附件2

重庆市建筑机器人应用技术导则

**Technical guideline for the Application of Construction Robotics**

**（征求意见稿）**

前 言

为建立并完善我市智能建造相关技术应用、监管体系，健全适宜我市的建筑机器人应用路径，引导我市智能建造工作合理规范发展，确保应用建筑机器人的项目建设质量，促进建筑机器人产业发展，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国内先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本导则。

本导则的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 楼地面混凝土施工类；5. 部品部件安装施工类；6. 室内装饰装修类；7. 排水管道检测和修复类。

本导则由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理，由重庆市住房和城乡建设技术发展中心负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送重庆市住房和城乡建设技术发展中心（地址：重庆市渝北区余松西路155号，邮政编码：401120，邮箱：182402321@qq.com）。

本导则主编单位：重庆市住房和城乡建设技术发展中心

本导则参编单位：

本导则主要起草人员：

本导则主要审查人员：

目 录

[1 总 则 1](#_Toc24623)

[2 术 语 2](#_Toc29971)

[3 基本规定 4](#_Toc13691)

[3.1 建筑机器人使用准备要求 4](#_Toc18170)

[3.2 建筑机器人应用环境要求 4](#_Toc27274)

[3.3 建筑机器人使用维护要求 5](#_Toc18211)

[4 楼地面混凝土施工类 6](#_Toc11567)

[4.1 一般规定 6](#_Toc21113)

[4.2 混凝土整平机器人性能和功能 6](#_Toc15233)

[4.3 混凝土整平机器人施工应用准备 7](#_Toc6183)

[4.4 混凝土整平机器人施工及质量控制 8](#_Toc5033)

[4.5 混凝土抹平机器人性能和功能 10](#_Toc8883)

[4.6 混凝土抹平机器人施工应用准备 11](#_Toc3857)

[4.7 混凝土抹平机器人施工及质量控制 12](#_Toc25335)

[4.8 安全及环境保护 14](#_Toc11252)

[5 部品部件安装施工类 16](#_Toc5086)

[5.1 一般规定 16](#_Toc8365)

[5.2 条板运输机器人性能和功能 16](#_Toc17679)

[5.3 条板运输机器人施工应用准备 17](#_Toc28207)

[5.4 条板运输机器人施工及质量控制 18](#_Toc3052)

[5.5 条板安装机器人性能及功能要求 19](#_Toc5005)

[5.6 条板安装机器人施工应用准备 19](#_Toc5519)

[5.7 条板安装机器人施工质量控制 21](#_Toc21122)

[5.8 安全及环境保护 22](#_Toc27055)

[6 室内装饰装修施工类 24](#_Toc13642)

[6.1 一般规定 24](#_Toc28039)

[6.2 地坪研磨机器人性能和功能 24](#_Toc18519)

[6.3 地坪研磨机器人施工应用准备 25](#_Toc28481)

[6.4 地坪研磨机器人施工质量控制 27](#_Toc20136)

[6.5 室内漆喷涂机器人性能和功能 28](#_Toc1394)

[6.6 室内漆喷涂机器人施工应用准备 29](#_Toc11718)

[6.7 室内漆喷涂机器人施工及质量控制 30](#_Toc11171)

[6.8 室内腻子喷涂机器人性能和功能 32](#_Toc30386)

[6.9 室内腻子喷涂机器人施工应用准备 32](#_Toc3072)

[6.10 室内腻子喷涂机器人施工及质量控制 34](#_Toc23376)

[6.11 地坪漆涂敷机器人机器人性能和功能 36](#_Toc10148)

[6.12 地坪漆涂敷机器人施工应用准备 36](#_Toc7181)

[6.13 地坪漆涂敷机器人施工及质量控制 38](#_Toc23065)

[6.14 安全及环境保护 39](#_Toc6097)

[7 排水管道检测与修复施工类 40](#_Toc23044)

[7.1 一般规定 40](#_Toc14470)

[7.2 排水管道检测机器人性能和功能 41](#_Toc10270)

[7.3 排水管道检测机器人施工应用准备 41](#_Toc2224)

[7.4 排水管道检测机器人施工及质量控制 42](#_Toc9946)

[7.5 排水管道修复机器人性能和功能 43](#_Toc25325)

[7.6 排水管道修复机器人施工应用准备 44](#_Toc10354)

[7.7 排水管道修复机器人施工及质量控制 46](#_Toc29273)

[7.8 安全及环境保护 47](#_Toc28211)

1 总 则

**1.0.1** 为规范指导建筑机器人在工程项目施工中的应用，提高建筑机器人在施工作业中的安全性与效率效益，加快推广先进适用的建筑机器人产品，制定本技术导则。

**1.0.2** 本技术导则适用于建筑机器人在施工作业中的应用规范指引和质量验收。

**1.0.3** 建筑机器人在应用过程中除应符合本导则规定外，还应符合国家、行业和重庆市现行相关标准的规定。

2 术 语

**2.0.1** 混凝土整平机器人（Smoothing Robot）

由移动底盘、控制系统、振捣机构以及激光系统组成，用于混凝土浇筑阶段振捣提浆、收面、控制标高等混凝土作业的机器人。

**2.0.2** 地面抹平机器人（Screeding Robot）

由激光系统、刮板机构、行走系统及振捣提浆机构组成，用于混凝土初凝阶段进行提浆、二次精平收面、高精度地面施工作业的机器人。

**2.0.3** 条板搬运机器人（Slatting Handling Robot）

由移动部件、抓放部件、传感部件和用于辅助工作的附件组成，用于建筑板材自动抓取，装载和卸货的搬运机器人。

**2.0.4** 条板安装机器人（Slat-mounted Robot）

由移动部件、抓放部件、传感部件和用于辅助工作的附件组成，用于建筑板材自动抓取和安装的机器人。

**2.0.5** 地坪研磨机器人（Floor Grinding Robot）

由移动部件、研磨模块、集尘模块和用于辅助工作的附件组成，用于自动地坪自动研磨及除尘集尘等作业的机器人。

**2.0.6** 室内喷涂机器人（Indoor Spraying Robot）

由喷涂系统、传感系统、控制系统、人机交互系统等多部件组成，用于建筑室内墙面腻子、乳胶漆等装饰涂料喷涂作业的机器人。

**2.0.7** 腻子喷涂机器人（Putty Application Scraping Robot）

由喷涂系统、传感系统、控制系统、人机交互系统等多部件组成，用于建筑室内墙面、天花板等部位腻子喷涂作业的机器人。

**2.0.8** 地坪漆涂敷机器人（Floor Paint Application Robot）

由移动部件、存料供料模块以及可能含有的充电装置等部件组成，用于建筑地面地坪漆涂敷作业的机器人。

**2.0.9** 管道检测机器人（Pipeline Inspection Robot）

由移动系统、感知系统、控制系统及机械臂等辅助附件组成，用于管道内部检测和评估的机器人。

**2.0.10** 管道修复机器人（Pipeline Repair Robot）

由紫外光灯、灯链/灯架、控制柜、电缆线盘、发电机、空气压缩机、扎头、轧带、主控系统等组成，用于管道内部原位修复、点状原位固化等任务的机器人。

**2.0.11** 四轮差速（Four-wheel Differential）

代指地面整平机器人四个轮子通过差速算法实现每个轮子速度的不同的现象。

**2.0.12** 振捣机构(Vibrating Mechanism)

是地面整平机器人及地面抹平机器人的作业核心装置，主要由振捣板、振动电机、减震、机构、刮板、支架、电推杆、支撑杆等组成，其核心功能是地面砂浆的刮平和振捣，确保最终地面标高达到目标高度。

**2.0.13** 激光自动调节系统（Laser Automatic Regulation System）

通过激光发射器将标高信息传输至地面整平机器人及地面抹平机器人本机激光接收器中，结合算法实时调节控制作业过程刮板的高度。

**2.0.14** CCTV检测（Closed Circuit Television Inspection）

使用闭路电视系统对管道内部进行可视化检测的方法。

**2.0.15** 管道遍历能力（Pipeline Traversability）

指管道检测机器人在管道内部移动和遍历的能力，包括对不同管径、管壁材料和管道内部环境的适应性。

**2.0.16** 防护等级（Protection Class）

机器人在恶劣环境条件下（如高温、高压、腐蚀性介质等）的工作能力和防护能力。

**2.0.17** 管道修复机器人-原位修复（In-Situ Repair）

在不移除管道的情况下，直接在管道内部进行修复作业的方法。

**2.0.18** 非开挖修复更新工程（trenchless rehabilitation and renewal）

采用少开挖或不开挖地表的方法进行排水管道修复更新的工程。

**2.0.19** 行进器（Crawler）

一种能够在管道内部进行自主移动和操作的机器人部件。

**2.0.20** 工作井（Working Shaft）

采用不开槽施工法施工时，从地面竖直开挖至管道底部的辅助通道，也称为工作坑、竖井等。

3 基本规定

3.1 建筑机器人使用准备要求

**3.1.1** 应制定详细的施工方案，明确机器人的具体应用和施工流程。仔细评估使用场景，保证使用场景与机器人功能相匹配,确保机器人的使用高效合理。

**3.1.2** 应制定建筑机器人进出场方案。水平运输时，施工区域应满足建筑机器人的行走路径要求，具体空间尺寸和坡度要求应根据建筑机器人的应用类别具体确定；垂直运输时，可采用施工升降机或塔吊吊装，其荷载及空间尺寸应满足建筑机器人指标参数要求。

**3.1.3** 应对机器人进行全面的安全性评估，确保其符合相关的安全标准和规范。包括检查机器人的结构、控制系统、传感器等关键部件是否完好无损，以及评估机器人在各种可能的工作条件下的稳定性和可靠性。

**3.1.4** 应对作业场景进行复核，包括但不限于作业路径有无积水、有无障碍物、作业面人工处理是否满足机器人作业条件等。

**3.1.5** 应确保所有操作人员熟悉施工方案，经过专业培训并通过考核，熟悉机器人的操作程序安全规程和应急措施，能正确设置机器人的参数、监控其运行状态，并在必要时采取紧急措施。

**3.1.6** 在开展机器人施工作业之前，应预先设定安全距离，并设立明确的安全警戒区域，以保障人机安全；在机器人进行施工作业的过程中，应严格禁止除工作人员外的其他任何人员在机器人作业区域内逗留或进行交叉作业，确保施工安全。

**3.1.7** 施工现场应提供接入方便、水压稳定且水质满足机器人施工的水源，确保机器人作业稳定高效。

**3.1.8** 现场应设置专门的与机器人用电等级相符合的配电箱或电源接口，确保电力供应安全稳定可靠，满足机器人及其相关设备的运行需求。

**3.1.9** 现场应具备有效的排污系统以保证施工现场的整洁和施工效率。该系统应能够及时排除施工过程中产生的污水、废渣等污染物，保持现场环境的卫生清洁。

3.2 建筑机器人应用环境要求

**3.2.1** 机器人应在-5℃-50℃温度下作业。

**3.2.2** 机器人应禁止在强烈的辐射环境条件下作业。

**3.2.3** 机器人应禁止在水下作业。

**3.2.4** 机器人应禁止在高浓度粉尘环境中作业

**3.2.5** 机器人应禁止在湿度大于90%情况下作业。

3.3 建筑机器人使用维护要求

**3.3.1** 应制定详细的机器人维护保养规范，定期对机器人进行全面检查，包括机械部件、电子元件、传感器等，确保其处于良好的工作状态。

**3.3.2**  使用后应及时清理机器人的表面的灰尘、油污、混凝土等杂物，以保持机器人的外规整洁。

**3.3.3** 使用前应对机器人进行常规的功能性检验，以确保其能够按照预定方案进行施工。

**3.3.4** 应为机器人提供必要的保护措施，如防尘罩、防水罩等，以应对恶劣的施工环境。

**3.3.5** 应确保操作人员具备相应的专业知识和技能，始够正确地操作建筑机器人，定期对操作人员进行培训考核，提高其操作水平和安全意识及维护意识。发现异常情况应及时报告和处理。

**3.3.6** 应定期对机器人进行维护保养，包括但不限于更换磨损部件、润滑机械关节、维护电池、更新软件系统等，以延长其使用寿命和提高工作效率。

**3.3.7** 应确保每次机器人使用、检查、维护和维修的记录成档，以便于及时发现并解决问题。

**3.3.8** 施工现场不应有甲、乙、丙类火灾危险物质的存储场所，施工现场禁止烟火，并应配备泡沫灭火器、二氧化碳灭火器、干粉灭火器等消防器材。

4 楼地面混凝土施工类

4.1 一般规定

**4.1.1** 使用机器人进行楼地面混凝土施工时，应根据混凝土工艺构造，质量要求等制订混凝土施工方案，并应包括下列内容：

**1** 工程概况；

**2** 前置条件分析；

**3** 浇筑顺序；

**4** 人员配置；

**5** 工艺流程；

**6** 风险应对措施；

**7** 质量与安全管理措施等。

**4.1.2** 整平机器人宜在温度0℃~40℃，相对湿度25%~90%的环境下进行施工。

**4.1.3** 机器人机身结构应设计合理、操作方便、便于维修。

**4.1.4** 机器人正常工作时应运动平稳，固定件紧固无松动，无异响和干涉现场发生。

**4.1.5** 机器人吊环应安装到位，扭紧力矩应满足现行国家标准GB/T 16823.2-1997的要求。

**4.1.6** 机器人电磁兼容性应符合现行国家标准GB/ 17799.2-2023的规定。

**4.1.7** 机器人应达到现行国家标准GB/T 4208-2017中的IP54防护等级。

**4.1.8** 施工作业场地地面坡度应小于5°，地面沟宽宜小于100mm，地面障碍物高度应小于100mm。

4.2 混凝土整平机器人性能和功能

**4.2.1** 混凝土整平机器人性能应满足下列要求：

**1** 应具备开机自检功能，机器人开机后自检各模块功能状态，并能反馈和显示机器人当前的状态信息；

**2** 应具停障功能，碰到障碍物时可触发急停，防止撞击，起到保护设备和人员的作用；

**3** 应具备不同类型的地面适应功能，以确保机器人在复杂的路况可行走；

**4** 应能控制整平作业时的行走速度，确保整平的质量和观感；

**5** 应具备激光调节系统，可实现对刮板高度的实时调整；

**6** 智能型的机器人应具备图纸或BIM系统导入功能，按照预设路径规化的地图进行全自动作业；

**7** 遥控型的机器人应具备使用遥控器操控作业，包括前进、后退、转向、加减速等动作，支持移动速度可设置；

**8** 应具备实时信息显示功能和记录功能，实时显示机器人当前运行模式及运行状态、遥控作业、速度设置、各模块参数信息、触发急停状态显示、蓄电池剩余电量、各部件故障信息、报警信息等信息；实时记录运行参数并存储运行时间、蓄电池剩余电量、触发急停状态、报警记录等信息；

**9**  应具备报警机制，当出现故障或异常情况时能及时发出警报，提醒操作人员处理；

**10**  应具备振捣机构，实现对混凝土的振捣提浆功能。

4.3 混凝土整平机器人施工应用准备

**4.3.1** 应配置1名经培训合格的机器操作人员，负责对机器人入场前的安全检查和施工过程中、施工完成的机器人日常管理、维护保养及场地施工前的前置条件处理、施工过程中场地质量自检确认等工作，并负责对整平完成的区域进行质量检查。

**4.3.2** 整平机器人进场施工前，应梳理确认前置条件，并应符合下列规定：

机器施工前应对场地进行前置条件排查，在隐蔽验收的同时进行机器人前置条件验收，确认现场是否有影响机器人作业的情况，排查内容应符合表4.3.2的相关规定：

表4.3.2 整平作业前置条件排查

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 排查内容 | 具体事项 |
| 1 | 机器进场路线，即机器储存位置到施工面的路线。 | （1）是否有通往施工作业面的平整道路，如道路只能到作业面附近，需借助塔吊或搭建机器行走的临时小路；（2）行进道路上是否有材料、障碍物等，如有，需清除；（3）应根据施工场地障碍物分布、布料顺序等情况提前规划好机器的进退场路径，避免路径重复。 |
| 2 | 浇筑面积情况 | （1）应根据机器人满电连续作业时间提前规划合理的浇筑面积，避免出现面积过大无法持续施工的情况；（2）根据浇筑面大小和待施工面障碍物情况合理选择机器施工执行机构的规模（1米刮板或1.5米刮板）。 |
| 3 | 塔吊、起重机等垂直起吊设备（地下室找平层无此项） | （1）如机器无法直接开到作业面，可用起重机、塔吊运输至作业面；（2）起吊前需进行相关人员沟通协调；（3）起吊需复查是否需要吊环、吊绳、吊扣等。 |
| 4 | 复核钢筋绑扎情况及标高（地下室找平层无钢筋网片的无此项） | （1）马凳钢筋是否按规范设计要求绑扎，如未按要求，需整改；（2）钢筋整面加上保护层厚度的标高不得高于完成面的标高，如未达到要求，需整改。 |
| 5 | 基准标高点 | 1. 标高基准点距离作业面的距离不应大于30m；
2. 以经复核验收后的基准标高点作为整平机器人激光标高点。
 |
| 6 | 铝模预埋件（铝模楼面）（地下室找平层无此项） | （1）在铝模楼面施工，必须取消传统铝模斜撑预埋件，采用暗藏式预埋套筒。 |

**4.3.3** 机器进场前，如设备距离施工板面距离相对较远，应提前准备车辆运输，规划设备进场路线，保证设备在板面浇筑前1~2小时进场，现场准备和等待。

**4.3.4** 施工前，应根据地面类型及质量要求、面积等，合理配置施工耗材，并对机器人进行点检，点检内容应符合表4.3.4相关内容：

表4.3.4 设备点检表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 点检内容 | 内容明细 |
| 1 | 设备是否齐全 | （1）整平机1台，激光接收器及通讯线各1对，发射器及支架各1个，手持标定杆及接收器各1个，遥控器1个；（2）机器人防雨布、雨鞋；（3）如进行全自动施工，施工场地附近需要有稳定的基站信号，RTK及采集杆一套、平板控制器1个。 |
| 2 | 设备功能是否正常 | （1）检查机器外观结构，有无明显变形部位，有无连接螺栓松动情况；（2）整平机先手动操作，确认各个功能按钮无误，再自动模拟试运行，确认程序、激光自动调节功能等内部因素无误；（3）打开激光发射器、接收器确认激光设备无误；（4）用卷尺（1192mm为上环固定高度）或自动模式（标定杆正确靠在刮板上，如机器调平后，数字接收器显示理论值为0）确认手持标定杆上接收器的位置安装无误；（5）手持标定杆底部如有明显混凝土残渣，需及时清理，以免影响后续标高调试及控制；（6）自动模式下检查机器振捣板俯仰角度（-3°~-3.5°）。 |
| 3 | 电池设备电量情况 | （1）机器电量、发射器电量、手持接收器电量、遥控器电量（如全自动作业还需检查RTK和平板控制器电量）。 |

**4.3.5** 机器人施工前，应核查现场供电能力是否满足机器人的使用要求。

4.4 混凝土整平机器人施工及质量控制

**4.4.1** 使用混凝土整平机器人进行整平时，应遵循表4.4.1相关施工工艺流程：

表4.4.1 混凝土整平机器人施工工序

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 施工准备 | 按照本导则第4.3节的规定进行施工准备 |
| 2 | 机器起吊 | 按照本导则第4.4.2节的规定进行机器人起吊 |
| 3 | 等待作业 | 按照本导则第4.4.3节的规定等待作业 |
| 4 | 架设激光 | 按照本导则第4.4.4节的规定架设激光 |
| 5 | 标高调试 | 按照本导则第4.4.5节的规定进行标高调试 |
| 6 | 混凝土初摊平 | 按照本导则第4.4.6节的规定进行混凝土初摊平 |
| 7 | 机器整平 | 按照本导则第4.4.7节的规定进行机器人整平 |

**4.4.2** 机器人起吊应满足下列规定：

**1** 到达塔吊、起重机起吊范围内，应关闭电源，检查机器人四角的吊环是否牢固；

**2** 起吊时应由司索工根据信号指挥完成机器起吊；

**3** 起吊时严禁在机器上放遥控手柄、激光发射器箱子等不与机器本为一体的物品。

**4.4.3** 机器人等待作业时，应满足下列规定：

**1** 应放置在梁钢筋周边受力稳固、平稳处，避免机器长时间放置导致板面钢筋压坏及机器放置不平导致倾覆打滑的事故产生；

**2** 放置机器的场所应充分考虑是否影响班组工人前期施工，如放置在板面后浇筑的地方，避免因机器存放影响班组施工；

**3** 严禁无关人员随意操控、触碰机器，避免对机器造成破坏；

**4** 机器放置时应注意观察天气，如可能下雨，需用防雨布覆盖机器。

**4.4.4** 架设激光应满足下列规定：

**1** 班组人员移动应避免遮挡机器激光信号接收；

**2** 应确认激光能全覆盖，无障碍物遮挡，接收距离30米以内为佳；

**3** 发射器应尽量减少移动，减少积累误差；必须移动时，应以同个基准点进行激光架设，减少不同基准点带来标高误差的影响；

**4** 激光架设时三脚架应保持水平状态，并打开防震功能，防止仪器因轻微抖动而停止工作。

**4.4.5** 标高调试应满足下列规定：

**1** 标高调试应在卡环位置固定的情况下进行，设备点检时应保证卡环位置无误；

**2** 调整标高时，应注意手持标定杆底部是否有混凝土渣块，应明确施工完成面为基准标高线的上端口还是下端口或中间；

**3** 标高调试结束后，应将机器设置为自动模式，对调试标高进行验证复测；

**4** 应在自动模式下检查机器振捣板俯仰角度，确保水平。

**4.4.6** 混凝土布料后应由人工对混凝土进行初摊平，初控混凝土铺设标高。

**4.4.7** 使用混凝土整平机器人整平施工时，应符合下列规定：

**1** 应根据混凝土现场塌落度情况调整整平速度；

**2** 机器作业过程中应连续，以防机器振捣板在同一地点振捣时间过长，造成该处混凝土离析，导致质量不合格；

**3** 班组人员应在机器作业过程中观察机器刮料情况，防止刮板溢料破坏原有完成面及交接处积料过多；

**4** 机器人整平施工应在人工初摊达到一定面积时在再进行，应避免机器与班组人员交叉作业；机器人与人工作业距离应不少于2米；

**5** 在狭小楼面空间作业时，应在整体初摊平结束后，再用机器人整平，避免人工与机器人作业冲突；

**6** 整平过程中，应根据整平操作人员指示，对施工完成面异常区域和机器作业初始部分进行标高复测；

**7**  整平机器人作业不能覆盖的边角区域应由人工进行辅助收边收角工作。

**4.4.8** 地面整平施工完成的质量应符合下列规定：

**1** 混凝土表面平整度应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）中关于混凝土表面平整度的要求，偏差不应超过8mm，采用2m靠尺与塞尺测量；

**2** 应符合《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021）中对混凝土密实度的规定，可通过非破损检测方法进行评估；

**3** 应根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）规定进行标高控制，可采用水准仪或拉线、尺量的方式，层高允许偏差为±10mm，全高允许偏差为±30mm；

**4** 应检查混凝土表面是否有缺陷，如气泡、麻面、色差等，确保外观质量满足验收标准。不应有严重缺陷，不宜有一般缺陷。如不满足，则应按照规范要求进行修补。

4.5 混凝土抹平机器人性能和功能

**4.5.1** 混凝土抹平机器人性能和功能应满足下列要求：

**1** 应具备开机自检功能，机器人开机后自检各模块功能状态，并能反馈和显示机器人当前的状态信息；

**2** 应具停障功能，碰到障碍物时可触发急停，防止撞击，起到保护设备和人员的作用；

**3** 应具备不同类型的地面适应功能，以确保机器人在复杂的路况可行走；

**4** 应能控制抹平作业时的行走速度，确保整平的质量和观感；

**5** 应具备激光调节系统，可实现对刮板高度的实时调整；

**6** 智能型的机器人应具备图纸或BIM系统导入功能，按照预设路径规化的地图进行全自动作业；

**7**  遥控型的机器人应具备使用遥控器操控作业，包括前进、后退、转向、加减速等动作，支持移动速度可设置；

**8** 应具备实时信息显示功能和记录功能，实时显示机器人当前运行模式及运行状态、遥控作业、速度设置、各模块参数信息、触发急停状态显示、蓄电池剩余电量、各部件故障信息、报警信息等信息；实时记录运行参数并存储运行时间、蓄电池剩余电量、触发急停状态、报警记录等信息；

**9** 应具备报警机制，当出现故障或异常情况时能及时发出警报，提醒操作人员处理；

**10** 应具备振捣机构，实现对混凝土的振捣提浆功能。

4.6 混凝土抹平机器人施工应用准备

**4.6.1** 应配置1名经培训合格的操机人员，负责对机器人入场施工前的安全检查和施工过程中、施工完成后的机器人日常管理、维护保养以及场地施工前的接收、前置条件处理、施工过程中场地质量自检确认等工作。并负责对抹平完成的区域进行质量检查。

**4.6.2** 若抹平机器人具有振捣提浆收面功能，应配置抹光机器人联合施工。

注：抹平施工根据整平板面标高差取平均值进行抹平，即板面低于平均值的区域机器作业时刮板悬空，而机器滚筒具有挤压提浆功能，故该区域机器破坏的完成表面，该机器不能收面，需后续抹光机器人收光处理。

**4.6.3** 抹平机器人进场施工前，应梳理确认前置条件，并应符合下列规定：

机器施工前应进行场地前置条件排查，一般在隐蔽验收的同时进行机器人前置条件验收，确认现场是否有影响机器人作业的情况，排查内容应符合表4.6.3相关内容：

表4.6.3 抹平作业前置条件排查

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 排查内容 | 具体事项 |
| 1 | 机器进场路线，即仓库（储存机器）位置到施工面路线 | （1）是否有通往施工作业面的平整道路，如道路只能到作业面附近，需借助塔吊或搭建机器行走的临时小路；（2）行进道路上是否有材料、障碍物等，如有，需清除；（3）考虑到机器行走速度相对较慢，如仓库距离施工作业面超过400米，建议使用电动板车协助机器设备转移。 |
| 2 | 浇筑面积情况 | （1）需确定施工面积的大小，一般机器人在满电的情况下可持续工作6h，如面积过大，需考虑机器满电情况下是否满足持续施工，如不满足，需考虑更换备用电池。 |
| 3 | 塔吊、起重机等垂直起吊设备 | （1）如机器无法直接开到作业面，如地下室底板需用起重机、楼面需用塔吊至作业面；（2）起吊需复查是否需要吊环、吊绳、吊扣等；（3）如楼面晚上抹平施工结束，晚上是否有塔吊协助吊运机器或机器白天吊运，早晨机器是否会影响现场施工。 |
| 4 | 复核板面混凝土整平标高情况 | （1）整平后的板面初步测量，确认实际整平后的板面平整度，进而确定抹平机刮板的抹平量。 |
| 5 | 铝模预埋件（铝模楼面） | （1）在铝模楼面施工，必须取消传统铝模斜撑预埋件，采用暗藏式预埋套筒。 |
| 6 | 设备清洗 | （1）机器施工结束后，是否有合适位置清洗机器，注意清洗用水及排污处理。 |

**4.6.4** 施工前，应根据地面类型及质量要求、面积等，合理配置施工耗材。并对机器人进行点检，点检内容包括：设备是否齐全、设备功能是否正常、电池设备电量情况等。

**4.6.5** 如设备距离施工作业场地较远，应提前准备车辆运输。

**4.6.6** 机器人应在第一块板面浇筑结束后进场准备；进场前，应注意进场路线，如需塔吊或其他机械协助的应提前协调。

4.7 混凝土抹平机器人施工及质量控制

**4.7.1** 使用混凝土抹平机器人施工时，应遵循表4.7.1相关施工工艺流程：

表4.7.1 抹平机器人施工工序

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 准备工作 | 按照本导则第 4.6 节的规定进行施工准备 |
| 2 | 机器起吊 | 按照本导则第 4.7.2 节的规定进行机器人起吊 |
| 3 | 等待作业 | 按照本导则第 4.7.3 节的规定等待作业 |
| 4 | 架设激光 | 按照本导则第 4.7.4 节的规定架设激光 |
| 5 | 标高调试 | 按照本导则第 4.7.5 节的规定进行标高调试 |
| 6 | 机器抹平 | 按照本导则第 4.7.6 节的规定进行机器人抹平 |

**4.7.2** 机器人起吊应满足下列规定：

**1** 到达塔吊、起重机起吊范围内，应关闭电源，检查机器四角的吊环是否牢固；

**2** 起吊时应由司索工根据信号指挥完成机器起吊；

**3** 起吊时严禁在机器上放遥控手柄、激光发射器箱子等不与机器本为一体的物品。

**4.7.3** 机器人等待作业时，应满足下列规定：

**1** 应放置在梁钢筋周边受力稳固、平稳处，避免机器长时间放置导致板面钢筋压坏及

机器放置不平导致倾覆打滑的事故产生；

**2** 放置机器人的场所应充分考虑是否影响班组工人前期施工，如放置在板面后浇筑的

地方，避免因机器存放影响班组施工；

**3** 严禁无关人员随意操控、触碰机器，避免对机器造成破坏；

**4** 机器放置时应注意观察天气，如可能下雨，需用雨布覆盖机器。

**4.7.4** 架设激光应满足下列规定：

**1** 班组人员移动应避免遮挡机器激光信号接收；

**2** 应确认激光能全覆盖，无障碍物遮挡，接收距离30米以内为佳；

**3** 发射器应尽量减少移动，减少积累误差；必须移动时，应以同个基准点进行激光架设，减少不同基准点带来标高误差的影响；

**4** 激光架设时三脚架应保持水平状态，并打开防震功能，防止仪器因轻微抖动而停止工作。

**4.7.5**  标高调试应满足下列规定：

**1** 标高调试应在卡环位置固定的情况下进行，设备点检时应保证卡环位置无误；

**2** 调整标高时，应注意手持标定杆底部是否有混凝土渣块，应明确施工完成面为基准

标高线的上端口还是下端口或中间；

**3** 标高调试结束后，应将机器设置为自动模式，对调试标高进行验证复测

**4** 应在自动模式下检查机器振捣板俯仰角度，确保水平；

**4.7.6** 使用混凝土抹平机器人抹平施工时，应符合下列规定：

**1** 施工过程中，应根据混凝土的状态，不断调整机器人的工作参数，如刀片角度、压力和速度，以达到最佳的抹平效果；

**2** 应根据机器人对地面平整度的自动监测信息，及时调整机器人的作业路径和力度，保证整个施工面平整度一致；

**3** 机器人使用的磨盘或刀片应保持良好状态，锋利且无缺损，确保在收面时能够精确切除混凝土表面的突出部分，达到光滑如镜的效果；

**4** 应根据混凝土表面的硬度和湿度，调整机器人的磨盘转速和压力，以获得最佳的收面光洁度；

**5** 在施工过程中，应合理匹配机器人行走速度和刀片旋转速度，以尽量减少机器人行走轨迹和刀片切割痕迹；

**4.7.7** 地面整平施工完成的质量应符合下列规定：

**1** 混凝土表面平整度应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）中关于混凝土表面平整度的要求，偏差不应超过8mm，采用2m靠尺与塞尺测量；

**2**  应符合《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021）中对混凝土密实度的规定，可通过非破损检测方法进行评估；

**3** 应根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）规定进行标高控制，可采用水准仪或拉线、尺量的方式，层高允许偏差为±10mm，全高允许偏差为±30mm；

**4** 应检查混凝土表面是否有缺陷，如气泡、麻面、色差等，确保外观质量满足验收标准。不应有严重缺陷，不宜有一般缺陷。如不满足，则应按照规范要求进行修补。

4.8 安全及环境保护

**4.8.1** 在选择和使用地面抹平机器人时，应优先考虑能耗低、排放少的环保型机器人。同时，合理安排施工时间，避免在高峰期进行高噪音、高污染的施工活动，以减少对周边环境和居民的影响。

**4.8.2** 在施工前，应对地面抹平机器人进行全面的设备检查，包括操作面板、液晶显示屏、油路、皮带、电气线路等，确保设备处于正常运转状态，没有异常声响或潜在的安全隐患。

**4.8.3** 操作人员应按严格按要求佩戴防护服、安全帽、防护手套和防护眼镜等个人防护用品，以降低施工过程中可能产生的飞溅物、尘埃等对人体的危害。

**4.8.4** 在机器人工作时，操作人员应站在机器的左右两侧，避免站在机器前方或后方，以防止因机器突然移动或发生故障而造成伤害。操作人员应严格按照操作说明书来操作机器人，禁止进行未经授权的操作。

**4.8.5** 在进行临边作业时，机器人操作人员应时刻注意机器人作业行走路径，避免坠落等高空风险。

**4.8.6**  机器人操作人员应密切关注机器人的运动作业状态，避免发生机器人撞人、撞物、倾翻、长时间过载等风险和事故。

**4.8.7** 如需手动控制机器人，应确保机器人动作范围内无任何人员或障碍物，并由慢到快逐渐调整底盘移动速度，避免速度突然变快打破机器人稳定状态。

**4.8.8** 在进行机器维护、调整或清洗时，应先切断电源和压力，以防止机器在维修过程中突然启动或运行对人员造成伤害。

**4.8.9** 作业完成后，应对施工区域进行彻底清理，确保施工现场整洁无杂物。机器人内残留的水泥浆液等材料，应倒入指定地点进行处理，避免乱倒乱泼对环境造成影响。

5 部品部件安装施工类

5.1 一般规定

**5.1.1** 使用机器人进行施工时，应根据现场施工条件、条板规格制定施工方案，并应包含以下内容：

**1**  工程概况；

**2** 机器人型号及参数；

**3** 板材进场时间、运输时间区间或安装时间、作业节拍；

**4** 垂直运输方式和运输路径；

**5** 现场板材堆场、施工作业面位置；

**6** 板材在施工作业面的摆放方式；

**7** 人员配置；

**8** 施工安全管理和进度规划。

**5.1.2** 机器人运行的地面应为硬化混凝土面层，且混凝土强度等级不应低于C20。

**5.1.3** 使用机器人进行施工前的地面应检查合格，并符合下列标准：

**1** 运输机器人作业路径中的坡度应不大于15°，安装机器人运行路径中的坡度应不大于10°；

**2** 运输路径中的沟坎高度应低于5厘米；

**3** 如上述条件不符合，应使用搭建钢坡、浇筑混凝土、搭建木方支撑的木板斜坡等方式满足条板运输机器人施工的地面条件；

**4** 运输路径中应保持积水、泥泞、垃圾等清扫干净，机器人转运过程可参照机器人产品手册。

**5.1.4** 垂直运输使用的工程电梯、卸料平台、塔吊等的荷载和尺寸应满足机器人运输板材时的整体重量及整体尺寸。

5.2 条板运输机器人性能和功能

**5.2.1** 条板搬运机器人应具备但不限于下列功能：

**1** 应具备启动自检功能，机器人启动后自检各模块状态是否正常，并显示和反馈机器人的状态；

**2** 应具备在运行中实时显示和反馈机器人的当前运行模式、续航时间、通信情况、和其他与性能相关的信息的能力；

**3** 应具备将被运输物体可靠、稳定的固定在机器人上的能力；

**4** 应具备全向移动，原地旋转和掉头的行驶能力；

**5**  应具备紧急情况下将设备电源切断的紧急制动装置；

**6**  应具备独立电源，持续工作不需外部电源提供动力，最大续航时间至少8小时，电池充满所需充电时间不应超过6小时；

**7** 机器人应配备无线控制终端，用于实时监测设备的运行状态，具备手动操作设备运行，排除设备故障，操作指引等功能；

**8** 宜具备障碍物检测功能，能感知障碍物，自动或手动控制停机，起到防撞击、保护设备和人员安全的能力。

5.3 条板运输机器人施工应用准备

**5.3.1**  条板搬运机器人的人员配置应符合下列规定：

**1** 应配置1名经培训合格的机器操作人员，负责对机器人入场施工前的安全检查和施工过程中、施工完成后的机器人日常管理、维护保养以及场地施工前的接收、前置条件处理、施工过程中场地条件自检确认等工作；同时负责对待搬运条板质量、条板堆放区域、条板搬运路径进行质量与空间安全检查；

**2** 机器操作人员在施工过程中应佩戴安全帽、反光衣、劳保鞋、防尘口罩等劳动保护用品。

**5.3.2**  条板搬运机器人进场施工前，应对施工区域前置条件处理，并应符合下列规定：

**1** 应将与条板搬运无关的设备、建筑材料、建筑垃圾等清空；保证地面干净、无积水、无渗漏、无杂物堆积，无外漏的钢筋头；靠近墙、柱边缘的地面应清理干净，不应有混凝土块等遗留残迹；

**2**  施工范围内的集水井、排水沟等部位应封闭，并采取措施保证地面平整。

**5.3.3** 施工前，应根据条板类型、搬运要求及质量要求等，合理配置施工耗材。

**5.3.4** 搬运前，应进行条板质量检查与搬运径检查并符合下列规定：

**1** 获取施工场地平面图后，应对搬运路径进行规划，确保施工路径符合作业要求；

**2**  抵达施工现场后，应通过人工对规划路径进行空间检查，确保待搬运条板具有足够空间进行旋转与通行；

**3**  搬运前应复核条板重量，操作机器人时不得超载。

**5.3.5** 对已完工的墙、柱，应采取防止搬运伤害的保护措施。

**5.3.6** 施工前应核查现场供电能力满足机器人的使用要求。同时应检查机器人状态并符合表5.3.6的相关规内容：

表5.3.6 机器人施工前检查

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 检查内容 | 检验方法和合规 |
| 1 | 机器人电量 | 操作界面反馈电量大于等于90% |
| 3 | 底盘功能 | 操作底盘进行移动、旋转，确保移动轮工作正常，无卡顿、异响 |
| 4 | 执行机构功能 | 操作执行机构进行抬升、旋转等规定动作，确保动件工作正常 |

5.4 条板运输机器人施工及质量控制

**5.4.1** 使用条板搬运机器人进行搬运时，应遵循表5.4.1相关施工工艺流程：

表5.4.1 混凝土整平机器人施工工序

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 施工准备 | 按照本导则第5.3节的规定进行施工准备 |
| 2 | 机器人进场 | 按照本导则第5.4.2节的规定进场 |
| 3 | 装载板材 | 按照本导则第5.4.3节的规定装载 |
| 4 | 板材搬运 | 按照本导则第5.4.4节的规定搬运 |
| 5 | 卸货 | 按照本导则第5.4.5节的规定卸货 |

**5.4.2** 条板搬运机器人可遥控进场或运载进场，并符合下列规定：

**1** 当采用遥控进场时，应采取措施保证进场通道通畅；

**2** 当进场通道存在阻碍时，可协调车载吊机、塔吊等设备，整体吊装机器人进入施工场地。

**5.4.3** 当使用条板搬运机器人进行装载板材工作时，应符合下列步骤：

**1** 移动至板材中心点，确认周围无障碍物；

**2** 抬升复位，夹爪复位；

**3** 缓慢进入板材下方，直至紧贴板材；

**4** 抬升机构上升至顶部；

**5** 夹爪夹紧板材；

**6** 将条板临时堆放架取出，放在板材上；

**7** 夹爪松开板材，抬升机构复位；

**8** 夹爪夹紧板材，开始运输。

**5.4.4** 当使用条板搬运机器人进行搬运工作时，应根据施工现场的实际情况和用户手册，明确施工注意事项并应符合下列规定：

**1** 确定适宜的装载速度、卸载速度、行走速度，确保条板在搬运过程中不受碰撞；

**2** 机器人上坡、下坡时，应确保坡面不湿滑，并与其他工人、工具保持安全距离；

**3** 机器人上坡、下坡不能超过其出厂极限坡度值；

**4** 机器人跨越障碍物高度不应超过其出厂最大值。

**5.4.5** 当使用条板搬运机器人完成转运进行卸货工作时，应符合下列步骤：

**1** 到达放置点位后，将条板临时堆放架置于板材之下；

**2** 松开夹爪；

**3** 抬升机构复位，直至板材落在架子上；

**4** 机器人撤出。

**5.4.6** 当使用条板搬运机器人完成卸货工作后，应采用人工对安装部品进行质量检查，确保无破损、无磕碰。

**5.4.7** 当使用条板搬运机器人进行人工辅助时候，应提前制定人工辅助搬运方案，在搬运过程中不得通过人工对条板进行调整，避免条板坠落或倒塌引发的人员伤亡事故。机器人操作人员应符合下列规定：

**1** 只有通过培训的授权操作手可以操作机器人；

**2** 只有厂商授权的维修人员可打开机器人外壳，拆装机器人零部件；

**3** 操作机器人必须佩戴反光衣和头盔。

5.5 条板安装机器人性能及功能要求

**5.5.1** 条板安装机器人应具备但不限于下列功能：

**1** 应具备启动自检功能，机器人启动后自检各模块状态是否正常，并显示和反馈机器人的状态；

**2** 应具备在运行中实时显示和反馈机器人的当前运行模式、续航时间、通信情况、和其他与性能相关的信息的能力；

**3** 应具备紧急情况下将设备电源切断的紧急制动装置；

**4** 机器人在安装墙板的过程中，直到安装作业结束，应始终保持板材与抓取机构的稳定连接；应确保在紧急情况下，即使切断设备电源，板材不会松脱；

**5** 应具备全向移动，原地旋转和掉头的行驶能力；

**6** 应具备独立电源，持续工作不需外部电源提供动力，最大续航时间至少8小时，电池充满所需充电时间不应超过6小时；

**7** 应具备激光投射器、红外线测距模块、激光雷达、工业相机、惯性测量模块等传感器或设备用于感知和测量安装板材的精度；

**8** 机器人应配备无线控制终端，用于实时监测设备的运行状态，具备手动操作设备运行，排除设备故障，操作指引等功能；

**9** 宜具备障碍物检测功能，能感知障碍物，自动或手动控制停机，起到防撞击、保护设备和人员安全的能力。

5.6 条板安装机器人施工应用准备

**5.6.1** 条板安装机器人的人员配置应符合下列规定：

**1** 应配置1名经培训合格的操作人员，负责对机器人入场施工前的安全检查和施工过程中、施工完成后的机器人日常管理、维护保养以及场地施工前的接收、前置条件处理、施工过程中场地条件、空间安全自检确认等工作，并负责对安装条板质量、条板安装作业面、条板安装后的垂直度等进行质量检查；

**2** 应配置相应的施工班组人员执行切割、微调、管卡固定、抹浆等工序，辅助完成墙板安装；

**3** 机器操作人员在施工过程中应佩戴安全帽、反光衣、劳保鞋、防尘口罩等劳动保护用品。

**5.6.2** 条板安装机器人进场施工前，应对施工区域前置条件处理，并应符合下列规定：

**1** 应将与条板搬运无关的设备、建筑材料、建筑垃圾等清空；应保证地面干净、无积水、无渗漏、无杂物堆积，无外漏的钢筋头；靠近墙、柱边缘的地面应清理干净，不应有混凝土块等遗留残迹；

 **2** 施工范围内的集水井、排水沟等部位应封闭并采取措施保证地面平整。

**5.6.3** 施工前，应根据挑板类型、安装要求、质量要求等，合理配置施工耗材。

**5.6.4** 施工前应进行挑板质量检查、安装空间检查并符合下列要求：

**1** 明确板材的安装位置，应尽量从母槽对结构墙侧开始安装；

**2** 排除路径中的障碍；

**3** 确保装载板材、安装板材的区域有足够的空间（垂直于板材方向至少3m宽度）供机器人操作；

**4** 准备装载前，应确保板材直立放置；板材处于距离地面至少20cm的高度，否则夹爪无法下潜；机器人上下夹爪打开，确保不会误触板材。

**5.6.5** 对已完工的墙、柱，应采取防止安装造成伤害的保护措施。

**5.6.6** 施工前应核查现场供电能力满足机器人的使用要求。同时应检查机器人状态并符合表5.6.6的相关规内容：

表5.6.6 机器人施工前检查

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 检查内容 | 检验方法和合规 |
| 1 | 机器人电量 | 操作界面反馈电量大于等于90%。 |
| 2 | 底盘功能 | 操作底盘进行移动、旋转，确保移动轮工作正常，无卡顿、异响。 |
| 3 | 执行机构功能 | 操作执行机构进行抬升、旋转等规定动作，确保动件工作正常。 |

**5.6.7**  施工前应依据相关行业标准的规定进行以下工程准备工作：

**1** 应点检木楔、管卡、切割机、撬棍等施工耗材和工具；

**2** 应点检墙板专用粘接剂或砂浆等专业辅材；

**3** 应依据深化设计结果复核待安装板材的尺寸、数量和安装位置；

**4** 应根据图纸确定板材安装的区域和顺序并清理面层，进行测量放线，保证墙体位置正确；

**5** 条板安装位置基层应清理干净，对需要处理的光滑地面应凿毛处理，按安装排版图放线，标出每块条板位置，门窗洞口位置，放线应清晰，位置应准确。

5.7 条板安装机器人施工质量控制

**5.7.1** 使用条板安装机器人进行安装时，应遵循表5.7.1相关施工工艺流程：

表5.7.1 混凝土整平机器人施工工序

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 施工准备 | 按照本导则第5.6节的规定进行施工准备 |
| 2 | 机器人进场 | 按照本导则第5.7.2节的规定进场 |
| 3 | 装载板材 | 按照本导则第5.7.3、5.7.4节的规定装载 |
| 4 | 安装板材 | 按照本导则第5.7.5、5.7.6节的规定安装 |

**5.7.2**  条板安装机器人进场时，可采用遥控进场或运载进场并符合下列规定：

**1** 当采用遥控进场时，应采取措施保证进场通道通畅；

**2** 当进场通道存在阻碍时，可协调车载吊机、塔吊等设备，整体吊装机器人进入施工场地。

**5.7.3** 使用安装机器人装载板材时应遵守以下规定：

**1** 待抓取的板材如侧放，应注意板材放置高度符合机器人抓取的要求；

**2** 板材如平放，应注意板材无形变，边缘整齐，且高度符合机器人抓取的要求；

**3** 机器人抓取板材时，在水平、垂直、纵深方向应尽可能贴合板材表面，以达到最大稳固抓取效果，保证抓取安全；

**4** 不得使用机器人抓取超出其最大运载重量或最大运载尺寸的板材；

**5** 应在抓取板材前完成切割、打管卡等工序。

**5.7.4** 条板安装机器人装载板材时，应从机器人侧面操作，同时观察抬升机构、夹爪工作情况，应符合下列步骤和要求：

**1** 调整抬升机构，使抬升机构的上挡板高于板材的上沿（不超过10cm）；

**2** 机器人缓慢前移，直至抬升机构前接触面与板材紧密接触（注意两侧均需贴紧）；

**3** 抬升机构下降，直至上挡板与板材紧密贴合；

**4** 下夹爪夹紧；

**5**  抬升机构上升约10cm，使板材脱离；

**6** 机器人携带板材后移至少50cm；

**7** 上夹爪夹紧板材，完成装载；

**8** 机器人行驶中，将板材旋转90度与地面垂直，俯仰机构后仰。

**5.7.5** 使当使用条板安装机器人进行安装工作时，应根据施工现场的实际情况和机器人手册明确施工注意事项并应符合下列规定:

**1** 确定适宜的装载速度、卸载速度、行走速度，确保条板在装载、安装过程中不受碰撞；

**2** 机器人上坡、下坡时，应确保坡面不湿滑，并与其他工人、工具保持安全距离；

**3** 机器人上坡、下坡不能超过其出厂极限坡度值；

**4** 机器人跨越障碍物高度不应超过其出厂最大值。

**5.7.6** 条板安装机器人安装板材时，从机器人侧后方操作，同时观察上梁、地面、侧边结构、夹爪工作情况，应符合下列步骤和要求：

**1** 明确板材的安装位置，确保上夹爪不与固定好的板材或其他结构干涉；

**2** 操作俯仰机构，使板材与地面呈90度垂直；

**3** 操作抬升机构，使板材与上梁、地面距离容许板材进入；

**4** 操作机器人缓慢前进，使板材进入安装梁下范围，与墨线、结构柱等参照物对齐；

**5** 松开下夹爪；

**6** 操作机器人缓慢横移，使板材与侧边结构接触密实；

**7** 待工人安装结构固定件（炮钉、木楔），确保板材固定完成；

**8** 松开上夹爪，机器人后移脱离板材。（需确保上夹爪不与固定好的板材或其他结构干涉）。

**5.7.7** 当人工辅助条板安装机器人作业时，应提前制定人工辅助安装方案，在安装过程中不得通过人工对条板进行调整，避免条板坠落或倒塌引发的人员伤亡事故。

**5.7.8** 操作安装机器人时其他注意事项：

**1** 只有通过培训的授权操作手可以操作机器人；

**2** 只有厂商授权的维修人员可打开机器人外壳，拆装机器人零部件；

**3**  操作机器人必须佩戴反光衣和头盔；

**4** 在可以操作的范围内，永远采用最安全的操作措施。

5.8 安全及环境保护

**5.8.1** 在机器人的制造和维修过程中，应尽量使用可回收或可降解的材料，减少对环境的负面影响。

**5.8.2** 应尽量优化机器人的能耗设计，选择高效节能的电机和电池，以减少能源消耗和碳排放。

**5.8.3**  机器人应配备明显的安全警示灯和声音提示装置，在机器人工作时发出警示，以防止人员靠近造成意外伤害。

**5.8.4** 所有操作机器人的工作人员必须接受全面、系统的专业培训，了解机器人的工作原理、安全操作规程以及应急处置流程。

**5.8.5** 在每次使用机器人之前，应进行全面细致的检查，包括电池状态、传感器灵敏度、机械结构稳固性等，确保机器人处于良好的工作状态。

**5.8.6** 施工过程中应名划分机器人作业区域，并设置明显的安全警示标志，例如防护栏、光电传感器等，以避免人员误入工作区域或与机器人发生碰撞。

**5.8.7** 应定期对机器人进行维护和检查，特别是机器人的抓取机构、移动装置以及传感器等关键部件，确保其稳定性和可靠性。

6 室内装饰装修施工类

6.1 一般规定

**6.1.1** 使用机器人进行室内装饰装修施工时，应根据作业类型、质量要求制订施工方案，应包括下列内容：

**1** 工程概况；

**2** 建筑机器人选型及配置；

**3** 所需施工材料数量及使用顺序；

**4** 施工现场准备；

**5** 人员配置；

**6** 施工工序及质量要求；

**7** 施工安全管理；

**8** 施工进度计划等。

**6.1.2** 机器人宜在温度0℃~40℃,相对湿度35%~ 85%的环境条件下进行施工。

**6.1.3** 使用机器人施工的地面坡度应不超过6°，地面沟宽应小于50mm，地面障碍物高度应小于30mm，转场时的地面坡道条件应满足机器人用户手册的要求。

**6.1.4** 机器人作业时应能顺利进出室内各空间，室内门洞高度宜不小于1800mm，宽度宜不小于900mm。

**6.1.5** 为保证机器人持续使用，现场应设置供水区、机器清洗区和废水处理区。

**6.1.6** 施工现场应禁止烟火，并配备泡沫灭火器、二氧化碳灭火器、干粉灭火器等消防器材。

6.2 地坪研磨机器人性能和功能

**6.2.1**  地坪研磨机器人应具备下列功能：

**1** 应具备开机自检功能，机器人开机后自检各模块功能状态，并能反馈和显示机器人当前的状态信息；

**2** 应具备地图建图、编辑、存储、复用功能，可通过扫描作业区域，分析作业路径，并保存路径地图；

**3** 宜具备图纸或BIM模型导入功能；

**4** 应内置激光雷达导航定位模块和运动控制系统，可按设定路线自主导航行走和定位，完成预定作业；

**5** 应具备障碍物检测功能，能感知障碍物并具备自动停障功能，防止撞击，起到保护设备和人员的作用；

**6** 应具备裸露钢筋探测功能，当探测到裸露钢筋时，机器人应自动停止行走，研磨盘停止转动，能有效预防研磨盘因打磨到裸露钢筋而损坏；

**7** 应能根据地面平整度控制行走速度，实现控制研磨量功能；

**8** 应具备实时信息显示功能与记录功能，实时显示机器人当前运行模式及运行状态、地图选择、新建路径、模块操作、遥控作业、对图、速度设置、激光建图、各模块参数信息、触发急停状态显示、蓄电池剩余电量、各部件故障信息、报警信息、磨头更换提醒；实时记录运行参数并存储运行时间、蓄电池剩余电量、研磨电机转速和扭矩、激光雷达检测信息、地图显示，作业路径、触发急停状态、报警记录等信息；

**9** 应配备无线控制终端，可通过操作无线控制面板操控机器人工作；进入操作界面应采取措施防止意外启动，按钮应设计合理，能有效避免误触碰；有操作指引，关键操作应具备提示功能；

**10** 应具备手动研磨和自动研磨功能，手动研磨模式下，可通过遥控设备控制机器人研磨作业；应具备可编程的研磨作业系统，自动研磨模式下，可按设定路径自主完成研磨作业；

**11** 研磨过程中，应具有大功率同步吸尘功能，并应反馈收集的灰尘重量是否超过限值；

**12** 施工或转场时，应具备收放电缆功能，且收放电缆应平稳无卡滞；

**13** 应具备异常工作状态下的报警功能。

6.3 地坪研磨机器人施工应用准备

**6.3.1** 地坪研磨机器人的人员配置应符合下列规定：

**1** 应配置1名经培训合格的操作人员，负责机器人施工场地前置条件确认、现场电力和信号检查、机器人的构配件检查、施工操作、质量自检及日常维护保养等工作；

**2** 宜配置灰尘清扫、细部位置处理等辅助工人数名，配合机器人作业。

**6.3.2** 地坪研磨机器人施工前，应梳理确认前置条件处理，并应符合下列规定：

**1** 作业范围应清理干净，无影响地坪研磨施工的材料、设备、垃圾等；

**2** 工作场地地面无杂物、无积水，混凝土块、钢筋头等凸出物处理干净；

**3** 施工范围内的坑、沟、井等部位应做好防护，进出作业面道路应满足机器人通行。

**6.3.3** 施工前，应对现场已完成的墙、柱工序做好成品保护。

**6.3.4** 现场应有满足设备进出施工作业面的通道。

**6.3.5** 现场供电应满足地坪研磨机器人的使用要求。

**6.3.6** 施工前，应根据地面类型、质量要求及面积等，合理配置施工耗材，并对机器人进行点检，点检内容应符合表6.3.6相关规定：

表6.3.6 设备点检表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 点检内容 | 内容明细 |
| 1 | 设备是否齐全 | （1）设备清单所列构配件是否齐全。 |
| 2 | 设备功能是否正常 | （1）检查供电主电缆线路及接头、研磨电机动力线缆、电缆卷盘线缆、吸尘系统线经、天线线缆、各传感器线缆状态，存在线路破损、老化、插头松动、积尘等现象严禁开机；（2）目视检查急停按钮外观应完好，按下急停按钮应能自动锁止，旋转急停按结应能自动弹起，如有异常严禁启动设备；（3）检查机器人本体、电控柜箱、卷线器、研磨机构等外部防护装置的完整性，防护设施不完整时严禁开机；（4）检查研磨主电机本体、研磨声设备功能完整性，研磨机构出现破损：裂纹、断裂现象禁止启动设备；（5）检查电控柜内状态，存在杂物、积灰，浸液等异常严禁开机，严禁在电控柜内放置配件、工具、杂物、安全帽等，以免影响到部分线路，造成设备的异常；（6）检测三相主电源的电源柜的合规性，确认主电源能稳定输出50A以上AC380V/50Hz三相交流电；（7）检查金刚石铁磨片和树脂磨片是否按照作业要求及时更换、无缺漏、无松动、无安装不到位等异常。 |
| 3 | 电池设备电量情况 | （1）平板遥控器电量充足；（2）研磨机器人与远程供电线连接正常，确保机器供电正常。 |

**6.3.7** 使用地坪研磨机器人进行施工前，地坪基层应符合下列规定：

**1** 地坪基层应结合牢固，不应有空鼓和开裂现象；

**2** 地坪基层应洁净且不应有裂纹、脱皮、麻面、起砂等缺陷；

**3** 坡度应符合设计要求，不应有倒泛水和积水现象；

**4** 平整度应符合现行国家标准《建筑地面工程施工质量验收规范》GB 50209的有关规定及工程设计要求，平整度允许偏差和检验方法应符合表6.3.7相关规定：

表6.3.7 平整度允许偏差和检验方法

|  |  |
| --- | --- |
| 允许偏差(mm) | 检测方法 |
| 水泥混凝土基层 | 水泥砂浆基层 | 硬化耐磨基层 |
| 5 | 4 | 4 | 用2m靠尺和楔形塞尺检查 |

6.4 地坪研磨机器人施工质量控制

**6.4.1** 地坪研磨机器人施工工序和要求宜符合下列规定：

**1** 混凝土地坪施工工序和要求宜符合表6.4.1.1相关规定；

表6.4.1.1 混凝土地坪施工工序和要求表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 施工准备 | 按照本导则第6.3节的规定进行施工准备 |
| 2 | 机器人粗打磨 | 按照本导则第6.4.2条的规定进行粗磨施工 |
| 3 | 更换细磨磨片精磨 | 按照本导则第6.4.3条的规定进行细磨施工 |
| 4 | 墙柱角位置人工处理 | 按照本导则第6.4.6条的规定进行墙柱角位置人工处理 |
| 5 | 抛光 | 按照本导则第6.4.4条的规定进行抛光施工 |
| 6 | 灰尘清扫 | 按照本导则第6.4.2条的规定进行灰尘清扫施工 |
| 7 | 检查地面平整度和表面观感度 | 按照本导则第6.4.5条的规定检查地面平整度和表面观感度 |

**2** 混凝土密封固化地坪、金刚砂地坪、普通水磨石地坪施工工序和要求宜符合表6.4.1.2相关规定：

表6.4.1.2 混凝土密封固化地坪、金刚砂地坪、普通水磨石地坪施工工序和要求表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 施工准备 | 按照本导则第6.3节的规定进行施工准备 |
| 2 | 粗磨 | 按照本导则第6.4.2条的规定进行粗磨施工 |
| 3 | 细磨 | 按照本导则第6.4.3条的规定进行细磨施工 |
| 4 | 喷涂渗透性液体固化剂 | 将兑水配比后的硬化剂，均匀地喷或涂在地面上，确保地面充分浸透 |
| 5 | 抛光 | 按照本导则第6.4.4条的规定进行抛光施工 |

**6.4.2** 使用地坪研磨机器人进行粗磨施工时，应根据施工现场地面的实际情况、设计要求和机器人性能，确定粗磨地面所选用磨头目数和研磨遍数，设定研磨转速和行走速度，并应符合下列规定：

**1** 当地面混凝土强度等级高于C25且需要深度研磨时，宜采用低目数的粗磨磨头，并根据实际研磨效果适当增加研磨遍数；

**2** 对于硬化处理的地坪，应采用选定的磨头按目数由低向高依次研磨，不宜跳级研磨，可根据实际研磨效果适当增加研磨遍数；

**3** 每次研磨结束后及时检查地面基层，对出现坑洼、钢筋头、高低差比较大的地方应修补；待修补位置硬化后，可使用地坪研磨机器人局部研磨处理；

**4**  粗磨工序结束后应检查粗磨后的地面平整度和表面观感度，应做到无漏磨，表面应无起砂现象且无明显接缝线；

**5** 对无法自动研磨的区域，可遥控机器人进行研磨；机器人无法施工的区域，应人工打磨处理；应确保机器人研磨区域和人工打磨边角区域的接缝处无明显差异。

**6.4.3**  当使用地坪研磨机器人进行细磨施工时，应根据地面上道工序施工质量，确定初始细磨磨片、细磨次数等施工工艺参数，并应符合下列规定：

**1** 细磨磨片应按施工工艺和使用目数，逐级由低目数向高目数研磨，不得跳级研磨施工；

**2** 细磨结束后应检查地面平整度和表面观感度，应做到手感光滑、观感平整、无剥落、无起壳、无凸起；

**3**  机器人无法施工的区域，应人工打磨处理，且机器人研磨区域和人工打磨边角区域接缝位置应平顺、无明显差异；

**4** 细磨结束后，应将地面清扫干净。

**6.4.4**  当使用地坪研磨机器人进行抛光施工时，应采用适宜的抛光磨片。抛光后地面应做到手感光滑、观感平整、光泽均匀，无明显打磨痕迹，无起灰、起砂现象且无明显接缝线。

**6.4.5** 表面平整度允许偏差不应大于4mm/2m。

**6.4.6**  地坪研磨区域靠近墙柱边10cm左右位置宜人工进行打磨处理，避免机器人施工磨盘撞到墙柱的风险发生。

6.5 室内漆喷涂机器人性能和功能

**6.5.1** 室内漆喷涂机器人应具备下列功能：

**1** 应具备高精度的喷涂系统，能够精确控制涂料的流量、压力和喷幅，实现均匀、一致的喷涂效果；

**2** 应具备开机自检功能，机器人开机后自检各模块功能状态，并能反馈和显示机器人当前的状态信息；

**3** 应具备手动遥控和自主移动功能，包括前进、后退、转向、加减速、原地旋转等动作，支持移动速度可设置；

**4** 应内置激光雷达导航定位模块和运动控制系统，能在室内环境下自主导航移动和精确定位，在喷涂时可实现全自动喷涂作业并自动规避门、窗、障碍物等；

**5** 应具备障碍物检测功能，能感知障碍物并具备自动停障功能，防止撞击，起到保护设备和人员的作用；

**6** 应具备实时信息显示功能与记录功能，实时显示机器人当前运行模式及运行状态、地图选择、新建路径、模块操作、遥控作业、对图、速度设置、各模块参数信息、触发急停状态显示、蓄电池剩余电量、各部件故障信息、报警信息、喷嘴更换提醒；实时记录运行参数并存储运行时间、蓄电池剩余电量、激光雷达检测信息、地图显示，作业路径、触发急停状态、报警记录等信息；

**7** 应配备无线控制终端，可通过操作无线控制面板操控机器人工作；进入操作界面应采取措施防止意外启动，按钮应设计合理，能有效避免误触碰；有操作指引，关键操作应具备提示功能；

**8**  应具备报警机制，当出现故障或异常情况时能够及时发出警报，提醒操作人员进行处理；

6.6 室内漆喷涂机器人施工应用准备

**6.6.1** 应配置1名经培训合格的操作人员，负责机器人施工场地前置条件确认、现场电力和信号检查、机器人的构配件检查、施工操作、质量自检及日常维护保养等工作。

**6.6.2** 工作场地无杂物、无积水，灰浆、钢筋头等地面临时凸起物应已处理干净；地面平整，坑洼处应用砂浆找平，整体地面平整度应不超过5mm，斜度应小于6°。

**6.6.3** 需喷涂的墙面、顶棚（含吊顶和石膏线）、飘窗等应完成二遍腻子刮涂、打磨，存在的质量缺陷应已整改完成，喷涂前需喷涂部位应完成扫灰，满足室内喷涂条件。

**6.6.4** 喷涂前应做好已完工序的成品保护，如地砖、门窗、厨卫门洞及开关面板等。

**6.6.5** 现场应有满足设备进出的通道，行走路线应满足以下规定：

**1** 机器人通行高度≥1.8m，通行宽度≥0.9m，承重≥900kg；

**2**  通行道路畅通无阻，地面坑洼不超过5cm，无明显积水；

**3**  出入口平整并设置有过桥，越障坡度≤10°；

**4** 地面坡度≤10°，地面越障≤30mm，地面沟宽≤50mm；

**5**  通道照明设施齐全。

**6.6.6** 现场供电应满足室内喷涂机器人的使用要求，设有工地用水及废水处理区域。

**6.6.7** 使用室内漆喷涂机器人施工前应对设备进行点检，点检内容应符合表6.6.7相关规定：

表6.6.7 设备点检表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 点检内容 | 内容明细 |
| 1 | 设备是否齐全 | （1）设备清单所列构配件是否齐全。 |
| 2 | 设备功能是否正常 | （1）检查电源开关检查，旋转动作正常，触点正常接通，如有异常严禁启动设备；（2）检查急停按钮，按压和旋转松开动作正常，触点正常通断，如有异常严禁启动设备；（3）检查机器人本体、电控柜箱、喷涂机构等外部防护装置的完整性，防护设施不完整时严禁开机；（4）检查安全防护，通过动作测试全部的防撞条报警正常；（5）检查电池，电池外壳无损坏，充放电功能、通讯正常；（6）检查喷枪喷嘴，确认喷枪喷嘴无堵塞，连接正常；（6）检查导航传感器，确认表面无污染、无遮挡。 |
| 3 | 电池设备电量情况 | （1）无线控制终端电量充足；（2）确保机器人电池电量充足，所配备的备用电池电量充足或提前做好充电准备。 |

**6.6.8** 使用机器人进行施工，乳胶漆喷涂基层应符合下列规定:

**1** 基层含水率不得大于10％。木材基层的含水率不得大于12％；

**2** 旧墙面在涂饰涂料前应清除疏松的旧装修层，并涂刷界面剂；新建筑物的混凝土或抹灰基层在涂饰涂料前应涂刷抗碱封闭底漆；

**3** 基层腻子应平整、坚实、牢固，无粉化、起皮和裂缝；内墙腻子的粘结强度应符合《建筑室内用腻子》（JG/T 3049）的规定；

**4** 基层质量应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB 50210的有关规定及工程设计要求，基层的允许偏差和检验方法应符合表6.6.8相关规定：

表6.6.8 平整度允许偏差和检验方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 允许偏差（mm） | 检查方法 |
| 普通抹灰 | 高级抹灰 |
| 1 | 立面垂直度 | 4 | 3 | 用2m垂直检测尺检查 |
| 2 | 表面平整度 | 4 | 3 | 用2m靠尺和塞尺检查 |
| 3 | 阴阳角方正 | 3 | 3 | 用直角检测尺检查 |

6.7 室内漆喷涂机器人施工及质量控制

**6.7.1** 室内漆喷涂机器人施工工序应符合表6.7.1相关规定：

表6.7.1 室内漆喷涂机器人施工工序

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 基层条件验收 | 满足本导则第6.6.8的规定 |
| 2 | 路径规划 | 按照本导则第6.7.2条的规定进行路径规划 |
| 3 | 机器人第一遍面漆喷涂 | 按照本导则第6.7.4条的规定进行面漆喷涂 |
| 4 | 缺陷人工点补及未覆盖区域人工补刷 | 按照本导则第6.7.5条的规定进行人工补充作业 |
| 5 | 机器人第二遍面漆喷涂 | 按照本导则第6.7.4条的规定进行面漆喷涂 |
| 6 | 缺陷人工点补及未覆盖区域人工补刷 | 按照本导则第6.7.5条的规定进行人工补充作业 |

**6.7.2** 机器人宜具有全自动作业功能，根据图纸、模型及喷涂需求，通过无线控制终端进行作业路径规划，生成机器人全自动施工路径。路径规划宜符合下列规定：

**1** 每个房间喷涂路径方向宜保持一致；

**2** 每个房间应至少有一个起点和一个终点；

**3** 每面墙应设置有作业点位。

**6.7.3** 机器人喷涂压力、喷涂速度、喷头离墙距离、喷涂宽度、喷涂高度等喷涂参数应按机器人操作手册和设计要求进行设置。

**6.7.4** 机器人自动作业时宜符合下列规定：

**1** 机器人处于即将作业的房间内；

**2** 喷涂材料加装完成，喷头试喷完毕，能均匀喷出雾化的涂料；

**3** 相关门锁已经关闭并且上锁；

**4** 无线控制终端下发规划地图至机器人，进行机器人和实际地图匹配；

**5** 选择将要作业的路径，查看路径信息，调整好机器人起始状态后，下发自动作业指令。

**6.7.5** 机器人无法施工的区域或涂刷缺陷点位，应由人工进行补涂，人工补涂区域与机器人施工区域的接缝处应无明显差异。

**6.7.6** 室内漆喷涂机器人施工作业质量应满足以下要求：

**1** 涂料的品种、型号和性能应符合设计要求及国家现行标准的有关规定；

**2** 颜色、光泽、图案应符合设计要求；

**3** 涂饰应均匀、牢固，无漏涂、透底、开裂、起皮和反锈；

**4** 基层处理应符合设计要求及国家现行标准的有关规定；

**5**  涂层与其他装修材料和设备衔接处应吻合，界面应清晰，允许偏差应符合表6.7.6相关要求。

表6.7.6 室内漆喷涂机器人施工质量和检验方法

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | 普通涂饰 | 高级涂饰 | 检验方法 |
| 1 | 颜色 | 均匀一致 | 均匀一致 | 观察 |
| 2 | 泛碱 咬色 | 允许少量轻微 | 不允许 |
| 3 | 流坠、疙瘩 | 允许少量轻微砂眼，刷纹通顺 | 无砂眼，无刷纹 |
| 4 | 砂眼、刷纹 | 明显处不允许 | 不允许 |
| 5 | 装饰线、分色线直线度允许偏差（mm） | 2 | 1 | 拉5m线，不足5m拉通线，用钢直尺检查 |

6.8 室内腻子喷涂机器人性能和功能

**6.8.1** 室内腻子喷涂机器人应具备下列功能：

**1** 应具备开机自检功能，机器人开机后自检各模块功能状态，并能反馈和显示机器人当前的状态信息；

**2** 应具备手动遥控和自主移动功能，包括前进、后退、转向、加减速、原地旋转等动作，支持移动速度可设置；

**3** 应内置导航定位模块和运动控制系统，能在室内环境下自主导航移动和精确定位，在喷涂时可实现全自动喷涂作业并自动规避门、窗、障碍物等；

**4** 应具备障碍物检测功能，能感知障碍物并自动控制停车，防止撞击，起到保护设备和人员的作用；

**5** 应具备实时信息显示及记录功能，显示机器人当前运行模式及运行状态、地图选择、新建路径、模块操作、遥控作业、对图、速度设置、各模块参数信息、触发急停状态显示、蓄电池剩余电量、各部件故障信息、报警信息、喷嘴更换提醒；实时记录运行参数并存储运行时间、蓄电池剩余电量、激光雷达检测信息、地图显示，作业路径、触发急停状态、报警记录等信息；

**6** 应配备无线控制终端，可通过操作无线控制面板操控机器人工作；进入操作界面应采取措施防止意外启动，按钮应设计合理，能有效避免误触碰；有操作指引，关键操作应具备提示功能；

**7** 应具备报警机制，当出现故障或异常情况时能够及时发出警报，提醒操作人员进行处理。

6.9 室内腻子喷涂机器人施工应用准备

**6.9.1** 室内腻子喷涂机器人的人员配置应符合下列规定：

**1** 应配置1名经培训合格的操作人员，负责机器人施工场地前置条件确认、现场电力和信号检查、机器人的构配件检查、施工操作、质量自检及日常维护保养等工作。

**2** 应根据需要配备腻子补充作业人员，负责机器人自动作业结束后，对质量缺陷进行修补处理和机器人无法施工部位进行人工批刮。

**6.9.2**  室内腻子喷涂机器人通过遥控的方式进入施工单元时，行走路线应满足以下规定：

**1** 通道应保持通畅，无障碍物阻碍，无大面积积水或积水深度不高于20mm；

**2** 行走坡度应小于10°；

**3** 行走地面障碍物垂直高度应小于30mm；

**4** 行走地面沟宽应小于50mm。

**6.9.3** 室内腻子喷涂机器人机器通行门洞高度宜不小于1800mm，宽度不小于900mm。

**6.9.4** 机器人使用前应对现场已完成工序做好成品保护，避免机器人施工造成成品污染。包括但不限于以下：

**1**  预留灯具孔位、开关/插座、电箱孔位封堵保护；

**2** 地砖成品保护完成；

**3** 门窗成品保护完成；

**4**  窗台板成品保护完成；

**5**  厨卫门洞封闭保护完成。

**6.9.5** 机器人施工所用腻子粉应使用腻子研磨机进行研磨。研磨机研磨的腻子应使用50目的滤网过滤，方可倒入机器人料筒作业使用。

**6.9.6** 使用室内腻子喷涂机器人施工前应对设备进行点检，点检内容应符合表6.9.6相关规定：

表6.9.6 设备点检表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 点检内容 | 内容明细 |
| 1 | 设备是否齐全 | （1）设备清单所列构配件是否齐全。 |
| 2 | 设备功能是否正常 | （1）检查机器人本体、电控柜箱、喷涂机构等外部防护装置的完整性，防护设施不完整时严禁开机，机身应清洁，无料污，无杂物；（2）检查喷枪等关键零部件安装是否正确、是否有异动松动；（3）检查导航雷达机构，确保雷达表面洁净无污垢；（4）检查整机情况，无漏油、漏料现象；（5）检查安全防护，通过动作测试全部的防撞条报警正常；（6）检查料桶搅拌桨正常运转无卡顿；（7）检查电池，电池外壳无损坏，充放电功能、通讯正常；（8）检查喷枪喷嘴，确认喷枪喷嘴无堵塞，连接正常；（9）检查泄压机构保压不泄漏，泄压打开能够泄除，压力泵送压力达到20MPa或以上；（10）检查喷枪喷嘴，确认喷枪喷嘴无堵塞，连接正常。 |
| 3 | 电池设备电量情况 | （1）无线控制终端电量充足；（2）确保机器人电池电量充足，所配备的备用电池电量充足或提前做好充电准备。 |

**6.9.7**  室内腻子喷涂机器人进行施工时，施工基层应符合以下规定：

 **1** 作业前应检查基层墙面、管线槽、窗边等易开裂部位是否出现开裂并做好处理，阴阳角等部位应提前预埋好阴阳角条，并对有缺陷的阴阳角、平整度不符合的部位进行修复处理；

 **2** 混凝土或抹灰基层含水率应不超过10%，基层PH值应不超过12%；

 **3** 基层应无空鼓、无开裂、无剥落、无起砂，基层表面应对浮灰、溅浆等完成清理；

**4** 基层质量应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB50210的有关规定及工程设计要求，基层的允许偏差和检验方法应符合表6.9.7相关规定。

表6.9.7 平整度允许偏差和检验方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 允许偏差（mm） | 检查方法 |
| 普通抹灰 | 高级抹灰 |
| 1 | 立面垂直度 | 4 | 3 | 用2m垂直检测尺检查 |
| 2 | 表面平整度 | 4 | 3 | 用2m靠尺和塞尺检查 |
| 3 | 阴阳角方正 | 3 | 3 | 用直角检测尺检查 |

6.10 室内腻子喷涂机器人施工及质量控制

**6.10.1** 室内腻子喷涂机器人施工工序应符合表6.10.1相关规定：

表6.10.1 室内腻子喷涂机器人施工工序

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 基层条件验收 | 满足本导则第6.9.7的规定 |
| 2 | 路径规划 | 按照本导则第6.10.4条的规定进行路径规划 |
| 3 | 机器人第一遍喷涂 | 按照本导则第6.10.6条的规定进行面漆喷涂 |
| 4 | 人工中间修补 | 按照本导则第6.10.7条的规定进行人工补充作业 |
| 5 | 机器人第二遍喷涂 | 按照本导则第6.10.6条的规定进行面漆喷涂 |
| 6 | 人工补充涂敷 | 按照本导则第6.10.7条的规定进行人工补充作业 |

**6.10.2** 应根据施工环境、作业特点和施工要求综合考虑选择机器人作业方式，包括遥控操作和自动作业，确保作业的高效性和准确性。

**6.10.3** 辅助人员应与操作人员密切配合，及时补充腻子或涂料等主材，确保机器人作业的连续性和稳定性。

**6.10.4** 机器人宜具有全自动作业功能，根据图纸、模型及喷涂需求，通过无线控制终端进行作业路径规划，生成机器人全自动施工路径。路径规划宜符合下列规定：

**1** 每个房间喷涂路径方向宜保持一致；

**2** 每个房间至少有一个起点和一个终点；

**3** 每面墙应设置有作业点位。

**6.10.5** 机器人喷涂参数如：喷涂压力、喷涂速度、喷头离墙距离、喷涂宽度、喷涂高度等应按设备手册和设计要求进行设置。

**6.10.6** 机器人自动作业时宜符合下列规定：

**1** 机器人处于即将作业的房间内；

**2** 喷涂材料加装完成，喷头能均匀喷出腻子；

**3** 无线控制终端上选择相应地图，完成自动作业地图对图；

**4** 选择将要作业的路径，查看路径信息，调整好机器人起始状态后，下发自动作业指令。

**6.10.7** 机器人无法施工的区域，应进行人工补涂，人工补涂区域与机器人喷涂的接缝处应无明显差异。

**6.10.8** 作业质量要求应符合以下内容：

**1** 腻子层施工完成后应平整、坚实、牢固，无粉化、起皮和裂缝；施工质量应符合国家标准《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB50210的规定；

**2** 对完成的墙面进行平整度、干燥度和覆盖率的检测，确保施工质量。允许偏差和检验方法应符合表6.10.8的相关规定。

表6.10.8 平整度允许偏差和检验方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 允许偏差（mm） | 检查方法 |
| 普通抹灰 | 高级抹灰 |
| 1 | 立面垂直度 | 4 | 3 | 用2m垂直检测尺检查 |
| 2 | 表面平整度 | 4 | 3 | 用2m靠尺和塞尺检查 |
| 3 | 阴阳角方正 | 3 | 3 | 用直角检测尺检查 |

6.11 地坪漆涂敷机器人机器人性能和功能

**6.11.1** 地坪漆涂敷机器人应具备下列功能：

**1** 应具备开机自检和报错功能；

**2** 宜具备激光建图功能，可采集现场数据，规划作业路径，并应保存路径地图；

**3** 应具备地图编辑、存储、复用功能；

**4** 宜具备图纸或BIM模型导入功能；

**5** 应具备实时信息显示功能，实时显示机器人当前运行模式及运行状态、当前坐标、作业路径、当前作业速度、蓄电池剩余电量、涂料余量、报警信息、泵料电机转速；

**6** 应具备实时信息记录功能，实时记录运行参数并存储运行时间、报警记录等信息；

**7** 应具备日志追踪系统，可追踪系统的历史使用情况；

**8** 应具备主料和固化剂配比调节功能，以适应不同品牌不同规格涂料的要求；

**9** 应具备涂敷底涂、中涂、面涂功能，宜通过切换末端执行机构适用于不同工艺要求的地坪涂料涂敷；

**10** 应具备涂料自动搅拌和连续搅拌功能，确保涂料搅拌充分、均匀、不黏结；

**11** 应具备出料量可调节控制功能；

**12** 应具备涂料余量自动检测和报警功能；

**13** 应配备无线控制终端，可通过操作无线控制面板软件操控机器人工作；进入操作界面应采取措施防止意外启动；按钮应设计合理，能有效避免误触碰；有操作指引，关键操作应具备提示功能；

**14** 应具备障碍物检测功能，自动模式下应开启，手动模式下可根据需要开启或关闭；

**15** 宜具备自主定位与导航行走功能，可在地库作业环境中按设定路线自主导航行走和定位；

**16** 宜具备可燃气体浓度检测报警功能，当检测到环境中可燃气体浓度高于设定值时，应发出声光报警信号并停止运行；

**17** 应具备防止涂料滴落污染地面功能。

6.12 地坪漆涂敷机器人施工应用准备

**6.12.1** 地坪漆涂敷机器人的人员配置应符合下列规定：

**1** 应配置1名经培训合格的操作人员，负责机器人施工场地前置条件确认、现场电力和信号检查、机器人的构配件检查、施工操作、质量自检及日常维护保养等工作；

**2** 每4台地坪涂料涂敷机器人宜配置1名辅助人员，配合进行涂料添加、石英砂搅拌等辅助工作。

**6.12.2** 地坪漆材料应满足地坪漆涂敷机器人的使用要求，施工时不宜使用地坪涂料单组分会固化的材料；底涂材料与中涂材料同组分混合不应固化；若中涂需添加石英砂，添加后8h内不应有明显沉淀分层。

**6.12.3** 应根据选定的品种、工艺要求，结合实际面积及材料单耗和损耗，确定备料量。

**6.12.4** 地坪漆涂敷机器人施工前地面前置条件应符合下列规定：

**1** 上道工序应符合设计要求及国家现行标准的有关规定；

**2** 环境空气相对湿度：20%~85%，环境温度：5℃~35℃，地表温度高于露点温度4℃以上；

**3** 地面应打磨平整，表面粗糙度应保证底漆充分渗透进地面；

**4** 裂缝等位置应开坡口并用砂浆填补；

**5** 场地应清扫干净，避免粉尘杂质渗入漆中；

**6** 施工范围内的坑、沟、井等部位应做好防护，并留有机器人作业所需道路；

**7** 施工区域内地面应无渗漏、无积水、无油污、无浮浆；

**8** 使用溶剂型涂料时，应设置危废处理区；

**9** 各个区域如有不同颜色的施工需求，搭边区域应使用贴纸或美纹纸等张贴分界线。

**6.12.5** 施工前，应根据现场已完成工序情况做好成品保护。

**6.12.6** 地坪漆涂敷机器人可采用遥控或者运载两种方式进入施工现场，采用遥控方式进场时，应保障机器人进场通道通畅，必要时可使用塔吊、叉车等起重设备辅助机器人进场。

**6.12.7** 为应对堵管的突发情况，在作业现场应配备好常用工具（全套内六角扳手、大力钳及一字螺丝刀），用于拆除管道进行维护。

**6.12.8** 使用地坪漆涂敷机器人施工前应对设备进行点检，点检内容应符合表6.12.8相关规定：

表6.12.8 设备点检表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 点检内容 | 内容明细 |
| 1 | 设备是否齐全 | （1）设备清单所列构配件是否齐全；（2）确保搅拌地坪漆材料的工具套件齐全。 |
| 2 | 设备功能是否正常 | （1）检查电控柜内状态，如果存在杂物、积灰、浸液等异常严禁开机；严禁在电控柜内放置配件、工具、杂物、安全帽等，以免影响到部分线路，造成设备的异常；（2）检查确认夹管阀、动态混合器安装并安装正常，未端执行机构安装并安装正常。 |
| 3 | 电池设备电量情况 | （1）无线控制终端电量充足；（2）确保机器人电池电量充足，所配备的备用电池电量充足或提前做好充电准备。 |

**6.12.9** 地坪漆涂敷机器人进行施工时，基层应符合以下要求：

**1** 基层表面应平整，干净；

**2** 混凝土强度等级应满足规范和设计要求；

**3** 含水率应与涂料的技术要求一致。

6.13 地坪漆涂敷机器人施工及质量控制

**6.13.1** 地坪漆涂敷机器人施工工艺流程应满足下列要求：

6.13.1 地坪漆涂敷机器人施工工序和要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 前置条件检查 | 按照本导则第6.12.4条的规定进行前置条件检查 |
| 2 | 地图创建 | 本地添加或现场建图 |
| 3 | 作业路径创建/任务下发 |  在地图清单选择需要的地图，根据作业需求创建合适的工作路径，并下发给机器人 |
| 4 | 施工作业 | 按照本导则第6.13.3条的规定进行施工作业 |
| 5 | 质量检查 | 按照本导则第6.13.4条的规定进行质量检查 |

**6.13.2** 使用地坪漆涂敷机器人施工前，应局部施工打样确认涂料配比、供料转速、底盘行进速度、机械臂运动速度、适配涂敷方式等施工工艺参数。

**6.13.3** 使用地坪漆涂敷机器人进行施工时，应符合下列规定：

**1** 应根据涂料类型、性能及要求选择涂刷方式，选用适配的末端执行组件和施工工艺参数；

**2** 对于机器人无法作业的墙柱边角、排水沟等区域，应进行人工补涂；人工补涂与机器人涂敷搭接区域应在涂料开始固化前涂敷，避免产生搭接痕等问题；

**3** 涂料施工应做到均匀致密、无漏涂、表面平整光滑、颜色均匀一致。底涂不应出现漏底、发白等现象；中涂应做到无积料、无粗颗粒、无刮刀痕、无搭边痕等；面涂应做到无浮色发花，如面涂出现较多气泡，应进行消泡处理；

**4** 涂料未固化前，应设置隔挡防止踩踏；完全固化后方可拆除施工隔挡进入下道工序；

**5** 地坪面漆涂料涂敷机器人施工时，应考虑人工同步作业，避免产生搭边痕迹。

**6.13.4** 地坪涂料涂敷施工完成的质量应符合下列规定：

**1** 地坪表层厚度应不低于设计要求；

**2** 环境温度为25℃时，施工后2d~3d应该达到实干，即硬度达到完全固化；

**3**  施工完成后，漆膜平滑，施工质量应符合国家标准《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB 50210的规定，基本无气泡，无明显杂质及颗粒；

**4** 大面积接口处基本平整，无明显辊痕；

**5** 表面应避免能出现发粘及固化不良现象，无浮色发花、颜色均匀一致，湿拖把拖过或水冲洗表面不变色。

6.14 安全及环境保护

**6.14.1** 操作人员应经过操作和安全培训并考核合格，对机器人的结构、性能、用途有一定了解，具备基本的机器维护、保养知识，熟知安全操作及注意事项。

**6.14.2** 操作人员应佩戴好劳动防护用品，如安全帽、反光衣、劳保鞋、手套、防护口罩等。

**6.14.3** 施工前，应检查设备和系统是否完整、操作是否安全、是否检测到任何损坏。

**6.14.4** 施工现场应配置满足施工要求的照明，作业区域应设置安全警示线及安全警示牌施。施工作业时，除工作人员外禁止其他人员在机器人作业范围内停留、穿插作业等。

**6.14.5** 严禁站在喷嘴正前方或将肢体置于喷嘴前方，以免喷涂高压射伤。

**6.14.6** 机器人作业过程中，严禁任何人员处于机器人1m范围内。

**6.14.7** 操作人员应密切关注机器人的运动作业状态，避免发生机器人撞人、撞物、倾翻、长时间过载等风险和事故。

**6.14.8** 机器人运行过程中出现异响、震动、异味或其它异常现象，必须立即停止作业，及时通知维修人员进行维修，不可私自拆卸、维修设备。

**6.14.9** 现场应设置专门的机器人清洗区域与废水排放区，并对清洗机器人的废水做相应处理，达到环保要求后进行排放。

7 排水管道检测与修复施工类

7.1 一般规定

**7.1.1**  管道检测应参考相关资料，检测前应搜集待检测管道区域内的管线设计图、竣工图、物探图、工程及水文地质资料等。

**7.1.2** 管道检测的内容应包括管道结构病害、管道变形与偏移、接口状况、内部堵塞、泄漏点等。

**7.1.3**  当采用单一方法无法全面反映管道状况时，可采用多种方法联合检测。检测机器人的选用，应符合下列规定：

**1** 管径≥300mm的管道宜采用CCTV检测机器人或水陆两栖机器人等开展检测；

**2** 管径≥200mm<300mm的管道宜采用推杆式等小型CCTV检测机器人检测；

**3** 管径<200mm的管道宜选用具备测距功能的QV检测机器人检测；

**4** 管道内部存在淤泥与水位变化的复杂管道中应采用适应性更强的水路两栖机器人检测。

**7.1.4**  检测机器人应经检验合格，性能稳定、状态良好，检测精度和检测结果应符合相应的技术要求，保证准确可靠。

**7.1.5** 管道检测前应对管道实施封堵、导流，使管内水位满足检测要求。当现场条件无法满足时，应进行预处理，预处理后除有起伏缺陷外，管道的淤积和存水均不宜大于管径的50%。

**7.1.6** 管道修复施工应取得施工许可，应遵循有关施工安全、劳动防护、防火、防毒的法律、法规，建立安全生产保障体系。

**7.1.7** 管道修复所用主要原材料、各类管材、型材的规格、尺寸、性能等，应符合相关产品国家现行标准和设计文件的规定，材料的各类检验报告应齐全、准确。

**7.1.8** 管道修复机器人主要适用于管径DN200-DN1800且管道转弯角度不大于15°的管网进行非开挖紫外光固化修复，对于超出尺寸范围的管道，宜采用其他方式进行管道修复。

**7.1.9** 应采用管道检测机器人对原管道进行全方位检测，出具相应的检测评估报告，以检测评估报告为参考依据编制管道修复施工方案。

**7.1.10** 管道修复作业前应对原有管道进行预处理，管道预处理应符合以下要求：

**1** 管道预处理宜采用高压清洗车自带的高压水射流枪从工作井进入管道自动清洗作业，清洗产生的污水和污物应从检查井内排出，污物应按现行行业标准的有关规定处理；

**2** 预处理后的管道内表面应洁净、无沉积物、无垃圾及其他障碍物、无影响衬入的附着物及尖锐毛刺和突起现象等；

**3** 预处理后的管道不应有影响施工的积水且管道内不应有渗水现象，确有漏水严重的管道，应对漏水点进行止水或隔水处理；

**4** 原有管道变形或破坏严重、接头错位严重、存在影响内衬施工的障碍等情况应按经批准的施工组织设计采用专用工具或局部开挖的方式进行预处理；

**5** 在预处理完成后应再次对管道进行全方位检测，为后续修复提供参考依据。

7.2 排水管道检测机器人性能和功能

**7.2.1** 管道检测机器人应配备3D影像系统、高清摄像头、行进器、线缆盘及控制终端等，基本性能应符合下列规定：

**1** 机器人应结构坚固、密封良好，能在0℃~+50℃的气温条件下和潮湿的环境中正常工作；

**2** 检测机器人应具备测距功能，电缆计数器的计量单位精度不应大于0.1m。采取基站定位测距、激光雷达SLAM定位测距的，机器人在管道内整体定位精度应不大于0.4m；

**3** 摄像镜头应具有平扫与旋转、仰俯与旋转、变焦功能，摄像镜头高度应可以自由调整；

**4** 行进器应具有前进、后退、空档、变速、防侧翻等功能，轮径大小、轮间距可以根据被检测管道的大小进行更换或调整，行进器的灯光强度应能根据需要调节；

**5** 主控制器应具有在监视器上同步显示日期、时间、管径、在管道内行进距离等信息的功能，并应具备数据处理功能；

**6** 检测机器人应能对管道内的病害状况进行智能识别和高清摄像，获得准确的诊断调查结果；

**7** 检测机器人应配备智能评估系统，根据检测视频自动生成检测报告，能对管道缺陷能作出准确评估；

**8** 检测机器人应配备较好的照明系统，方便摄像镜头拍摄高清图像。

**7.2.3**  检测机器人的摄像镜头移动轨迹应在管道中轴线上，偏离度不应大于管径的10%。

7.3 排水管道检测机器人施工应用准备

**7.3.1**  检测机器人作业前，应检查机器人状况并在地面进行调试试机，确保机器人电池电量充足且各机构均能正常使用。

**7.3.2**  在长时间检测时，应配备一块备用电池，避免在检测过程中出现断电问题。

**7.3.3** 检测机器人的行进器和线缆盘通过专用电缆连接，使用前应确保连接正常。

**7.3.4** 管道检测施工前应进行管内气囊封堵，按照“上游两个、下游一个”的要求进行，封堵气囊压力范围宜为0.05—0.2MPa。

**7.3.5**  管道检测除专业检测人员外，应配备辅助人员，负责气囊压力观测等辅助性工作。

**7.3.6** 检测施工前应核实管道使用年限、使用情况、堵塞情况、埋入和露出建筑物部分有无损坏等问题。

**7.3.7** 技术人员应根据图纸上的检查井施工所在的位置进行测量摸底，并与图纸和设计资料进行复查、核对。

**7.3.8** 确定施工顺序后，应提前做好施工区域围挡、准备施工安全帽、工作服等安全施工用品，进行施工地段的平整、清理。施工地段应布置合理，以防危害到公共交通安全。

**7.3.9**  施工前应配备足够数量的长管呼吸机、照明灯、救生绳具等安全防护用品。

**7.3.10** 施工前应检测井内有毒有害气体浓度，做好应急救援准备工作。

7.4 排水管道检测机器人施工及质量控制

**7.4.1** 检测机器人在管内行进方向宜与水流方向一致，管径大于200mm时，直向摄影的行进速度不宜超过0.15m/s；应时刻关注行进状态，避免碰撞、侧翻等意外现象，在录取重点缺陷影像资料时，应停止行进并尽量降低机架。

**7.4.2** 检测机器人应在确定井口及井内无异常后开始进行检测工作，检测过程中应用隔离管将线缆与管口进行隔离，避免线缆磨损。

**7.4.3** 检测过程中缺陷图片抓取应调整至最佳角度和最清晰图片格式，特殊情况下应采用观看录像截图的方式。

**7.4.4** 每一处结构性缺陷抓取的图片数量应不少于1张。

**7.4.5** 检测过程中当有下列情形时应中止检测：

**1** 行进器在管道内无法行走或推杆在管道内无法推进时；

**2** 镜头沾有污物时；

**3** 镜头浸入水中时；

**4** 管道内充满雾气，影响图像质量时；

**5** 其他原因无法正常检测时。

**7.4.6** 检测过程中应对各种缺陷进行识别，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。

**7.4.7** 检测报告应能全方位清晰反映出缺陷的位置、距离、等级等详细情况，无法确定的缺陷类型或等级应在评估报告中加以说明。

**7.4.8** 管道检测作业过程中应符合下列规定：

**1** 管道检测视频拍摄应按照外部环境、起始井井室上部、起始井井室下部、管口置零及补偿设置、管道内部拍摄及管节环视、终止井井室下部六个步骤顺序拍摄；

**2** 各拍摄步骤之间衔接应不大于20s，以减少冗余时长；

**3** 拍摄外部环境时，画面应录入固定标志性地物、点号和井盖外部情况；

**4** 井室内部拍摄时，应将行进器放置在井口上方合适位置，向下拍摄井室内部，能够从视频上清晰反映井室内部的全部实况；

**5** 管节环视时，镜头每次旋转应不超过60°并应停顿2s，保证管节处的缺陷能被清晰判读；

**6** 当行进器抵达管段终点时，镜头应对管口及终点井室下部进行360°环视，确保视频能够清晰反映终止井室的内部状况。

7.5 排水管道修复机器人性能和功能

**7.5.1** 管道修复机器人系统集成于紫外光固化修复车内，基本性能应符合下列规定：

**1** 修复机器人应能自动识别紫外光灯架类型、功率；

**2** 修复机器人紫外光固化波长应与每段固化软管产品上所提供的波长一致；

**3** 修复机器人电缆线盘应搭配自动及手动两种驱动模式，配备的电缆应采用抗拉抗磨的集成电缆，控制系统应能准确的识别电缆所拉出的长度；

**4** 应配备静音发电机，功率需满足现场使用；

**5** 空气压缩机应具备调节气压的功能，可调气压范围不应小于20~100kPa；

**6** 在修复机器人紫外光固化阶段，主控系统应能控制紫外光灯开关以及时间间隔，能调整紫外光灯的固化巡航速度，能记录每个紫外光灯管工作发射紫外线的时间，能持续采集和存储施工过程的静态和动态数据，数据包括控制开灯时间、固化巡航速度、长度、压力等；

**7** 修复机器人紫外光固化时，灯架应持续工作，避免灯架停止造成的固化材料损坏；

**8** 修复机器人紫外光灯架应能按照指定的速度匀速行进，避免速度不匀造成的固化质量不达标现象；

**9** 在作业过程中出现突发情况时应具有自动报警功能。

**7.5.2** 管道修复机器人施工作业主要技术指标应符合表7.5.2相关规定：

表7.5.2 管道修复机器人系统压力参数主要指标

|  |
| --- |
| 系统压力参数主要指标 |
| 管径（DN：mm） | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800-900 | 1000 | 1200-1600 |
| 充气压增加（bar/min） | 40-60 | 30 |
| 操作压力（bar） | 500\*600 | 450-550 | 400-500 | 300-400 | 250-300 | 100-300 |
| 固化速度主要指标（cm/min）（采用2\*4\*400瓦灯组） |
| 管径/壁厚（mm） | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |  | 开灯间隙（秒） |
| DN150 | 105-130 |  |  |  |  |  |  |  | 20 |
| DN200 | 95-120 | 95-110 |  |  |  |  |  | 20 |
| DN250 | 85-120 | 85-110 |  |  |  |  |  | 20 |
| DN300 | 75-100 | 75-90 |  |  |  |  |  | 30 |
| DN350 | 75-100 | 75-90 |  |  |  |  |  | 35 |
| DN400 | 90-100 | 75-90 | 50-60 |  |  |  | 35 |
| DN450 | 90-100 | 70-85 | 50-55 |  |  |  | 35 |
| DN500 | 90-95 | 65-80 | 45-50 |  |  |  | 35 |
| 固化速度主要指标（cm/min）（采用2\*4\*1000瓦灯组） |
| 管径/壁厚（mm） | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 开灯间隙（秒） |
| DN600 | 85-90 | 80-85 | 75-80 |  |  |  |  | 30 |
| DN700 |  | 80-85 | 75-80 | 65-75 |  |  | 35 |
| DN800 |  | 70-75 | 60-75 | 45-50 | 40-45 | 40 |
| DN900 |  |  |  | 60-70 | 40-45 | 35-40 | 40 |
| DN1000 |  |  |  | 50-60 | 35-45 | 25-35 | 40 |
| DN1100 |  |  |  | 45-55 | 25-35 | 15-25 | 40 |
| DN1200 |  |  |  | 40-45 | 20-25 | 10-20 | 40 |

注：因材料厂家不同，本表仅限参考，具体参数可参考材料厂家出具的参数。

7.6 排水管道修复机器人施工应用准备

**7.6.1** 修复机器人应根据工程特点合理选用，并指定总体布置方案。应配备满足施工要求备用的动力和设备，确保固化修复施工不间断。

**7.6.2** 管道修复机器人施工的人员配备应符合表7.6.2相关规定：

表7.6.2 管道修复机器人施工人员配置表

|  |
| --- |
| 管道修复机器人施工人员配置表（单位：人/套） |
| 序号 | 工种 | 数量 | 工作内容 |
| 1 | 现场负责人 | 1 | 主要负责现场整体管理及协调工作 |
| 2 | 专职安全员 | 1 | 主要负责现场安全管理工作 |
| 3 | 检测人员 | 1 | 主要负责操作检测机器人，对固化修复前后的检测 |
| 4 | 有限空间作业人员 | 2 | 主要负责井下作业施工，包括拉入材料、切割及封堵等 |
| 5 | 有限空间监护人员 | 2 | 主要负责有限空间作业的监护工作 |
| 6 | 修复设备操作员 | 2 | 主要负责修复设备的操作及观察工作 |
| 7 | 辅助人员 | 2 | 主要负责配合现场施工的辅助性工作， |

**7.6.3**  管道修复机器人施工所用的修复材料应符合相关标准，修复材料应符合表7.6.3相关内容：

表7.6.3 管道修复材料组成表

|  |  |
| --- | --- |
| 材料名称 | 构成原材料 |
| 遮光外膜 | 聚乙烯/聚酰胺复层薄膜 |
| 加固材料 | 耐酸性玻璃纤维 |
| 树脂 | 光硬化型不饱和聚酯树脂 |
| 内膜 | 聚乙烯/聚酰胺复层薄膜 |

**7.6.4** 管道修复材料属特殊化学材料，不能长时间接触阳光，应做好相应遮阳措施，避免阳光照射破坏其化学性能。

**7.6.5** 修复机器人拉入的管道修复材料承受的最大拉力宜符合表7.6.5相关规定：

表7.6.5 管道修复材料最大承受拉力性能指标

|  |
| --- |
| 管道修复材料最大承受拉力要求 |
| 管径（mm）×壁厚（mm） | 最大拉力（KN） |
| DN300×4 | 40 |
| DN400×5 | 55 |
| DN500×6 | 100 |
| DN600×6 | 125 |
| DN700×8 | 190 |
| DN800×8 | 225 |
| DN1000×10 | 340 |
| DN(1200-1600)×12 | 500 |
| DN1600×15 | 700 |

**7.6.6** 修复机器人施工前应对紫外光灯架进行外观检查，并应对紫外光灯管进行清洁，紫外光灯架及灯管应根据固化软管的直径和壁厚规格来进行选择，并配置专门的存放装置，避免阳光直射或碰撞造成损坏。

**7.6.7**  在选用高压汞灯做为光源时，辐照强度应不低于内衬软管有效固化的辐照强度，且不低于出厂值的70%，紫外光灯链/灯架应保证没有异物或树脂残留。

**7.6.8** 修复机器人紫外光灯管应在每运行150h时检查一次，当所接收的辐射通量密度衰减超过30%时，应更换紫外光灯管。

**7.6.9** 管道修复扎头上应配备高压气体接口，辅助气体接口及压力传感器接口，扎头应与固化软管尺寸相配合，安装金属扎头时应利用轧带将固化软管和扎头布固定，充气前应检查各连接处的密实性，内衬软管末端扎头应安装调压阀。

7.7 排水管道修复机器人施工及质量控制

**7.7.1** 修复机器人现场施工应由经专业培训合格的技术人员操作。

**7.7.2** 修复机器人施工工序和相关要求应符合7.7.2规定：

表7.7.2 管道修复机器人主要施工工序

|  |
| --- |
| 管道修复机器人主要施工工序 |
| 序号 | 工序 | 要求 |
| 1 | 预处理 | 通过相关预处理验收 |
| 2 | 底膜铺设 | 宽度大于周长的1/3，长度超过原有管道500-600mm |
| 3 | 拉入修复材料 | 拉入速度控制在5m/min以内，伸出长度超过300-600mm |
| 4 | 预充气 | 充气压力保证软管撑起，撑起后保压10-30min |
| 5 | 拉入灯架 | 用牵引绳将紫外光灯架拉入，拉入过程应避免损伤内膜 |
| 6 | 封堵后再次充气保压 | 加压时间不应小于40min，加压过程全程进行视频监控 |
| 7 | 紫外光固化 | 保证管壁温度在80-120°之间，固化完成后匀速降压 |
| 8 | 收尾处理 | 内衬管切割整齐，保证密封 |

**7.7.3** 修复机器人应沿管底的底膜将湿软管平稳、缓慢地拉人原有管道，牵引速度和牵引力应根据制造商提供的数值而定，拉入内衬软管的速度宜为6m/min—8m/min。

**7.7.4** 修复机器人修复过程中内衬管内应保持空气压力，使内衬管与原有管道紧密接触。

**7.7.5** 修复应根据内衬管管径和壁厚控制修复机器人紫外光灯的前进速度。

**7.7.6** 修复机器人固化完成后，应缓慢降低管内压力至大气压，降压速度应不大于0.01MPa/min。

**7.7.7** 固化修复完成后，内衬管应按每个施工段不少于一组的规定进行现场取样，样品送检应符合相关规定，每个样品应有样品说明单，样品说明单应包括下列信息：

**1** 修复材料尺寸、树脂类型、涂层情况、内衬生产商；

**2** 施工日期、采样日期；

**3** 采样位置、采样方法；

**4** 测试委托方、施工方签字确认。

**7.7.8** 修复完成后，管道起点和终点端部应进行密封和切割处理，修复后的管道内应无湿渍，避免出现滴漏、线漏等渗水现象。

**7.7.9** 修复完成后，管道表观质量应符合下列规定：

**1** 修复管道表面应光洁，无局部孔洞、裂纹和软弱带；

**2** 修复管道磨损、气泡或干斑的出现频次每10m不应大于1处；

**3** 修复管道褶皱应满足设计要求，当设计无要求时，最大褶皱不应超过6mm；

**4** 修复管道应与原有管道贴附紧密，端部密封处理应符合规定，且应密封良好、饱满密实。

7.8 安全及环境保护

**7.8.1** 施工现场应设置围挡封闭作业区域，设置显著的安全警示标志、安全告知牌、安全作业注意事项和安全责任牌，禁止非施工人员进入现场。

**7.8.2** 占道作业的，应在作业区域周边设置交通安全设施，夜间作业的，作业区域周边显著位置应设置警示灯，人员应穿着高可视警示服。

**7.8.3** 机器人在进行管内检测或修复时，需随时注意线缆的情况，防止线缆将施工人员绊倒。

**7.8.4** 施工作业时，应安排专人对过往车辆、行人和地面交通疏解指挥。

**7.8.5** 施工作业时，除操作人员外禁止其他人员在机器人作业范围内停留、交叉作业等。

**7.8.6** 施工现场产生的垃圾应由专人管理，收集后交由当地环卫部门统一处理，不得擅自倾倒或排放，产生的常规性污水应排放到城市排污系统中。

**7.8.7** 应配备静音机械，发电机、空气压缩机、卷扬机等应考虑使用静音型号，减低噪音。

**7.8.8** 在施工现场进行修复材料和样品切割，以及加工易扬尘材料时，应采取有效的防尘措施。

**7.8.9**  修复施工产生的化学废弃物应由专人按环保规定处理。