

# 团体标准

T/JSREA 1003—2025

## 大型电站锅炉水冷壁爬壁机器人规范

Specification for water cooled wall climbing robots for large power plant boilers

2025 - 09 - 05 发布

2025 - 10 - 05 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 总则 .....	1
5 功能要求 .....	1
6 性能要求 .....	3
7 系统部署 .....	3
8 试验要求 .....	6
9 交付文件要求 .....	6
10 包装、标志、运输和贮存 .....	6
附录 A（资料性） 爬壁机器人试验项目 .....	8

## 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这些专利的责任。

本文件由江苏省可再生能源行业协会提出并归口。

本文件起草单位：国家电投集团能源科学技术研究院(上海发电设备成套设计研究院有限责任公司)、内蒙古霍煤鸿骏铝电有限责任公司电力分公司、国网能源新疆准东煤电有限公司、内蒙古能源集团金山第三热电有限公司、上海申能奉贤热电有限公司、苏州工业园区北部燃机热电有限公司、中况检测技术(南京)有限公司、江苏省可再生能源行业协会。

本文件主要起草人：林润达、钟增樾、李诚信、张越、范佳卿、陈家颖、武霖、陈荣泽、郭荣、庄伟、程相杰、叶晶、张强、王鹤楠、付阳静、何宝华、王俊超、王赵东、吴智权、张秋瑶、于广丰、张旭冉、纪宝平、姚志平、王立勇、周尚峰、赵元强、姜英伟、沈庆东、李俊义、马振东、章骏磊、杨小锋、章伟杰、丁刚、孙猛、邓志成、杨凯铤、康磊、高飞、孔祥友、李少林、韩春龙、施新春、徐鹏、杨玉鹏、武子含。

# 大型电站锅炉水冷壁爬壁机器人规范

## 1 范围

本文件规定了大型电站锅炉水冷壁爬壁机器人的总则、功能要求、性能要求、系统部署、试验要求、交付文件要求、包装、标志、运输和贮存要求。

本文件适用于大型电站锅炉水冷壁缺陷检测的爬壁机器人系统。

## 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 11291.1 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人

GB 11291.2 机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第2部分：机器人系统与集成

GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其试验方法

GB/T 12643 机器人与机器人装备 词汇

## 3 术语和定义

GB/T 12643界定的术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**爬壁机器人** wall-climbing robots

能够在特定材质的垂直或倾斜壁面进行移动和作业的自动化设备。

### 3.2

**锅炉水冷壁** boiler water wall

水冷壁是锅炉的主要受热部分，它由数排钢管组成，分布于锅炉炉膛的四周。它的内部为流动的水或蒸汽，外界接受锅炉炉膛的火焰的热量。

## 4 总则

4.1 爬壁机器人应能够满足现场作业要求，满足 GB 11291.1、GB 11291.2 的安全要求。

4.2 爬壁机器人应配备必要的附属设备、备品备件、专用工具和仪器。

4.3 爬壁机器人性能试验方法应满足 GB/T 12642 相关要求。

## 5 功能要求

5.1 爬壁机器人系统是对锅炉水冷壁进行缺陷检测的智能系统，由机器人通用平台、综合配电系统、安全防护系统、作业控制终端组成，该系统通过核心交换机将作业数据存储到服务器端、并实现与本地集控中心实现互联，见图 1 爬壁机器人系统。

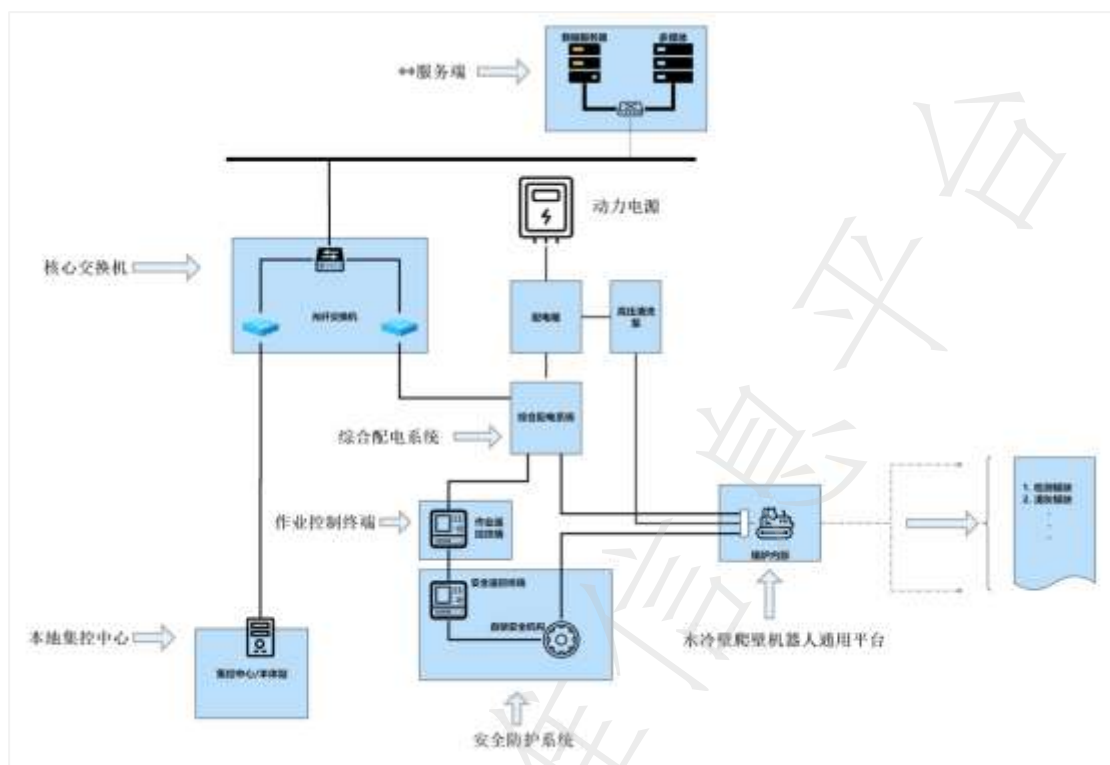


图1 爬壁机器人系统

5.2 爬壁机器人通用平台应由驱动系统、磁轮组件、电控箱、搬运把手、信号指示灯、激光测距仪、环境相机、工装安装板、测厚工装、测厚探头组成，应采用驱动电机为磁轮提供前进动力，通过左右两侧驱动的轮速差完成转弯。

5.3 爬壁机器人通用平台应采用磁轮吸附的设计形式，可以保证无论是在同一壁面行走，还是在跨区域的过程中，磁铁都能够与水冷壁面稳定吸附，从而实现机器人跨区域行走的功能。

5.4 爬壁机器人通用平台应增强磁吸附力，避免爬壁机器人在工作期间脱离壁面，工作间距尽可能的降低。

5.5 爬壁机器人应具有全局定位功能。机器人通过自身携带激光雷达和环境相机无死角融合，在每个特定工作区域放置和标注特定识别目标（特征目标通过机器学习与拾取（色差、凸凹）方法提前录入系统中），目标数量在机器人可视范围内不少于4个，根据目标的不同标号在笛卡尔坐标系下实现空间定位功能。

5.6 爬壁机器人应具有局部定位功能。机器人在进入工序（工作）之前，通过深度相机识别特定标志（每个工作区域会设定至少1个标识）与“惯性测量单元（IMU）、里程计通过传感器融合算法，估算出一个初始的绝对位置发布到控制系统，通过与全局定位信息融合自动校核偏差实现定位功能。

5.7 爬壁机器人应具有融合纠偏功能。为了解决精度问题，应引入前端局部矫正功能，通过机器人底部测距仪融合里程计与陀螺仪方式融合纠偏实时调整平台，在行进过程中充分保证检测的安全性与可靠性。

5.8 爬壁机器人应具备水冷壁测厚功能，利用测厚仪，对水冷壁的管壁进行非接触式的测厚操作，实时记录管壁的厚度值，对厚度值异常的位置在后台进行标记，测厚仪可安装在两轴模组上，独立在垂直于壁面以及垂直于行走的方向上进行运动，方便测厚的操作。

5.9 爬壁机器人本体搭载视觉检测系统，通过前端高清摄像头对水冷壁表面进行实时观测，通过后端的缺陷检测算法自动识别当前的缺陷位置及缺陷类型，识别的缺陷包括但不限于以下类型：

- 结焦；
- 裂纹；
- 腐蚀；
- 磨损；

——胀粗。

- 5.10 爬壁机器人作业控制终端应具有机器人作业现场控制、模型建立、作业设置、作业显示等功能，通过智能终端手动遥控机器人执行规定检测动作，同时可以观测到机器人现场实时视频，集成机器人各传感器信息；完成机器人本体以及功能模块的操纵，包括机器人的启停、状态显示、作业状态显示、作业环境视频实时显示等。通过状态警示及显示能够记录和判断作业情况及历史信息。
- 5.11 综合配电系统应为机器人、电缆收放机、安全悬吊装置提供电源，为遥控操作箱提供充电电源。
- 5.12 安全防护系统应起到爬壁机器人防坠保护的作用，固定在锅炉上层观察孔、顶部检修孔位置。
- 5.13 现场如需要进行高压水清洗作业、滚筒清灰作业、机械臂检测作业等需要安装对应工装时，应根据实际情况，在条件允许的情况下，操控机器人吸附在水冷壁上，再进行工装安装。
- 5.14 为实现锅炉内部操作的无人化，水冷壁检测机器人应配备相应的机器人投放系统。

## 6 性能要求

### 6.1 爬壁机器人本体技术指标：

- a) 长宽高最大尺寸： $\leq 600\text{mm}$ （主体尺寸，不含摄像装置及天线）；
- b) 重量： $\leq 40\text{kg}$ ；
- c) 作业效率： $\geq 4\text{m}^2/\text{min}$ ；
- d) 无线遥控数据传输距离： $\geq 300\text{m}$ ；
- e) 缺陷的三维坐标定位精度： $\pm 2\text{cm}$ ；
- f) 机器人测厚检测精度： $\pm 0.05\text{mm}$ ；
- g) 机器人视觉识别准确率： $\geq 95\%$ ；
- h) 摄像头：配备至少一个  $360^\circ$ 全景摄像头，分辨率不低于  $1920 \times 1080$ ；
- i) 装置爬壁材料：金属铁；
- j) 遥控操作灵敏度：延迟时间不超过  $1\text{s}$ ，实现原地  $360^\circ$ 转弯；
- k) 防护等级：不低于 IP34；
- l) 工作温度： $-20^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ ；
- m) 防坠钢丝：绳长度不低于  $200\text{m}$ ，钢丝直径不小于  $5\text{mm}$ 。

### 6.2 作业控制终端技术指标：

- a) 电源系统：220V 交流输入，输出 220V 交流电源及 24V 100W 直流电源；
- b) 工控机：对电机和机器人进行同步控制算法，24V 直流供电，采集控制面板的 IO 数据，与终端控制器进行有线或无线通信。控制电磁阀通断，与伺服驱动器进行通信；
- c) 电磁阀：控制离合装置闭合或脱离线轴装置，实现防坠保护；
- d) 伺服驱动器：通过接收中控板的指令，实现电机的力矩模式控制，与机器人速度进行同步；
- e) 作业控制箱：结构为一个便携式的航空箱，具有折叠屏的功能。翻盖内部为 3 个可折叠的屏幕，操作位置为鼠标键盘以及操作所需的所有摇杆及按键；
- f) 作业控制终端计算机技术指标：屏幕不小于 15 英寸；CPU 主频不小于  $2.6\text{GHz}$ ；内存不小于  $16\text{G}$ ，硬盘应为固态硬盘，容量不小于  $128\text{GB}$ 。

### 6.3 综合配电系统技术指标：

- a) 机器人电源：直流  $48\text{V}$ ，功率  $1\text{KW}$ ；
- b) 安全悬吊装置：交流  $220\text{V}$ ，容量  $1\text{KVA}$ ；
- c) 机器人电源电缆长度： $100\text{m}$ ，截面  $2.5\text{mm}^2$ ；
- d) 控制系统用直流电源  $400\text{W}$ ；
- e) 集控箱引入电源为单相交流  $220\text{V}$ ，容量  $10\text{KVA}$ ；
- f) 电气保护包括：浪涌保护、漏电保护、过流保护、速断保护；
- g) 抗干扰措施包括：隔离变压器和电源滤波器。

## 7 系统部署

### 7.1 部署准备

7.1.1 开始作业前应根据实际锅炉情况确定要使用爬壁机器人进行检测的受热面、检测路线、上墙位置以及炉外设备安置位置。

7.1.2 针对待检测受热面，宜提前进行结焦清理，防止影响机器人的正常工作。

## 7.2 设备安置

7.2.1 设备安置过程中，应先将所有设备及工具卸车放置在电梯附近，遵循先运送高层后运送底层的顺序进行。

7.2.2 设备安置的主要步骤如下：

- a) 将安全防坠系统航空箱及防坠系统部署工具箱运送至观察孔层部署点放置；
- b) 将机器人本体航空箱、线缆、终端控制系统航空箱、综合配电箱以及本体部署工具箱运送至人孔门层部署点放置；
- c) 将高压水水箱及水泵放置在水源层，每次运送时尽量在电梯附近留有人员看守剩余设备。

## 7.3 安全防坠系统部署

7.3.1 安全防坠系统的部署需要先将安全防坠系统从航空箱中抬出，解开脚部轮锁，将安全防坠系统推至部署点。

7.3.2 安全防坠系统部署点的选择要求如下：

- a) 需要在爬行的锅炉面同一面有两个观察孔；
- b) 部署点的角度正对某一侧的观察孔；
- c) 部署点前不能存在遮挡物；
- d) 部署点宜与电梯处在同一层，避免上下楼梯搬运；
- e) 部署点可以不与观察孔在同一楼层，允许上升或者下降半层，但是安全防坠系统的钢丝绳与安全吊点工装间不能存在摩擦力，可以使用滑轮中转，但是不能有角度偏差。

7.3.3 安全防坠系统部署步骤如下：

- a) 部署吊点工装，需要部署人穿戴防坠落安全带，并且将两个安全扣分别扣在不同的牢固钢架上，然后跨越到观察孔下的平台上(过程中注意踩踏坚硬牢固的位置)。将吊点工装塞入观察孔，用活口扳手横向和纵向扩展长度，使其牢固，如果长度不够使用木板等其他材料塞紧，确保无法拉动和拉脱；
- b) 安全防坠系统地脚固定，使用T型固定栓，穿过防坠系统与钢板平台的长方形孔，保持固定栓T型头可以卡住长方形孔，放置好防滑垫片，使用活口扳手拧紧螺丝；
- c) 取与安全防坠系统最近的220V检修电源箱，为安全防坠系统通电。注意接电走线使用专用挂钩，需要延扶手挂线，不得隔空挂线，铺地挂线。最后在防爆插头附近挂上用电警示牌；
- d) 将安全防坠系统的钢丝绳穿过吊点工装的圆孔，露出一截待命。将部署白线穿过另一个观察孔露出一截留用。

## 7.4 作业控制终端部署

7.4.1 作业控制终端部署点的选择要求如下：

- a) 通常部署在人孔门附近；
- b) 部署点应与电梯处在同一层，不要上下楼梯搬运；
- c) 应放置在不干扰其他正常作业的位置；
- d) 如果人孔门层无法到达，可以将部署点安置在垂直人孔门前平台的楼上或者楼下。

7.4.2 作业控制终端部署步骤如下：

- a) 将综合配电箱安置在部署点，脚部轮锁固定；
- b) 将终端控制系统取出放置在配电箱上；
- c) 局域网环境线缆连接；
- d) 4G网络环境线缆连接；
- e) 将配电箱上超长的网线、电线，绕成拳头大小的线圈，使用扎带固定在综合配电箱的吊环上；
- f) 解开线缆固定，放出2倍炉内人孔门层到观察孔层的距离长度的线缆(电梯出口处有当前层高数据)；
- g) 将线缆上固定端的电源插头插入综合配电箱的本体电源插口中，固定扣向右旋转拧紧；

- h) 将线缆上固定端的网线插头插入综合配电箱的网口中；
- i) 将线缆上固定端的通讯线插头插入综合配电箱的本体控制口中；
- j) 取与综合配电系统最近的 220V 检修电源箱，使用防爆插头接出电源，为综合配电系统通电。注意接电走线使用专用挂钩，需要延扶手挂线，不得隔空挂线，铺地挂线。最后在防爆插头附近挂上用电警示牌；
- k) 打开 220V 电源插排开关，检查综合配电箱、终端控制系统、4G 路由器(如有)是否正常通电。

## 7.5 机器人本体入炉

7.5.1 所有外置系统部署完毕后，应协调好炉内作业时间，准备机器人本体入炉。

7.5.2 入炉前应为机器人通电测试其基本功能是否正常。

7.5.3 机器人本体入炉步骤如下：

- a) 将机器人本体抬出航空箱，放在机器人抬板上，注意吊环位置；
- b) 使用 O 型固定环，穿过机器人吊环与抬板吊环，固定机器人本体；
- c) 入炉人员佩戴好防坠落安全带，并将多余部分环绕腰间，避免踩踏和挂住；
- d) 搬抬机器人本体从人孔门入炉(可能需要上下楼梯)，入炉时两个人先入炉，另外两个人抬机器人本体先放置在人孔门上，炉内两个人抬起向里拉，炉外两个人抬起向里送。机器人本体入炉后，四人均进入炉内，把机器人抬至指定位置；
- e) 锅炉里外各两个人配合，将需要的工具、探照灯、线缆等(高压水水管、高压水工装、清灰工装、机械臂(如有))运送进炉内；
- f) 连通电源线、通讯线、网线，炉外对机器人本体进行送电检查是否正常。

## 7.6 安全防坠系统炉内部署

7.6.1 待机器人本体入炉确认正常后，应派两个人去到高层观察孔附近，两个人在炉内开展部署工作。

7.6.2 安全防坠系统炉内部署步骤如下：

- a) 检查对讲机电量及连通性，调整好对讲机频道，四人每人 1 个；
- b) 炉内指挥安全防坠系统执行手动放线模式，同时另一个观察孔将部署白线也进行放线操作；
- c) 炉内指挥确认白线位置与钢丝绳位置，待长度满足使用条件后通过对讲指挥观察孔两人停止放线；
- d) 炉内将钢丝绳穿过机器人本体吊装线的滑轮，穿出侧与白线固定；
- e) 炉内指挥通过对讲控制安全防坠系统进行手动模式放线操作，同时另一侧观察孔向上提拉白线，炉内用手拉住本体吊装滑轮，使钢丝绳可以顺利通过；
- f) 待拉动白线的观察孔侧可以拿到钢丝绳，并且满足固定需要长度，通过对讲汇报给炉内指挥，安全防坠系统停止放线，解开白线与钢丝绳的关联，将钢丝绳与牢固的钢架进行缠绕，并使用锁环固定；
- g) 固定后恢复安全吊装为自动模式，炉内手动测试抱死情况无误后可以进行调试作业等工作。

## 7.7 额外的炉内部署

如需要进行高压水清洗作业、滚筒清灰作业、机械臂检测作业等需要安装对应工装时，根据实际情况，在条件允许的情况下，操控机器人吸附在水冷壁上，再进行工装安装。

## 7.8 滚筒清灰的安装

7.8.1 在机器人吸附在水冷壁之前应将连接板与转接板安装在机器人本体上，再操控机器人吸附在水冷壁上，将滚筒清灰工装与转接板相连接并用螺丝固定即可安装完毕。

7.8.2 接通电源后，遥控器控制检查是否正常。

## 7.9 机械臂的安装

7.9.1 操控机器人吸附在水冷壁上后，机械臂电源进线端朝后的姿态进行连接并用螺丝固定，再将摄像头固定在机械臂末端即可安装完毕。

7.9.2 接通电源后，遥控器控制检查是否正常。

## 7.10 视觉检测工装的安装

7.10.1 操控机器人吸附在水冷壁上，将视觉检测工装与雷达清灰相连接并用螺丝固定即可安装完毕。

7.10.2 接通电源后，在终端控制系统中检查是否正常。

## 7.11 高压水清洗工装的安装

7.11.1 操控机器人吸附在水冷壁上，将高压水清洗工装与机器人本体相连接并用螺丝固定，再将进水管对接在高压水清洗工装上即可安装完毕。

7.11.2 接通电源后，打开高压水控制按钮检查是否正常。

7.11.3 高压水清洗系统部署点的选择：

- a) 通常部署在一层水源、电源附近；
- b) 电源线范围内需要有可接入 380V/63A 的电源；
- c) 水泵的位置最好与人孔门层终端控制系统部署位置垂直；
- d) 附近有排水沟或者排水系统方便排除水箱内剩余水。

7.11.4 高压水清洗部署步骤如下：

- a) 取出高压水水管，使用两个活口扳手接好满足作业高度的水管(具体 1.5 倍观察孔的层高)；
- b) 从人孔门层开始由上至下缓慢地将水管连接到一层水泵附近，接入高压水泵出水口；
- c) 将入水管接入高压水泵入水口，另一端放在水箱里；
- d) 接入附近水源将水箱注满；
- e) 取与最近的 380V 检修电源箱，使用防爆插头接出电源，为高压水泵通电。注意接电走线使用专用挂钩，需要延扶手挂线，不得隔空挂线，铺地挂线。最后在防爆插头附近挂上用电警示牌；
- f) 打开水泵电源检查通电情况，测试水泵是否正常。

## 8 试验要求

8.1 爬壁机器人试验分为型式试验、出厂试验、验收试验，试验应出具详细记载测试数据的正式试验报告，试验内容见附录 1 表 A.1。

8.2 出厂试验由供货方开展。

8.3 型式试验由具备相应试验项目资质的机构开展。

8.4 验收试验由业主或业主委托有资质第三方机构开展。

## 9 交付文件要求

9.1 供货方提供的图纸、资料、文件应使用国家法定单位制即国际单位制。

9.2 资料的组织结构清晰、逻辑性强。资料内容要正确、准确、一致、清晰、完整，满足使用、保养、维修等方面要求。

## 10 包装、标志、运输和贮存

### 10.1 包装

10.1.1 供货方所供设备部件，均应遵照国家标准和有关包装技术条件要求，使用坚固的箱子进行包装。

10.1.2 供方所供技术文件应妥善包装，能承受长途运输和多次的搬运，并应防止潮气和雨水的浸蚀。

10.1.3 为防止设备器材被窃、受到腐蚀及海水的损坏，未经供货方认可，不得采用敞开的板条箱或类似包装。

### 10.2 标志

10.2.1 每台机器人设备都应有固定铭牌。铭牌应不易损坏，标志应醒目、整齐、美观。

10.2.2 机器人关键部件应有明显易辨的指示标志，对于检修或运行时可能发生危险的部件，必须有醒目的特殊标志。

10.2.3 重要部件应根据图纸规定，在一定位置上标记装配编号、使用材料和检验合格的标志。

10.2.4 产品的包装上应印有牢固、清晰的标志，包括但不限于：

- 合同号；
- 商标；
- 目的地；
- 收货人代码；
- 设备名称；
- 规格；
- 箱号；
- 净重；
- 生产日期；
- 厂名厂址；
- 外形尺寸：长×宽×高。

### 10.3 运输

10.3.1 供方应负责所有设备的包装，并能满足集装箱运输要求。

10.3.2 包装箱尺寸应充分考虑海运、铁路、公路的运输要求。

### 10.4 贮存

10.4.1 机器人设备有效保管期应不少于 12 个月。

10.4.2 机器人应存放在室温下，存放地点应干燥无尘、避免温度波动、避免形成冷凝水、避免阳光直射。

附 录 A  
(资料性)  
爬壁机器人试验项目

表A.1 爬壁机器人试验项目

序号	试验项目	型式试验	出厂试验	验收试验	
1	外观机构	整体外观结构	○	○	○
2		外壳表面	○	○	○
3		电气部件布线	○	○	○
4	工作环境适应性	高温试验	○	×	×
5		低温试验	○	×	×
6		温湿交变试验	○	×	×
7	电磁兼容性	静电放电抗扰度试验	○	×	×
8		射频电磁场抗扰度试验	○	×	×
9		工频磁场抗扰度试验	○	×	×
10	整机防护性能	IP 防护测试	○	×	×
11	检测性能	测厚准确度	○	○	○
12		测厚精度试验	○	○	○
13		视觉检测准确度	○	○	○
14	可靠性	机械振动试验	○	×	×
15	运动性能	最大速度	○	×	×
16		转弯半径	○	×	×
17		越障能力	○	×	×
18	定位性能	全局定位精度	○	○	○
19		局部定位精度	○	○	○
20	边缘段软件功能	通讯连接	○	○	○
21		协议解析通讯	○	○	○
22		协议分发	○	○	○
23	存储软件功能	时序数据库	○	○	○
24		业务数据	○	○	○
25		文件数据	○	○	○
26		缓存数据	○	○	○

表A.1 爬壁机器人试验项目（续）

27	服务支撑后台	人员权限	○	○	○
28		模型管理	○	○	○
29		任务管理	○	○	○
30		机器人管理	○	○	○
31		多维分析平台	○	○	○
32		样本数据集配置	○	○	○
33		模型训练	○	○	○
34		模型调用	○	○	○
35	应用	作业流程	○	○	○
36		机器人调试	○	○	○
37		模型选择	○	○	○
38		任务渲染	○	○	○
39		任务结束	○	○	○
40		任务结果渲染	○	○	○
41		历史任务列表	○	○	○
42		水冷壁数据管理	○	○	○
43		作业统计	○	○	○
注：○表示检验，×表示不检验					