合肥市建筑机器人应用指引

**Application Guideline for Construction Robotics of HeFei**

2025年9月

前 言

为建立并完善合肥市智能建造相关技术应用，引导我市建筑机器人应用发展，保障建筑机器人的项目建设质量，经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本指引。

本指引的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 实测实量建筑机器人；5. 钢筋绑扎建筑机器人；6. 墙板安装建筑机器人；7. 内墙抹灰建筑机器人；8. 喷涂建筑机器人；9. 整平建筑机器人；10. 检测建筑机器人。

本指引由合肥市城乡建设局负责管理，由合肥市绿色建筑与勘察设计协会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送合肥市绿色建筑与勘察设计协会（地址：合肥市包河区马鞍山路109号2楼，邮编：231600，电话：0551-62655262）。

本指引主编单位：合肥市绿色建筑与勘察设计协会

本指引参编单位：安徽省城建设计研究总院股份有限公司、安徽建筑大学、合肥安中信息科技有限公司、安徽博汉科技工程有限公司、[安徽国科慧建高新技术有限公司](http://www.baidu.com/link?url=MKWNMdCzzvOPrBHvzNDQAKiHxoH6pifGa_69lGSUkADzpmynBc39VknYwwmQ__V5vG2i_fwvREFAp4pGDiv7wK45iK1hwiyVdBf0JQj7ZcW" \t "https://www.baidu.com/_blank)、[安徽建工三建集团有限公司](http://www.baidu.com/link?url=yq-oaseDJeoLKw81aEzfw5KzGri1lcSnojVhPIvLg5tMDZTT7fn6ktQitshlVyOs" \t "https://www.baidu.com/_blank)

本指引主要起草人员：吴东彪、陈刚、郭峥、[王兴生](http://www.baidu.com/link?url=MKWNMdCzzvOPrBHvzNDQAKiHxoH6pifGa_69lGSUkADzpmynBc39VknYwwmQ__V5vG2i_fwvREFAp4pGDiv7wK45iK1hwiyVdBf0JQj7ZcW" \t "https://www.baidu.com/_blank)、张胜、张和庆、李刚、张宏伟、刘从、袁彬、高婷、顾丽丽

**目 录**

[1 总 则 1](#_Toc28966)

[2 术 语 2](#_Toc15961)

[3 基本规定 3](#_Toc672)

[4 实测实量建筑机器人 4](#_Toc19543)

[4.1 一般规定 4](#_Toc7418)

[4.2 构造和性能 4](#_Toc3434)

[4.3 施工作业 5](#_Toc4603)

[5 钢筋绑扎建筑机器人 9](#_Toc19416)

[5.1 一般规定 9](#_Toc11270)

[5.2 构造与性能 9](#_Toc29917)

[5.3 施工作业 10](#_Toc26148)

[6 墙板安装建筑机器人 12](#_Toc22298)

[6.1 一般规定 12](#_Toc32071)

[6.2 构造与性能 12](#_Toc2371)

[6.3 施工作业 13](#_Toc27828)

[7 内墙抹灰建筑机器人 15](#_Toc25444)

[7.1 一般规定 15](#_Toc14009)

[7.2 构造与性能 15](#_Toc1853)

[7.3 施工作业 16](#_Toc9241)

[8 喷涂建筑机器人 20](#_Toc6270)

[8.1 一般规定 20](#_Toc14293)

[8.2 构造与性能 20](#_Toc3054)

[8.3 施工作业 21](#_Toc16953)

[9 整平建筑机器人 26](#_Toc27843)

[9.1 一般规定 26](#_Toc5463)

[9.2 构造和性能 26](#_Toc12720)

[9.3 施工作业 27](#_Toc11863)

[10 检测建筑机器人 30](#_Toc18296)

[10.1 一般规定 30](#_Toc580)

[10.2 构造和性能 30](#_Toc25862)

[10.3 施工作业 32](#_Toc21051)

[附录A 建筑机器人进场核查、使用与维护记录表 36](#_Toc7516)

**1 总 则**

**1.0.1** 为推进建筑行业的转型升级和智能建造技术的推广应用，保障工程质量和使用安全，提升工程建造品质和综合效益，制定本指引。

**1.0.2** 本指引适用于新建、改（扩）建的房屋建筑工程和市政工程中建筑机器人施工作业应用。

**1.0.3** 建筑机器人的进场、使用、维护等工程应用，除应符合本指引外，尚应符合国家、行业和省市现行的有关规定。

**2 术 语**

**2.0.1** 建筑机器人（Construction Robot）

在房屋建筑工程和市政工程中，用于工程勘测、施工、装饰、修缮、检测等环节的机器人。本指引中，建筑机器人指实测实量、钢筋绑扎、墙板安装、内墙抹灰、喷涂、整平、检测等7类合肥市常用的建筑机器人。

**2.0.2** 实测实量建筑机器人（Standing Measuring Construction Robot）

通过架设3D激光扫描仪，获取施工建筑高精度三维数据，通过点云数据处理算法，给出被测建筑物的墙面平整度、垂直度、方正性等实测数值的机器人。

**2.0.3** 钢筋绑扎建筑机器人（Rebar Tying Construction Robot）

由移动平台、能源与控制系统、感知系统以及自动化执行系统组成，用于大型公共建筑、工业厂房、高层住宅等主体结构施工中的楼板、梁柱等钢筋绑扎作业的机器人。

**2.0.4** 墙板安装建筑机器人（Wall Panel Installation Construction Robot）

由全方位移动系统、传感器系统、视觉感知系统以及自动化协同系统组成，应用于装配式住宅、公共建筑、商业综合体等主体结构施工中的内外墙板工程的机器人。

**2.0.5** 内墙抹灰建筑机器人（Interior Wall Plastering Construction Robot）

用于二次结构工程施工内墙抹灰作业的机器人，包含供料系统、底盘系统、定位系统、调平系统、升降系统、抹灰执行系统及控制系统，自动完成上料、抹灰、抹平的智能机械设备。

**2.0.6** 喷涂建筑机器人（Spraying Construction Robot）

由喷涂系统、移动系统、识别系统、操作系统、电气系统、安全保障系统组成，用于在建筑墙面进行涂料喷涂作业的建筑机器人。机器人通过预设程序或者遥控操作，能够高效、均匀地涂覆墙壁、斜坡等表面，减少人力成本和提升涂装质量。

**2.0.7** 整平建筑机器人（‌Leveling Construction Robot）

通过集成高精度导航、智能控制、远程监控和自动化作业技术，能够提高整平作业的效率和质量的建筑机器人。

**2.0.8** 检测建筑机器人（Inspecting Construction Robot）

指专门用于建筑工程质量检测、结构安全评估、施工过程监测等任务的自动化智能设备。

**3 基本规定**

**3.1** 工程项目应用建筑机器人前，应仔细评估使用场景，保证使用场景与建筑机器人功能相匹配，保障建筑机器人的使用高效合理，以及工程项目建造品质和综合效益。

**3.2** 工程项目应制定详细的建筑机器人应用施工方案，明确建筑机器人的性能参数、施工作业要求与使用流程。

**3.3** 建筑机器人使用过程中应具备出厂检验报告、使用合格证、操作说明书、使用与维护记录等相关资料，建筑机器人的进场核查、使用与维护记录应符合附录A规定的要求，建筑机器人外观完整、铭牌清晰。

**3.4** 建筑机器人使用前应进行评估，确保其符合相关的安全标准和规范。包括检查建筑机器人的结构、控制系统、传感器等关键部件是否完好无损，核查建筑机器人性能指标是否符合工程要求，复核作业路径有无积水、有无障碍物、作业面人工处理是否满足机器人作业条件等，以及评估建筑机器人在工程项目工作条件下的稳定性和可靠性。

**3.5** 工程项目应具备建筑机器人进出场技术要求。水平运输时，施工区域应满足建筑机器人的行走路径要求，空间尺寸和坡度要求应根据建筑机器人类别、型号具体确定；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。

**3.6** 建筑机器人操作人员应熟悉工程项目施工方案，经过专业培训并通过考核，熟悉建筑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。

**3.7** 建筑机器人施工作业中应具备明确的施工作业区域，设置安全警戒区域。施工作业的过程中，应严格禁止无关人员作业区域内逗留或进行交叉作业。

**3.8** 建筑机器人施工作业现场的电力、给水、物料、排污等条件应满足施工作业要求。

**3.9** 建筑机器人应制定明确的使用温度、湿度、风、雨、电磁等施工作业环境条件，以及禁止施工专业的环境条件，并在施工作业中遵守。

**3.10** 建筑机器人施工作业人员中应加强作业安全管理，须采取佩戴安全帽、反光背心等安全保护措施。

**3.11** 建筑机器人使用后应及时清理建筑机器人的表面的灰尘、油污、混凝土等杂物，保持建筑机器人的外观整洁、功能正常。

**3.12** 建筑机器人应定期进行维护保养，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。

**4 实测实量建筑机器人**

4.1 一般规定

**4.1.1** 实测实量建筑机器人适用于住宅、公建、厂房等混凝土或砌体结构工程的施工阶段质量控制及竣工检测验收，应用于墙面平整度、垂直度、方正性，地面平整度，层高，开间进深，门窗洞口尺寸等施工质量指标的实测实量。

**4.1.2** 实测实量建筑机器人的应用场景覆盖主体结构、二次结构、抹灰、地坪、精装修、竣工验收等建筑施工全流程。

**4.1.3** 实测实量建筑机器人施工作业测量对象应满足基本强度要求，作业面所属结构强度达到设计强度的75%以上。

**4.1.4** 实测实量建筑机器人施工作业应在前道工序监理验收合格，且满足施工环境相关要求后展开，且施工作业面无交叉施工避免干扰测量。

**4.1.5**  实测实量建筑机器人施工测量检测施工作业应组建测量小组，每小组应至少包含1名操作人员和1名施工辅助人员，操作人员需经专业培训，培训合格后持证上岗。

**4.1.6** 实测实量建筑机器人施工测量点布设符合规范与设计要求，保证代表性与完整性，重要部位宜进行多次测量。

**4.1.7** 实测实量建筑机器人施工应加强施工作业数据管理，施工测量原始点云、测量数据、照片等记录需完整存档，系统数据修改留痕，应保存记录人、时间、原因等信息。

**4.1.8** 实测实量建筑机器人施工应建立“测量-分析-整改-复核”数字化闭环管理，问题清单推送、整改跟踪、复核结果均在协同平台留痕，形成可追溯的实测实量质量档案。

**4.1.9** 实测实量建筑机器人发生故障时操作人员不得擅自拆卸、改装机器人部件；运行中发现异常声音、异常振动、数据异常等异常现象，应立即停止操作并排查故障。

4.2 构造和性能

**4.2.1**  实测实量建筑机器人构造主要包含数据采集系统（三维激光扫描仪）、运动支撑系统、数据处理系统等，数据采集系统通过高速激光扫描测量的方法，大面积高分辨率地快速获取被测对象表面的三维点云数据；运动支撑系统主要有三脚架和可移动底盘两种，三脚架具备水平校准功能，可移动底盘运用差速轮、麦克纳姆轮、履带底盘等可实现自主移动和远程控制；数据处理系统包含前端采集控制软件、后端点云处理与AI分析平台、BIM协同接口软件等。

**4.2.2**  实测实量建筑机器人功能构造应符合以下规定：

**1**  机器人应具备点测量、线测量、面测量等多种测量模式，以满足不同部位和不同参数的测量需求；

**2**  机器人应具备本地存储异步同步能力，测量数据应支持无线传输方式，如Wi-Fi、蓝牙等，且数据传输过程中应保证数据的完整性和安全性，避免数据丢失或泄露;

**3**  机器人宜具备自主规划路径的能力，能够识别现场的障碍物并自动绕行，并可通过预设坐标点或手动操控的方式进行导航调整；

**4** 机器人宜具备多指标同步检测能力，一次部署可同时输出平整度、垂直度、阴阳角、净高；

**5**  机器人数据处理系统应具备自动识别墙、柱、梁、板等构件，一键生成测量结果报表（含合格性判断）、AI缺陷标注等功能，系统应具备数据可追溯能力，原始点云数据保存3年以上。

**4.2.3**  实测实量建筑机器人性能应符合以下规定：

**1**  测量距离方面，对于 10m以内的距离测量，误差应不超过±2mm；对于50m以上的距离测量，误差应不超过测量距离的0.1%；

**2** 垂直度测量方面，测量范围为0°-90°时，误差应控制在±0.02°以内。平整度测量误差不得超过±0.5mm/2m;

**3** 测量速度方面，在常规测量模式下，机器人对单个测量点的测量时间应不超过2s，对于连续测量场景，每小时可完成不少于500个测量点的数据采集；

**4** 续航能力方面，在满电状态下，机器人连续工作时间应不少于4小时；

**5**  主要部件应可靠，激光扫描头应满足IP54防护；激光测距传感器测量频率≥10kHz，灵敏度满足测量精度要求，倾角传感器角度精度±0.02°；电池容量≥100Ah，循环充放电≥500次，具备过充、过放、短路保护。

4.3 施工作业

**4.3.1** 实测实量建筑机器人施工过程包含施工前准备、施工场地环境检查、机器人进场检验、施工交底、测量检测、数据上传、云端解算、人工复核、问题整改、复测等操作过程。

**4.3.2** 实测实量建筑机器人施工前准备应收集项目设计图纸、施工方案；建立实测数据云平台账号，完成项目信息、楼层、户型、检测指标、验收标准录入；制定施工计划，明确楼层、户型、测点布置图、检测频次及复核机制等。

**4.3.3** 实测实量建筑机器人施工场地环境检查应符合以下规定：

**1** 施工环境应满足应满足设备基本工作要求，温度宜-5℃-40℃，雨雪、浓雾天气不得作业；

**2** 测量区域应无强电磁干扰，远离大型变压器、电焊机等设备，防止电磁信号影响机器人的传感器和数据传输系统；

**3** 现场光照条件良好，避免强光直射测量区域，若光照过强，可采取适当的遮光措施，确保测量数据的准确性；

**4** 保证通行与测量空间，清理测量区域建筑垃圾、工具等障碍物，地面不平整时处理或安装找平装置。

**4.3.4** 实测实量建筑机器人进入作业场地应开展机器人资料核查、外观检查、基本功能验证、试测量等进场检验工作，进场检验不合格不允许入场工作，进场检验包含以下内容：

**1** 资料核查主要检查出厂合格证、性能检测报告、第三方计量检定/校准证书、操作手册、软件系统版本号等；

**2** 外观检查主要核查设备外观无裂纹、变形、锈蚀，激光窗口清洁无划痕，履带无啃边；传感器、摄像头镜头无污渍；设备机械结构牢固，连接部位无松动，驱动轮、万向轮、三脚架等支撑装置转动灵活；

**3** 基本功能验证主要检查设备通电启动自检无异常，激光发射器、偏转装置、电池等主要部件自检全部通过;设备操作系统启动正常，确认软件无崩溃、卡顿；移动控制APP版本与云平台版本兼容；

**4** 试测量主要检查采集、计算、存储等程序功能,开展人工复测对比，用标准尺进行测点校验，用直角器校验角度误差；

**5**  核查设备与数据管理平台连接正常，数据管理平台完成项目信息（楼层、户型）、检测指标、验收标准录入，建立数据存储与追溯机制。

**4.3.5** 实测实量建筑机器人施工作业前应由质检员组织施工交底，对作业人员进行本工程基本概况及现场作业条件、机器人在使用过程中的注意事项，交底应明确测点布置图、验收标准、数据上传节点、施工作业流程、设备操作要求、测量数据管理规范、应急处理等，确保全员掌握安全规范与操作要点。

**4.3.6** 实测实量建筑机器人施工测量检测应由操作人员和施工辅助人员至少两名组成施工测量作业小组开展，并符合以下规定：

**1** 操作人员应熟悉操作流程、建筑知识及参数设置，应持有相关建筑机器人操作培训合格证书；

**2**  操作人员具备机器人技术与建筑测量知识，能解决技术故障，分析处理测量数据,负责数据审核与质量控制支持；

**3**  施工辅助人员应熟悉现场环境，具备良好身体素质。

**4.3.7** 实测实量建筑机器人施工测量检测施工作业应按照机器人操作手册要求开展，施工作业应符合以下规定：

**1** 机器人作业前应依据施工测量工作要求输入测量参数（范围、点密度等），选择测量模式（高精度/标准），执行扫描前，应进行测量机器人试运行，扫描过程中，确保扫描装置的工作安全，且避免用手或任何物体接触测量机器人，测量人员应离开测量机器人作业区域，以免干扰数据采集效果；

**2** 机器人测量检测主要有施工操作人员主持，施工操作人员操作机器人沿规划路径开展测量工作，测量过程应注意观察设备状态，应定时检查机器人安装连接处是否有松动，扫描装置是否保持稳固；

**3** 机器人搬运或转移测量位置由施工辅助人员进行，过程中应注意扫描装置等的紧固情况，防止磕碰、掉落造成部件损坏；。

**4.3.8** 实测实量建筑机器人施工测量检测数据应及时上传至数据处理系统，操作人员应每日检查确认数据完整性。

**4.3.9** 实测实量建筑机器人施工应配备云端解算系统进行数据处理形成实测实量分户验收表、平整度报告等测量资料成果。

**4.3.10** 实测实量建筑机器人施工作业每日测量完成后，设备退场应对设备进行清洁，检查设备外观、传感器、轮组是否完好，记录损伤情况。

**4.3.11** 实测实量建筑机器人日常使用维护应符合以下规定：

**1**  设备主要扫描部件日常需要放入保护箱内，扫描装置使用后如有发热现象需等散热后再收纳;镜头注意安装好保护套后再收纳；

**2** 设备重要组件应存放在湿度较低并且温度相对稳定的环境中，不能遭受极端的温度和环境条件或剧烈振动，避免日晒、雨雪淋袭、水浸；

**3** 应使用无尘布和专用清洁剂清理扫描装置设备表面以及轮子外观，清洁前需关闭电源；

**4** 机器人电池在使用后，应及时进行充电，避免电池长时间空电搁置。在长时间存放产品之前，应卸下电池。将扫描装置和电池妥善存放，以避免受到不利环境因素的损害。

**4.3.12** 实测实量建筑机器人施工质量控制要点主要包括数据审核和不合格数据处理。实测实量建筑机器人技术支持人员应及时审核上传数据，检查坐标、测量值、时间等完整性与一致性，墙面平整度、墙面垂直度、阴阳角、净高等主要指标发现异常应即时通知操作人员复核；发现不合格数据应即时开展人工复核，未查明原因前不进行后续施工。

**4.3.13** 实测实量建筑机器人测量数据应定期进行误差分析，计算测量误差的大小和分布情况，分析误差产生的原因，如机器人设备误差、环境因素影响、操作不当等。根据误差分析结果，采取相应的措施进行调整和改进，以提高测量精度。

**4.3.14** 实测实量建筑机器人测量数据出现不合格项，应及时标记并通知施工班组进行整改，对不合格项的处理过程进行记录，形成完整的质量控制档案。

**5 钢筋绑扎建筑机器人**

5.1 一般规定

**5.1.1** 钢筋绑扎建筑机器人适用于各类公共建筑、工业厂房及住宅项目等主体结构施工中楼板、房梁等部位的钢筋绑扎作业。使用机器人进行钢筋绑扎作业时，应依据质量要求制订作业方案，包括并不限于工程概况、作业材料尺寸、作业现场准备、协同人员配置、作业质量要求、作业安全管理以及作业进度计划等内容。

**5.1.2** 钢筋绑扎建筑机器人宜在温度-20-50℃，相对湿度40%-75%的环境条件下进行作业。

**5.1.3** 施工现场环境应满足钢筋绑扎建筑机器人作业的空间条件，作业区域应明确界定。

**5.1.4** 钢筋绑扎建筑机器人施工现场应设置电池充电区及易损件备件区并禁止烟火、配备灭火设备。

**5.1.5** 钢筋绑扎建筑机器人协同操作人员须接受严格的岗前培训，并制定详细的作业安全防护预案。

**5.1.6** 钢筋绑扎建筑机器人在进入施工作业前应对其进行功能性检查与运行调试，确保设备可正常施工作业。

5.2 构造与性能

**5.2.1** 钢筋绑扎建筑机器人构造与性能应符合以下规定：

**1** 机器人需在启动时自动对移动模块、传感器模块、数据同步模块等功能模块进行检查并评估状态，并将结果实时显示于人员协同操作界面；

**2** 机器人需具备实时工作状态监测功能，当出现电量过低、传感器故障等异常情况时，应向协同操作界面发送警报，以便操作人员采取相应措施；

**3** 机器人防护等级应达到IP54，以确保在施工环境中能有效防止粉尘侵入及降雨天气的影响；

**4** 针对钢筋捆扎作业环境的特殊性，机器人的移动模块需与工作环境严实贴合，使其能够在复杂的钢筋网格中灵活移动并自主完成作业任务；

**5** 应配备视觉系统检测与力学传感器，用于实时反馈绑扣形态数据并自动判定绑扎质量，若出现数据异常则进行重绑操作；

**6** 应具备自主识别定位、自动避障、自动换列及识别风险与报警等功能，作业前无需预设地图或间距即可自动识别工作场景与目标钢筋，即可自动识别工作场景和目标钢筋；

**7** 应实时探测人员、设备等移动障碍物，并触发紧急制动或避让动作，同时需配备倾覆监测与自动调平系统，以保障在高危环境下的作业安全；

**8** 钢筋绑扎建筑机器人所配备的电池在满电状态下应能持续工作不少于8小时，并可依据实际施工计划配置备用电池。

表5.2.1 钢筋绑扎机器人构造与性能

| 项目类别 | 性能指标 | 说明 |
| --- | --- | --- |
| 作业范围 | 钢筋直径 6-32mm；间距 100-300mm |  |
| 续航能力 | ≤8h（可拆卸电池） | 可根据需求配备备用电池 |
| 施工材料 | 扎丝（镀锌铁丝） | 可根据需求更换 |
| 作业效率 | 400-500 节点/小时 |  |
| 防护等级 | 全机身IP54 |  |

5.3 施工作业

**5.3.1**  作业准备阶段应符合以下规定：

**1** 依据施工环境（如各类公共建筑、工业厂房、住宅等）、材料尺寸（如钢筋规格参数、绑扎材料等）确定施工作业范围与绑扎作业参数；

**2** 根据施工环境要求对机器人进行设备适配，如在精度有特殊要求的施工环境应更换更高精确的传感器及视觉模块；

**3** 执行机器人开机自检，确保移动模块、视觉模块等设备正常运行，传感器精度经校准符合要求；

**4** 勘察作业现场，标识作业区域内障碍物，设置警示标识并划定作业禁区，禁止无关人员进入；

**5** 进行施工预运行，确保环境数据识别及日志记录成功。

**5.3.2**  作业施工阶段应符合以下规定：

**1** 钢筋绑扎建筑机器人应自主移动至作业点，通过深度视觉传感器精准识别钢筋交叉点位置，由机械臂末端执行器自动完成抓取扎丝、环绕交叉点及拧紧切断等绑扎动作；

**2** 协同操作人员应对已绑扎钢筋进行松紧度与绑扎完整度的抽查，并将抽查的现场数据与机器人操作界面上实时显示的预设标准数值（如扭力值、绑扎圈数等）进行严格比对，确保每处绑扎效果都符合设计要求；

**3** 实时采集绑扎点坐标、实际扭力值、视觉检测结果等数据，并同步上传至后台运行日志。

**5.3.3**  数据处理与报告生成阶段应符合以下规定：

**1** 施工作业结束后，最终质量控制需结合机器人预设自检数据与人工协同复验，系统应记录整个作业过程的运行日志；

**2** 协同人员通过操作工具查看运行日志所记录的绑扎点的坐标、执行时间、实际扭力值、视觉检测结果及是否触发重绑等数据，并生成相应报告。

**5.3.4**  设备维护与安全要求应符合以下规定：

**1** 作业结束后应清理机器人表面污垢，检查传感器、电池等部件状态，并定期对设备进行全面维护，校准传感器精度，更换易损件；

**2** 作业过程中，操作人员应正确穿戴防护装备（如安全帽、安全鞋等），并遵守施工现场安全规定。

**5.3.5**  施工安全及保护应符合以下规定：

**1** 协同操作人员应经过严格培训并考核合格，熟悉机器人结构、性能及用途，掌握基本机器维护与保养知识，了解安全操作要求及注意事项；

**2** 协同操作人员应正确穿戴劳动防护用品，如安全帽、反光衣等；

**3** 作业前应根据机器人自检结果进行复查，确认设备和系统的完好，操作安全无异常，未检出任何损坏；

**4** 作业现场应配置符合作业要求的照明设施，作业区域应设置安全警示线及安全警示牌，作业期间除工作人员外，禁止其他人员在机器人作业范围内停留或穿插作业。

**6 墙板安装建筑机器人**

6.1 一般规定

**6.1.1** 墙板安装建筑机器人适用于装配式住宅、公共建筑、商业综合体等主体结构施工中的轻质条形墙板安装作业。使用机器人进行墙板作业时，应依据质量要求编制作业方案，内容应涵盖整体工程区域、作业材料尺寸、协同人员配置、作业质量要求、作业安全管理以及作业进度计划等。

**6.1.2** 墙板安装建筑机器人宜在温度-5℃-50℃，相对湿度不大于90%的环境条件下进行作业。

**6.1.3** 作业现场应具备满足机器人操作的空间条件，并明确作业区域范围。

**6.1.4** 为保证墙板安装建筑机器人连续、安全作业，现场应设置电池充电区及易损件备件区并禁止烟火、配备灭火设备。

**6.1.5** 墙板安装建筑机器人的协同操作人员须接受严格的岗前培训，并制定详细的安全作业防护预案。

**6.1.6** 墙板安装建筑机器人进入施工作业前，应进行功能性检查与运行调试，确保设备处于正常作业状态。

6.2 构造与性能

**6.2.1** 墙板安装建筑机器人构造与性能应符合以下规定：

**1** 应具备稳定的负载性能，在单人操作下可精准完成数百公斤的轻质条形墙板的取板、立板及拼装作业；

**2** 搭载全向移动底盘与液压系统，实现设备零转弯半径并具备良好的复杂地形通过能力；

**3** 不宜长时间暴露于高浓度粉尘环境或完全无照明的黑暗场所作业；

**4** 应建立全流程人机协同作业体系，可实现单人操作下“取料-运输-定位-拼装”一体化作业流程；

**5** 应能实时监测人员接近、设备姿态异常及超载风险，并向协同管理人员设备界面发送异常警报，协同人员可通过一键触发急停按钮对设备进行即刻断电，降低了工人劳动强度与作业风险；

**6** 在满电状态下，墙板安装建筑机器人应可持续工作不少于8小时，并可根据施工计划就近配置充电设备。

表6.2.1 墙板安装建筑机器人构造与性能

| 项目类别 | 性能指标 | 备注 |
| --- | --- | --- |
| 作业范围 | 参考整机尺寸 | 需支持机器人正常通过 |
| 续航能力 | ≤8h（单次充电） |  |
| 施工材料 | 轻质条形墙板 |  |
| 防护等级 | 全机身IP65 |  |

6.3 施工作业

**6.3.1**  作业准备阶段应符合以下规定：

**1** 根据当日需安装墙板的规格及材质调整机器人的作业参数，确保材料质量合格并有序堆放于指定区域，以保证设备作业安全及物料的高效取用；

**2** 结合施工环境要求对机器人进行设备适配，如对精度有特殊要求的施工环境需更换更高精度的传感器及视觉模块；

**3** 对机器人进行开机检查，确保全方位移动系统、抓取模块等设备正常运行，传感器精度校准符合要求；

**4** 勘察作业现场，标记作业区域内的障碍物，设置警示标识并划定作业禁区，禁止无关人员进入；

**5** 进行施工预运行，确保环境数据识别及日志记录成功。

**6.3.2**  作业施工阶段应符合以下规定：

**1** 墙板安装建筑机器人施工时协同移动到物料分类存放区，利用智能抓取机械臂抓取施工物料并移动到预定拼装区，液压举升装置配合固定机械臂实现物料的起升与翻转，实现与拼装区的精准对接；

**2** 协同操作员应对已完成对接拼装的墙板进行完整度检查，并将抽查的现场数据与机器人操作界面上实时显示的预设标准数值（如高度差、对接参数等）进行严格比对，确保各项指标都符合设计要求；

**3** 实时采集作业数据（如材料体积重量、抓取抬升的压力、对接数据等），同步上传至后台运行日志。

**6.3.3**  数据处理和报告生成阶段应符合以下规定：

**1** 施工作业结束后，最终质量控制应结合墙板安装建筑机器人预设数据与人工协同复验，系统应完整记录作业过程的运行日志；

**2** 协同人员通过操作工具查看运行日志记录的各项数据（包括每个墙板的体积物料、抓取抬升的压力、视觉检测结果等）并生成相应报告。

**6.3.4**  设备维护与安全要求应符合以下规定：

**1** 作业结束后，清理墙板安装建筑机器人表面污垢，检查传感器、电池等部件状态，定期对设备进行全面维护，校准传感器精度，更换易损件；

**2** 作业过程中，操作人员应正确穿戴防护装备（如安全帽、安全鞋），遵守施工现场安全规定。

**6.3.5**  施工安全及保护应符合以下规定：

**1** 协同操作人员应经过严格培训并考核合格，熟悉机器人的结构、性能与用途，掌握基本维护保养知识，熟知安全操作规程及注意事项；

**2** 所有进入作业区人员正确穿戴符合安全标准的个人防护装备，包括安全帽、反光衣及防护鞋具；

**3** 作业前应对墙板安装建筑机器人的状态进行检查，确保设备和系统的完整性，操作安全可靠，无损坏情况；

**4** 作业现场应配置符合要求作业要求的照明设施，作业区域应设置安全警示线及安全警示牌，作业时除协同操作人员外禁止其他人员在机器人作业范围内停留或穿插作业。

**7 内墙抹灰建筑机器人**

7.1 一般规定

**7.1.1** 内墙抹灰建筑机器人应用在内墙面水泥砂浆、石膏等建筑材料的抹灰施工，适用于住宅、公建、厂房、办公楼等场景的混凝土墙面和砌体墙面。

**7.1.2** 进行内墙抹灰建筑机器人施工前，需明确机器人施工区域，明确其电源和水源取用位置，电源类接线操作由工程项目电工进行作业。

**7.1.3** 内墙抹灰建筑机器人施工时，施工人员应正确佩戴安全帽，若有现场搅拌水泥砂浆等需求，施工人员应佩戴口罩。

**7.1.4** 内墙抹灰建筑机器人清洗时，施工人员应戴防护手套，清洗的废料和废水应倾倒至工程项目指定位置。

**7.1.5** 内墙抹灰建筑机器人清洗后需对轨道等养护构件进行清理和注油。

7.2 构造与性能

**7.2.1** 内墙抹灰建筑机器人包含供料系统、底盘系统、定位系统、调平系统、升降系统、抹灰执行系统及控制系统。

**1** 供料系统为机器人提供作业原料，宜与机器人本体分离存在；

**2**  底盘系统集成在内墙抹灰建筑机器人上，负责机器人的移动作业；具备自行走、遥控行走、全向转弯的功能，同时具备一定的越障、爬坡、下坡能力；

**3**  定位系统集成在内墙抹灰建筑机器人上，负责机器人位姿数据测定，使机器人能够按照设定的墙面抹灰厚度进行施工；

**4**  调平系统集成在内墙抹灰建筑机器人上，负责调整机器人与作业完成墙面（抹灰后的墙面）的平行度，确保墙面施工的平整度；

**5**  升降系统集成在内墙抹灰建筑机器人上，负责将抹灰执行系统传动至设定高度；

**6** 抹灰执行系统集成在内墙抹灰建筑机器人上，实现材料与作业面的结合，具备正压防空鼓、抹平抹光的功能；

**7**  控制系统集成在内墙抹灰建筑机器人上，控制管理内部的各种电气元件，内置控制程序，用于实现对机器人各项功能的实时控制。

**7.2.2** 内墙抹灰建筑机器人设计应满足内墙面水泥砂浆或石膏抹灰上墙作业工艺要求。

**7.2.3** 内墙抹灰建筑机器人施工所使用的水泥砂浆或石膏等材料应与传统工艺通用，不采用单独配方材料。

**7.2.4** 内墙抹灰建筑机器人的自身尺寸需确保其在施工区域内自由移动（主要考虑门框门洞限制）同时考虑转运便利，机身宽度宜＜850mm，机身高度宜＜1800mm。

**7.2.5** 内墙抹灰建筑机器人可采用电池供电或现场电缆供电，电池供电单次续航时间＞6小时。

**7.2.6** 内墙抹灰建筑机器人可实现自动或手动方式从上一工作位移动到下一工作位。

**7.2.7** 内墙抹灰建筑机器人应减少冲筋或打灰饼等施工。

**7.2.8** 内墙抹灰建筑机器人单次抹灰厚度应＜20mm，超过该厚度应进行分层抹灰施工。

**7.2.9** 内墙抹灰建筑机器人的综合施工效率＞20㎡/h。

**7.2.10** 内墙抹灰建筑机器人施工后的垂直度偏差控制≤3mm/2m，平整度偏差控制≤3mm/2m。

7.3 施工作业

**7.3.1** 内墙抹灰建筑机器人进场前应与项目承包方进行抹灰施工技术交底，确保施工人员明确工程的技术要求、质量标准和安全规范。

**7.3.2** 内墙抹灰建筑机器人的操作人员必须为经过培训并认可的人员。

**7.3.3** 在进行内墙抹灰建筑机器人抹灰施工前，应对前置施工工序的验收进行确认，确认验收合格后进行具体作业步骤。

**7.3.4** 在进行内墙抹灰建筑机器人抹灰施工前，应对墙面基层进行处理。

**1**  清除基层墙面的尘土、污垢、油渍等杂物；

**2**  封堵开关孔和插座孔等孔洞；

**3** 对墙面按照抹灰施工技术交底要求进行浇水湿润；

**4** 使用水平仪确定作业墙面平整度，对高出过多的局部进行打磨处理，对深度＞20mm的凹坑提前进行填补。

**7.3.5** 将内墙抹灰建筑机器人及其配件转运就位，接好电源，设备进行试运行。

**7.3.6** 在工程项目选定区域进行样板施工，施工后对墙面进行保养，由工程项目相关人员进行验收。

**1**  验收合格则保留样板，并开始下阶段施工；

**2**  验收不合格，需对该墙面进行处理（如铲除或增加一层抹灰），并重新打样，若合格，按1处理，若不合格，暂停机器人的施工并分析原因。

**7.3.7** 使用内墙抹灰建筑机器人施工，按下述工序开展：

**1**  按照抹灰施工技术交底要求，在相应墙面进行甩浆处理（需要刷界面剂的甩浆前刷好）；

**2**  按照抹灰施工技术交底要求，在对应位置挂网，挂网不应凸出墙面过高以免机器执行机构拉刮挂好的网；

**3** 根据前述测定的抹灰参数，放置好机器人所使用的水平仪，水平仪在放置好后，应在其周边放置遮挡，防止他人误碰使其位置发生改变；

**4**  内墙抹灰建筑机器人自动定位，完成单道抹灰施工，并自动或点动移动到下一工作位开始下一道抹灰施工；

**5** 如需在抹灰表面进行挂网，需安排人工跟随机器人进行压网操作；

**6**  内墙抹灰建筑机器人完成多道施工后人工对抹灰后的表面进行检查，对有局部缺陷处进行修补处理，同时对机器人施工不到的区域进行补充抹灰。

人工甩浆、挂网

放置水平仪

表面压网

机器人自定位施工

人工找补

图7.3.7 内墙抹灰建筑机器人施工工序示意图

**7.3.8** 使用内墙抹灰建筑机器人施工，控制施工质量措施应符合以下规定：

**1**  建立智能建造施工班组，班组成员包含机器人操作人员、墙面修补人员、施工自检人员；

**2**  制定合理的施工工序并严格按照工序开展作业，施工自检人员及时自查自纠；

**3** 机器人在设计时已考虑机器人抹灰执行系统能够对墙面提供有效的正压力，同时在抹头增加高频振动措施保障原材料分散到位，确保抹灰材料能够密实的压在施工墙面上；

**4**  机器人施工完成后，按照抹灰施工技术交底要求进行墙面养护；

**5** 施工面完成后由现场质量人员按照流程进行检验并记录。

**7.3.9** 使用内墙抹灰建筑机器人施工，注意安全及保护措施应符合以下规定：

**1**  机器人在移动过程中，不得将脚伸入底盘下方，在满足操作的情况下与设备保持适当的安全距离；

**2** 手动操作机器人在特殊区域如电梯、坡道移动时，移动速度按系统默认最小值设置；

**3**  设备进入施工电梯后停在电梯中间位置并按下停止按钮，必要情况下可按下急停按钮，防止他人误触；

**4** 临边或有洞口处需在洞口封堵后进行作业，机器人应远离临边区域和承载力不足的洞口区域；

**5**  作业区域禁止非操作人员进入。在机器人提升作业时严禁攀爬、触摸传动机构；抹头前方和下方严禁站人，严禁操作人员在升降装置下方进行作业；

**6** 机器人系统有故障报警或其它异常时需排除故障后再进行操作，禁止带问题作业。

**7.3.10** 内墙抹灰建筑机器人的供料系统使用独立泵送时，应符合以下规定：

**1** 输送泵与机器人距离保持3m以上，避免楼板集中堆载；

**2** 输送泵应专人进行操作和上料，上料时需检查料浆里无异物，避免因发生堵管造成人员受伤或机械损伤；

**3**  输送泵工作时避免靠近料管接头，不得触摸电机、减速机和其他旋转部件；

**4**  清洗输送泵时出料口前方禁止站人，避免泵出异物造成事故；

**5**  清洗输送泵后检查工具是否齐全，禁止将工具留在输送泵内；

**6** 泵送系统多为高压供电，其送电顺序为：连接插头→三级配电箱空开合闸→输送泵空开合闸；其断电顺序为：三级配电箱空开分闸→输送泵空开分闸→断开插头。

**7.3.11** 内墙抹灰建筑机器人不使用时，贮存和维护应符合以下规定：

**1**  机器人不使用时，拔下电池组放电插头，检查各设备无异常，将整机各处清理干净；

2 机器人存放在原包装框架内，存放的仓库内保持通风、干燥并采取必要的防晒、防潮、防雨、防腐蚀等措施；

3 机器人长期不使用，每三个月将电池充满电一次以防止电池自放电导致电池失效。在温度低的情况下适当缩短充电间隔时间，增加充电频次；

4 清洗、维修、保养设备时佩戴手套，禁止带电清洗，不得用水冲洗电池、电机、电柜、电池接头、线缆接头；完成后清点工具，避免将工具落在设备上。

**8 喷涂建筑机器人**

8.1 一般规定

**8.1.1** 喷涂建筑机器人应用于建筑外墙、斜坡、内墙等场景的自动化喷涂作业。通过预设程序或者遥控操作，能够高效、均匀地将涂料涂覆在建筑外墙、内墙、斜坡等表面，减少人力成本和提升涂装质量。

**8.1.2** 使用喷涂建筑机器人进行建筑墙面施工时，建设项目应满足喷涂建筑机器人对墙面的最小喷涂面积、墙面坡度、墙面平整度、喷涂精度等要求。

**8.1.3** 使用喷涂建筑机器人进行建筑外墙施工时，应根据建筑外墙面特征、喷涂质量要求等，明确喷涂区域与非喷涂区域界限，制定建筑外墙喷涂施工方案，形成技术交底书，并应包括工程概况、喷涂建筑机器人选型及配置、所需施工材料数量及使用顺序、施工现场准备、人员配置、施工工序及质量要求、施工安全管理、施工进度计划、常见问题处理等内容。

**8.1.4**  喷涂建筑机器人宜在温度5℃-35℃，相对湿度40%-70%的环境条件下进行施工，保证建筑涂料的可涂覆性。

**8.1.5** 喷涂建筑机器人应配备喷嘴及管路清洗装置，防止喷嘴或管路堵塞。

8.2 构造与性能

**8.2.1** 喷涂建筑机器人构造与基本性能应符合以下规定：

**1** 喷涂建筑机器人构造由喷涂系统、移动系统、识别系统、操作系统、电气系统、安全保障系统等组成；

**2** 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；

**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** 应内置传感模块和运动控制系统，能在墙面纵横双向移动和精确定位，在喷涂时可实现全自动喷涂作业，可规避门、窗等非喷涂区域；

**5** 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状态关键信息；

**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。

**8.2.2** 现场应有满足设备移动的路况及环境，对于移动底盘的升降式喷涂建筑机器人，应符合以下规定：

**1** 机器人通行高度≥1.8m，通行宽度≥1.8m，承重≥3000kg；

**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** 对于无调平机构的机器人，地面坡度≤6°，地面越障≤10mm，地面沟宽≤300mm；

**5** 作业高度1-12m，在室内施工时照明设施齐全，底盘移动时应将升降机构降至安全高度。

**8.2.3**  现场应有满足设备移动的路况及环境，对于下挂式喷涂建筑机器人，应符合以下规定：

**1** 机器人喷嘴喷涂高度约600mm，吊挂承重应满足使用要求；

**2** 机器人施工方向应从上至下进行，作业高度1m-100m；

**3** 施工时室外风力超过4级或者其他造成吊挂摆动幅度过大的因素影响时，应停止施工。

**8.2.4** 现场应有满足设备移动的路况及环境，对于斜坡式喷涂建筑机器人，应符合以下规定：

**1** 机器人喷嘴喷涂高度约600mm，吊挂承重应满足使用要求；

**2** 施工时室外风力超过4级或者对喷涂效果产生负面影响时，应停止施工；

**3** 对于平面斜坡，作业效率应满足单机喷涂面积应超过1500m2/天。

8.3 施工作业

**8.3.1** 喷涂建筑机器人施工作业中，应配置至少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。施工作业场地应无杂物、无积水，灰浆、钢筋头等地面临时凸起物应已处理干净。

**8.3.2** 喷涂建筑机器人施工作业中时，需喷涂的墙面应完成二遍腻子刮涂、打磨，存在的质量缺陷应已整改完成，喷涂前需清洁喷涂作业面灰尘，满足建筑涂料喷涂条件，主要流程见表8.3.2。

表8.3.2 喷涂建筑机器人施工作业流程

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | 流程内容 |
| 1 | 喷涂面前处理 | 喷涂区域清洁；  喷涂区域缺陷修补；  非喷涂区域保护； |
| 2 | 机器人调试 | 开机自检；  试喷涂；  检验； |
| 3 | 喷涂 | 喷涂参数输入；  开始喷涂；  喷涂参数优化调整；  结束喷涂； |
| 4 | 验收 | 颜色均匀性；  泛碱、咬色；  流坠、疙瘩。 |

**8.3.3** 喷涂作业前，应做好已完工序的成品保护，如地砖、门窗、孔洞及开关面板等。

**8.3.4** 喷涂建筑机器人在大面积喷涂作业前，应划定样板喷涂区域，并对样板区进行试喷涂作业。使用机器人进行施工，各类漆料喷涂基层含水率、界面剂、抗碱封闭底漆、平整度、墙面缺陷情况等应符合喷涂质量要求，可参考《建筑涂饰工程施工及验收规程》JGJ／T，并按照实际情况调整喷涂参数，达到样板区的验收标准后，可以开展大面积喷涂施工作业。

**8.3.5** 喷涂建筑机器人具有全自动作业功能时，应根据图纸、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。路径规划宜符合以下规定：

**1** 每个喷涂区域喷涂路径方向宜保持一致；

**2**  每个喷涂区域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。

**8.3.6** 喷涂建筑机器人自动作业时，宜符合以下规定：

**1** 机器人处于即将作业的区域内；

**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** 相关锁紧机构已经关闭并且上锁；

**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。

**8.3.7** 喷涂建筑机器人喷涂压力、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。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。

**8.3.8** 喷涂建筑机器人施工作业质量，应符合以下规定：

**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8.3.8相关要求。

表8.3.8 喷涂建筑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） | 30 | 10 | 10m线，不足10m拉通线，用钢直尺检查 |

**8.3.9** 喷涂建筑机器人使用中安全及保护措施，应符合以下规定：

**1** 使用喷涂建筑机器人施工前应对设备进行安全检查，内容应符合表8.3.9相关规定：

表8.3.9 喷涂建筑机器人设备安全检查表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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）检查喷涂系统、移动系统、识别系统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（如有），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；  （7）检查各传感器，确认表面无污染、无遮挡、无松动。 |
| 3 | 电、网  情况 | （1）无线控制终端电量充足；  （2）确保施工现场电源及网络稳定无干扰；  （3）确保机器人电池（如有）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。 |

**2**  操作人员应佩戴相关安全和劳保用具后方可进行作业，严禁佩戴会影响喷涂建筑机器人作业的首饰及挂件；

**3**  喷涂建筑机器人作业时，操作人员应在设备危险范围外进行操作，必要时配备防毒面具等防护工具；

**4**  在设备运转过程中，即使机器人看似已停止，也可能是因等待启动信号而处于即将动作的状态，因此，即便在这种状态下，也应将机器人视为正在动作中；

**5** 使用喷涂建筑机器人的防火措施要求应满足：在工作现场应配备适当的灭火器材，如干粉灭火器、二氧化碳灭火器等，操作人员应接受灭火器使用培训，以确保能够迅速有效地应对初期火灾，禁止在易燃物品附近进行喷涂作业。溶剂型涂饰材料存放地点必须有防火措施，并应满足国家有关的消防要求。使用可燃性溶剂时应有消防和防爆措施，并严禁明火；

**6** 喷涂建筑机器人使用完成后要对喷涂作业系统进行泄压操作；

**7** 采用移动底盘的升降式喷涂机器人作业时，每移动一次底盘，需要将升降机构降至安全高度，由上至下进行喷涂，避免倾倒；

**8** 采用吊具作业时，施工时室外风力超过4级或者其他造成吊挂摆动幅度过大的因素影响时，应停止施工；

**9** 现场供电应满足喷涂建筑机器人的使用要求，设有工地用水及废水处理区域。

**8.3.10** 喷涂建筑机器人的设备维护，应符合以下规定：

**1** 喷涂建筑机器人应由具备相应资质的维保人员进行清洗、维护和保养；

**2** 维修时，如需临时用电，应符合现行标准《建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准》（JGJ/T 46）的相关规定；

**3** 在危险区域内进行检修或通电测试时，必须采取相应的安全防护措施，以确保操作安全；

4 维修保养时，应切断设备电源，并在主开关旁张贴禁止使用的警告标志，同时将机器人储存在适当的仓库中；

**5**  喷涂机器人检修时，应确保喷涂作业系统已完成泄压操作，以防止意外风险；

**6** 维保工作中，对于磨损或损坏程度超出室内喷涂机器人产品使用说明书要求的部件，应及时进行维修或更换；

**7** 喷涂建筑机器人装配过程中，应禁止磕碰和划伤各类零件；

**8** 电池长期搁置不用时，应根据机器人厂家说明进行适当电量储存，并定期进行完整的充放电，以确保电池处于最佳状态；

**9** 应避免扔掷、敲击或摔落搬运机器人电池，以防损坏电芯并减少安全隐患；

**10** 喷涂建筑机器人存储时，应避免与易燃、易爆、易腐蚀等有害物品存放在一起，并远离火源及热源，应防止日晒、雨淋、水浸、剧烈撞击和振动。

**9 整平建筑机器人**

9.1 一般规定

**9.1.1** 整平建筑机器人主要适用于各类建筑工程中地面、楼面等平面的混凝土整平作业，包括住宅建筑、商业综合体、工业厂房、公共设施等项目的室内外施工；特别适用于大面积、高平整度与水平度要求的厂房、仓库、商场、车库，以及对施工效率、劳动力节约有显著需求的项目。

**9.1.2**  整平建筑机器人的作业需合理配置相关人员，应配备1名设备操作人员、1名技术指导人员和1名安全管理人员。

**9.1.3** 整平建筑机器人每次作业前应在当前施工区域进行现场调试，并做好调试记录，对问题及时整改，直至各项性能达标。

**9.1.4**  整平建筑机器人施工前应进行施工作业样板施工，选择具有代表性的区域，按设计要求和施工方案操作，记录相关参数，由总包、监理、建设单位验收，合格后以样板质量为大面积施工基准，锁定参数。

**9.1.5** 整平建筑机器人应具备智能化功能，宜支持BIM技术应用，基于云平台管理，可个性化定制。

9.2 构造和性能

**9.2.1** 整平建筑机器人的系统构造组成应包括机械系统、电气系统、控制系统和感知系统。机械结构包括机身框架、行走机构和整平机构，行走机构通常采用履带式或轮式结构，整平机构则由刮板、振捣装置等组成，负责完成混凝土等材料的整平作业。电气系统通常采用电动机或内燃机，为机器人的行走和作业提供动力。控制系统是机器人的核心，由控制器、操作面板和相关的控制软件组成，能够实现对机器人的行走、整平作业等动作的精准控制。感知系统包括位置传感器、姿态传感器、距离传感器等，用于实时检测建筑机器人的位置、姿态以及与作业面的距离等信息，为控制系统提供准确的反馈数据。

**9.2.2** 整平建筑机器人系统应满足以下性能指标要求：

**1** 机械系统的机架强度和刚度应满足载荷要求；行走机构应运行平稳，调速性能良好，能够实现前进、后退、转向等动作，且行走速度应符合作业要求；整平机构的整平刀片应具有较高的耐磨性和强度，安装牢固，调节方便，能够根据作业需求调整整平高度和角度；

**2** 电气系统的电源模块应具有稳定的输出电压和电流，具备过载、短路等保护功能。电机驱动模块应性能可靠，能够精确控制电机的转速和转向。传感器模块应灵敏度高、检测精度高，抗干扰能力强；

**3** 控制系统的控制器应运算速度快、存储容量大。控制程序应具有良好的稳定性和可靠性，能够实现设备的自动找平、自动行走、自动整平等功能，同时具备故障诊断和报警功能，支持路径规划和模式切换；

**4** 感知系统的传感器应具有良好的适应性和抗干扰能力；激光传感器用于检测地面的平整度，应具有较高的测量精度和测量范围。

9.2.2 整平建筑机器人主要作业性能指标要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 性能指标 | 备注 |
| 整平精度 | 平整度≤3mm/2m，极差≤5mm；水平度偏差≤±5mm | 大面积整平误差≤±5mm |
| 作业效率 | ≥150㎡/h | 与混凝土供应能力、作业面连贯性相关 |
| 行走速度 | 0-1.2m/s，无级调速 | 兼顾效率与精度 |
| 爬坡能力 | ≥10° | 适应施工现场地形 |
| 整平厚度范围 | 30-200mm | 不同机型略有差异 |
| 连续工作时长 | ≥4-8 小时 | 支持快换电池或边充边作业 |
| 最小转弯半径 | ≤1.3m | 提升场地适应性 |
| 噪音等级 | ≤75dB(A) | 符合环保规定 |
| 防护等级 | 机身 IP54，其它 IP65 | 适应施工环境 |

9.3 施工作业

**9.3.1**  整平建筑机器人施工前应进行进场检查，向总包及监理单位报验，提供设备合格证、出厂检验报告等相关文件；同时对设备外观、核心系统、精度、能源与配套等进行实体检查。需核对设备的合格证、使用说明书、检测报告等相关资料是否齐全有效。只有验收合格的机器人方可投入使用，验收不合格的设备需及时退回或进行维修整改，直至验收合格。

**9.3.2**  整平建筑机器人施工前应进行技术交底，交底由技术负责人向作业人员、设备操作人员等相关人员进行全面交底。交底内容包括工程的施工图纸要求、整平作业的技术标准、机器人的操作流程、参数设置方法、常见故障处理措施以及安全注意事项等。交底过程中应确保相关人员充分理解交底内容，可通过提问、现场演示等方式进行确认。技术交底需形成书面记录，参与交底的人员需签字确认，并存档备查。

**9.3.3** 整平建筑机器人施工作业条件应符合以下规定：

**1** 基层应处理完毕，表面浮浆等应清除干净，裂缝、孔洞应已修补；基层干燥程度应符合要求；作业场地平整度偏差应符合设计要求，否则需进行预处理；有坡度要求的作业面，坡度应符合设计且变化平缓；

**2** 混凝土坍落度应符合设计要求，波动范围≤±10mm；原材料应到场并检验合格，储存条件良好；材料最大粒径不应大于40mm，以适应整平板要求；

**3** 应配备专业操作人员和辅助工人，且经过培训并熟悉其职责；应建立有效通讯机制，确保操作人员与管理人员能够实时沟通。

**9.3.4** 整平建筑机器人施工作业前道工序必须经验收合格，确认模板内无杂物、钢筋表面无油污等，方可进行整平作业。

**9.3.5** 整平建筑机器人施工作业包含作业场地检查、设备参数设定与试运行、正式作业、作业后整理等主要工作环节。

**9.3.6**  整平建筑机器人设备参数设定需以试验确定的最优参数为基准。参数输入后进行10-15 分钟的试运行，选取作业起始端、中间区域以及末端三个不同位置作为检测点。

**9.3.7**  整平建筑机器人须在试运行合格后方可开展正式作业，其标准流程包括摊铺与初步整平、精细找平及收边收面等步骤。作业期间，操作人员应立于距离机器人5至10米的视野开阔处，进行全程监控：确保行走轨迹与规划路径一致，保证刮板与作业面充分贴合而无局部悬空，并协调振捣装置与刮板的配合节奏，即振捣后约1至2秒内刮板及时跟进。同时，需密切关注控制面板数据，遇任何异常应立即暂停作业并排查原因。

**9.3.8** 整平建筑机器人完成单个作业区域后，需进行全面清洁与保养。具体包括清理机身表面的混凝土残渣、检查刮板磨损情况等。

**9.3.9** 整平建筑机器人施工作业质量控制应贯穿作业全过程。主要应符合以下规定：

**1**  场地检查阶段应核对场地基准线与标高，确保与施工图纸一致，可通过全站仪对基准点进行复测，误差需控制在±3mm以内。核查机器人传感器表面是否清洁，无灰尘或油污遮挡；并检查行走机构履带或车轮的张紧度，确保履带下垂量不超过30mm，车轮无松动现象；

**2**  参数设定阶段应检查机身水平度控制，调整支撑腿时，需以机身水平仪显示值为依据，分多次微调，每次调整高度不超过5mm，最终水平度误差需≤±0.3°，调整完成后停留5分钟再复核，避免支撑腿沉降导致水平度变化。应使用靠尺与水准仪检测整平精度，若误差均在±2mm以内且表面无明显划痕、蜂窝麻面，说明参数适配；若存在误差超差情况，需微调刮板高度或行走速度，重复试运行直至符合要求；

**3**  正式作业阶段应每30分钟对已作业区域进行一次随机抽检，每100m²选取4个检测点，其中应包含1个边角点，并记录整平精度与表面平整度数据，若连续2次抽检出现某点误差超过±2mm，需停机检查参数或设备状态；

**4** 作业区域应对作业面初步验收并记录，验收合格后方可进行下道工序施工。初步验收不合格区域需用红漆标记，标注“待返工”及误差值；作业记录需在24小时内整理成册，包含设备编号、作业日期、作业面积、检测数据、操作人员等信息，资料应存档且保存期限不少于工程保修期。

**9.3.10**  整平建筑机器人的电气系统应做好防水、防潮、防尘处理；行走机构和整平机构的运动部件应设置防护罩；在进行设备维护和检修时，应切断电源，并设置警示标志；应定期对设备的安全保护装置进行检查和校验。

**9.3.11**  整平建筑机器人应定期进行维护保养。日常维护包括清洁设备表面的灰尘、杂物，检查各部件的连接情况等。定期维护应按照设备的使用说明书进行，包括对机械系统、电气系统、控制系统等进行全面的检查、调整和维修。对于易损部件，应根据使用情况及时进行更换。维护保养过程中应做好记录，建立设备维护档案。

**10 检测建筑机器人**

10.1 一般规定

**10.1.1** 本章中检测建筑机器人是指爬壁式检测机器人、深层地下隐蔽结构探测机器人、飞行式检测机器人、混凝土抗压检测机器人和钢筋力学检测机器人。

**10.1.2** 检测建筑机器人进行建筑检测作业时，应根据检测内容、作业类型、质量要求等制订作业方案，包括但不局限于工程概况、所需作业材料数量及使用顺序、作业现场准备、人员配置、作业工序及质量要求、作业安全管理以及作业进度计划等内容。

**10.1.3** 工程项目施工现场应具备检测建筑机器人的作业条件。

10.1.4 检测建筑机器人应具备开机自检功能，在作业前应先完成自检。

**10.1.5** 检测建筑机器人运行过程中出现故障时，必须立即停止作业，及时通知专业维修人员。

**10.1.6** 检测作业完成后，应生成包含检测目的、范围、方法、原始数据、分析图表、结果及结论的标准化检测报告。

**10.1.7** 检测建筑机器人应做定期维护，对检测模块定期量值溯源，并对检测系统不确定度进行确认。

10.2 构造和性能

**10.2.1** 爬壁式检测建筑机器人构造和性能应符合以下规定：​

**1** 爬壁式检测建筑机器人的构造组成包括附着系统（如负压吸附组件、电磁吸附组件、仿生吸附组件等）、移动系统（如轮式、履带式、多足式等）、检测系统（如表面检测单元、内部检测单元、数据处理模块等）、控制系统与能源供应（如本地控制单元、远程控制单元、能源系统等）；

**2** 爬壁式检测建筑机器人不同吸附方式的最大吸附力应满足“吸附力≥自身重量3倍” 的安全标准；

**3** 爬壁式检测建筑机器人可适配的壁面材质包括混凝土、金属、玻璃、瓷砖、石材等；可适应的壁面形状包括平面、曲面、拐角、倒挂面等，应满足绝大多数建筑结构的检测需求；

**4** 可在温度范围-10-50℃，相对湿度范围0-95%的环境下正常作业；

**5** 应具备吸附失效保护、姿态异常保护、低电量保护、碰撞保护等紧急保护功能，确保机器人在突发故障时不坠落、不损坏建筑结构。

**10.2.2** 深层地下隐蔽结构探测机器人构造和性能应符合以下规定：​

**1** 深层地下隐蔽结构探测机器人的构造组成包括驱动与移动系统（如螺旋驱动组件、多足式辅助移动组件等）、定位与导航系统（如惯性导航单元、地磁导航模块、预设定位组件等）、探测与检测系统（如探地雷达单元、超声探伤组件、气体与环境检测模块等）、控制系统与能源供应（如本地控制单元、远程控制单元、能源系统等）；

**2** 可在圆形、方形及异形管道以及弯曲管道中顺利通行；在复杂地下地形，如斜坡、含有可跨越障碍物的崎岖路段，机器人能够灵活作业；

**3** 可在-20℃-60℃温度、10-95% RH湿度及50-110kPa气压环境下正常作业；

**4** 整体防护等级应达到IP65以上，在电磁干扰环境下应具备较强的抗干扰能力，数据传输丢包率≤1%，检测结果不受电磁干扰影响，确保检测数据准确可靠；

**5** 应具备碰撞检测、姿态异常保护、低电量保护、有害气体超标报警与应急处置等紧急保护功能。

**10.2.3** 飞行式检测建筑机器人构造和性能应符合以下规定：​

**1** 飞行式检测建筑机器人的构造组成包括飞行平台系统（多旋翼飞行架构、动力与推进组件、飞行控制单元等）、检测与感知系统（如视觉检测组件、激光扫描模块、环境感知与避障组件等）、数据传输与控制系统（如无线通信单元、本地与远程控制组件、数据存储与处理单元等）、辅助与安全系统（如减震与防护组件、安全保护组件、辅助起降组件等）；

**2** 飞行式检测建筑机器人最大飞行高度≥100m，最大飞行速度≥8m/s（水平）、≥3m/s（垂直）。抗风等级≥6 级（风速≤10.8m/s），悬停漂移量≤±0.5m（水平）、±0.2m（垂直）。

**3** 可在-10-50℃温度、10-95% RH湿度环境下正常飞行；

**4** 单次满电续航≥20分钟，单次可检测建筑外立面面积≥1200㎡；

**5**  视觉检测可识别建筑外立面≥0.1mm 宽度的裂缝,≥1mm²的表面剥落,≥5mm的密封胶老化等表面缺陷；红外热像仪可检测≥0.1m²的外墙保温层脱空、渗漏等隐蔽缺陷，温度检测精度±2%；激光雷达可检测建筑结构≥3mm 的垂直度偏差、≥5mm 的变形量，三维建模精度≤5mm；

**6** 具备多重安全保护机制，低电量、失联、失控等异常情况下可自动启动保护程序；

**7** 支持多台机器人同时作业，通过Mesh组网实现数据共享与协同控制，可划分检测区域，避免作业冲突。

**10.2.4** 混凝土抗压检测机器人构造和性能应符合以下规定：​

**1** 混凝土抗压和钢筋力学检测机器人的构造组成包括样品抓取与定位系统（高精度机械臂）、尺寸测量模块（激光测量传感器）、抗压试验装置（高精度压力试验机）、数据采集与传输系统（以太网、WIFI、蓝牙等）；

**2** 力值测量精度达到 ±0.5% FS，位移测量精度 ±0.01mm，能精确计算混凝土试块的抗压强度，强度计算误差≤±1%；

**3** 具备全流程自动化检测功能，操作人员只需将试块放置在指定上料区域，机器人即可自动完成后续的抓取、测量、试验及数据处理工作；

**10.2.5** 钢筋力学检测机器人构造和性能应符合以下规定：​

**1** 钢筋力学检测机器人的构造组成包括钢筋抓取与上样系统（多关节机械臂）、长度与重量测量单元（激光测距仪）、力学性能检测装置（高精度材料试验机、弯曲试验机、弯曲模具及角度测量装置等）、数据处理与分析系统（数据采集卡、工业计算机）；

**2** 力值测量精度±0.5% FS，长度测量精度±1mm，重量测量精度±0.1g，角度测量精度±0.5°；

**3** 可适应不同类型钢筋，如热轧带肋钢筋、热轧光圆钢筋、冷轧带肋钢筋等的力学性能检测。

10.3 施工作业

**10.3.1** 爬壁式检测建筑机器人施工作业应符合以下规定：

**1** 作业前应对建筑周边环境（如高空障碍物、线缆分布、风力风向）及壁面状况（材质、平整度等）进行全面勘察；评估作业风险等级，针对强风（≥7级）、暴雨、雷电等恶劣天气，或壁面存在大面积松动、尖锐凸起等危险情况，应制定专项规避方案，禁止在风险未排除时启动作业；

**2** 负压吸附式应在作业前检测吸盘密封性（无漏气现象）、真空泵真空度（≥ -90kPa）；电磁吸附式应验证电磁力强度（符合对应壁面吸附要求）、断电备用吸附功能；仿生吸附式应检查脚垫磨损情况（磨损量≤1mm）、贴合度等；

**3** 作业前应测试轮组/履带传动灵活性、机械臂运动精度；校准检测传感器（高清相机焦距、超声探伤仪参数、红外热像仪测温精度等），确保数据采集准确性；检查远程控制终端通信稳定性、应急制动响应；确认电池电量（≥80%），备用电池满电待命，外接脐带缆连接牢固且绝缘达标；

**4** 作业前应依据建筑检测需求制定详细作业方案，明确检测路径、采样间隔。配置专业作业团队，至少包含1名设备操作员、1名安全监督员、1名数据记录员，人员应熟悉设备操作流程及应急处置预案；

**5** 安全监督员应全程监控机器人运行状态（如姿态、吸附力、电量等）及周边环境变化。当检测数据出现异常或设备报警时，应立即暂停作业，排查原因，制定调整方案并验证后，方可恢复作业。

**6** 机器人应配备双重防坠落装置，如安全绳、备用吸附系统；作业区域下方设置安全警戒区，放置警示标识，禁止无关人员进入。

**10.3.2**  深层地下隐蔽结构探测机器人施工作业应符合以下规定：

**1**  作业前应通过地质勘察报告、地下管线图等资料，结合人工探孔，明确地下环境参数，包括土壤 / 岩石类型、地下水位、管线分布、潜在有害气体种类及浓度。评估作业风险等级，针对高浓度有害气体、地下溶洞、高压管线等危险情况，制定专项规避方案，禁止在风险未排除时启动作业。

**2**  螺旋驱动式应在作业前检测螺旋轮磨损量、电机输出扭矩（符合设计值±5%）；多足式应在作业前测试机械足关节灵活性、足端防滑垫贴合度；

**3**  作业前应校准探地雷达频率、分辨率等参数；超声探伤仪的探测深度、精度等参数；气体传感器、温湿度与气压传感器的响应时间、精度等参数，确保数据采集的准确性；

**4**  作业前应依据地下隐蔽结构探测需求制定详细作业方案，明确探测路径、采样间隔；配置专业作业团队，至少包含1名设备操作员、1名安全监督员、1名数据记录员，人员应熟悉地下环境风险、设备操作流程及应急处置预案；

**5**  作业现场应配备有害气体检测仪、通风设备；机器人应具备有害气体超标自动报警与应急撤离功能；

**6**  机器人应配备多传感器融合避障系统（超声波、视觉、毫米波雷达）；应配备定位信标，实时向地面传输位置信息（误差≤±0.5m）。

**10.3.3** 飞行式检测建筑机器人施工作业应符合以下规定：

**1** 作业前应收集建筑基础资料（如高度、外立面材质、结构形态、门窗分布等），结合现场勘察明确作业环境参数，包括建筑周边障碍物（如树木、线缆、相邻建筑等）位置；预设飞行空域内的风力、降水、能见度等气象条件。评估作业风险等级，针对超高压线缆、狭窄建筑间距、强风涡流区等危险场景，制定专项规避方案，禁止在风险未排除时启动作业。

**2** 作业前应检查多旋翼机身结构、无刷电机、螺旋桨等是否符合作业要求；测试悬停稳定性，确保飞行姿态稳定；校准高清相机（焦距、白平衡）、红外热像仪（测温精度）、激光雷达（测距精度）；测试避障系统；检查补光灯亮度与角度适配性，避免检测画面过曝或阴影遮挡；测试远程控制终端、无线通信链路；检查电池电量，测试电池管理系统；

**3** 作业前应依据建筑检测需求制定作业方案，明确飞行参数、检测路径、采样间隔；配置专业作业团队，至少包含1名飞行操作员（持无人机驾驶员执照）、1名检测数据员、1名安全监督员，人员应熟悉设备操作流程、建筑检测标准及应急处置预案；

**4** 应按预设航线飞行，遇到突发气流导致飞行姿态波动时，操作员应立即切换至手动控制，稳定机身至安全位置后，重新校准航线再继续作业；

**5** 安全监督员应全程监控飞行状态（高度、速度、姿态）、设备参数（电池电量、电机温度、传感器数据）及周边环境变化；

**6** 作业前向当地空管部门申请临时飞行空域（明确空域范围、高度、时间），获取飞行许可后方可作业；在建筑周边设置安全警戒区，摆放警示标识，配备专人维持现场秩序。作业人员应在安全操作区作业，穿戴安全帽、防滑鞋；

**10.3.4** 混凝土抗压检测机器人施工作业应符合以下规定：

**1** 作业前应确认检测环境参数，包括作业现场温度、湿度、地面平整度等；勘察混凝土试块状态，核对试块规格、外观质量，记录试块编号、成型日期、养护条件，对不符合标准的试块（如尺寸超差、严重破损）标记为 “无效试块”，禁止投入检测。

**2** 作业前应检查机械臂关节灵活性、抓手密封性能，测试试块抓取稳定性；校准定位传感器，确保试块能精准放置于压力机中心；应检查压力机上下压板平整度、表面硬度，清理压板表面杂质；校准压力传感器，测试加载速率控制精度，确保压力机急停功能响应≤0.1s；应测试数据采集卡、上位机软件功能是否正常；

**3** 作业前应依据混凝土检测标准制定作业方案，明确加载速率、数据采集间隔、试块检测批次等；配置专业作业团队，至少包含1名设备操作员、1名试块管理员、1名数据审核员，人员应熟悉混凝土抗压检测原理、设备操作流程及异常处置预案；

**4** 数据采集系统实时记录加载过程中的压力值、位移值、加载时间，生成压力-位移曲线；每块试块检测完成后，自动计算抗压强度，关联试块编号、尺寸、养护等信息，确保数据可追溯。操作员应人工复核试块破坏形态，对破坏形态异常的试块，标记为“可疑数据”，应重新取样检测；

**5** 当加载过程中出现压力传感器数据波动、设备异响、试块偏移等异常，操作员应立即按下急停按钮，停止加载；排查异常原因，更换故障部件，验证设备正常后，重新进行检测；

**6** 应制定应急处置预案，针对设备过载、液压爆裂、试块飞溅等事故，明确处置流程；作业人员应穿戴防护装备，接触液压油时佩戴耐油手套，避免皮肤直接接触。

**10.3.5** 钢筋力学检测机器人施工作业应符合以下规定：

**1** 作业前应确认检测环境参数，包括作业现场温度、湿度、地面平整度等，避免影响拉伸、弯曲试验精度。勘察钢筋试样状态，核对试样规格，检查试样外观，记录试样编号、牌号、生产厂家、出厂日期，对不符合标准的试样标记为“无效试样”，禁止投入检测；

**2** 作业前应检查多关节机械臂、自适应夹爪，测试试样抓取稳定性；校准夹持装置平行度，确保拉伸试验时试样受力均匀，避免偏心加载；

**3** 作业前应检查材料试验机，清理夹钳齿板；校准力值传感器、引伸计，测试加载速率控制精度，确保急停功能响应≤0.1s；应检查弯曲试验机，核对弯曲模具规格；测试模具旋转精度、压头移动平稳性等；

**4** 作业前应依据钢筋力学检测标准制定作业方案，明确试验项目、拉伸加载速率、弯曲角度、试样检测批次等；配置专业作业团队，至少包含1名设备操作员、1 名试样管理员、1 名数据审核员，人员应熟悉钢筋力学检测原理、设备操作流程及异常处置预案；

**5** 数据采集系统实时记录试验过程中的力值、位移（或伸长量）、弯曲角度、试验时间，自动生成拉伸力-位移曲线、弯曲力-角度曲线；每根试样检测完成后，自动计算力学性能指标：拉伸试验计算屈服强度、抗拉强度、断后伸长率等；弯曲试验记录弯曲后试样状态，所有数据关联试样编号、规格、牌号信息，确保可追溯。操作员应人工复核试样断裂位置、弯曲部位外观，对异常数据标记为“可疑数据”，应重新检测；

**6** 当试验过程中出现力值传感器数据波动、引伸计松动、试样偏移、设备异响等异常，操作员应立即按下急停按钮，停止试验；排查异常原因，更换故障部件，验证设备正常后，重新进行试验；

**7**  应制定应急处置预案，针对设备过载、液压爆裂、试样飞溅等事故，明确处置流程；作业人员应穿戴防护装备，接触锋利试样时佩戴防割手套，避免划伤。

附录A 建筑机器人进场核查、使用与维护记录表

表A.1 建筑机器人进场检查表

编号： 日期： 年 月 日

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | |  | | | 施工单位 | | |  | | |
| 设备名称  和型号 | |  | | | 生产厂家 | | |  | | |
| 进场数量 | |  | | | 检验地点 | | |  | | |
| 序号 | 检查内容 | | | | | | 检查结果 | | | 情况说明 |
| 1 | 建筑机器人机器人出厂检验报告 | | | | | |  | | |  |
| 2 | 建筑机器人出厂合格证 | | | | | |  | | |  |
| 3 | 建筑机器人操作说明书 | | | | | |  | | |  |
| 4 | 建筑机器人使用与维护记录 | | | | | |  | | |  |
| 5 | 建筑机器人外观是否完整 | | | | | |  | | |  |
| 6 | 建筑机器人铭牌是否清晰 | | | | | |  | | |  |
| 7 | 建筑机器人安全措施功能是否正常 | | | | | |  | | |  |
| 8 | ... | | | | | |  | | |  |
| 9 | ... | | | | | |  | | |  |
| 10 | ... | | | | | |  | | |  |
| 11 | ... | | | | | |  | | |  |
| 12 | ... | | | | | |  | | |  |
| 检验结论 | | | | □同意进场 □不同意进场 | | | | | | |
| 施工单位人员签名 | | |  | | | 监理单位人员签名 | | |  | |
| 注：1.在检查结果栏按照检验情况打“√”“×”“/”，特殊情况的在，在情况说明栏 填写具体内容。其中“√”为合格，“×”为不合格，“/”为无此项。  2.建筑机器人根据其功能性能特点，补充主要系统、接口等进场检查具体内容。 | | | | | | | | | | |

表A.2 建筑机器人使用与维护记录表

项目名称：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 建筑机器人名称 | |  | 设备型号 |  | 施工单位 |  | 负责人 |  |
| 序号 | 日期 | 使用人 | 使用任务和位置 | 使用时长 | 设备运行状况 | 维护人 | 维护内容 | 情况说明 |
| 1 | 年 月 日 |  |  | 小时 | □正常运行 □故障  故障情况： |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 说明：  1.日期需填写年月日。  2.使用人为实际使用该建筑机器人的主要负责人员；  3.使用任务和位置填写具体施工内容和地点（如抹水泥砂浆，施工面积\*\*\*㎡，位于\*栋\*楼\*室）；  4.使用时长填写取用时间，从取机器到清洗归还总时间（小时）；  5.设备运行状况用于描述设备运行状况；  6.维护人为实际维护该机器人的人员，可与使用人为同一人；  7.维护内容填写具体维护和保养哪些内容，包括期间故障维修等；  8.情况说明填写一些特殊情况。 | | | | | | | | |