据的功能。

3.11

测量方式 measurement method

数据采集的一种检测方式。

3.12

显示方式 video mode

一种视觉上的显示。

4 基本参数及工作特点

4.1 基本参数

4.1.1 智能机器人

智能机器人基本参数：

a) 尺寸：

- 1) 设备展开，不包含桨叶（长×宽×高）： $\leq 1200\text{ mm} \times 800\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ ， $\geq 300\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 110\text{ mm}$ ；
- 2) 设备折叠，包含桨叶（长×宽×高）： $\leq 800\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ ， $\geq 300\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 110\text{ mm}$ 。

- c) 对称电机轴距: ≤ 1200 mm, ≥ 800 mm;
- d) 重量:
 - 1) 空机重量 (不含电池): ≤ 6.5 kg;
 - 2) 空机重量 (含双电池): ≤ 7.8 kg。
- e) 起飞重量: ≥ 20.0 kg;
- f) 工作频率: 2.4000 GHz 发射功率;
- g) 旋转角速度: \leq 俯仰轴 300° /s、 \leq 航向轴 100° /s;
- h) 俯仰角度: $\leq 50^\circ$;
- i) 上升速度模式: ≤ 8 m/s;
- j) 下降速度 (垂直) 模式: ≤ 7 m/s;
- k) 倾斜下降速度模式: ≤ 7 m/s;
- l) 水平飞行速度模式: ≤ 28 m/s;
- m) 飞行高度: ≤ 5000 m (高原桨叶, 起飞重量 ≤ 15 kg) ;
- n) 可承受风速: ≤ 15 m/s (7 级风; 起飞和降落阶段为 12 m/s) ;
- o) 飞行时间: 15 min~20 min;
- p) 爬行速度: 3 km/h~5 km/h;
- q) 爬行高度: ≤ 200 m;
- r) 爬行方向误差: 100 m 直线偏转 ≤ 15 cm;
- s) IP 防护等级: IP48;
- t) 工作环境温度: -20 $^\circ\text{C}$ ~ 50 $^\circ\text{C}$;
- u) 工作环境相对湿度: 0%~90%。
- v) 遥控器:
 - 1) 工作频率: 2.4000 GHz;
 - 2) 信号有效距离 (无干扰、无遮挡): ≤ 1.2 Km;
 - 3) 外置电池名称: 容量 ≥ 12000 mAh、电压 50.4 V、电池类型 LiPo、充电时间 (使用 FH 智能充电器) 70 min (15 $^\circ\text{C}$ ~ 65 $^\circ\text{C}$)、130 min (0 $^\circ\text{C}$ ~ 35 $^\circ\text{C}$)。
- w) 前方补光灯:
 - 1) 有效照明距离: ≥ 5 m;
 - 2) 外置电池: 容量 ≥ 12000 mAh、电压 50.4 V; 电池类型: LiPo、充电时间 (使用 FH 智能充电器) 70 min (15 $^\circ\text{C}$ ~ 45 $^\circ\text{C}$)、130 min (0 $^\circ\text{C}$ ~ 15 $^\circ\text{C}$)。

4.1.2 混凝土结构智能监控系统

混凝土结构质量智能监控系统基本参数:

- a) 利用 5G 网络将现场质检数据与平台实时互通;
- b) 以 3D 模型还原现场展示。

4.1.3 空气耦合无线雷达

空气耦合无线雷达基本参数:

- a) 探测深度: 混凝土探测深度 ≥ 80 cm;
- b) 纵向分辨率: 宜满足 1/2 波长要求 (由天线主频和电磁波传播速度确定);
- c) 数据位数: 32 位;
- d) 扫描速率: 32/64/128/256 scan/s;

- e) 记录道长度：256/512/1024/2048;
- f) 实时软件处理功能：滤波、道间平均、去背景处理;
- g) 测量方式：逐点测量、距离触发测量、连续测量;
- h) 显示方式：灰度图、堆积波形;
- i) 无线传输频率：2.4 GHz 频段;
- j) 无线数传距离： ≥ 100 m;
- k) 整机重量： ≤ 2.6 kg;
- l) 整体尺寸（长 \times 宽 \times 高）： ≤ 300 mm \times 200 mm \times 110 mm;
- m) 连续工作时间： ≥ 4 h;
- n) 工作温度： -10 $^{\circ}\text{C}$ ~ 50 $^{\circ}\text{C}$;
- o) 储存温度： -20 $^{\circ}\text{C}$ ~ 60 $^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 工作特点

4.2.1 智能机器人工作条件:

- a) 检测环境无障碍物;
- b) 仪器各项性能正常;
- c) 检测员熟练操作,持证上岗。

4.2.2 混凝土结构智能监控系统工作条件:

- a) 检测项目的基本资料;
- b) 检测项目的数据采集;
- c) 系统结构的建立;
- d) 标准录入资料模板设定;
- e) 数据存储于固定服务器;
- f) 网络安全的模式设定。

4.2.3 空气耦合无线雷达工作条件:

- a) 检测物表面平整、干燥、无积水;
- c) 检测现场避免电磁场的干扰。

5 系统组成

5.1 基本要求

混凝土结构智能检测机器人一般由智能机器人、空气耦合无线雷达、混凝土结构智能监控系统组成。

5.2 智能机器人

根据重力学原理,利用反向力克服重力影响,智能机器人到达检测位置,通过静摩擦力与负荷力系统换算,保证智能机器人负载检测设备匀速前行。

5.3 空气耦合无线雷达

主机通过输出电信号至天线,从而将电信号转化为电磁波在介质中传播,通过天线将电磁波反射信号转化为电信号至主机。雷达分析探测环境介质特性,建立数学计算模型,模拟介质特性,计算雷达主机的

指标分配，包括发射脉冲信号功率、接收信号灵敏度、收发天线增益及方向性、接收系统线性动态范围、AD 量化位数等，指导设计方案制定。

5.4 混凝土结构智能监控系统

利用大数据对采集信息分析处理，将智能处理系统与监控平台链接，传输、计算、分析数据，通过信号接口、模型数据加载、以数字区间分析计算、达到系统信息与用户智能串联。

6 技术要求

6.1 基本要求

6.1.1 电池充电应满足 GB/T 5226.1—2019 中 4.3.2 的要求。

6.1.2 智能机器人本体电源应满足 GB/T 5226.1—2019 中 4.3.2 的要求。

6.1.3 智能机器人应按照 GB/T 27693 的测试方法对释放的噪声危害进行评定，声压不应超过 75 dB。

注：若智能机器人可在限制区域内使用，本条不适用。

6.1.4 智能机器人的可靠性用平均无故障工作时间和平均修复时间来衡量，具体数值可由制造商自行规定。

6.1.5 智能机器人应按照 GB/T 45001、GB/T 24001 的规定执行，满足职业健康安全、环境保护及资源合理利用等的要求。

6.1.6 智能机器人应具有启动、停止、急停、复位（停止后恢复运行）等运动控制功能。

6.1.7 智能机器人检测作业应遵守附录 A 的规定。

6.2 适应性要求

6.2.1 可用性

6.2.1.1 在建铁路、公路隧道混凝土结构质量检测。

6.2.1.2 市政行业施工（地铁、综合管廊、下穿隧道、排污、地下空间等）和运营过程中的地表空洞普查及高层建筑混凝土结构检测。

6.2.1.3 水利、水电堤防、大坝、引水隧洞等混凝土结构质量检测。

6.2.1.4 机场跑道的混凝土结构质量检测。

6.2.1.5 搭载其他设备代替人工进行高空飞行和爬壁作业。

6.2.2 接口、互换性、兼容性或相互配合

各个数据接口应能利用无线传输，下载相关软件，通过调制解调等手段，将视频图像传送。系统联合设计时，应进行系统集成设计，各系统之间相互兼容且能独立工作。

6.2.3 品种控制

6.2.3.1 智能机器人智能化定位技术，利用 GPS/INS 紧耦合组合导航算法，通过卡尔曼滤波得出高质量的 INS 数据，基于 MATLAB 建立仿真模型输出的仿真数据，采用最优的导航系统使 GPS 效率得到提高。

6.2.3.2 空气耦合无线雷达基于 5GCPE 数据控制技术，采用无线控制软件，提升仪器接收信号的灵敏度。预留姿态传感器、GPS、视频等数据接口，实现多种探测器数据控制及数据处理。

6.2.3.3 混凝土结构智能监控系统以云端互联网为平台，数据导入后台，应用程序代码计算，数据结果通过立体成像方式展现。

6.3 功能要求、性能要求

6.3.1 功能要求

6.3.1.1 智能机器人应具备：

- a) 智能分析、高清视频采集等功能；
- b) 携带检测仪器匀速前行，适应各种检测环境。

6.3.1.2 空气耦合无线雷达具备：

- a) 大动态高精度接收系统、WIFI 数据通信、低功耗、无线数据传输、空气耦合检测等功能；
- b) 高灵敏度、远程通信及 GPS 定位功能。

6.3.1.3 混凝土结构智能监控系统具备：

数据智能分析、有效识别质量病害信息、检测结束信息比对等功能。

6.3.2 性能要求

6.3.2.1 智能检测机器人

智能机器人智能化定位要求如下：

应具有高效、可靠、简易的安全防护系统，循迹纠偏系统及巡检路径策略，扇形机翼保护装置。

6.3.2.2 空气耦合无线雷达

空气耦合无线雷达性能要求如下：

- a) 空气耦合无线雷达与被检结构物表面无需密贴，宜选用优化的巡检路径策略，自动提高检测效率。
- b) 通过空气耦合无线雷达检测数据配套线路模式，应用移动通讯模式，达到远距离无人值守巡检。

6.3.2.3 混凝土结构智能监控系统

混凝土结构智能监控系统性能要求如下：

- a) 系统具备学习功能，经过对词库学习，在保证准确判断的情况下加强模糊识别能力；
- b) 系统与手机相关联，数据同步，用户随时随地掌控数据信息；
- c) 数据资料根据编号相关联，便于调取查阅。

6.4 其他要求

6.4.1 外观

产品外观应符合以下要求：

- a) 表面不应有明显的凹痕、划伤、裂缝、变形和污渍；
- b) 表面应色泽均匀，不应有起泡、龟裂、脱落和磨损现象；
- c) 金属零部件不应有锈蚀；

- d) 开关、操作键、指示灯、插座等应有明确标志；
- e) 产品应有标牌和商标；
- f) 涉及安全相关的明确警示标识。

6.4.2 结构

主要结构应由空气耦合无线雷达、三防平板电脑、螺旋桨、主板、无刷电机、电机座、减震结构、轮胎、转向杆、伺服系统、车架中心杆、机臂、电池及混凝土质量控制系统组成。

6.4.3 材料

智能机器人机身宜采用碳纤维、复合材料、塑料等材料，轮胎宜采用橡胶材料。

6.4.4 工艺

主要工艺是由原材料加工而成，由熔融沉积式 3D 打印、碳纤维板切割、碳纤维板雕刻、激光打标、钻攻一体等工艺组成。

7 标志、标签、分类和随行文件

7.1.1 产品标识应有生产者的名称和地址。生产者的名称和地址应是能承担产品质量责任的生产者名称和地址。进口产品可以不标原生产者的名称和地址，但应标明该产品的原产地（国家/地区，下同），以及代理商或者进口商或者销售商在中国依法登记注册的名称和地址。进口产品的原产地，依据《中华人民共和国进出口货物原产地条例》予以确定。

7.1.2 产品标识中使用的计量单位，应是法定计量单位。

7.1.3 限期使用的产品，应标明生产日期和安全使用期或者失效期。日期的表示方法应符合国家标准规定或者采用“年，月，日”表示。生产日期和安全使用期或者失效日期应印制在产品或者产品的销售包装上。

7.1.4 根据产品的特点和使用要求，需要标明产品的规格、等级、数量、净含量所含主要构件物的名称和规格以及其他技术要求，应予以标明。净含量的标注应符合《定量包装商品计量监督管理办法》的规定。

7.1.5 使用不当，容易造成产品本身损坏或者可能危及人体健康和人身、财产安全的产品，应有警示标志或者中文警示说明剧毒、放射性、危险、易碎、怕压、需要防潮、不能倒置以及有其他特殊要求的产品，其包装应标注警示标志或者中文警示说明，标明储运注意事项。

7.1.6 获得质量认证的产品，可以在认证有效期内生产的该种产品上标注认证标志。

7.1.7 获得国家认可的名优称号或者名优标志的产品，可以标注名优称号或者名优标志。标注名优称号或者名优标志时，应明确标明获得时间和有效时间。

7.1.8 产品标识标注的产品条码，应是有效的产品条码。

8 包装、运输、贮存、维护和保养

8.1 包装

8.1.1 包装应坚固完好，能抗御运输、储存和装卸过程中正常冲击、振动和挤压，并便于装卸和搬运。

8.1.2 包装前检查包装材料的材质、规格和包装结构与所装产品的规格和重量相适应。主要包括以下几方

面：

- a) 尺寸：符合设计图纸的要求。
- b) 厚度：符合厂商或此规格组件的要求，一般为 2 cm~3 cm。
- c) 外观：收纳箱无破损、无折叠、无严重变形；字迹要求清晰无误，图案颜色均匀，标识符号准确无遗漏；箱外表显著位置要有防倒置、防雨、易碎标识。

8.1.3 包装过程中，应注意以下事项及遵循此批货物的包装工艺指导书：

- a) 包装箱内组件之间应用防震减压的填充物填实，不应留有空隙，防止内装物移动和起到减震作用。
- b) 标明箱号纸箱的标号印刷位置一致。
- c) 纸箱上条形码粘贴整齐、位置一致。
- d) 外包装和薄膜板无缝隙，对齐。
- e) 用不小于 5 cm 宽的不干胶带封口，下垂长度不小于 5 cm 封箱后箱面不可凸起。
- f) 包装箱内应附有产品说明书和合格证书。
- g) 如需用打包带，打包带的拉力合适切不可过小，应使打包带紧箍箱体。除此之外还应注意：
 - 1) 组件包装时安全，防止撞击，包装表面应清洁；
 - 2) 组件排放整齐，不可有高低不平；
 - 3) 外包装箱表面不应有突出的锁扣等装置，以防止箱体移位时发生拉挂等现象，影响箱体安全。

8.1.4 包装好后检查是否有松动，并携带至指定区域，做好标识。

8.2 运输

8.2.1 电池组件可采用火车、汽车、轮船、飞机等交通工具运输。

8.2.2 装运产品的火车车箱、轮船船仓、汽车车箱和集装箱应清洁、干燥、无污染物。

8.2.3 敞车运输时，应用苫布盖好，以保证包装箱不被雨（雪）浸入。

8.2.4 产品在车站码头中转或终点装卸时，应注意安全，严防将包装箱（件）损坏，包装箱应注意谨慎堆放，防止产品碰伤。

8.2.5 产品在短途运送时，遇有阴雨天，应有防雨苫布，严防进水腐蚀。

8.2.6 装载、运输时，集装箱与包装箱之间、包装箱之间应用防震减压的填充物填实，不应留有空隙，防止在运输途中造成货物之间互相碰撞、摩擦，晃动、避免发生箱体移位。

8.2.7 避免货物在运载工具上的堆码不当，使底层货物承载过重，造成包装破损，甚至商品在运输过程中变形，损坏。

8.2.8 在运输过程中避免接触腐蚀性物质。

8.3 贮存

8.3.1 购买方收到产品后，应在 3 日内检查产品有无破损现象并组织验收，如遇包装箱破损并受雨（雪）浸入的，应立即组织进行检查验收并妥善处理受损产品，使损失尽量控制在最小限度内。

8.3.2 经检验合格的产品应及时保管在符合下列条件的库房内：

- a) 库房应清洁、干燥、无腐蚀性气味；
- b) 库房应能防止雨、雪浸入、要干燥、通风；
- c) 库房内不应同时贮存其他化学活性物质和潮湿性物资；
- d) 堆码高度要根据包装所能承受的压力，要考虑受力均匀分布并防止倒塌。

8.4 维护和保养

8.4.1 维护

8.4.1.1 每次飞行结束应按清单清点设备，材料和工具。

8.4.1.2 及时将数据、视频等资料转移，避免积压占用过多的内存造成下次使用带来不便。

8.4.1.3 每次飞行结束后及时检查飞行器完好情况，如螺旋桨、护架等的完好情况，发现有缺陷的要及时更换修复，如不能修复的应暂停使用，避免造成对设备的继续损坏，应待修复好无问题后方可继续飞行。

8.4.2 保养

8.4.2.1 及时清理油污、碎屑，保持各部位清洁。

8.4.2.2 视需要加注润滑油。

8.4.2.3 长期贮存时，整机使用机衣进行防尘，轴承和滑动区域喷洒专用保养油进行防腐蚀和霉菌。

8.4.2.4 定期保养应包含但不限于以下内容：

- a) 保持设备外观完整无损；
- b) 保持设备框架完好无裂纹；
- c) 保持橡胶件状态良好；
- d) 保持紧固件、连接件稳定可靠。

8.4.2.5 日常保养应包含但不限于以下内容：

- a) 保持任务载荷设备清洁；
- b) 保持数据存储空间充足；
- c) 合理装卸，妥善贮存，避免碰撞损坏。

附录 A

(规范性)

混凝土结构智能检测机器人检测技术导则

A.1 检测作业要求

A.1.1 人员要求

- A.1.1.1 作业人员应参加民航局相关技术培训并取得智能机器人操作证书。
- A.1.1.2 作业人员应遵守民航法规及当地空域管理和飞行管制的要求。
- A.1.1.3 飞行空域及飞行前、后的申报及报备工作。
- A.1.1.4 作业人员应能识别临界天气状况，获得气象资料。
- A.1.1.5 作业人员应熟练操作智能机器人。掌握智能机器人起飞和着陆、通信和监视功能、安全与维护等应急程序要求。

A.1.2 检测设备要求

- A.1.2.1 智能机器人有效载荷 ≥ 2.6 kg。
- A.1.2.2 雷达检测面与受检测面间距：水平且最高悬空面 ≤ 30 mm。
- A.1.2.3 检测设备遥控距离（无遮挡） ≥ 200 m。
- A.1.2.4 智能机器人纵向航线允许位置偏移在 ± 200 mm 范围内。
- A.1.2.5 智能机器人单次吸附续航 15 min~20 min。
- A.1.2.6 空气耦合无线雷达探测速度：0.5 m/s~2 m/s。
- A.1.2.7 智能机器人避障系统：应实现高清视频采集及传感器避障。

A.1.3 环境要求

- A.1.3.1 检测物的表面无突出障碍物。
- A.1.3.2 检测物的表面无干扰电磁波介质。
- A.1.3.3 检测物的表面无明显积水。
- A.1.3.4 检测环境温度应为 -10 °C~ $+50$ °C。
- A.1.3.5 现场检测风速 ≤ 15 m/s（7级风；起飞和降落阶段为 12 m/s）。
- A.1.3.6 现场环境相对湿度：0%~90%。

A.1.4 安全要求

- A.1.4.1 作业人员应熟悉机器人待检测线路情况，并于作业前办理检测线路作业手续。
- A.1.4.2 智能机器人上下线过程中，地面作业人员不应在智能机器人下方或附近停留。
- A.1.4.3 智能机器人上下线应严格按照操作流程及要求进行，实施人工辅助上下线时，应防止智能机器人高空坠落及发生碰撞；实施自动上下线时，应监控自动上下线装置工作状态，发现异常时应及时停机检查，不应强行操作。
- A.1.4.4 检测作业前，应预先设置紧急情况下智能机器人的安全策略。实施智能机器人遥控检测时，应严

格按要求操作，防止错误操作。

A.2 试验

A.2.1 智能机器人飞行前试验检查

- A.2.1.1 检查机臂展开是否牢靠，卡扣是否卡紧。
- A.2.1.2 检查起落架展开是否到位，是否存在歪斜、虚位。
- A.2.1.3 检查遥控器接收机天线是否破损、断裂。
- A.2.1.4 检查电调动力线连接是否存在虚位，连接是否可靠。
- A.2.1.5 检查各部分连接线（飞控杜邦线、串口连接线）连接是否牢靠。
- A.2.1.6 检查飞控（IMU、PMU）固定是否牢靠，位置是否存在偏差。
- A.2.1.7 检查桨叶是否存在破损，展开是否到位，固定桨螺丝是否存在松动。
- A.2.1.8 检查电机与电机座是否连接可靠，是否存在歪斜，螺丝是否存在松动。
- A.2.1.9 测量动力电池、电芯、电压是否偏差合理（在备注栏目中填写电池规格及测量电压）。
- A.2.1.10 检查电池、动力线端连接处是否存在烧蚀严重，是否存在异物。
- A.2.1.11 任务设备、动力电池挂载完毕后，检查飞行器重心是否正确。
- A.2.1.12 打开遥控器检查电压，剩余电量（在备注栏目中填写）。
- A.2.1.13 打开遥控器检查模型设定是否正确。

A.2.2 空气耦合无线雷达飞行前试验检查

电池电量是否充足，仪器运行是否正常。

A.2.3 智能机器人飞行后试验检查

- A.2.3.1 多轴飞行器飞行后检查单（飞行结束后断开动力电源3 min内填写）。
- A.2.3.2 回应方向是否正确。
- A.2.3.3 飞控状态是否良好。
- A.2.3.4 飞行时间与飞行后剩余电压测量（填写在备注栏目中），动力电、电芯、电压偏差是否合理。
- A.2.3.5 电机、电调、电池温度是否正常。

A.3 检测方式

A.3.1 现场检测

- A.3.1.1 运行单位根据检测计划，安排智能机器人进行周期性的检测工作。
- A.3.1.2 正常检测一般对整条线路进行，也可以根据检测任务和智能机器人的续航能力分区段进行。
- A.3.1.3 正常检测一般要求智能机器人搭载可见光摄像机、红外热成像仪、三维激光扫描仪等装置对混凝土进行巡视和检查。
- A.3.1.4 正常检测宜采用自动巡航检测方式，必要时可采用遥控检测方式。

A.4 检测内容

公路、铁路、水利、市政、矿山、工业与民用建筑等领域，检测内容包括混凝土结构质量检测、地表调查、路基路面结构检测、构筑物检测等。

A.5 检测准备工作

A.5.1 检测工作前观察现场是否有遮挡物，检测环境温度应为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

A.5.2 检测准备工作应遵守下列规定：

- a) 收集与检测相关的资料，应包括下列主要内容：
 - 1) 区域现场环境等相关资料；
 - 2) 检测区域设计参数及相关工程施工资料；
 - 3) 检测区域近期塌陷、沉降及裂隙等相关资料；
 - 4) 隧道结构及隧道改造、扩建或维修等相关资料；
 - 5) 与检测有关的其他资料。
- b) 雷达检测应制定高效可行的检测方案，包括下列内容：
 - 1) 检测区域水文地质环境、地下建筑物和构筑物及道路设施状况等资料的收集与分析；
 - 2) 检测工作的重点、难点及应对措施；
 - 3) 检测内容、检测范围、测线布设及检测工期；
 - 4) 技术依据、现场检测安排及工作量评估；
 - 5) 检测人员、仪器设备、车辆、工程材料和安全防护装备等配备；
 - 6) 施工组织与检测计划；
 - 7) 质量和安全保证措施；
 - 8) 拟提交的成果资料。
- c) 智能机器人检测前检查步骤：
 - 1) 检查智能机器人外观；
 - 2) 安装智能机器人电池；
 - 3) 打开遥控器开关；
 - 4) 智能机器人打开电源；
 - 5) 智能机器人以飞行模式起飞，贴近检测部位；
 - 6) 贴合检测部位后，智能机器人切换到爬墙模式进行爬行；
 - 7) 智能机器人进行爬行检测；
 - 8) 智能机器人检测完成后，回到初始位置，切回至飞行模式；
 - 9) 智能机器人以飞行模式降落；
 - 10) 智能机器人关闭电源；
 - 11) 遥控器关闭电源。

A.5.3 开展检测前需要对雷达设备进行介质参数标定：

- a) 检测前应对混凝土的介电常数或电磁波速做现场标定，雷达检测应对检测区域进行波速校正，现场波速标定，宜根据需要选定2个~3个区域。
- b) 波速校正宜采用已知目标深度法，并应符合下列规定：
 - 1) 每个检测区域内的校正波速应为其内校正点测得波速的算术平均值，每个检测区域选取的校正点数不宜少于3个；
 - 2) 检测区内存不同的介质层时，应对每个介质层内的雷达波速进行校正；

3) 当同一介质层内的混凝土沿垂直方向均质性、含水率、含钢量差异较大时,宜采用不同深度的目标物进行校正。;

c) 电磁波在介质中的平均传播波速 \bar{v} 应按下式计算:

$$\bar{v} = \frac{2h_k}{t}$$

式中:

\bar{v} ——电磁波在介质中的平均传播速度 (m/ns);

h_k ——已知目标深度 (m);

t ——电磁波在结构体中的双程传播时间 (ns)。

A.6 任务规划

A.6.1.1 检测前,作业人员事先根据检测计划和任务需求进行检测任务规划。

A.6.1.2 任务规划应充分利用智能机器人的爬坡能力和线路高差,合理规划检测方向和检测区段。并针对线路最大坡度校核智能机器人的爬坡能力,提高智能机器人的检测效率和续航能力。

A.6.1.3 智能机器人检测任务规划包括检测区段、检测内容、操作模式、上下线方式、检测设备选择、检测任务点布设、检测数据处置等方面的内容,保证智能机器人能够准确执行检测任务。

A.7 检测作业

A.7.1 检测作业流程

智能机器人检测作业流程包括:检测线路分析—检测任务规划—检测作业申请—智能机器人出库检查—智能机器人上线前检查—智能机器人上线及线上检查—检测作业—智能机器人下线—检测数据导出—智能机器人检查入库—检测资料整理等。

A.7.2 智能机器人上下线

A.7.2.1 智能机器人上下线可采用人工辅助方式,亦可采用自动上下线装置。

A.7.2.2 检测作业结束后应及时安排智能机器人下线,智能机器人下线方法与上线方法类同,程序相反。

A.7.3 检测过程

A.7.3.1 作业人员发送检测指令,操作智能机器人开始自动巡航检测,按任务规划自动执行检测任务。

A.7.3.2 检测过程中存在下述情形时,作业人员宜中断自动巡航检测,改为人工遥控检测:

- a) 任务规划遗漏了重要的检测目标,或临时需要增加新的检测目标,或任务规划的检测目标与实际检测结果不一致;
- b) 任务规划的检测目标检测得到的图像不清晰,不满足检测质量要求;
- c) 需要对检测目标进行多次检测和确认。

A. 7. 3. 3 检测过程中，若发现智能机器人电池电量低，应及时补充电能。

A. 7. 3. 4 智能机器人完成或中止自动检测任务并发送检测结束信息，检测作业结束。

A. 7. 4 异常情况处理

A. 7. 4. 1 检测过程中，遇到突发大风、暴雨、沙尘暴等恶劣气象变化，智能机器人应立即中止检测作业，并执行安全保护操作，确保安全。

A. 7. 4. 2 检测过程中，行走路径倾角与任务规划相差很大时，应立即中止检测任务，操控智能机器人返回，并执行安全保护操作。

A. 7. 4. 3 自动巡航检测时，若地面监控中断无法恢复，在预计时间内智能机器人未到达预计位置，应根据通信中断前最后地理坐标或机载追踪器发送的报文等信息，及时查找定位智能机器人。

A. 7. 4. 4 检测过程中，若发生不可自动恢复的紧急故障导致智能机器人停留在档中区域，应立即中止作业，根据实际情况妥善处理。

A. 8 数据分析与处理

按照雷达检测技术相关标准执行。

A. 9 检测成果报告

按照雷达检测技术相关标准执行。

参 考 文 献

- [1] GB 6675.1 玩具安全 第1部分：基本规范
 - [2] GB/T 20001 标准编写规则第10部分：产品标准
 - [3] GB/T 50784 混凝土结构现场检测技术标准
 - [4] GJB 2347 无人机通用规范
 - [5] GJB 5435（所有部分） 无人机强度和刚度规范
 - [6] CJJ/T 233 城市桥梁检测与评定技术规范
 - [7] DL/T 1722 架空输电线路机器人巡检技术导则
 - [8] JB/T 14112 顶升式仓储运载机器人
 - [9] JGJ/T 456 雷达法检测混凝土结构技术标准
 - [10] SL 713 水工混凝土结构缺陷检测技术规程
 - [11] TB 10223 铁路隧道衬砌质量无损检测规程
 - [12] T/CMEA 2 道路塌陷隐患雷达检测技术规范
 - [13] 中华人民共和国进出口货物原产地条例
 - [14] 定量包装商品计量监督管理办法 （总局令第75号）
-