重庆市工程建设标准

建筑机器人应用技术标准

Technical standard for the application of construction robots

DBJ50/T-542-2026

主编单位：重庆市住房和城乡建设技术发展中心
重庆市建筑科学研究院有限公司
批准部门：重庆市住房和城乡建设委员会
施行日期：2026年6月1日

2026 重 庆

重庆工程建设

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标〔2026〕2号

重庆市住房和城乡建设委员会
关于发布《建筑机器人应用技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,重庆高新区建设局,万盛经开区住房城乡建设局、双桥经开区建设局、经开区生态环境建管局,有关单位:

现批准《建筑机器人应用技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为DBJ50/T-542-2026,自2026年6月1日起施行。标准文本可在标准备案后登录重庆市住房和城乡建设技术发展中心官网免费下载。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆市住房和城乡建设技术发展中心负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2026年2月5日

重庆工程建设

重庆工程建设

前　言

根据重庆市住房和城乡建设委员会《重庆市住房和城乡建设委员会关于下达2024年度重庆市工程建设标准制定修订项目立项计划的通知》(渝建科〔2024〕17号)文件要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国家标准，并在广泛充分征求意见的基础上，制定本标准。

本标准的主要技术内容是：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.室内装饰装修施工类；7.排水管道检测与修复施工类；8.建筑机器人作业云平台协同管理；9.安全与环境保护。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理，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。在本标准实施、应用过程中，希望各单位注意收集资料，总结经验，并将需要修改、补充的意见和有关资料交重庆市住房和城乡建设技术发展中心(地址：重庆市两江新区余松西路155号两江春城4幢，邮编：401147)，以便今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主 编 单 位：重庆市住房和城乡建设技术发展中心
重庆市建筑科学研究院有限公司

参 编 单 位：重庆交通大学
重庆智能建造研究院有限公司
深圳博匠机器人有限公司
筑邦建筑技术(重庆)有限公司
重庆美好智造装配式房屋有限公司

主要起草人：关志鹏　张雪芹　董绍江　杨修明　王永合
杨元华　王　曦　孔志鹏　焦云义　张继丁
谢贵全　胡佳文　王　栋　曹锐博　孙敬涛
张　涛　羊　波　王　蕾　陈显涛　程　瑜
夏承禹　雷　俊　彭小倩　代世清　胡　晴
张艺伟　康金柱　何雨谦　闫凯波　马　俊
张雪文　马俊达　邓烁灏　胡光伟　杨　豪
杨金龙　朱相宇　杜晓伟　王金霞　朱海廷
张皓翔　冯　伟

审 查 专 家：赵云鹏　沈治宇　杨经纬　张　意　易　嘉
黎　浩　余　周

重庆工程建设

目　次

1　总则 …… 1
2　术语 …… 2
3　基本规定 …… 4
3.1　应用准备 …… 4
3.2　应用维护 …… 5
4　楼地面混凝土施工类 …… 6
4.1　一般规定 …… 6
4.2　混凝土整平机器人 …… 8
4.3　混凝土抹平机器人 …… 15
4.4　混凝土抹光机器人 …… 20
5　部品部件安装施工类 …… 26
5.1　一般规定 …… 26
5.2　条板搬运机器人 …… 27
5.3　条板安装机器人 …… 30
6　室内装饰装修施工类 …… 34
6.1　一般规定 …… 34
6.2　地坪研磨机器人 …… 35
6.3　地坪涂料涂敷机器人 …… 39
6.4　室内喷涂机器人 …… 43
6.5　室内地砖铺贴机器人 …… 48
7　排水管道检测与修复施工类 …… 54
7.1　一般规定 …… 54
7.2　排水管道检测机器人 …… 55
7.3　排水管道修复机器人 …… 62

8 建筑机器人作业云平台协同管理 …… 70
8.1 一般规定 …… 70
8.2 云平台协同管理 …… 71
9 安全与环境保护 …… 73
9.1 安全防护 …… 73
9.2 环境保护 …… 74
9.3 网络与数据安全 …… 75
本标准用词说明 …… 76
引用标准名录 …… 77
条文说明 …… 79

重庆工程建设

Contents

1 General provisions ····· 1
2 Terms ····· 2
3 Basic requirement ····· 4
3.1 Application preparation ····· 4
3.2 Application maintenance ····· 5
4 Concrete construction for flooring ····· 6
4.1 General requirements ····· 6
4.2 Concrete leveling robot ····· 8
4.3 Concrete screeding robot ····· 15
4.4 Concrete troweling robot ····· 20
5 Installation and construction of parts and components ····· 26
5.1 General requirements ····· 26
5.2 Panel handling robot ····· 27
5.3 Panel installation robot ····· 30
6 Indoor decoration and construction ····· 34
6.1 General requirements ····· 34
6.2 Floor grinding robot ····· 35
6.3 Floor coating painting robot ····· 39
6.4 Indoor spraying robot ····· 43
6.5 Indoor floor tile laying robot ····· 48
7 Construction category for inspection and rehabilitation of drainage pipelines ····· 54

重庆工程建设

7.1 General requirements ····· 54
7.2 Pipe inspection robots for drainage systems ····· 55
7.3 Pipe rehabilitation robots for drainage systems ····· 62
8 Collaborative management of construction robot operation cloud platform ····· 70
8.1 General requirements ····· 70
8.2 Cloud platform collaborative management ····· 71
9 Safety and environmental protection ····· 73
9.1 Safety and protection ····· 73
9.2 Environmental protection ····· 74
9.3 Network and data security ····· 75
Explanation of Wording in this standard ····· 76
List of quoted standards ····· 77
Explanation of provisions ····· 79

重庆工程建设

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、效率与经济效益，加快推广先进适用的建筑机器人产品，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于建筑机器人在施工作业中的应用。

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

重庆工程建设

2 术 语

2.0.1 建筑机器人 construction robot

运用 BIM、大数据、云计算、物联网、移动通讯、AI、区块链等技术，通过集成控制系统、感知系统、驱动系统和机械系统等，以“危、繁、脏、重”的作业为重点，用于工程勘察、施工、装饰、修缮、检测等环节，由经过专门培训的人员操作或使用，辅助或替代人执行特定任务的自动化机械设备。

2.0.2 混凝土整平机器人 concrete leveling robot

由移动底盘、控制系统、振捣机构、供电系统以及激光找平系统组成，用于混凝土浇筑阶段振捣、刮平、收面、控制标高等混凝土作业的机器人。

2.0.3 混凝土抹平机器人 concrete screeding robot

由控制系统、行走系统、供电系统及磨盘提浆机构组成，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。

2.0.4 混凝土抹光机器人 concrete troweling robot

由抹刀驱动系统、姿态调整系统、控制系统、供电系统组成，用于混凝土终凝阶段进行二次提浆、压实及收光作业的机器人。

2.0.5 条板搬运机器人 panel handling robot

由移动底盘、控制系统、条板抬升机构以及条板固定机构组成，用于板材的运输、放置作业的机器人。

2.0.6 条板安装机器人 panel installation robot

由移动底盘、控制系统、板材抓取机构、板材安装系统组成，用于材料的夹取、转运及安装作业的机器人。

2.0.7 地坪研磨机器人 floor grinding robot

由控制系统、行走系统、供电系统、研磨机构等部件组成，用于地坪表面研磨作业的机器人。

2.0.8 地坪涂料涂敷机器人 floor coating painting robot

由控制系统、移动底盘、供电系统、供料系统、执行组件等部件组成，用于地坪涂料涂敷作业的机器人。

2.0.9 室内喷涂机器人 indoor spraying robot

由喷涂系统、打磨系统、传感系统、控制系统、人机交互系统等部件组成，用于建筑室内墙面、天花板等部位腻子、乳胶漆喷涂及打磨作业的机器人。

2.0.10 室内地砖铺贴机器人 indoor floor tile laying robot

由全向移动底盘系统、自主导航系统、地砖全局标高水平定位系统、地砖边缝视觉测量定位系统、四点分布式振捣系统、粘结剂精准铺设系统组成，用于地砖铺贴作业的机器人。

2.0.11 轮式管道检测机器人 wheeled pipe inspection robot

由轮式移动底盘系统、视觉检测系统、管径适配调节系统、数据实时传输系统组成，用于城市排水管道内部病害检测的机器人。

2.0.12 水陆两栖机器人 amphibious robot

水陆两栖机器人是能在水中和冲沉积层上作业的机器人，具备适应水陆两栖环境的移动和作业能力，可应用于复杂地形探索、管道勘测修复等多样化任务场景。

2.0.13 管道修复机器人 pipe rehabilitation robot

由紫外光灯链、线缆车、发电机、风机、控制系统等组成，用于排水管道结构性缺陷修复的机器人。

2.0.14 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、潮湿、多尘介质等）的工作能力和防护能力。

2.0.15 建筑机器人作业云平台 construction robot operations cloud platform

基于云计算、物联网、大数据和边缘计算技术的集成化、智能化管理与协同控制中心。

3 基本规定

3.1 应用准备

3.1.1 应制定机器人施工专项方案，明确机器人的进出场运输方式、具体应用场景、作业前置条件、工艺流程、人机协同、质量安全控制、使用维护等内容。

3.1.2 水平运输时，运输路径的空间尺寸和坡度应满足建筑机器人的最低行走要求；垂直运输时，应采用施工升降机或塔吊，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，确保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 应确保操作人员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。

3.1.5 应预先设定机器人与临边、深坑、材料堆放区及其他机械设备等的安全距离，并设置明确的安全警戒区域；在作业过程中，应严格执行非工作人员禁入制度，严禁任何非必要人员在机器人作业区域内停留或进行交叉作业，确保施工现场的安全与秩序。

3.1.6 施工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。

3.1.7 应对机器人进行全面的设备检查，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。

3.2 应用维护

3.2.1 应制定详细的机器人维护保养规程，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。

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

3.2.3 在使用后，应及时清理机器人表面的灰尘、油污、混凝土等杂物，以保持机器人整洁。

3.2.4 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。

3.2.5 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。

3.2.6 应对机器人的每次使用、检查、维护和维修进行记录并存档。

3.2.7 应定期对机器人电气系统进行维护检查，包括清洁、紧固接线、检查绝缘、检查散热等，确保电气系统的安全可靠。

重庆工程建设

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，应根据工程设计要求、混凝土性能指标、现场施工条件及工艺标准，制定专项施工方案。方案应包含以下核心内容：

1 明确施工部位与混凝土技术指标：详细列出施工区域（如地下室车库、厂房车间、标准层），明确混凝土的设计强度等级、抗渗等级、坍落度要求、浇筑厚度、表面平整度及耐磨度等关键技术指标；

2 选用机器人的型号与性能参数：根据工程量及工艺要求，明确混凝土整平机器人、抹光机器人等设备的型号；列出其主要性能参数，包括负载能力（整机重量）、工作半径（激光控制范围）、定位精度（激光接收精度）、行进速度及振捣频率，并进行施工适用性分析；

3 作业环境与前置条件复核：包括但不限于结构验收状态（模板支设、钢筋绑扎及隐蔽验收）、预埋管线位置复核（防止机器人碾压）、作业面清洁度（无杂物、无积水）、激光发射源架设点的稳定性检查，以及混凝土供应通道与设备行走通道的准备情况；

4 施工工艺流程与技术要求：详细描述从混凝土布料（人工或机械布料）、机器人进场就位、激光系统校准、自动整平作业（高频振捣与刮平）、多遍抹平收光到人工辅助边角修整的全过程步骤；明确各工序的衔接时间（如初凝前后的作业要求）及技术控制要点；

5 资源配置与协同作业：明确混凝土供应计划、运输车辆调

度、机器人进出场路径及现场组装调试计划；规划机器人工作站位及行走路线；明确机器人操作员与人工辅助团队（负责布料、局部找补、墙根柱角修整、设备清洗）的配合流程与职责分工；

6 质量风险与预防措施：针对施工过程中的主要风险（如平整度偏差、表面裂纹、漏振或过振、机器人陷车、激光信号干扰、设备故障），制定针对性的预防措施和应急处理预案（如备用发电机、备用振捣棒、人工应急收面小组）；

7 安全文明施工要求：制定现场安全防护设置标准、人员安全培训与交底制度、机器人操作安全规程（含急停操作）、用电安全措施（电缆线保护）、以及设备吊装/运输过程中的安全专项措施；

8 施工进度计划：制定详细的施工进度计划，综合考虑机器人作业效率（如每小时/每天作业面积）、混凝土供应速度、初凝时间限制、工序衔接（如切缝、养护）等因素，确保按期完成施工任务。

4.1.2 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 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。

4.1.4 同类多台机器协同工作应满足以下规定：

1 多台混凝土整平机器人应基于 BIM 模型划分作业区域，采用动态路径规划算法避免碰撞，确保覆盖面无遗漏；

2 混凝土抹平机器人组需按“Z 字形”或“螺旋式”路径协同作业，确保表面无接缝痕迹；

3 多台混凝土抹光机器人需分区域错峰作业，时间间隔≤5 分钟，避免表面硬化不均。

4.1.5 应配置培训合格的操作人员，负责机器人入场前的场地前置条件处理、安全检查和施工过程中的场地质量自检确认以及施工完成后的日常管理、维护保养等工作。操作人员数量应满足机器人施工需求，每台机器人至少配置 1 名主操作手和 1 名辅助人员。

4.2 混凝土整平机器人

Ⅰ 功 能

4.2.1 混凝土整平机器人应具备下列功能：

1 开机自检功能；

2 停障功能；

3 不同类型地面的适应功能；

4 整平作业行走无级调速功能；

5 激光发射与接收功能；

6 智能型的机器人应具备图纸或 BIM 系统导入功能；

7 遥控型的机器人应具备遥控作业功能；

8 实时信息显示和记录功能；

9 报警功能；

10 振捣刮平功能。

Ⅱ 施工应用准备

4.2.2 机器人施工前，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 4.2.2 相关规定。

表 4.2.2 设备点检表

序号	点检内容	内容明细
1	设备	一般应包含以下设备： (1)确认机器人主体、激光接收器及通讯线、激光发射器与三角支架、手持标定杆、接收器及遥控器等配件齐全 (2)机器人防雨布 (3)如进行全自动施工，施工场地附近需要有稳定的通信基站信号，RTK 及采集杆一套、平板控制器 1 个

续表4.2.2

序号	点检内容	内容明细
2	功能	(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)检查机器人的启动、停止、急停功能是否正常 (4)检查遥控器显示屏信息显示是否完整正确 (5)打开激光发射器、接收器确认激光设备功能正常 (6)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 (7)自动模式下检查机器振捣板俯仰角度
3	电池	(1)检查电池状态显示是否正常 (2)机器电量、发射器电量、手持接收器电量、遥控器电量应充足,如全自动作业还需检查 RTK 和平板控制器电量

4.2.3 整平机器人进场施工前,应对前置条件进行排查,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 4.2.3 的相关规定。

表 4.2.3-1 整平作业施工前置条件(适用于结构层板面找平)

序号	排查内容	具体事项
1	模架体系承重能力	模架体系承重需能满足机器人行走荷载要求
2	施工面积规划	(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,避免出现面积过大导致混凝土浇筑作业中断 (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(1m、1.5m、2m 或 2.5m 刮板)
3	设备进场	(1)如机器无法自行抵达作业面,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	(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

续表4.2.3-1

序号	排查内容	具体事项
5	基准标高点设置	(1)标高基准点距离作业面的距离不应大于30m (2)已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	预留预埋检查	(1)楼面采用暗藏式预埋件,不应突出地面 (2)机器人作业路线上不应有预留孔洞、预留钢筋、钢茬等,如有,需处理
7	现场配套设施	(1)机器人施工前,应核查现场供电能力是否满足机器人充电需求 (2)确保材料供应及时、运输路线畅通,保障连续施工的材料供给

表4.2.3-2　整平作业施工前置条件(适用于二次找平)

序号	排查内容	具体事项
1	基层承载与状况	(1)原结构板面或基层必须坚实、稳固,无空鼓、开裂、起砂等缺陷,承载力能满足机器人作业要求 (2)基层表面洁净,无油污、浮灰、松散物等影响粘结的杂质
2	施工面积规划	(1)应根据机器人满电连续作业时间及砂浆初凝时间,合理规划单次施工面积,确保连续作业 (2)根据房间面积、形状及障碍物(如管根、柱脚)情况,合理选择机器施工执行机构的规模(1m,1.5m,2m或2.5m刮板)
3	设备进场与运输	(1)如机器人无法自行抵达作业楼层,需协调塔吊、施工电梯等垂直运输设备 (2)人工搬运时,需规划好楼内通道,确保路径畅通、安全
4	复核钢筋绑扎情况及标高	(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	基准标高点设置	(1)标高基准点(线)必须引自统一的建筑标高线,并在作业区域内清晰标识 (2)基准点距离作业面的距离不应大于30m,且已通过复核验收,作为整平机器人的激光标高基准
6	基层处理与准备	(1)对于光滑的基层表面,需进行凿毛或涂刷界面剂处理,以增强找平层与基层的粘结力 (2)施工前,宜对基层进行洒水湿润,但不得有明水

续表4.2.3-2

序号	排查内容	具体事项
7	现场配套设施	(1)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 (2)确保材料供应及时,运输路线畅通,保障连续施工的材料供给

4.2.4 应提前准备运输车辆,规划设备进场路线,宜在板面浇筑1h前进场。

4.2.5 机器人进场及作业路线应或宜满足以下规定:

1 应具备通往施工作业面的平整道路,如不能到达作业面,需借助塔吊搬运或搭建满足机器行走条件的临时道路;

2 行进道路上应避开或清除障碍物;

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,优先选择单向通行路径,避免进退场路径重复;

4 提前规划好混凝土浇筑顺序,行走路线宜使机器人少重复作业;

5 激光发射器宜置于施工作业行进路线前方空旷稳定处,少干扰少挪动。

Ⅲ 施工应用准备

4.2.6 使用混凝土整平机器人进行整平时,应遵循表4.2.6相关施工工艺流程。

表4.2.6 混凝土整平机器人施工工序

序号	工序	要求
1	机器起吊	检查与固定吊具,吊装时注意安全检查
2	等待作业	机器稳固放置于合适位置,并注意保护机器

续表4.2.6

序号	工序	要求
3	架设激光	稳置三脚架，精调标高并进行标高复测，保证精度
4	标高调试	精确定位施工标高，通过卡环固定、基准标定与自动复测，确保振捣板水平作业精度
5	混凝土初摊平	精准控制铺设标高与骨料分布，为人机协同整平奠定基准面
6	机器整平	整平施工时，应按标号调整模式，依塌落度控制速度，连续作业并观察刮料情况，对异常区域进行标高复测

4.2.7 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和卸扣是否牢固；吊装时应采用四点吊装方式进行吊装，吊带和卸扣应满足吊装计算所需强度；

2 起吊时应由司索工根据信号指挥完成机器起吊；

3 起吊过程中，振捣板应处于升起状态；

4 吊装过程中，吊运路线下方禁止站人；

5 起吊时严禁在机器上放遥控手柄、激光发射器箱子等与机器本不为一体的物品。

4.2.8 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；

2 放置机器的场所应避免影响班组工人施工；

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 机器放置时如遇突发降雨，应采取相应防护措施。

4.2.9 架设激光应满足下列规定：

1 应在稳定区域架设三脚架，安装激光发射器；

2 应依据现场标高线利用手持杆＋手持激光接收器设定现场标高；

3 应复测现场标高，并调节激光发射器高度；

4 应复测机器人激光接收器高度；

5 班组人员移动时，应避免遮挡机器激光信号接收；

6　应确认激光能全覆盖，无障碍物遮挡，应满足建筑机器人的接收距离要求，宜在 30m 以内；

7　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；

8　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。

4.2.10　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，施工完成面应明确选择基准标高线上端口、下端口、与中间三者之一，统一标准；

3　标高调试至预设值后，应将机器设置为自调平模式，对标高预设值进行验证复测；

4　应在自调平模式下检查机器振捣板俯仰角度，确保水平。

4.2.11　混凝土初摊平应满足下列规定：

1　混凝土布料后应进行初摊平，初控混凝土铺设标高。根据标高指示，班组工人配合机器多刮少补；

2　初摊平厚度宜控制在设计标高＋30～50mm 范围内；

3　宜在机器人振捣机构和刮板附近 2m 范围安排人工补料/减料；

4 高精度地面施工时应进行过程标高复测；刮平后 3m 范围进行人工精修，接茬部位需保证 10％重叠施工。

4.2.12　混凝土整平机器人整平施工时，应符合下列规定：

1　先明确混凝土的标号、类型，将整平机器人调整至对应的工作模式；

2　应根据混凝土现场塌落度情况调整整平速度；

3　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；

4　机器操作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；

5　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。

Ⅳ　人机协同

4.2.13　机器人主要用于混凝土板面的大面积自动整平，人工负责边角区域、起始段、交接处等复杂或机器人无法覆盖的部位，以及模板边缘、钢筋密集区等需特殊处理的施工位置。

4.2.14　人工负责机器人整平前的准备工作和整平后的收尾工作。

4.2.15　人工负责机器人的作业路径规划，设定整平范围、行进速度与整平厚度；机器人按设定路径进行整平作业，人工实时监控整平质量并及时调整参数。

4.2.16　人工负责处理机器人整平过程中的异常情况，包括设备偏移、混凝土供应中断、模板变形漏浆等，并及时采取干预措施。

Ⅴ　质量控制及成品保护

4.2.17　地面整平施工完成的质量应符合下列规定：

1　在混凝土终凝前，利用激光扫平仪或 2m 靠尺进行动态复核，目视及仪器检测下，表面应无明显的凹凸、波浪纹或“漏抹”区域，确保机械整平轨迹连续无间断；

2　检查表面应色泽均匀、无浮浆过多或骨料裸露现象；在机械抹压过程中，应观察到混凝土表面泛浆良好，无明显的气孔、蜂窝麻面或漏振痕迹，确保混凝土处于密实成型状态；

3　利用红外线水准仪对关键控制点（如墙根、柱角、地漏周边）进行实时复测，确认混凝土表面标高符合设计要求、排水坡度方向正确、无倒坡或积水洼坑；

4　检查墙根、柱脚、设备基础边缘等机器人作业盲区，应处于人工辅助收面完成的状态，无明显的接槎痕迹或棱角缺失；分格缝（切缝）位置应顺直，且在混凝土达到一定强度后及时跟进；

5　混凝土表面应无龟裂、无起砂、无脱皮现象；对于耐磨地坪或超平地坪，应确认耐磨材料已均匀撒布并被机械盘完全抹入表面，处于压实收光完成的状态。

4.2.18　施工完成后，成品保护要求如下：

1　对已完成的混凝土表面进行覆盖保护，避免因后续施工或外界因素对施工面造成损坏；

2　在施工现场设置警示标志，防止人员或设备对已完成的施工面造成破坏等；

3　混凝土整平振捣作业时，应避免同一部位重复作业或超振现象。

4.3　混凝土抹平机器人

1　功　能

4.3.1　混凝土抹平机器人应具备下列功能：

1　开机自检功能；

2　停障功能；

3　不同类型的地面适应功能；

4　抹平作业行走无级调速功能；

5　智能型的机器人应具备图纸或 BIM 系统导入功能；

6　遥控型的机器人应具备遥控作业功能；

7　实时信息显示和记录功能；

8　报警功能。

Ⅱ 施工应用准备

4.3.2 机器人施工前，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 4.3.2 相关规定。

表 4.3.2 设备点检表

序号	点检内容	内容明细
1	设备	一般应包含以下设备： (1)确认机器人主体、履带抹平机转运架、遥控器、充电器等配件齐全 (2)机器人防雨布 (3)如进行全自动施工，施工场地附近需要有稳定的通信基站信号，RTK 及采集杆一套、平板控制器 1 个
2	功能	(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)抹平机先手动操作，确认各个功能按钮无误，再自动模拟试运行，确认程序、摆臂调节功能等内部因素无误 (3)检查机器人的启动、停止、急停功能是否正常 (4)检查遥控器显示屏信息显示是否完整正确 (5)打开激光发射器、接收器确认激光设备功能正常 (6)复核机器高度 (7)复核摆臂工作是否正常
3	电池	(1)检查电池状态显示是否正常 (2)机器电量、发射器电量、手持接收器电量、遥控器电量应充足，如全自动作业还需检查 RTK 和平板控制器电量

4.3.3 抹平机器人进场施工前，应对前置条件进行排查，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 4.3.3 相关规定。

表 4.3.3　抹平作业施工前置条件

序号	排查内容	具体事项
1	楼板承重能力	楼面承重需能满足机器人行走荷载要求
2	施工面积规划	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，避免出现面积过大导致混凝土浇筑作业中断
3	设备进场	(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	预留预埋检查	(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 (2)机器人作业路线上不应有预留孔洞、预留钢筋、钢茬等，如有，需处理
5	现场配套设施	机器人施工前，应核查现场供电能力是否满足机器人充电需求

4.3.4　应提前准备运输车辆，规划设备进场路线，宜在板面浇筑1h前进场。

4.3.5　机器进场路线应满足以下规定：

1　行进道路应避开或清除障碍物；

2　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，优先选择单向通行路径，避免进退场路径重复；

3　提前规划好混凝土浇筑顺序，行走路线宜少重复作业。

Ⅲ　施工工序要求

4.3.6　使用混凝土抹平机器人施工时，应遵循表4.3.6相关施工工艺流程。

表 4.3.6　抹平机器人施工工序

序号	工序	要求
1	机器起吊	起吊前严格执行检查制度，按规定进行机器起吊
2	等待作业	机器稳固放置于合适位置，并注意保护机器
3	机器抹平	动态调整参数路径，匹配转速压力，消除作业痕迹

4.3.7　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和卸扣是否牢固；吊装时应采用四点吊装方式进行吊装，吊带和卸扣应满足吊装计算所需强度；

2　起吊时应由司索工根据信号指挥完成机器起吊；

3　吊装过程中，吊运路线下方禁止站人；

4　起吊时严禁在机器上放遥控手柄、激光发射器箱子等与机器本不为一体的物品。

4.3.8　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变形或移位及机器放置不平导致倾覆打滑的事故发生；

2　放置机器的场所应避免影响班组工人施工；

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　机器放置时如遇突发降雨，应采取相应防护措施。

4.3.9　使用混凝土抹平机器人抹平施工时，应符合下列规定：

1　应先明确混凝土的标号、类型，将抹平机器人调整至对应的工作模式；

2　应根据混凝土现场塌落度情况调整抹平速度；

3　机器作业过程中应连续，以防机器抹盘在同一地点振捣时间过长，导致质量不合格；

4　机器人抹平施工应在整平作业达到一定面积时再进行，应避免机器人与班组人员交叉作业；机器人与人工作业以及其他

障碍物距离应不少于 2m；

5 抹平过程中，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。

Ⅳ 人机协同

4.3.10 机器人主要用于混凝土地面大面积的自动提浆、初次抹平与二次抹压作业；人工负责初凝时间判断、边角区域处理、局部修补、表面最终收光，以及对机器人未覆盖或施工不满足要求的部位进行补作业。

4.3.11 人工负责机器人抹平全过程的时间协调与工艺衔接，包括初凝监测、二次抹压时机控制与终凝前表面修饰。

4.3.12 人工负责机器人作业路径与工艺参数的设定，并根据初凝与表面硬化情况动态调整抹压遍数、行进速度与下压力；机器人按指令执行大面积连续作业，人工同步监控表面平整度与密实度。

4.3.13 人工负责处理机器人抹平过程中的异常情况，包括初凝不均导致的表面硬化差异、局部泌水过多、机器人重复抹压遗漏等，并及时进行人工干预或局部修复。

4.3.14 二次抹压完成后，人工负责对表面进行最终检查与修饰，重点处理机器人抹痕、气泡、边角接茬等部位，确保表面达到整体平整、无松散、无浮浆的质量要求。

Ⅴ 质量控制与成品保护

4.3.15 地面抹平施工完成的质量应符合下列规定：

1 施工完成后的混凝土表面应无明显的刮痕、波浪纹或机械行走痕迹，无局部凹陷或凸起；利用激光扫平仪或 2m 靠尺进行动态检测时，应显示表面高程差值在允许范围内，且无报警提示；

2 混凝土表面应处于湿润、密实的状态，骨料应被砂浆均匀

包裹，无石子裸露、蜂窝或孔洞；表面应泛出均匀的水泥浆，无积水、无浮浆过多堆积现象，且无明显的气泡残留；

3 在实时监测下，混凝土面层标高应与设计标高一致，控制点数值稳定；排水坡度方向应清晰流畅，地漏或排水沟周边应呈平顺的凹陷过渡，无倒坡或积水死角；

4 墙根、柱脚及设备基础边缘应顺直平整，无塌边、缺棱掉角现象；施工缝或伸缩缝位置应清晰、顺直，缝边无毛刺或撕裂，且缝内无多余混凝土残留；

5 表面应无龟裂纹、无起砂、无脱皮剥离迹象；对于耐磨地坪，耐磨骨料应已均匀播撒并被机械盘完全揉压入表层，处于色泽一致、无干料团聚或漏抹区域的压实状态。

4.3.16 施工完成后，成品保护应符合下列规定：

1 地面抹平作业时，应通过底盘举升功能完成设备转向，不宜直接转弯作业以免破坏成品工作面；

2 建议行人穿着软底鞋，并在进入地坪区域前清除鞋底杂物，以减少锐利物体对地坪的划伤；

3 搬运物品和机械设备时应轻拿轻放，避免重物冲击地面；严禁使用重物或工具敲击地面，或直接在地坪上拖移重物。

4.4 混凝土抹光机器人

Ⅰ 功 能

4.4.1 混凝土抹光机器人应具备以下功能：

1 开机自检功能；

2 停障功能；

3 抹光作业时无极调速的功能；

4 智能型的机器人应具备图纸或 BIM 系统导入功能；

5 遥控型的机器人应具备遥控作业功能；

6 实时信息显示和记录功能；

7 报警功能。

Ⅱ 施工应用准备

4.4.2 混凝土抹光机器人施工前，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 4.4.2 相关规定。

表 4.4.2 设备点检表

序号	排查内容	具体事项
1	设备	(1)确认机器人主体、遥控器、充电器、备用刀片等配件齐全 (2)机器人防雨布 (3)如进行全自动施工，施工场地附近需要有稳定的通信基站信号，RTK 及采集杆一套、平板控制器 1 个
2	功能	(1)启动/停止响应是否正常 (2)急停按钮是否有效(响应时间≤0.5 秒) (3)抹刀转速调节是否平稳(50～150rpm 可调) (4)遥控器显示屏信息显示是否完整正确
3	电池	(1)电量显示准确(误差≤5%) (2)满电状态下续航时间≥4h (3)点检结果需记录并签字存档，不符合项需整改后方可施工
4	吊装	(1)抹刀上是否有残留异物 (2)吊装框架是否牢固

4.4.3 抹光机器人进场施工前，应梳理确认前置条件，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 4.4.3 相关要求。

表 4.4.3 抹光作业前置条件

序号	排查内容	具体事项
1	施工面积规划	应根据机器人满电连续作业时间提前规划合理的施工面积，必要时准备好备用电池

续表4.4.3

序号	排查内容	具体事项
2	设备进场	(1)如机器无法自行抵达作业面,可用起重机或塔吊转运至作业面 (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)如夜间抹光施工结束,宜安排塔吊协助吊运机器离场;如无法及时离场,宜考虑次日是否影响现场施工
3	复查板面混凝土情况	(1)检查作业面是否有裸露的钢筋、石子等障碍,如有,应清除 (2)作业面四周如有可靠围挡,宜预留安全距离1.5米 (3)检查作业面,踩上去后脚印下沉不应超过5mm (4)试运转主动机、从动机都用低转速进行行走和转弯功能
4	预留预埋检查	(1)楼面采用暗藏式预埋件,不应突出地面 (2)机器人作业路线上不应有预留孔洞、预留钢筋、钢茬等,如有,需处理
5	设备清洗	机器施工结束后,应有合适位置清洗机器,并应注意清洗用水及排污处理
6	现场配套设施	机器人施工前,应核查现场供电能力是否满足机器人充电需求

4.4.4 机器进场路线应满足以下规定:

1 应具备通往施工作业面的平整道路,如不能到达作业面,需借助塔吊搬运或搭建满足机器行走条件的临时道路;

2 行进道路应避开或清除障碍物;

3 机器进场前,如设备距离施工作业场地较远,应提前准备车辆运输。

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

4.4.6 应提前规划混凝土区域浇筑顺序,宜将抹光机器人放置于最先出作业面处备用,并在混凝土终凝前及时跟进使用,保证抹光收面施工效果。

Ⅲ 施工工序要求

4.4.7 使用混凝土抹光机器人施工时，应遵循表 4.4.7 相关施工工艺流程。

表 4.4.7 抹光机器人施工工序

序号	工序	要求
1	准备工作	在正式作业前需进行各项指标检查，以确保设备运行安全可靠，避免因设备异常影响施工质量或引发安全事故
2	机器起吊	在吊装过程中应执行安全操作要求，旨在防止设备损坏和人员伤害，确保吊装作业的规范性和可靠性
3	等待作业	注意存放要求，确保设备安全、避免影响其他工序，并保障施工场地的有序性
4	机器抹光	应执行技术控制要求，确保抹光质量达到规范标准，同时提高施工效率

4.4.8 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，检查机器吊环固定或吊带绑扎是否牢固；

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、激光发射器箱子等与机器本不为一体的物品。

4.4.9 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变形或移位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避免影响班组施工；

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 机器放置时如遇突发降雨，应采取相应防护措施。

4.4.10 使用混凝土抹光机器人抹光施工时，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，以达到最佳的抹光效果；

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，调整机器人的刀片转速和压力，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。

Ⅳ　人机协同

4.4.11　机器人主要用于混凝土接近终凝阶段的地面大面积自动收光作业；人工负责边角、墙根、设备基础周边等区域的最终手工收光，并对机器人作业起始段、路径交接处等部位进行接茬与修饰处理。

4.4.12　人工负责机器人抹光前的条件确认与抹光后的整理工作。

4.4.13　人工负责规划机器人的作业路径、遍数及抹盘角度；机器人按设定程序执行连续、匀速的大面积收光作业，人工实时监控表面光洁度与整体平整度，并根据现场情况调整机器作业参数。

4.4.14　人工负责处理机器人作业中的异常状况，如局部表面过早硬化、机器人漏光、抹痕明显、边角处理不到位等，并及时进行人工修补或工艺调整。

Ⅴ　质量控制与成品保护

4.4.15　地面抹光施工完成的质量应符合下列规定：

1　抹光完成后的表面应密实、平整，无抹子纹路、无砂眼、无裂纹；对于耐磨或高性能地坪，表面应呈现出均匀的金属光泽或致密浆膜，无漏抹、无砂粒突起；

2　表面应色泽均匀一致，无浮浆堆积、无起砂、无脱皮、无麻面现象；在抹光机盘印迹处应已完全闭合，无明显的机械作业痕迹残留；

3　墙根、柱脚、门洞口等机械难以覆盖的部位，人工收光应平滑过渡，无毛刺、无棱角缺失；分格缝边缘应平直、无崩边，缝内清洁无余浆；

4　若设计有防滑纹理（如机械拉毛或盘抹纹理），纹理应均匀一致、深浅适中，无漏压或过度抹压导致的纹理消失现象；

5　在施工完成撤离设备时，表面应已达到初步的压光硬度，踩踏无明显脚印（或仅有轻微印痕），且无粘脚感，表明已达到初凝后的压光完成标准。

4.4.16　地面抹光施工作业收尾阶段，应合理规划设备退场行走路线，避免拖拽引起作业成型面二次破坏；抹光作业完成后，混凝土完全硬化前，应禁止人员踩踏，并按时洒水养护，避免出现脱水开裂等现象。

重庆工程建设

5　部品部件安装施工类

5.1　一般规定

5.1.1　使用机器人进行部品部件安装施工时，应根据工程设计要求、部品部件类型与规格、现场施工条件等因素，制定专项施工方案。方案应包含以下核心内容：

1　明确部品部件安装部位、类型、数量、尺寸、重量等关键技术指标；

2　选用机器人的型号、主要性能参数（如负载能力、工作半径、定位精度、自由度）、适用性分析；

3　包括但不限于结构验收状态，预埋件、连接件位置与质量复核，运输通道与作业面准备情况，相邻工序衔接；

4　详细描述从部品部件吊运/运输至工作面、机器人就位、抓取、定位、调整、临时固定到最终连接（如灌浆、焊接、螺栓紧固）的全过程步骤及技术要求；

5　明确部品部件供应计划、堆放场地要求、机器人进出场路径、工作站位规划、机器人操作与人工辅助配合的流程（如吊装指挥、微调辅助、连接作业）；

6　针对安装过程中的主要风险（如倾覆、碰撞、高空坠落、定位偏差过大、连接失效），制定针对性的预防和应急措施；

7　现场安全防护设置、人员安全培训与交底、机器人操作安全规程、用电安全、吊装作业安全等具体要求；

8　制定详细的安装进度计划，考虑机器人效率、部品部件供应、工序衔接等因素。

5.1.2　机器人运行及部品部件临时堆放的地面或结构层应坚

实、平整、清洁，宜为硬化混凝土面层，承载力应满足机器人自重、作业负载及部品部件堆放荷载的要求。

5.1.3 机身结构应设计合理、操作界面友好、维护保养便捷。关键运动部件应具备足够的刚度和稳定性，确保安装精度。

5.2 条板搬运机器人

Ⅰ 功 能

5.2.1 条板搬运机器人应或宜具备下列功能：

1 应具备启动自检功能；

2 应具备运动实时监测功能；

3 应具备全向移动的功能；

4 应具备将条板从摆放位置抓取/叉取并固定在机器人上的功能；

5 应具备急停功能；

6 应具备独立电源供电功能；

7 应具备无线控制终端；

8 宜具备障碍物检测功能。

Ⅱ 施工应用准备

5.2.2 应配置培训合格的操作人员，负责机器人入场前的场地前置条件处理、安全检查和施工过程中的场地质量自检以及施工完成后的日常管理、维护保养等工作，操作人员应按要求穿戴劳保用品。

5.2.3 使用条板搬运机器人前，应根据条板的材质、规格尺寸、重量等建筑物特征、堆场环境等因素，选择与作业内容匹配的机型，并对机器人进行点检，点检内容应符合表 5.2.3 相关规定。

表 5.2.3　设备点检表

序号	点检内容	内容明细
1	设备	(1)搬运机器人 1 台 (2)操作控制器 1 个
2	功能	(1)检查机器人和操作控制器的外观 (2)检查启动、停止、急停等功能是否正常 (3)检查搬运机器人和控制器的电量情况 (4)检查指示灯、传感器等是否正常 (5)检查机器人与控制器的通讯是否正常 (6)检查叉取、举升、锁紧等功能是否正常 (7)检查前进、后退、转向、原地旋转等功能是否正常
3	夹具	检查搬运机器人的夹具是否匹配条板规格

5.2.4　条板搬运机器人作业前，应确认前置条件，并应符合表 5.2.4 的相关规定。

表 5.2.4　条板搬运作业前置条件

序号	排查内容	具体事项
1	堆场	条板搬运机器人作业的地面堆场应平整，无杂物，板垛放置高度应符合所选条板搬运机器人的叉取范围
2	路径、承载	路径承载力应满足机器人自重、作业负载及部品部件堆放荷载的要求，路径坡度小于 15°，宽度及转弯半径满足机器人运载通行需求
3	施工电梯	施工电梯的空间及负载应满足机器人作业需求

Ⅲ　施工工序要求

5.2.5　使用条板搬运机器人进行搬运时，应遵循表 5.2.5 相关施工工艺流程。

表 5.2.5　条板搬运机器人施工工序

序号	工序	要求
1	施工准备	复核载荷要求，规划运输路径，准备相应辅材
2	机器人进场	路径满足机器人通行要求
3	装载条板	对条板进行叉取、顶升装载作业
4	搬运条板	操控机器人进行条板运输作业，卸料平台、电梯、楼地面应满足载荷、机器人运载通行要求
5	卸载条板	对条板进行顶升卸载，板材按施工位置堆放

5.2.6　作业过程中，应注意以下事项：

1　应根据条板类型、搬运要求、质量要求，合理配置施工辅材；

2　装载作业时确认各执行机构处于初始位置；

3　确认板材装载方向，将机器人夹具与板材对中；

4　运输时夹爪保持夹紧固定；

5　搬运过程中不应触碰装载执行机构；

6　选用合适的搬运行走速度；

7　进入施工电梯时，应选用合适的操作位置；

8　卸载板材时，应缓慢操作，避免磕碰。

Ⅳ　人机协同

5.2.7　条板搬运机器人用于条板的叉取和搬运，人工负责置物架或垫块的放置，保障机器人作业顺畅。

5.2.8　机器人进场作业前，人工负责清理作业现场，处理搬运机器人作业过程中的异常情况，确保机器人作业顺畅、高效。

5.2.9　人工负责材料堆放规划。

Ⅴ　质量控制与成品保护

5.2.10　完成卸板后，应对条板进行检查，确保条板无损坏。

5.2.11 对已完工的墙、柱、地面，应采取保护措施。

5.3 条板安装机器人

Ⅰ 功 能

5.3.1 条板安装机器人应或宜具备下列功能：

1 应具备启动自检功能；

2 应具备运动实时监测功能；

3 应具备全向移动的功能；

4 应具备条板夹取功能；

5 应具备条板安装功能；

6 应具备急停功能；

7 应具备独立电源；

8 应具备遥控操作功能；

9 宜具备障碍物检测功能，能自主感知障碍物，起到防撞击、保护设备和人员安全的作用。

Ⅱ 施工应用准备

5.3.2 应配置经专业培训合格的操作人员，负责机器人入场前的场地前置条件处理、安全检查和施工过程中的场地质量自检以及施工完成后的日常管理、维护保养等工作，安装人员数量应满足机器人施工需求，作业人员按要求穿戴劳保用品。

5.3.3 应根据条板的尺寸、重量、材料，建筑物的空间，选用适用的条板安装机器人型号。机器人施工前，应对机器人按表 5.3.3 进行点检。

重庆工程建设

表 5.3.3　设备点检表

序号	点检内容	内容明细
1	设备	(1)条板安装机器人 1 台 (2)操作控制器 1 个
2	功能	(1)检查机器人和操作控制器的外观 (2)检查启动、停止、急停等功能是否正常 (3)检查机器人和控制器的电量情况 (4)检查指示灯、传感器等是否正常 (5)检查机器人与控制器的通讯是否正常 (6)检查夹爪、旋转、平移、举升、俯仰等功能是否正常 (7)检查前进、后退、转向、原地旋转等功能是否正常
3	夹具	检查机器人的夹具是否匹配条板规格

5.3.4　条板安装机器人作业前，应编制专项施工计划，包括安装机器人型号选择、作业路径、垂直运输方式、人员配置、物料、辅材等。

5.3.5　机器人施工作业场地地面坡度应小于 15°，地面沟宽应小于 5cm，地面障碍物高度应小于 5cm，作业场地载荷应满足机器人自重、作业负载及部品部件堆放的要求。

5.3.6　机器人进场施工前，应明确机器人尺寸、装车和卸车方法、进入楼层途径。使用施工电梯进行垂直运输，施工电梯的门洞高度、宽度及深度，应满足机器人通行要求。使用塔吊和卸料平台吊装时，吊绳和卸料平台应满足机器人承重，卸料平台空间尺寸应满足机器人通行，并符合表 5.3.6 的相关规定。

表 5.3.6　条板安装作业前置条件

序号	排查内容	具体事项
1	条板放置	条板放置位置，应在机器人夹爪动作范围之内；放置姿态，应符合机器人抓板要求
2	工具辅材	提前准备好管卡、炮钉、木楔子、撬棍、砂浆等工具及材料
3	条板规格	条板与安装空间匹配，如需加工，则需切割后安装
4	路径承载	应满足机器人自重、作业负载及部品部件堆放荷载的要求

Ⅲ 施工工序要求

5.3.7 使用条板安装机器人进行墙板安装时，应遵循表 5.3.7 相关施工工艺流程。

表 5.3.7 条板安装机器人施工工序

序号	工序	要求
1	固定 U 型卡/管卡	将 U 型卡固定在梁、柱上/将管卡固定在条板上
2	放置条板	按所选机器人抓板要求，明确条板放置离地高度以及间隔宽度
3	抓取条板	根据条板的放置姿态，选择合适的路径抓取条板
4	调整姿态	操作旋转、俯仰、升降等机构，条板姿态便于机器人移动
5	行走	操作机器前进、后退、转向、原地旋转、平移等
6	调整位置	操作旋转、俯仰、升降、平移等机构，将条板放置在安装位置
7	固定	条板上下两端打入木楔固定
8	机器人退出	机器人夹爪松开条板，退出到指定位置
9	填充砂浆	将条板与梁柱、条板与条板接缝处填充砂浆，收光抹平

5.3.8 使用条板安装机器人作业时，应符合以下规定：

1 应根据条板类型、安装要求、质量要求，合理配置施工辅材；

2 规划合理的板材放置区域、安装顺序、作业人员分工；

3 板材如需加工，应在机器人抓取前进行；加工后板材宽度若小于 300mm，不宜用机器人安装；

4 操作人员处于适当位置，便于观察；

5 条板抓取时应确认各执行机构处于初始位置；

6 确认板材装载方向，将机器人夹具与板材对中；

7 夹取条板，调整各机构，使板材处于合理运输姿态；

8 行走过程中应防止触碰夹板机构，应避免传感器信号受到干扰；

9　选用合适的行走速度；

10　板材进入预定安装位置微调时，应控制各机构缓慢动作，避免磕碰；

11　板材位置调整到位后，安装辅材（U 型卡、管卡、木楔子等）并固定牢靠，夹爪松开，机器人安全退出；

12　人工抹灰勾缝，安装完成。

Ⅳ　人机协同

5.3.9　条板安装机器人主要用于条板的抓取和竖立，人工负责粘接剂涂抹，U 型卡或者管卡安装，并在机器人将条板移动到待安装位置后辅助打入木楔、炮钉等，以固定条板。

5.3.10　机器人进场作业前，人工负责清理作业路径上的杂物，保障机器人无障碍通行。

5.3.11　人工负责不规则区域的条板切割。

Ⅴ　质量控制与成品保护

5.3.12　条板完成安装后的平整度、拼缝质量、牢固度应符合《轻质隔墙条板应用技术标准》DBJ50/T-338 相关要求。

重庆工程建设

6 室内装饰装修施工类

6.1 一般规定

6.1.1 使用建筑机器人进行施工前，应进行前置条件验收、选取合适的施工工艺和编制施工安全技术方案，并应包括下列内容：

1 工程概况；

2 前置条件分析；

3 机器人选型及配置；

4 人员配置；

5 施工计划；

6 施工工艺技术；

7 质量控制措施；

8 安全文明施工管理措施等。

6.1.2 应提前规划机器人进出场路线，长距离运输宜采用汽车等运输设备，场内作业面之间转移可采用遥控行走或吊运等方式，并应符合下列规定：

1 机器人遥控行走时，应有满足设备通行的进出通道；

2 当进出场道路通行困难时，可采用汽车吊或塔吊等方式吊运至施工场地。

6.1.3 机器人行走区域地面沟宽应小于 50mm，障碍物高度应小于 30mm，地面坡度不应大于 15°。

6.1.4 机器人应能顺利进出室内各作业空间，室内门洞高度不宜小于 1800mm，宽度不宜小于 1000mm。

6.1.5 机器人操作人员配置应或宜符合下列规定：

1 应配置 1 名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人员数名，配合机器人作业。

6.1.6 大面积施工前，宜选取有代表性区域进行样板施工，并应根据样板结果调整施工工艺参数。

6.2 地坪研磨机器人

Ⅰ 功 能

6.2.1 地坪研磨机器人应具备下列功能：

1 应具备各模块状态自检和故障报警功能；

2 应具备手动作业和自动作业功能；

3 应具备作业路径规划功能，可按设定路线自主完成作业；

4 应具备障碍物检测功能，感知障碍物后能自动停机；

5 应具备实时信息显示与数据记录功能；

6 应具备异常工作状态报警功能。

6.2.2 地坪研磨机器人应或宜具备下列性能：

1 研磨盘对地压力应不小于 2kN；

2 研磨盘转速应符合研磨质量要求；

3 机器人转场行走宜具备储电方式供电。

Ⅱ 施工应用准备

6.2.3 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 6.2.3 相关规定。

表 6.2.3　设备点检表

序号	点检内容	内容明细
1	设备	确认机器人主体、遥控器、充电器等配件齐全
2	功能	(1)检查线缆及接头状态,严禁线路破损、老化、松动时开机 (2)急停按钮功能应正常 (3)外部防护装置应完整 (4)研磨主电机本体、研磨设备功能应完整 (5)电控柜内应清洁、无杂物、无浸液 (6)主电源应能稳定输出 (7)磨片应安装正确、无松动
3	电池	(1)电池状态显示应正常 (2)机器电量、遥控器电量应充足

6.2.4　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。

6.2.5　施工前,应对现场已完成的墙、柱做好成品保护。

6.2.6　现场供电应满足地坪研磨机器人的使用要求。

6.2.7　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,进出作业面通道应满足机器人通行。

Ⅲ 施工工序要求

6.2.8 地坪研磨机器人施工工序和要求宜符合下列规定：

1 地坪施工工序和要求宜符合表 6.2.8 相关规定；

表 6.2.8 地坪研磨机器人施工工序

序号	工序	要求
1	施工准备	地坪基层满足要求，场地清理干净，进场道路通畅
2	粗磨	无漏磨，表面无起砂且无明显接缝线
3	细磨	逐级由低目数向高目数研磨，避免出现影响质量的划痕
4	抛光	研磨轨迹方向与前道工序交错，避免出现明显的单向研磨轨迹

2 靠近墙、柱边缘约 100mm 范围内，宜采用人工方式进行打磨处理。

6.2.9 根据施工现场地面情况、设计要求和机器人的性能，确定粗磨地面的磨头目数、研磨遍数以及行走速率等施工工艺参数，并应符合下列规定：

1 应根据施工工艺选择粗磨磨头；

2 研磨应按目数由低到高依次进行；

3 每次研磨结束后应进行检查，对出现缺陷的区域应修补；

4 机器人无法施工的区域应由人工打磨处理，接缝处应平顺、无明显差异；

5 粗磨结束后应检查地面的平整度和表面观感质量。

6.2.10 地坪研磨机器人进行细磨施工时，应根据上道工序施工质量，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要求的磨片目数和研磨顺序，逐级由低目数向高目数研磨；

2　机器人无法施工的区域，应人工打磨处理，接缝处应平顺、无明显差异；

3　每次细磨结束后，应将地面清扫干净；

4　应密切关注划痕现象，避免划痕影响下道工序质量；

5　细磨结束后应按照质量验收标准对地面平整度和表面观感度进行检查，应做到手感光滑、观感平整。

6.2.11　地坪研磨机器人进行抛光施工时，应根据地面上道工序施工质量和设计要求，确定初始抛光磨片、抛光次数等施工工艺参数，并应符合下列规定：

1　抛光磨片的目数应根据细磨后的地面状况以及抛光效果进行选择；

2　研磨轨迹方向应呈“井字形”交错，避免出现明显的单向研磨轨迹；

3　每次抛光结束后，应将地面清扫干净；

4　抛光施工完成后，应做到手感光滑细腻、观感平整均匀、光泽均匀一致、无明显打磨痕迹，无起灰、起砂现象且无明显接缝线。

Ⅳ　人机协同

6.2.12　使用地坪研磨机器人施工时，人工作业应包含以下主要内容：

1　进行机器人路径规划，设定作业范围与参数；

2　协助清理施工现场，移除障碍物；

3　监控研磨效果，及时调整参数或更换磨片；

4　处理研磨过程中的异常情况与设备故障等；

5　修补机器人无法覆盖的区域和缺陷位置；

6　清理现场，保护成品，处理废料并清洗设备。

6.2.13　机器人作业内容应为按规划路径自动完成研磨作业。

Ⅴ 质量控制与成品保护

6.2.14 研磨施工质量应符合下列要求：

1 应满足下道工序的前置条件验收要求；

2 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 的规定和设计要求。

6.2.15 研磨完成后、下道工序施工前，应采取下列成品保护措施：

1 应设置醒目警示标识，防止人员、设备误入损坏；

2 应避免重物拖拽、尖锐物品划伤地面；

3 应防止水、油或其他液体污染地面，如有污染需立即清除。

6.3 地坪涂料涂敷机器人

Ⅰ 功能

6.3.1 地坪涂料涂敷机器人应具备下列功能：

1 应具备各模块状态自检和故障报警功能；

2 应具备手动作业和自动作业功能；

3 应具备涂料余量自动检测和低料报警功能；

4 应具备作业路径规划功能，可按设定路线自主作业；

5 应具备障碍物检测功能，感知障碍物后能自动停机；

6 应具备实时信息显示与数据记录功能；

7 应具备异常工作状态报警功能。

6.3.2 地坪涂料涂敷机器人应具备下列性能：

1 涂敷效率不应小于 $100m^2/h$；

2 续航时间应≥4h。

Ⅱ 施工应用准备

6.3.3 使用地坪涂料涂敷机器人施工前应对设备进行点检，点检内容应符合表6.3.3相关规定。

表6.3.3 设备点检表

序号	点检内容	内容明细
1	设备	确认机器人主体、遥控器、充电器等配件齐全
2	功能	(1)电控柜内应清洁，无杂物、积灰、浸液 (2)供料管道、泵送装置及末端执行机构应安装正确、功能正常
3	电池	(1)电池状态显示正常 (2)机器人电量、遥控器电量应充足

6.3.4 地坪涂料涂敷机器人进行施工时，基层应符合下列规定：

1 基层表面应平整、干净；

2 混凝土强度应满足设计及规范要求；

3 基层含水率应符合涂料的技术要求。

6.3.5 应根据涂料类型、工艺要求及施工面积，结合材料损耗合理确定备料量。

6.3.6 施工前，应对现场已完成的墙、柱等部位做好成品保护。

6.3.7 地坪涂料涂敷机器人施工时，环境温度应符合涂料的技术要求，相对湿度宜小于85%。

6.3.8 地坪涂料涂敷机器人施工前，地面前置条件应符合下列规定：

1 上道工序应验收合格；

2 地面应打磨平整并具备适当粗糙度；

3 场地应清扫干净，地面应无渗漏、无积水、无油污、无浮浆；

4 施工范围内的坑、沟、井等部位应做好防护；

5 使用溶剂型涂料时，应设置危废处理区。

Ⅲ 施工工序要求

6.3.9 地坪涂料涂敷机器人施工工艺流程宜满足下列要求：

表 6.3.9 地坪涂料涂敷机器人施工工序

序号	工序	要求
1	施工准备	地坪基层满足要求，场地清理干净，进场道路通畅
2	底涂施工	涂刷均匀、连续，无漏涂现象
3	中涂施工	涂刷均匀，厚度符合要求
4	面涂施工	涂刷均匀，不应有刮痕

6.3.10 地坪涂料涂敷机器人施工前，应选择适配的涂刷方式和末端执行组件，现场打样确认各涂层材料配比、设备运转参数等施工工艺参数。

6.3.11 使用地坪涂料涂敷机器人进行底涂施工时，应符合下列规定：

1 末端执行组件应与工艺要求匹配；

2 涂刷应均匀、连续，不应漏涂；

3 机器人无法作业的区域或缺陷位置应进行人工补涂；

4 涂层表面应无泛白、起壳、脱落等现象；

5 涂层固化过程中应采取防护措施，避免污染。

6.3.12 使用地坪涂料涂敷机器人进行中涂施工时，应符合下列规定：

1 末端执行组件应与工艺要求匹配；

2 涂层应涂刷均匀，厚度应符合设计要求；

3 机器人无法作业的区域或缺陷位置应进行人工补涂；

4 涂层表面应密实、平整、均匀，不得有开裂、起壳等现象；

5 涂层固化过程中应采取防护措施，避免污染。

6.3.13 使用地坪涂料涂敷机器人进行面涂施工时，应符合下列规定：

1 末端执行组件应与工艺要求匹配；

2 涂层应涂刷均匀，不应有刮痕，并进行脱泡处理。厚度、颜色应符合设计要求；

3 机器人无法作业的区域或缺陷位置应进行人工补涂；

4 涂层表面应平整光滑、色泽均匀，不应有开裂、空鼓、漏涂等现象；

5 涂层固化过程中应采取防护措施，避免污染。

Ⅳ 人机协同

6.3.14 使用地坪涂料涂敷机器人施工时，人工作业应包含下列内容：

1 检查基层是否符合涂敷条件；

2 进行机器人路径规划，设置涂敷范围、速度等参数；

3 清理施工现场，移除障碍物；

4 监控涂敷效果，及时补充材料；

5 处理涂敷过程中的异常及设备故障等；

6 修补机器人无法覆盖的区域和缺陷位置；

7 清理现场，保护成品，处理废料并清洗设备。

6.3.15 机器人作业内容应为按规划路径自动完成涂敷作业。

Ⅴ 质量控制与成品保护

6.3.16 地坪涂料涂敷施工完成的质量应符合下列规定：

1 涂层厚度、颜色应符合设计要求；

2 面层色泽应均匀一致、无浮色发花，不应有起泡、起皮、泛砂等现象；

3　面层的允许偏差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 的规定。

6.3.17　地坪涂料涂敷施工完成后的养护应符合下列规定：

1　养护期间环境温度宜为 15℃～30℃；

2　养护天数不应少于 7d；

3　养护期间应采取防水、防晒、防污染等措施；

4　养护期间不宜踩踏和碾压。

6.3.18　在地坪涂料施工完成后，应立即对施工区域进行成品保护：

1　设置警示标识、警示带或围栏，严禁无关人员和设备进入；

2　地坪涂料未完全固化前，避免重物、尖锐物体或高温物体直接接触地面。设备、工具等应轻拿轻放，避免拖拽或滑动，以防损伤涂层；

3　防止水、油、酸、碱等液体污染地面，如有液体污染，应立即进行清理，避免其长时间停留导致涂层变色或损坏；

4　地面上放置物品时，应使用垫板或托盘，防止物品直接接触地面，以免造成污染或损坏；

5　禁止在地面上进行电焊、切割等作业，防止火花溅射到涂层，造成损坏。

6.4　室内喷涂机器人

Ⅰ　功　能

6.4.1　室内喷涂机器人应或宜具备下列功能：

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，实现喷涂均匀、一致的效果；

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 应内置导航定位模块和运动控制系统，能在室内环境下精确定位和自主导航移动；

5 应具备空间感知功能，并能联动运动控制系统，实现自动避障；

6 应具备实时信息显示及记录功能，支持运行状态、工艺参数、故障报警等信息的可视化展示及历史数据存储；

7 应配备无线控制终端，支持通过操作面板实现机器人启停、模式切换、路径规划等功能；

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；

9 宜具有打磨功能和全自动作业功能，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，全自动施工。

6.4.2 室内喷涂机器人应具备下列性能：

1 墙面腻子喷涂效率≥50m^2/h，墙面漆喷涂效率≥150m^2/h；

2 续航时间≥4h；

3 机械臂、喷涂机泵、电控柜等的 IP 防护等级满足 IP54 要求。

Ⅱ 施工应用应用准备

6.4.3 使用室内喷涂机器人施工前应对设备指标进行检查，检查内容应符合表 6.4.3 相关规定。

表 6.4.3　设备点检表

序号	检查内容	内容明细
1	设备	机器人 1 台，操作控制器 1 个
2	功能	(1)检查电源开关的旋转动作、触点接通是否正常，如有异常严禁启动设备 (2)检查急停按钮的按压、旋转松开动作、触点通断是否正常，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是否完整，防护设施不完整时严禁开机 (4)检查安全防护，通过动作测试检查全部的防撞条报警功能是否正常 (5)检查电池的外壳、充放电功能是否正常 (6)检查喷涂系统是否正常 (7)检查磨片是否有松动、安装不到位等异常 (8)检查导航传感器表面是否有污染、遮挡等异常
3	电池	(1)无线控制终端电量是否充足 (2)机器人电池电量和所配备的备用电池电量是否充足

6.4.4　室内喷涂机器人进行施工时，施工基层应符合以下规定：

1　基层表面应干净、坚固，无灰尘、油污、脱模剂等污染物，无空鼓、开裂、疏松等缺陷；

2　基层质量、允许偏差和检验方法应符合国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210 的有关规定；

3　腻子施工基层墙面应坚固，无空鼓、开裂、疏松等缺陷，如有空鼓需铲除并重新抹灰，开裂处要进行修补处理；

4　涂料施工基层应干燥，含水率不超过 10%。

6.4.5　室内喷涂机器人施工前应对现场施工成品采取相对应的措施进行保护，确保已有成品不受损坏。

6.4.6　室内喷涂机器人通行路径宜满足以下规定：

1　机器人通行高度和通行宽度应满足机器人需要；

2　通行道路畅通无阻，地面坑洼≤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≤3cm；

5　通道照明设施齐全。

6.4.7　室内喷涂机器人施工环境应满足以下规定：

1　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；

2　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°；

3　现场供电应满足室内喷涂机器人的使用要求；

4　现场应设有工地用水及废水处理区域。

6.4.8　腻子、涂料的流动性、粘度、分散性、抗流挂性、颗粒度等性能指标应满足室内喷涂机器人作业手册要求。

Ⅲ　施工工序要求

6.4.9　室内喷涂机器人施工工序应符合表6.4.9相关规定。

表6.4.9　室内喷涂机器人施工工序

序号	工序	要求
1	路径规划	自动路径规划或遥控路径规划
2	机器人第一遍腻子喷涂	应符合机器人喷涂规定
3	人工补充涂敷	与机器人喷涂的接缝处应无明显差异
4	机器人第二遍腻子喷涂	应符合机器人喷涂规定
5	人工补充涂敷	与机器人喷涂的接缝处应无明显差异
6	找平层验收	平整、坚实、牢固，无粉化、起皮和裂缝，粘结强度符合标准
7	路径规划	自动路径规划或遥控路径规划
8	施工设备或机器人打磨	应符合施工设备或机器人打磨规定
9	人工打磨修补	打磨面整体平整度与光洁度达标
10	打磨验收	满足打磨验收标准

续表6.4.9

序号	工序	要求
11	路径规划	自动路径规划或遥控路径规划
12	机器人涂料喷涂	应符合机器人喷涂规定
13	缺陷处人工补刷	与机器人喷涂的接缝处应无明显差异

6.4.10 机器人作业方式需结合施工环境、作业特点和施工要求综合确定，包括遥控操作和自动作业，以保障作业的高效与精确。

6.4.11 机器人腻子喷涂和涂料喷涂应符合以下规定：

1 喷涂材料加装完成，喷头能均匀喷出腻子、涂料；

2 相关门锁已关闭并上锁；

3 无线控制终端上选择相应地图，完成自动作业地图校准；

4 选择作业路径，核查路径信息，调整机器人起始状态后，下发自动作业指令。

6.4.12 机器人无法施工的区域，应及时在安全距离外进行人工补涂，人工补涂区域与机器人喷涂的接缝处应无明显差异。

6.4.13 若采用机器人进行打磨作业时，宜符合下列规定：

1 打磨机准备完成；

2 无线控制终端上选择相应地图，完成自动作业地图校准；

3 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。

6.4.14 机器人未处理到位的区域，由人工进一步打磨。

6.4.15 机器人喷涂与打磨参数需合理设定，包括压力、速度、喷头离墙距离、喷涂宽度、喷涂高度、打磨机离墙距离等。

Ⅳ 人机协同

6.4.16 机器人主要用于规则墙面的大面积喷涂，人工负责门窗边缘、阴阳角、装饰线条等复杂区域，以及机器人无法触及的特殊

施工位置。

6.4.17 人工负责机器人喷涂前的准备工作和喷涂后的收尾工作。

6.4.18 人工负责机器人的路径规划，设定喷涂范围、速度及涂料用量；机器人按设定路径喷涂，由人工实时监控喷涂效果并及时调整参数。

6.4.19 人工负责处理机器人喷涂过程中的异常情况，及时处理涂料不足、设备故障等情况。

Ⅴ 质量控制与成品保护

6.4.20 应对建筑机器人和人工施工交接处进行重点质量控制。

6.4.21 腻子、涂料喷涂后，应避免触碰，防止损坏成品。

6.4.22 腻子基层、涂料层干燥前，需避免施工区域内的灰尘、颗粒物或其他材料附着于墙面，可采用防尘布或塑料薄膜覆盖；大面积施工墙面可分段进行保护。

6.4.23 施工区域外0.8m～1m处，应设置具备警示功能的标识牌及硬质围挡，围挡应稳固可靠，防止人员或物体意外碰撞。

6.4.24 施工现场应保持环境干燥、空气流通，避免潮湿、积水、高温等情况，防止找平层发霉、开裂、起泡等现象。

6.5 室内地砖铺贴机器人

Ⅰ 功 能

6.5.1 地砖铺贴机器人功能满足下列要求：

1 应具备开机自检功能；

2 应具备停障功能；

3 应具备实时信息显示功能与记录功能；

4 应配备无线控制终端，具有无线控制面板操控机器人工

作的功能；

5 应具备激光发射和接收系统；

6 应具备视觉引导砖边对缝功能；

7 应具备报警功能。

Ⅱ 施工应用准备

6.5.2 使用地砖铺贴机器人施工前应对设备进行点检，点检内容应符合表 6.5.2 相关规定。

表 6.5.2 设备点检表

序号	点检内容	内容明细
1	设备	(1)操作控制器 1 个 (2)地砖运输、辅助上砖小车 1 台 (3)胶泥拌料设备 1 台 (4)胶泥辅助上料设备 1 台
2	功能	(1)检查机器人周身有无阻碍物 (2)检查 AGV 底盘各轮子状态 (3)检查铺浆出浆部件是否结块堵塞 (4)检查送料系统的料斗有无剩料结块，检查泵送系统管路是否堵塞，需出水测试 (5)检查吸盘系统是否完好 (6)检查 PSD 上灰尘及污垢 (7)检查视觉模块包括底盘视觉和末端视觉是否有污垢 (8)检查控制柜的门是否关好
3	电池	(1)确认无线控制终端电量充足 (2)检查电池动力线、电压采集端子等节点是否存在松动、脱落、生锈或者变形等情况 (3)检查电池外壳是否存在裂缝、变形、鼓胀等异常情况

6.5.3 应配置经培训合格的操作人员，负责机器人入场前的场地前置条件处理、安全检查和施工过程中的场地质量自检确认以及施工完成后的日常管理、维护保养等工作，并负责对铺贴区域

进行质量检查。

6.5.4 铺贴前宜完成天花、墙面、水电、门窗等相关工序作业，减少交叉作业。

6.5.5 应提前规划好机器人室内行走通道，门洞尺寸高度应≥1800mm，宽度应≥900mm；沟坎高差应≤50mm，地面台阶或凸起障碍物高度应≤30mm，坡度应≤10°，地面无明显积水。

6.5.6 作业区域周边应设置三级沉淀池，进行废水处理。

6.5.7 作业区域应无杂物、垃圾，地面无凸起、无异物，地面浮浆、灰尘、腻子皮、钢筋头等容易影响瓷砖胶与基层的黏结物，应清理完成。

6.5.8 基层表面平整度偏差不应大于4mm；当瓷砖面材边长大于900mm时，偏差不应大于2mm。

6.5.9 基层应坚实牢固不空鼓，抗拉强度不应小于0.40MPa；当基层的抗拉强度小于0.40MPa时，应进行加强处理，并满足设计要求。如地面是砂浆找平，空鼓大于20cm * 20cm时需要整改处理。

6.5.10 在潮气作用下容易产生变形的基层，不得进行瓷砖铺贴作业，应先进行基层处理。

6.5.11 在轻钢龙骨板材基层上铺贴边长大于300mm的瓷砖时，应进行基层加强处理。

6.5.12 在带有地暖的地面上铺贴边长大于300mm的瓷砖时，应进行特殊构造设计。

6.5.13 其他基层应另行试验或做样板测试通过后方可施工。

6.5.14 移交装修1m线时，应根据装修1m线检查基层标高并控制在1016～1025mm范围。

6.5.15 如项目要求刷界面剂，涂刷提前24h为宜，且至少提前2h，涂刷后应避免人员踩踏降低界面剂效果。

6.5.16 瓷砖胶薄贴，材料应符合以下规定：

1 瓷砖应符合现行国家标准《陶瓷砖》GB/T 4100、《陶瓷马

赛克》JC/T 456 和《薄型陶瓷砖》JC/T 2195 的规定；

2 地面瓷砖胶粘剂选择应符合现行行业标准《陶瓷砖胶粘剂》JC/T 547 的规定。

Ⅲ 施工工序要求

6.5.17 室内地砖铺贴机器人施工工序应符合表 6.5.17 相关规定。

表 6.5.17 室内地砖铺贴机器人施工工序

序号	工序	要求
1	施工准备	设备处于正常状态，辅材配备齐全
2	基层验收	空鼓≤20cm * 20cm，平整度极差≤1cm
3	机器人铺贴	设置起铺点，及时加料加砖
4	人工收边	机器铺贴完成≥24h，人工及时补充铺贴剩余作业面
5	人工填缝	人工用专用填缝剂勾缝填缝

6.5.18 首列砖铺贴前应根据排版图设置铺贴控制线，以便机器人校准铺贴位置。非首列铺贴宜根据实际情况，以上一列砖边缘设置左参考或右参考后进行铺贴。铺贴过程中应注意地砖与辅料的消耗情况，应及时补充。

6.5.19 铺贴前应将瓷砖背面清理干净，避免砖与胶泥粘接性能降低。

6.5.20 瓷砖胶粘剂应按产品说明书配制材料，不得随意增减材料。

6.5.21 使用室内地砖铺贴机器人铺贴，应按表 6.5.21 准备施工工具。

表 6.5.21 施工工具清单

序号	物品	数量	说明
1	充电器	1	
2	调平器	100	按实际面积确定

续表6.5.21

序号	物品	数量	说明
3	十字卡	100	调平器尺寸应满足要求： 如：尺寸1.5毫米，控制砖缝2mm
4	激光器	2	标准激光水平仪
5	三脚架	1	矮三脚架，最小高度小于300mm
6	料桶	2	
7	铲刀	2	
8	高压水枪	1	作业结束清洗机器及辅助设备
9	内六角扳手	1套	
10	橡皮锤	1	
11	卷尺5m	1	
12	引导线	1	10m首列砖参考线
13	钢角尺500	1	

6.5.22 排砖、分格应符合设计和施工样板要求，排砖宜使用整砖，使用非整砖的部位，非整砖宽度不宜小于整砖宽度的1/3。

6.5.23 调平器、十字卡和一字卡拆除应在铺贴完成后4h至12h之内进行。

6.5.24 地砖铺贴时，应避免其他工种作业污染、人为踩踏等，作业后48h内禁止重物在砖面通行。

6.5.25 机器人施工完成后，机器人的供料系统、刮齿、轮组等应进行全面的清洗，若发现部件损坏，及时进行维修。

6.5.26 对机器人覆盖不到区域，应由人工进行补充铺贴；补充铺贴应在机器铺贴完成24h后进行。

6.5.27 地砖铺贴完成后应及时清除地砖表面泥浆及垃圾，待表面干爽后，用专用填缝剂勾缝，瓷砖勾缝要饱满密实。勾缝完成后，应及时将面层残存的瓷砖胶、填缝剂清洗干净。

Ⅳ 人机协同

6.5.28 机器人主要用于大开间规则区域的地砖铺贴，人工负责墙柱边角等复杂区域，以及机器人无法覆盖的特殊位置铺贴作业。

6.5.29 人工负责瓷砖胶泥搅拌，机器人铺贴胶泥不足时，由人工将搅拌好的瓷砖胶泥加入地砖机器人料仓进行补料。

6.5.30 人工负责地砖搬运，机器人料箱上地砖用完时，由人工用上砖小车及时补砖。

Ⅴ 质量控制与成品保护

6.5.31 瓷砖粘贴工程的验收应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210 和《建筑地面工程施工质量验收规范》GB 50209 的规定。

6.5.32 瓷砖粘贴工程的粘结强度检验应按现行行业标准《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》JGJ/T 110 的规定执行。

6.5.33 机器人作业、人工收边角砖、勾缝完成后，应使用保护膜对地砖进行全覆盖保护。保护膜搭接长度应不小于 10cm，并用胶带固定避免污染损坏。

7 排水管道检测与修复施工类

7.1 一般规定

7.1.1 管道检测和修复所用主要原材料、各类管材、型材的规格、尺寸、性能等，应符合现行行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181、《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》CJJ/T210 的相关规定和设计文件的要求，材料的各类检验报告应齐全、准确。

7.1.2 管道检测和修复机器人防护等级应达到现行国家标准《外壳防护等级(IP 代码)》GB/T4208 的规定，宜为 IP68。

7.1.3 管道检测和修复机器人适用现行国家标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 中规定的中等及以下缺陷处理，对于严重及以上的缺陷需对管道进行预处理，确保环境适合机器人正常工作。

7.1.4 管道检测和修复机器人采用无线操控时，需选择适宜的频段，确保操控便捷、安全。

7.1.5 本标准所指的管道修复机器人为管道非开挖施工中所使用的紫外光固化修复机器人。

7.1.6 施工设备应根据工程特点合理选用，并应有总体布置方案。对于不宜间断的施工情况，应有满足施工要求备用的动力和设备。施工前还应对内衬软管及施工设备进行检查，确保内衬软管及设备的正常使用。

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，应符合现行国家标准《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》CJJ/T 210 的相关规定和设计文件的规定，材料的各

类检验报告应齐全、准确。

7.1.8 发电设备在运转前必须确保支垫平稳，运转过程中严禁移动。雨季使用时应有防雨、防风设施，使用前操作人员应对仪表进行校准。

7.1.9 管道修复机器人设备在使用前必须提前检查，各部件运行状态应良好，无异常响动、过热等情况，确认安全后方可使用。

7.1.10 紫外光固化施工设备日常安全检查和使用应符合现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 和《施工现场机械设备检查技术规范》JGJ 160 的规定。

7.2 排水管道检测机器人

Ⅰ 检测方法

7.2.1 排水管道内部检测可采用管道检测机器人完成，常用轮式管道检测机器人和水陆两栖机器人，不同环境选取不同类型机器人进行检测。无水与少水环境采用轮式管道机器人检测，在淤泥与水位变化的复杂管道中应采用适应性更强的水陆两栖机器人检测。

7.2.2 轮式管道检测机器人不适宜在带水环境下作业。若现场条件无法满足这一要求，应首先采取降低水位措施。当水位无法降低时，需改用其他适用的检测设备。在使用轮式管道检测机器人的情况下，管道内水深应控制在管道直径的 20%以内，且不宜超过 200mm。同时，管道底部淤泥深度不宜超过 100mm。

7.2.3 水陆两栖机器人检测，不适合满水环境，当现场条件不能满足时，应采取降低水位措施，使管道内水深宜小于管道直径的 60%，且与顶部距离宜大于 200mm，流速宜在 0.4m/s 以内。

Ⅱ 功 能

7.2.4 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，基本功能应符合下列规定：

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 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，方便摄像镜头拍摄高清图像；

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，采集周期衔接良好；

4 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。

7.2.5 检测机器人基本功能应符合下列规定：

1 检测机器人应具备测距功能，电缆计数器的计量单位精度宜小于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宜小于0.4m；

2 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、井室编号信息等功能，视频能反映井室内部实况；

3 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，能对管道缺陷作出准确评估。

7.2.6 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%。

Ⅲ 施工应用准备

7.2.7 机器人施工前，应根据管道环境以及检测要求，对机器人

进行点检，点检内容应符合表 7.2.7 相关规定。

表 7.2.7　设备点检表

序号	点检内容	内容明细
1	设备	(1)检测机器人 1 套(机器人、中控机、遥控器、线缆盘) (2)封堵气囊、导流管 (3)强光照明灯
2	功能	(1)确认管道环境情况，选择合适类型机器人进行检测 (2)通过气囊封堵或导流管引流，确保管道环境适合机器人正常作业 (3)检查机器人结构和外观是否正常，驱动轮是否正常 (4)检查机器人接线是否正常，确认各个功能按钮无误，确认视频传输无误，在地面上模拟运行，检查各个功能是否正常 (5)通过显示屏信息检查机器人的各项数据是否正常 (6)打开灯光、调节摄像头焦距与分辨率，确保传输画面清晰
3	电量	机器人电量、中控机电量、定位模块电量、遥控器电量

7.2.8　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。

7.2.9　在长时间检测时，应合理配备备用电池，避免在检测过程中出现断电问题。

7.2.10　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。

7.2.11　使用轮式管道机器人检测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。

7.2.12　使用水陆两栖机器人检测前，应采用降水措施控制水面与管道顶部的距离大于 200mm，且流速应在 0.4m/s 以内。

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

7.2.14　检测施工前宜核实管道使用年限、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。

7.2.15 技术人员应根据图纸上的检查井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。

7.2.16 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，以防危害公共交通安全。

7.2.17 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。

7.2.18 需要人下井作业时，应提前检测井内有毒有害气体浓度，做好应急救援准备工作。

7.2.19 管道检测前，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，辅助制定合理的检测方案。

7.2.20 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。

Ⅳ 施工工序要求

7.2.21 管道检测机器人施工工序和相关要求应符合表7.2.21规定。

表7.2.21 管道检测机器人主要施工工序

序号	工序	要求
1	预处理	先对管道环境进行预处理，然后根据环境选择合适检测机器人
2	机器人调试	确认机器人各项功能正常
3	机器人下井	机器人顺流放入管道，在井口记录位置归零后顺流进行检测
4	摄像头控制	控制摄像头对管道内壁进行拍摄，将视频数据与位置数据同时保存
5	机器人返回	机器人倒退返回井口，用安全绳和线缆拉回地面
6	机器人清洗	对机器人进行清洁，并检测各项功能是否正常
7	保存数据	分类保存每段管道检测的数据

7.2.22 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。

7.2.23 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。

7.2.24 将载有摄像镜头的机器人安放在检测起始位置后，在开始检测前，应将机器人的行驶距离归零。当检测起点与管段起点位置不一致时，应做补偿设置。

7.2.25 检测时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%。当对特殊形状的管道进行检测时，应适当调整摄像头位置并获得最佳图像。

7.2.26 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，每一处结构性缺陷抓取的图片数量应不少于 1 张。

7.2.27 检测过程当中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。

7.2.28 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。

7.2.29 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。

7.2.30 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周期良好，宜不大于 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，能够从视频上清晰地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，确保视频能够清晰地反映终止井室的内部状况。

Ⅴ　人机协同

7.2.31　管道检测机器人现场检测应由经专业培训合格的作业人员操作。

7.2.32　检测工作占道影响交通时，需安排专人协助交通部门进行交通疏导。

7.2.33　管道检测机器人操作的人员配备宜符合表 7.2.33 相关规定。

表 7.2.33　管道检测机器人操作人员配置表

序号	工种	数量(人/套)	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	2	主要负责操作检测机器人、梳理线缆和机器人状态监测

续表7.2.33

序号	工种	数量(人/套)	工作内容
4	有限空间作业人员	2	主要负责井下作业,包括放置气囊和导流管
5	辅助人员	2	主要负责配合现场施工的辅助性工作

注:除检测人员处,其余工种在需要时配置。

Ⅵ 质量控制与成品保护

7.2.34 管道检测机器人的图像数据采集应符合以下内容:

1 机器人摄像头拍摄的视频分辨率应不低于1080P(1920×1080),确保图像细节清晰可辨,无明显模糊或失真现象;

2 在低光照环境下,摄像头应具备高灵敏度,图像亮度和对比度应满足检测要求,灵敏度应不低于0.1Lux,能够清晰地显示管道内部结构;

3 视频画面应稳定,机器人在管道内移动时,图像抖动幅度应小于1%的屏幕尺寸,无明显晃动或模糊;

4 视频色彩应真实还原管道内部环境,误差范围应控制在±10%以内,确保能够准确判断管道内部的腐蚀、沉积等颜色差异;

5 摄像头应具备360°全方位旋转功能,能够灵活调整拍摄角度,覆盖管道内壁的各个部位,确保无检测死角,旋转角度误差应小于±2°;

6 在需要同时拍摄多个角度时,摄像头应能够快速切换角度,切换时间应小于2秒,确保检测过程连续性;

7 机器人应能够清晰地拍摄到管道内壁宽度大于0.5mm的裂缝,裂缝边缘应清晰可辨,能够准确测量裂缝长度和宽度,测量误差范围应小于±5%;

8 能够清晰地显示管道内壁的腐蚀区域,包括点蚀、均匀腐蚀等,腐蚀区域的颜色、形状和大小应清晰可见,能够准确判断腐

蚀程度；

9 能够清晰拍摄到管道内壁的沉积物厚度、分布范围及成分差异，沉积物与管道内壁的分界线应清晰可辨，能够准确测量沉积物厚度，测量误差范围应小于±10%；

10 能够清晰地拍摄到管道内的异物，包括碎石、树枝等，异物的大小、形状及位置应清晰可见，能够准确判断异物对管道运行的影响。

7.2.35 采集到的管道缺陷数据，应按照现行国家标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 的管道评估标准进行缺陷等级划分。

7.3 排水管道修复机器人

Ⅰ 功 能

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

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符合软管产品提供的波长要求；

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耐磨的集成电缆，控制系统应能准确地识别电缆所拉出的长度；

4 修复机器人紫外光固化时，灯架应持续工作，避免灯架停止造成固化材料损坏；

5 修复机器人紫外光灯架应能按照指定的速度匀速行进；

6 在作业过程中出现突发情况时应具有自动报警功能。

7.3.2 修复机器人主控系统应具有控制紫外光灯开关启停、控制时间间隔、调整固化巡航速度、持续采集和存储施工过程静态

和动态数据的功能。

7.3.3 风机应具备调节气压的功能，可调气压范围不应小于 20kPa。

7.3.4 紫外光灯透射辐照强度不应低于内衬软管有效固化的辐照强度，且不应低于出厂值 70%，紫外光灯链/灯架应保证无异物或残留物，在首次运行 400h 后，应对该紫外灯进行性能检测。

7.3.5 管道修复机器人施工作业中主要技术性能指标应符合表 7.3.5 相关规定。

表 7.3.5 管道修复机器人系统压力参数主要性能指标

<table>
<tr><td colspan="11">系统压力参数主要指标</td></tr>
<tr><td>管径
(DN：mm)</td><td>200</td><td>250</td><td>300</td><td>400</td><td>500</td><td>600</td><td>700</td><td>800—
900</td><td>1000</td><td>1200—
1600</td></tr>
<tr><td>充气压增加
(mbar/min)</td><td colspan="3">40—60</td><td colspan="8">30</td></tr>
<tr><td>操作压力
(mbar)</td><td colspan="2">500 * 600</td><td>450—
550</td><td colspan="2">400—500</td><td colspan="2">300—400</td><td>250—
300</td><td colspan="2">100—300</td></tr>
<tr><td colspan="11">固化速度主要指标(cm/min)(采用 2 * 4 * 400 瓦灯组)</td></tr>
<tr><td>管径/壁厚
(mm)</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td></td><td>开灯间
隙(秒)</td></tr>
<tr><td>DN150</td><td colspan="2">105—130</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td></tr>
<tr><td>DN200</td><td colspan="2">95—120</td><td colspan="2">95—110</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td></tr>
<tr><td>DN250</td><td colspan="2">85—120</td><td colspan="2">85—110</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td></tr>
<tr><td>DN300</td><td colspan="2">75—100</td><td colspan="2">75—90</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>30</td></tr>
<tr><td>DN350</td><td colspan="2">75—100</td><td colspan="2">75—90</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>35</td></tr>
<tr><td>DN400</td><td colspan="2">90—100</td><td colspan="2">75—90</td><td colspan="2">50—60</td><td></td><td></td><td></td><td>35</td></tr>
<tr><td>DN450</td><td colspan="2">90—100</td><td colspan="2">70—85</td><td colspan="2">50—55</td><td></td><td></td><td></td><td>35</td></tr>
<tr><td>DN500</td><td colspan="2">90—95</td><td colspan="2">65—80</td><td colspan="2">45—50</td><td></td><td></td><td></td><td>35</td></tr>
<tr><td colspan="11">固化速度主要指标(cm/min)(采用 2 * 4 * 1000 瓦灯组)</td></tr>
<tr><td>管径/壁厚
(mm)</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>开灯间
隙(秒)</td></tr>
<tr><td>DN600</td><td colspan="2">85—90</td><td>80—85</td><td colspan="2">75—80</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>30</td></tr>
</table>

续表7.3.5

管径/壁厚(mm)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	开灯间隙(秒)
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,本表仅供参考,具体参数参考材料厂家出具的技术参数。

Ⅱ 施工应用准备

7.3.6 管道修复机器人应用前应检查产品合格证。

7.3.7 管道修复施工前应对原管道及环境进行勘测、对修复材料进行检查确认,所用的修复材料应符合相关标准,修复材料应符合表7.3.7相关规定。

表7.3.7 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

7.3.8 管道修复材料属于特殊化学材料,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。

7.3.9 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。

7.3.10 修复机器人紫外光灯管应在每运行 150h 时全面检查一次，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。

7.3.11 使用管道修复机器人施工前还应对其进行逐项点检，点检要求应符合表 7.3.11 相关规定。

表 7.3.11 设备点检表

序号	点检内容	点检明细
1	机械系统	(1)检查同步带、同步齿轮磨损情况，若有损坏及时更换 (2)检查各轴承、机械传动部位润滑情况是否良好 (3)检查传动轴、传动轮有无打滑情况，是否有异响 (4)检查灯架各机械连接是否有松动，伸缩动作是否正常
2	电控系统	(1)各控制按钮和开关有无损坏，各电源线有无老化和松脱现象 (2)检查各继电器、交流接触器、调速器、感应器是否良好，尤其检查温度传感器是否能正常工作 (3)检查各传动电机、吹风机运行是否良好有无异响 (4)检查灯架各线路连接装置是否紧密接触，有无松动
3	压缩气系统	(1)检查各气管是否存在破裂、漏气、松脱等现象，空压机的运转工作是否正常 (2)检查通风口是否清洁顺畅、有无异物
4	安全系统	检查紧急停止开关、各安全开关、安全防护报警装置是否良好

7.3.12 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规定：

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 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；

3 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；

4 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；

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。

7.3.13 修复机器人主要集中在修复车内，通过驾驶修复车到指定地点完成机器人的进场任务，并满足交通运输管理相关规定。

7.3.14 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、防毒的规定，建立安全生产保障体系。

Ⅲ 施工工序要求

7.3.15 修复机器人施工工序和相关要求应符合表 7.3.15 规定。

表 7.3.15 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	拉入内衬软管，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，做好防护措施，保证密封

7.3.16 在拉入内衬软管之前，应在原有管道底部铺设底膜，底膜在拉入过程中，不应发生断裂和堆积，拉入后应在两端锚固。

7.3.17 管道修复机器人各阶段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 6～8m/min。

7.3.18 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。

7.3.19 紫外光固化修复时，应确保紫外光灯链的持续辐照功能正常。每个软管产品上所使用的紫外光波长应一致。应按照设备、材料厂家的要求进行施工，固化过程中所有操作应在监管控制平台上进行，根据灯链长度、紫外灯功率、巡航速度确定相邻两灯的开启间隔。

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

Ⅳ 人机协同

7.3.21 修复机器人现场作业人员应经专业培训合格。

7.3.22 修复机器人应由修复单位专业技术人员操作。

7.3.23 对于小管径软管拉入管道应采用小型吊装设备辅助人工，管径大于 DN1000mm 时，宜采用吊车辅助人工。

7.3.24 占道施工并影响交通时，应安排专人协助交通部门进行交通疏导。

7.3.25 管道修复机器人施工的人员配备宜符合表 7.3.25 相关规定。

表 7.3.25 管道修复机器人施工人员配置表

序号	工种	数量(人/套)	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

续表7.3.25

序号	工种	数量(人/套)	工作内容
5	有限空间监护人员	1	主要负责有限空间作业的监护工作
6	有限空间监管人员	1	主要负责有限空间作业的监管工作
7	修复设备操作员	2	主要负责修复设备的操作及观察工作
8	辅助人员	2	主要负责配合现场施工的辅助性工作

V 质量控制与成品保护

7.3.26 结构性修复使用年限不低于原管道结构设计工作年限，且不低于50年，半结构性修复设计使用年限应按原有管道的剩余设计使用期限确定，且不低于20年。

7.3.27 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。

7.3.28 修复完成后，内衬管道表面质量应符合《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》CJJ/T 210、《给水排水管道原位固化法修复工程技术规程》T/CECS 559的规定。

7.3.29 修复的平均壁厚应不小于设计壁厚，最小壁厚应不小于设计壁厚的90%。

7.3.30 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。

7.3.31 内衬管应进行力学性能试验、管壁密实性试验和按现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268的规定进行管道功能性试验。

7.3.32 施工单位修复完工后，应对质检资料整理并进行相关试验检测。

7.3.33 修复完成的端头，未采用树脂密封处理前，应对端头进行遮盖，防止杂物侵入。

7.3.34 应使用保护膜或其他覆盖材料来防止紫外线直接照射到不需要修复的材料。

7.3.35 管道修复期间，应对工作井遮挡或疏排，防止明水浸入管道。

7.3.36 管道修复完成，应自然冷却至环境温度，严禁洒水降温。

重庆工程建设

8 建筑机器人作业云平台协同管理

8.1 一般规定

8.1.1 云平台可具备以下功能：

1 机器人接入状态显示；

2 远程激活与远程故障管理；

3 机器人实时位置信息；

4 机器人参数交互与属性管理；

5 机器人操作权限管理；

6 机器人作业数据实时信息交互；

7 机器人地图数据交互；

8 机器人作业路径及站点信息交互；

9 机器人任务下发及调度；

10 工程状态显示和工期预测。

8.1.2 云平台与建筑机器人协同准备工作应符合下列规定：

1 应确保施工现场网络覆盖良好，避免通信中断影响机器人作业；

2 应定期校准机器人传感器，确保上传至云平台的数据准确可靠；

3 应对操作人员进行云平台功能培训，确保其熟练掌握平台操作和机器人监控方法；

4 应制定应急预案，当云平台或机器人出现故障时，能够预警响应。

8.1.3 云平台数据安全与协同应符合下列规定：

1 应采用 HTTPS/MQTT 协议加密传输，数据延迟≤

500ms；

2 机器人应能实现本地缓存 10 分钟作业数据，网络中断时停止作业；

3 应有专业人员负责查看实时状态、上报异常、调整工艺参数、下发工单等。

8.1.4 不同角色操作权限宜符合下列规定：

1 平台管理员宜负责系统参数配置、机器人准入审核；

2 调度员宜负责任务紧急插单、异常处理指令下发；

3 现场巡检员宜负责设备状态查看、警报确认。

8.1.5 相关方的责任与职责应符合下列规定：

1 总承包单位应提供平台部署环境，确保网络全覆盖，培训持证操作人员；

2 机器人厂商应保障接口兼容性，确保故障响应时间≤2 小时；

3 云平台服务商应负责系统运维，确保数据备份周期≤24 小时。

8.2 云平台协同管理

8.2.1 建筑机器人应用云平台协同作业应符合下列规定：

1 云平台应能够实时监控和数据交互，自动调度机器人进场时间；

2 云平台应能够实时检测作业完成面质量；

3 操作人员应根据云平台的权限管理功能授权操作机器人。

8.2.2 云平台应用过程中应符合下列规定：

1 应能可视化展示机器人的位置、进度、故障状态；

2 应能自动生成单机/集群的工时利用率、合格率、能效排名，支持维保决策；

3 宜能存储全流程数据（轨迹、质量参数），关联 BIM 模型生成数字化竣工档案。

8.2.3 建筑机器人与云平台协同作业流程应符合表8.2.3规定。

表8.2.3 机器人与云平台协同作业流程

序号	流程	要求
1	作业前准备	(1)机器人接入与状态显示：各机器人接入云平台，云平台实时显示机器人接入状态，包括电量、通信状态等。现场技术人员通过云平台确认所有机器人状态正常 (2)任务下发与调度：通过云平台下发施工任务，包括作业区域、路径规划、作业顺序等。云平台根据任务需求自动调度机器人进场时间，确保各机器人按计划作业 (3)参数设置与交互：根据施工要求，通过云平台设置各机器人的参数，如整平精度、抹平速度、磨光强度等。云平台实时交互机器人参数，确保设置准确无误
2	机器人作业要求	(1)进场时间：上一步施工工序完成后，云平台根据养护或间隔时间自动调度机器人进场 (2)作业监控：云平台实时显示机器人位置、作业路径和作业状态，技术人员可通过云平台远程监控作业过程 (3)数据交互：机器人实时将作业数据(如平整度、激光探测精度)上传至云平台，云平台根据数据反馈调整机器人作业参数 (4)作业完成：机器人完成作业后，云平台自动检测作业完成面质量，确认达标后通知下一道施工工序的机器人进场
3	数据记录与分析	(1)云平台记录各机器人作业数据，包括作业时间、作业路径、作业质量等 (2)技术人员可通过云平台对数据进行分析，优化施工方案和机器人参数设置
4	设备管理	(1)云平台实时显示机器人电量和设备状态，提醒技术人员及时充电和维护 (2)通过云平台进行机器人属性管理，更新设备信息和操作权限
5	工程状态与工期预测	(1)云平台实时显示工程进度和状态，技术人员可通过平台了解整体施工情况 (2)云平台根据已完成任务和剩余任务预测工期，为项目管理提供参考

9 安全与环境保护

9.1 安全防护

9.1.1 建筑机器人本体应具备不少于2个急停按钮，按下后全系统断电时间应≤0.5s。无线急停遥控器有效距离应≥50m，信号丢失时应自动触发制动。

9.1.2 所有旋转/伸缩运动部件应设置物理隔离罩（网孔直径≤5mm），且在隔离罩开启时能够触发安全继电器切断动力源。

9.1.3 协作型机器人末端最大输出力应≤150N，接触人体时瞬时停止时间应≤0.2s。

9.1.4 移动机器人底盘抗倾覆角应≥15°（满载状态），坡道作业时可启用陀螺仪主动调平。

9.1.5 机器人接地线应正确接地且连接牢固，以确保电气安全，电阻值应符合安全标准。

9.1.6 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。

9.1.7 管道检测和修复机器人涉及占道施工时，应根据检测和修复工作面编制交通导行方案。

9.1.8 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。

9.1.9 操作人员应严格按要求配置防护服、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。

9.1.10 在机器人工作时，操作人员应避免站在机器前进或后退的方向，以防止机器突然移动或发生故障而造成伤害。操作人员

应严格按照说明书来操作机器人，禁止进行未经授权的操作。

9.1.11 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。

9.1.12 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，避免高处坠落风险。

9.1.13 如需手动控制机器人，宜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。

9.1.14 机器人运行过程中出现异响、振动、异味或其他异常现象，应立即停止作业，及时通知维修人员进行维修，禁止私自拆卸、维修设备。

9.1.15 施工方案中应制定应对极端天气的应急措施。

9.1.16 机器人作业时，如遇紧急情况，应按如下措施处置：

1 应使用急停按钮制动机器人，严禁人工推扶制动；

2 排除险情后，应先关断总开关，再复位急停按钮；

3 机器人在运行中如有零部件损坏或掉落，不得将其丢弃，应记录故障发生情况，保留损坏件，及时制动设备停止作业并通知厂家维修。

9.2 环境保护

9.2.1 在选择和使用建筑机器人时，应优先考虑能耗低、排放少的环保型机器人。

9.2.2 应合理安排施工时间，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。

9.2.3 应当及时清运工程施工过程中产生的建筑垃圾等固体废物，并按照环境卫生主管部门的规定进行利用或者处置，不得擅自倾倒、抛撒或者堆放。运行管网导排产生的常规性污水应排放到城市排污系统中。

9.2.4 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。

9.2.5 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。

9.3 网络与数据安全

9.3.1 建筑机器人全生命周期（设计、部署、运维、报废）的数据处理活动，应符合《中华人民共和国网络安全法》《中华人民共和国个人信息保护法》及现行国家标准《信息安全技术 个人信息安全规范》GB/T 35273 的规定。

9.3.2 建筑机器人仅允许采集实现作业功能必需的数据，禁止通过红外热成像、声音分析等技术获取工人健康信息。点云扫描数据中涉及第三方私有建筑的部分，应在生成后 24h 内执行不可逆模糊化处理。

9.3.3 禁止通过机器人采集工人休息、饮食等非作业行为数据。视频监控画面中涉及生活区（如临时宿舍）的区域应启用实时像素化遮蔽。

9.3.4 机器人控制系统应具备抗外部攻击能力，在检测到通信协议异常时，应立即启动指令签名验证并触发声光报警，同时向安全管理中心发送攻击特征码。

9.3.5 向第三方共享点云数据时，应删除半径 200m 内非工地建筑信息，并签订《数据安全责任承诺书》。

9.3.6 向境外传输作业数据（含调试日志）前，应通过国家网信部门安全评估。

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的：采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时，写法为：“应符合……的规定（或要求）”或“应按……执行”。

重庆工程建设

引用标准名录

1 《建筑室内用腻子》JG/T 298

2 《合成树脂乳液墙面涂料》GB/T 9755

3 《工业机器人安全要求》GB 10944.1

4 《工业喷涂机器人技术条件》GB/T 38364

5 《建筑材料及制品的燃烧性能分级》GB 8624

6 《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210

7 《建筑地面工程施工质量验收规范》GB 50209

8 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268

9 《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181

10 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523

11 《纤维增强塑料用液体不饱和聚酯树脂》GB/T 8237

12 《外壳防护等级(IP 代码)》GB/T 4208

13 《密闭空间作业职业危害防护规范》GBZ/T 205

14 《城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程》CJJ 68

15 《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》CJJ/T 210

16 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33

17 《施工现场机械设备检查技术规范》JGJ 160

18 《建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准》JGJ/T 46

19 《给水排水管道原位固化法修复工程技术规程》T/CECS 559

20 《市政排水管道紫外光原位固化修复施工技术规程》T/CMEA 34

21 《城镇排水管道原位固化修复用内衬软管》T/CUWA 60052

22 《工贸企业有限空间作业安全规定》应急管理部令第 13 号

23 《信息安全技术 个人信息安全规范》GB/T 35273

重庆工程建设

重庆市工程建设标准

建筑机器人应用技术标准

DBJ50/T-542-2026

条文说明

重庆工程建设

2026 重 庆

重庆工程建设

目　次

2　术语 …… 83
3　基本规定 …… 84
3.2　应用维护 …… 84
4　楼地面混凝土施工类 …… 85
4.1　一般规定 …… 85
4.2　混凝土整平机器人 …… 86
4.3　混凝土抹平机器人 …… 92
4.4　混凝土抹光机器人 …… 96
5　部品部件安装施工类 …… 99
5.2　条板搬运机器人 …… 99
5.3　条板安装机器人 …… 100
6　室内装饰装修施工类 …… 102
6.1　一般规定 …… 102
6.2　地坪研磨机器人 …… 104
6.3　地坪涂料涂敷机器人 …… 110
6.4　室内喷涂机器人 …… 119
6.5　室内地砖铺贴机器人 …… 122
7　排水管道检测与修复施工类 …… 125
7.1　一般规定 …… 125
7.2　排水管道检测机器人 …… 126
7.3　排水管道修复机器人 …… 135
8　建筑机器人作业云平台协同管理 …… 140
8.1　一般规定 …… 140
8.2　云平台协同管理 …… 140

9 安全与环境保护 …… 141
9.1 安全防护 …… 141
9.2 环境保护 …… 142

重庆工程建设

2 术 语

2.0.15 建筑机器人作业云平台通过高速网络将分布在建筑工地上的各类机器人连接起来，实现对机器人集群的远程监控、任务调度、数据互通、智能决策与全生命周期管理。机器人云平台宜与项目或企业已有的数字化平台集成。

重庆工程建设

3 基本规定

3.2 应用维护

3.2.7 电气设备保养标准：

维护周期：日检：接线端子温度（红外测温≤60℃）；月检：绝缘电阻测试（≥1MΩ）；年检：继电保护校验。

清洁要求：使用 IP6X 级吸尘器清理电控柜；禁止使用压缩空气吹扫。

重庆工程建设

4 楼地面混凝土施工类

4.1 一般规定

4.1.2 本条文明确混凝土机器人的适用环境边界，通过规范化的环境管控，保障设备稳定运行及混凝土成型质量，降低施工风险。

环境温度低于0℃时，混凝土易冻结，机器人液压系统油液黏度增大，导致动作迟缓，激光传感器可能因冷凝水雾失效。超过40℃时，设备电机易过热，混凝土坍落度损失加快，宜避免正午高温时段作业，增设设备散热装置（如风扇，混凝土中添加缓凝剂。湿度过低（<25%）时，混凝土表面水分蒸发过快，易产生塑性裂缝，机器人激光接收器可能因粉尘干扰失效；湿度过高（>90%）时，设备电气元件易受潮短路，需加强防水措施（如IP65防护等级）。

4.1.3 坡度超过5°时，机器人可能因重心偏移导致侧滑或倾覆。地面沟槽宽度超过100mm时，机器人履带/轮组易卡滞；高度超过100mm的障碍物（如钢筋头、模板残渣）可能损坏刮板或振捣机构。需在施工前全面清理地面突出物，对无法清除的障碍物设置警示标志并人工辅助跨越。

4.1.4 动态路径规划需规避设备干涉，BIM模型提供空间基准；“Z字形”或“螺旋式”路径可消除施工接槎痕迹；错峰作业防止表面硬化差异导致色差。

4.1.5 本条款明确混凝土机器人施工前，应有合格的人员配置。

通过规范操作流程和责任分工，保障施工质量、效率及安全性，避免因操作不当导致的设备损坏或质量缺陷。

人员资质要求：操作人员应接受专业培训并考核合格，熟悉机器人操作流程、安全规范及常见故障处理方法。培训内容应包

括但不限于：机器人基本结构与工作原理；操作面板及遥控器使用方法；激光找平系统标定与调整；常见故障诊断与应急处理；安全防护措施及紧急停机操作。建议持有相关机械设备操作证书（如建筑施工机械操作证）。

人员配置要求：主操作手负责机器人操作、参数调整及质量监控；辅助人员协助搬运激光设备、清理施工障碍、配合质量检查等。大面积连续作业时，可增设轮班人员，确保施工连续性。

4.2 混凝土整平机器人

4.2.1 为确保混凝土整平机器人高效、安全与精准作业，应具备以下功能：

1 开机自检功能：整平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 停障功能：整平机器人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 地面适应功能：机器人应能通过自适应履带或悬挂系统调整姿态，适应不平整地面、斜坡或软硬差异的路况（如钢筋网、模板边缘等），确保整平作业时设备稳定，避免因地面不平导致整平精度偏差；

4 行走速度控制：整平速度直接影响混凝土密实度与表面平整度。机器人需支持无级调速（如 0.2～1.5m/s），且速度波动误差不超过±5%。低速模式用于精细整平，高速模式用于快速摊铺；

5 激光找平系统：机器人需配备高精度激光发射器（精度±1mm）和接收器，实时检测混凝土标高，并通过液压或电动机构自动调整刮板高度，确保整平后的混凝土面层符合设计坡度（误差≤3mm/2m）；

6 图纸/BIM 导入功能（智能型）：支持导入 CAD 图纸或

BIM 模型，自动识别作业区域边界、标高数据及障碍物位置，生成全局路径规划。须具备 SLAM(即时定位与地图构建)技术，实现厘米级定位精度(误差≤±10mm)；

7 遥控操作功能(遥控型)：遥控器需符合工业无线通信标准(如 2.4GHz 频段)，控制距离≥50m，具备防信号干扰设计。操作指令应包括基础移动、转向(最小转弯半径≤1m)、速度调节及定速巡航功能(保持恒定速度作业)；

8 信息显示和记录功能：应可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 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 振捣刮平功能：机器人需集成振捣机构(频率≥8000 次/min)和刮板系统，且能够维持前端振捣找平稳定，在摊铺阶段实现混凝土的振捣密实与初步整平，减少人工二次修整工作量。振捣深度可调(50～150mm)，刮板高度自动匹配激光标高数据。

4.2.2 本条文旨在规范混凝土整平机器人使用前的检查工作，确保设备处于最佳工作状态，保障施工质量和作业安全。各项检查应严格按照表格内容执行，并做好相应记录。施工前对机器人及相关设备进行全面点检是确保施工顺利进行的重要环节。通过检查设备是否齐全、设备功能是否正常以及电池设备电量情况，可以提前发现设备的缺失、故障和电量不足等问题，及时进行补充、维修或充电，避免因设备问题导致施工中断，保障施工的连续性和质量稳定性。例如，检查整平机、激光接收器、激光发射器、手持标定杆、遥控器等设备是否齐全且功能正常，确保机器人能够正常运行；检查电池电量是否充足，以保证机器人在施工过程中的连续作业能力，避免因电量不足而影响施工进度。

4.2.3 本条文明确了混凝土整平机器人施工前必须完成的各项准备工作，通过系统化的前置条件管控，确保机器人施工的可行性、安全性和施工质量。在机器人进场施工前，对场地进行前置条件排查是确保机器人能够正常作业的重要环节。通过排查楼板承重能力、浇筑面积情况、塔吊和起重机等垂直起吊设备的准备情况、钢筋绑扎及标高情况、基准标高点的设置、各类预留预埋件的情况以及现场配套设施的完善性等内容，可以提前发现并解决可能影响机器人作业的问题，为机器人施工提供良好的前置条件，避免因场地条件不符合要求而导致的施工延误或质量问题。

4.2.4 本条文旨在通过规范化的运输管理和精准的时间控制，确保混凝土整平机器人能够高效、安全地投入施工作业，避免因设备进场延误影响混凝土浇筑质量。机器进场前，如设备距离施工板面距离相对较远，应规划合理的进场路线能够保证机器人按时到达施工现场，避免因设备进场延迟影响施工进度。同时，提前规划好机器的进退场路径，可以避免路径重复，提高施工效率，减少设备在施工现场的移动时间和能耗。

4.2.5 通过科学规划进场路线和浇筑顺序，确保混凝土整平机器人高效、安全作业，减少路径冲突和重复修整，保障施工质量与进度。若道路无法直达作业面，需采取以下措施：塔吊/起重机辅助：提前协调垂直运输设备，确保吊装安全；地下室或狭窄空间需预留转弯半径（≥机器人最小转弯半径的 1.5 倍）；跨越施工缝或后浇带时，应铺设加强型跳板。进退场路径避免交叉作业干扰，优先选择单向通行路径；与混凝土泵车、布料机等设备协调作业顺序，避免路径冲突；退场路径宜与进场路径分离，防止已整平面被二次碾压。

4.2.7 机器人起吊应满足下列规定：

1 起吊前准备与吊装方式：机器人进入起吊范围后，必须先关闭电源，防止误操作导致设备启动或传感器误报，确保吊装安全；

2 司索工与信号指挥：司索工需持证上岗，熟悉机器人重心

位置及吊装要点，指挥信号应符合《起重吊运指挥信号》(GB 5082)规定；塔吊司机与司索工通过无线电或手势信号配合，确保起吊平稳，避免急升急降导致机器人摆动碰撞；

3 振捣板状态控制：吊装前需通过液压或电动机构将振捣板提升至最高位并锁定，防止其下垂碰撞地面或障碍物，造成结构损坏；

4 吊装区域安全管理：吊运路线下方设置警戒线，严禁人员进入，防止意外脱钩或摆动伤人。建议采用“清场＋监护”双保险措施；

5 禁止搭载外部物品：遥控器、激光发射器等易掉落物品需单独运输，避免吊装时滑落砸伤人员或损坏设备。机器人本体吊装需保持“净状态”。

4.2.8 机器人应放置在梁、柱等钢筋加密区或结构稳固处，避免直接置于悬挑板或薄板区域，防止因机器人自重(通常≥200kg)导致钢筋变形或混凝土面层压裂。放置时需确保机器人底盘水平(可借助水平仪校准)，若场地存在坡度(>5°)，应使用垫块调平，防止设备滑动或倾倒。

放置机器时应注意放置于不影响班组工人前期施工的位置，如放置于板面后浇筑的地方，避免因机器存放影响班组施工。

非操作人员(尤其劳务工人)不得擅自触碰机器按键、摇杆或传感器，防止误触发程序或机械损伤。建议加装物理锁或权限控制系统。

遇降雨预报时，需用防水布完全覆盖机器人(重点保护控制柜、电机等电气部件)，防止雨水浸入导致短路。防水布应固定牢固，避免被风吹散。若遇强风(≥6 级)、雷暴等天气，需将机器人移至室内或加盖配重固定的防雨棚。

4.2.9 本条文通过精细化规定激光系统的架设、校准和维护要求，确保混凝土整平施工的标高控制精度达到±2mm/10m 的标准，为高质量地坪施工提供技术保障。

1　激光发射器安装：三脚架应选择混凝土结构柱、稳定地面或专用支架等绝对稳固区域架设，禁止架设在模板、临时脚手架等可能位移的构筑物上；激光发射器安装后需手动旋转检测同心度，偏摆误差≤0.1°；使用专用快拆平台安装时需确认锁紧装置到位（需听到"咔嗒"声）；

2　初始标高设定：采用"三级复核制"：全站仪引测建筑标高控制线；水准仪转测至作业面周边；手持杆激光接收器最终标定；

3　标高复核调整：宜采用网格化复核法，按 5m×5m 网格布设检测点，使用激光扫平仪复核平整度；发现局部偏差＞3mm 时，应重新调整激光发射器俯仰角；发射器高度调节需使用微调旋钮（精度 0.1mm/圈）；调整后需静置 2 分钟待系统稳定；

4　人员避让管理：划定激光传输专用通道（宽度≥1.5m）；设置旋转警示灯提示人员避让；

5　覆盖范围优化：大面积施工时采用多发射器 60°扇形布置；重叠区域需保证 20%覆盖度；30m 外作业时需启用信号放大器；每增加 10m 距离，标高测量需增加 0.5mm 误差修正；

6　稳定保障措施：三脚架配置弹簧减震器（固有频率≤2Hz）；发射器安装防震垫片（邵氏硬度 60±5）；架设点地面振动速度应≤0.5mm/s；遇强风（＞5 级）时启用配重块（≥10kg）。

4.2.10　本条文通过规范化的标高调试流程和精确的控制标准，确保混凝土整平施工的标高精度达到±5mm/2m 的要求，为后续施工提供准确基准。调试过程应形成完整的可追溯记录。

1　卡环定位控制：卡环应采用双重锁定设计（主锁＋防松螺母），紧固扭矩应达到 8±0.5N·m；使用激光位移传感器检测卡环间隙，径向跳动量≤0.2mm；每日施工前使用专用量具检测卡环定位销磨损情况；建立卡环位置电子档案，累计调整超过 5 次需更换定位模块；

2　标高基准确定：建筑完成面为基准时：以上端口为控制基准；结构面为基准时：以下端口为控制基准；需在调试记录中明确

标注基准类型(图示法);

3 振捣板调平:采用倾角传感器+液压伺服系统实时调节的动态调平技术;水平度控制精度:0.1°/m;可采用数字水平仪静态检测(精度 0.01°)及激光跟踪仪动态检测(采样频率 100Hz)的双重验证方法。

4.2.11 本条文通过规范人工初摊平与机器人协同作业的工艺流程,确保混凝土整平施工的基层质量,为后续精平作业创造良好条件。施工中应特别注意人机配合的安全管控。

1 初摊平技术要求:初摊厚度宜控制在设计标高+30~50mm 范围内;使用专用摊平耙进行"井"字形摊铺,消除骨料集中现象;边角部位预摊宽度应≥500mm;按 3m×3m 网格布置标高控制桩(钢筋头);采用标定杆+激光接收器辅助控制初摊标高(允许偏差±10mm);重点监控柱根、墙边等钢筋密集区域;

2 人机协同作业规程:机器人振捣机构和刮板 2m 范围人工补料/减料;机器人刮平后 3m 范围人工精修;安排人工进行过程复测;遵循"多刮少补"原则:补料厚度超过 20mm 时应分两次填补;刮除混凝土应返回料斗二次利用;接茬部位需保证 30%重叠施工;

3 特殊部位处理:后浇带两侧加设 300mm 宽加强摊平区;管线密集处采用小型振捣棒预振捣;柱周 300mm 范围宜采用人工抄平;设备转弯半径内设置过渡衔接区;

4 质量控制要求:当发现骨料分离时应立即停机处理;初凝时间异常时应调整机器人行进速度。

4.2.12 本条文通过系统化的施工过程控制标准,确保机器人整平作业的质量稳定性与施工安全性,特别强调人机协同的标准化作业流程。施工中应建立全过程数字化监控档案。

混凝土参数适配控制应考虑以下两方面内容:

1 工作模式选择标准:C30 及以下低标号混凝土:启用"低频高幅"振捣模式(频率 2800±100 次/min);C35 及以上高标号

混凝土：采用“高频低幅”模式（频率 3500±100 次/min）；自密实混凝土：关闭振捣功能，仅启用刮平模式；

2 坍落度响应调整：坍落度 160～180mm：行走速度 0.8～1.2m/s；坍落度 140～160mm：行走速度 0.6～0.8m/s；每 30 分钟现场检测坍落度变化并调整参数；

3 标高复测数据应纳入项目质量追溯系统保存。复测重点区域包括目视检查发现明显浆骨分离或气泡密集区域、机器人传感器报警区域、施工接茬部位及作业初始部分范围（机器人起步区、首 3m 行进范围、设备转向区、路径交叉区）。

4.2.14 整平前，人工需完成混凝土初摊铺并检查基层平整度与标高，清理作业面障碍物，确保机器人作业条件；整平后，人工进行边角修补、表面质量检查、场地清理及机器人日常维护（清洁、充电、保养）等工作。

4.3 混凝土抹平机器人

4.3.1 混凝土抹平机器人应具备下列功能：

1 开机自检功能：抹平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 停障功能：抹平机器人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 地面适应功能：机器人应能通过自适应履带或悬挂系统调整姿态，适应不平整地面、斜坡或软硬差异的路况（如钢筋网、模板边缘等），确保整平作业时设备稳定，避免因地面不平导致整平精度偏差；

4 行走速度控制：抹平速度直接影响混凝土表面平整度。机器人需支持无级调速（如 0.2～1.5m/s），且速度波动误差不超过±5%。低速模式用于精细整平，高速模式用于快速摊铺；

5 图纸/BIM 导入功能（智能型）：支持导入 CAD 图纸或

BIM 模型，自动识别作业区域边界、标高数据及障碍物位置，生成全局路径规划。须具备 SLAM（即时定位与地图构建）技术，实现厘米级定位精度（误差≤±10mm）；

6 遥控操作功能（遥控型）：遥控器需符合工业无线通信标准（如 2.4GHz 频段），控制距离≥50m，具备防信号干扰设计。操作指令应包括基础移动、转向（最小转弯半径≤1m）、速度调节及定速巡航功能（保持恒定速度作业）；

7 信息显示和记录功能：应可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；

8 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。

4.3.2 本条文旨在规范混凝土抹平机器人使用前的检查工作，确保设备处于最佳工作状态，保障施工质量和作业安全。各项检查应严格按照表格内容执行，并做好相应记录。施工前对机器人及相关设备进行全面点检是确保施工顺利进行的重要环节。通过检查设备是否齐全、设备功能是否正常以及电池设备电量情况，可以提前发现设备的缺失、故障和电量不足等问题，及时进行补充、维修或充电，避免因设备问题导致施工中断，保障施工的连续性和质量稳定性。例如，检查抹平机及摆臂、遥控器等设备是否齐全且功能正常，确保机器人能够正常运行；检查电池电量是否充足，以保证机器人在施工过程中的连续作业能力，避免因电量不足而影响施工进度。

4.3.3 本条文明确了混凝土抹平机器人施工前必须完成的各项准备工作，通过系统化的前置条件管控，确保机器人施工的可行性、安全性和施工质量。在机器人进场施工前，对场地进行前置条件排查是确保机器人能够正常作业的重要环节。通过排查楼

板承重能力、浇筑面积情况、塔吊和起重机等垂直起吊设备的准备情况、各类预留预埋件的情况以及现场配套设施的完善性等内容，可以提前发现并解决可能影响机器人作业的问题，为机器人施工提供良好的前置条件，避免因场地条件不符合要求而导致的施工延误或质量问题。

4.3.4 本条文旨在通过规范化的运输管理和精准的时间控制，确保混凝土抹平机器人能够高效、安全地投入施工作业，避免因设备进场延误影响混凝土浇筑质量。合理的进场路线能够保证机器人按时到达施工现场，避免因设备进场延迟影响施工进度。同时，提前规划好机器的进退场路径，可以避免路径重复，提高施工效率，减少设备在施工现场的移动时间和能耗。

4.3.5 通过科学规划进场路线和浇筑顺序，确保混凝土整平机器人高效、安全作业，减少路径冲突和重复修整，保障施工质量与进度。若道路无法直达作业面，需采取以下措施：塔吊/起重机辅助：提前协调垂直运输设备，确保吊装安全；地下室或狭窄空间需预留转弯半径（≥机器人最小转弯半径的 1.5 倍）；跨越施工缝或后浇带时，应铺设加强型跳板。进退场路径避免交叉作业干扰，优先选择单向通行路径；与混凝土泵车、布料机等设备协调作业顺序，避免路径冲突；退场路径宜与进场路径分离，防止已整平面被二次碾压。

4.3.7 机器人起吊应满足下列规定：

1 起吊前准备与吊装方式：机器人进入起吊范围后，必须先关闭电源，防止误操作导致设备启动或传感器误报，确保吊装安全；

2 司索工与信号指挥：司索工需持证上岗，熟悉机器人重心位置及吊装要点，指挥信号应符合《起重吊运指挥信号》（GB 5082）规定；塔吊司机与司索工通过无线电或手势信号配合，确保起吊平稳，避免急升急降导致机器人摆动碰撞；

3 振捣板状态控制：吊装前需通过液压或电动机构将振捣

板提升至最高位并锁定，防止其下垂碰撞地面或障碍物，造成结构损坏；

4 吊装区域安全管理：吊运路线下方设置警戒线，严禁人员进入，防止意外脱钩或摆动伤人。建议采用“清场＋监护”双保险措施；

5 禁止搭载外部物品：遥控器、激光发射器等易掉落物品需单独运输，避免吊装时滑落砸伤人员或损坏设备。机器人本体吊装需保持“净状态”。

4.3.8 机器人应放置在梁、柱等钢筋加密区或结构稳固处，避免直接置于悬挑板或薄板区域，防止因机器人自重（通常≥200kg）导致钢筋变形或混凝土面层压裂。放置时需确保机器人底盘水平（可借助水平仪校准），若场地存在坡度（>5°），应使用垫块调平，防止设备滑动或倾倒。

非操作人员（尤其劳务工人）不得擅自触碰机器按键、摇杆或传感器，防止误触发程序或机械损伤。建议加装物理锁或权限控制系统。

遇降雨预报时，需用防水布完全覆盖机器人（重点保护控制柜、电机等电气部件），防止雨水浸入导致短路。防水布应固定牢固，避免被风吹散。若遇强风（≥6 级）、雷暴等天气，需将机器人移至室内或加盖配重固定的防雨棚。

4.3.9 本条文通过系统化的施工过程控制标准，确保机器人抹平作业的质量稳定性与施工安全性，特别强调人机协同的标准化作业流程。施工中应建立全过程数字化监控档案。

4.3.11 初凝阶段，人工通过经验或仪器判定混凝土达到可上机作业条件后，指挥机器人进场施工；二次抹压应在混凝土表面泌水基本完成、行人脚印深度≤3mm 时进行，由人工确认时机并指挥机器人执行相应遍数与参数设置。

4.4 混凝土抹光机器人

4.4.1 本条规定了混凝土抹光机器人在性能和功能方面的基本要求，旨在确保机器人在施工过程中安全可靠、操作智能高效，同时满足混凝土抹光作业的质量要求。各款要求的制定依据及技术要点说明如下：

1 开机自检功能：机器人开机时需自动检测各模块（如动力系统、控制系统、传感器、执行机构等）的运行状态，并通过显示屏或声光信号反馈自检结果。此功能可提前发现潜在故障，避免因设备异常导致作业中断或安全事故，提升设备可靠性；

2 停障功能：机器人应配备碰撞传感器或红外/超声波避障装置，在接触障碍物（如模板、钢筋或人员）时立即触发急停，保护设备和人员安全。急停响应时间应≤0.5秒，且需通过手动复位解除急停状态；

3 行走速度控制：抹光质量与机器人行走速度直接相关。速度过快易导致抹面不平整，过慢则影响效率。机器人需支持无级调速（建议范围0.3～1.2m/s），并具备速度稳定性控制（波动率≤5%），以确保抹光均匀性；

4 智能型机器人路径规划功能：通过导入图纸或BIM模型，机器人应能自动生成最优作业路径（如弓字形路径），并具备地图边界识别、高差调整等功能。路径规划需支持动态避障和局部重规划，误差应控制在±10mm内；

5 遥控型机器人操控功能：遥控器需符合工业级防水防尘标准（IP54以上），操控指令延迟应≤200ms。速度设置需分档可调（如低/中/高三档），刀片转速调节范围建议为50～150rpm，以适应不同混凝土初凝状态；

6 信息显示与记录功能：显示内容：需通过人机界面（HMI）实时更新数据，包括运行模式（自动/手动）、电池电量（精确至

1%)、故障代码(如 E01 电机过载)等。记录存储:数据保存周期不少于 30 天,存储格式需支持 txt CSV 或 JSON 等通用格式,便于后期分析。关键参数(如急停触发时间)应带时间戳记录;

7 报警机制:报警分为声光报警(≥80dB)和远程通知(通过 4G/Wi-Fi 推送至手机 APP,或平板电脑及控制器等其他远程操作设备)。需区分故障等级(如轻微报警提示、严重故障停机),并对电池低电量(<20%)、电机过热(>70℃)等常见异常设置阈值预警。

4.4.2 本条款规定了混凝土抹光机器人在正式作业前需进行施工前的耗材准备及各项指标检查,以确保设备运行安全可靠,避免因设备异常影响施工质量或引发安全事故。宜根据地面类型(如普通混凝土、耐磨地坪)和施工面积合理配置耗材,包括:抹光刀片(硬质合金刀片适用于普通混凝土,金刚石刀片适用于高强度地坪);润滑剂(如脱模剂,防止混凝土粘刀);备用电池(续航需覆盖单次施工面积)。设备点检结果需记录并签字存档,不符合项需整改后方可施工。

4.4.3 本条款规定了混凝土抹光机器人在正式施工前的前置工序要求,以确保机器人施工的顺利进行,并保障施工质量和安全。所有前置条件需经责任人逐项确认并记录,未达标严禁开工。通过系统性风险预控,实现抹光作业的安全、高效与精细化施工。

4.4.4 本条款针对远距离运输场景,确保机器人安全、高效抵达作业面。若作业面距离设备存放点超过 400m,应使用电动板车或叉车运输,避免人工推运耗时。运输车辆载重应≥1.5 倍机器人重量;宜设货箱防震措施(如橡胶垫固定)。

4.4.5 本条款规定机器人进场的最佳时机和路径安排,避免施工干扰。应在第一块板面浇筑完成初凝后(脚踩下沉≤5mm)进场,过早易破坏混凝土结构,过晚影响抹光效果;优先选择平整、无障碍的直达路径(宽度≥1.2m);若需塔吊协助,需提前 24h 与总包单位协调吊装时间,避免与其他工序冲突。

4.4.6 本条款明确混凝土浇筑与机器人作业的协同要求，保障施工连续性。采用“分段浇筑、分段抹光”策略，优先施工离机器人存放点最近的区域；机器人宜放置于最先完成浇筑的作业面附近（距离≤20m），缩短移动时间；混凝土终凝前（通常 2h～4h）必须完成抹光，防止表面硬化影响质量。

4.4.7 本条款明确抹光机器人施工的标准化流程，强调工序衔接的安全性与质量控制。各工序须严格按流程执行并记录，尤其需强化吊装安全与设备待机管理，实现施工效率与质量的协同提升。

4.4.8 本条款规定了混凝土抹光机器人在吊装过程中的安全操作要求，旨在防止设备损坏和人员伤害，确保吊装作业的规范性和可靠性。

4.4.9 本条款规定了混凝土抹光机器人在等待作业期间的存放要求，旨在确保设备安全、避免影响其他工序，并保障施工场地的有序性。

4.4.10 本条款规定了混凝土抹光机器人在实际施工作业中的技术控制要求，旨在确保抹光质量达到规范标准，同时提高施工效率。

4.4.12 抹光前，人工需判定混凝土表面硬度已达到可上机收光条件（通常为指压无明显痕迹），清理作业面并设置安全警戒区；抹光后，人工进行边角手工收光、表面最终检查、成品保护以及机器人的清洁、保养与充电等工作。

4.4.16 本条款规定了混凝土抹光作业收尾阶段的设备退场和成品保护技术要求，旨在确保成型地面的施工质量，避免因不当操作导致表面破坏或养护不当引发的质量缺陷。应沿施工路径的起始方向原路返回，避免在已抹光区域做急转弯或折返动作；退场通道宽度不应小于机器人机身宽度加 500mm（建议≥1.5m）；需避开混凝土初凝时间（通常施工后 1h～2h 内），防止履带或轮式行走装置留下压痕。

5　部品部件安装施工类

5.2　条板搬运机器人

5.2.1　本条款明确条板搬运机器人施工应具备的核心功能，确保其安全性、规范性、可靠性。

1　启动后自检各核心模块（如核心控制板、电机驱动、Wi-Fi模块、蓝牙模块等），并通过指示装置反馈自检过程以及自检结果。若检测到有核心模块处于异常状态，应提示具体问题并限制使用；

2　机器人在运行中实时显示和记录机器人的当前运行模式、运动速度、通信情况和电池电量等相关信息的功能；当发生短路保护、电流过流以及电机过载等故障情况应发出警示，并告知操作人员；

3　急停功能是将电源迅速切断的紧急制动装置；

4　在机器人工作过程中以蓄电池提供动力，最大续航时间8h以上，电池充满所需充电时间6h以内；

5　无线控制终端可手动操作设备运行，排除设备故障，并具备通过控制终端对机器人的运行状态以及报错信息进行监控及分析的能力。

5.2.2　本条款明确条板搬运机器人施工前应完成的各项准备工作，通过规范操作流程和责任分工，保障施工质量、效率及安全性，避免因操作不当导致的设备损坏或条板损坏。操作人员应穿戴安全帽、反光背心、防滑鞋等劳保用品。

5.2.3　本条款明确条板搬运机器人使用前应做的检查工作，确保搬运机器人处于正常的使用状态，提高作业效率，消除安全隐

患，尤其是夹具与条板规格的检查，如不匹配，更换或调整相应模块，并连接牢固。

5.2.4 本条款明确条板搬运机器人使用前应完成的准备工作，通过前置条件管控，确保搬运机器人作业的可行性、安全性和作业效率。通过排查堆场、路径、施工电梯等关键影响机器人作业的问题，为机器人施工提供良好的前置条件，避免因场地不符合要求而导致的作业问题。

5.2.6 本条款明确条板搬运机器人在作业过程中，需按机器人操作说明书操作以外，还需注意的其他事项，如有视觉雷达等信号采集系统，则应避免搬运路径中干扰信号，导致系统误判，发生故障。

5.2.9 本条款明确条板搬运机器人在作业过程中，人和机器人的工作。人的工作是操作机器人能够按照既定计划去取板、运板、放板，机器人在操作指令下去完成这些工作。

5.3 条板安装机器人

5.3.1 本条款明确条板安装机器人的核心功能，确保其安全性、可靠性、灵活性和安装效率，推动智能化安装机器人施工技术发展，通过技术应用，解决劳动强度高、施工效率低、操作调整难度大等痛点。

1 机器人启动后需自检各核心模块状态（如核心控制板、电机驱动、Wi－Fi 模块、蓝牙模块等），并通过指示装置反馈自检过程以及自检结果。若检测到有核心模块处于异常状态，应提示问题并限制使用；

2 机器人在运行中需要实时显示和记录机器人的当前运行模式、运动速度、通信情况和电池电量等与性能相关的信息的能力；当发生短路保护、电流过流以及电机过载等故障情况应发出警示，并告知操作人员；

3　机器人首先应从条板垛中分离条板，抓取条板且能全向移动；在安装条板时，应具备全向调整和微调功能；

4　机器人在故障或面临周围环境中的异常且紧急状况时，应具备一键停止功能；此按键应放在醒目且易于操作的位置；

5　在机器人工作过程中可以持续工作，无需外部电源提供动力，最大续航时间至少 8h，电池充满时间不应超过 6h；

6　机器人配备无线控制终端，具备手动操作设备运行、排除设备故障、操作指引等功能，并且可以通过控制终端对机器人的运行状态以及报错信息进行监控及分析。

5.3.2　本条款明确条板安装机器人施工前应符合必须完成的各项准备工作，通过规范操作流程和责任分工，保障安装质量、效率及安全性，避免因操作不当导致的设备损坏或条板损坏。操作人员应穿戴安全帽、反光背心、防滑鞋等劳保用品。

5.3.6　本条款明确条板安装机器人使用前应完成的准备工作，通过前置条件管控，确保机器人作业的可行性、安全性和作业效率。通过规划条板放置方式、工具辅材、条板规格、路径承载等关键影响机器人作业的因素，为机器人施工提供良好的前置条件，避免因场地不符合要求而导致的作业问题。

5.3.8　本条款说明条板安装机器人作业时的工序。条板安装应根据具体项目、板材特征等因素综合选用适用的机器人规格型号，根据机器人的作业特点，制定相应的安装流程，以提高安装效率，降低安装成本。

6　室内装饰装修施工类

6.1　一般规定

6.1.1　建筑机器人施工涉及作业环境、设备安全及人员操作等多重因素。本条规定旨在通过事前验收与方案策划，确保施工准备充分、工艺可行、风险可控。方案内容应涵盖工程概况、前置条件分析、设备选择与配置、人员组织、施工计划（含人员计划和材料计划）、施工工艺技术、质量控制及安全文明施工等关键环节，为施工提供系统性技术依据。

6.1.2　施工前应提前规划好机器人的进出场路线，确保机器人能够顺利、安全地进出施工场地，提高施工效率，避免因路线问题导致施工延误或设备受损。

机器人转场操作时，必须充分考虑机器人周围的环境，确保不会与人员或其他物体发生碰撞。在机器人爬坡过程中，应避免位于其下方，且不应在坡道上进行横向转动或移动，以防止发生侧翻。

机器人进行长距离转运时，宜采用汽车等辅助运输设备。在机器人运输及转移过程中，应采取必要的安全措施，如对机器人进行固定、防护等，防止机器人在运输或转移过程中发生倾覆、碰撞等意外事故，保障设备及人员的安全。

现场应设置满足设备进出施工作业面的通道。通道的宽度、坡度及承载能力应符合机器人通行要求，确保机器人能够顺利通过。

当进出场道路存在困难，如道路狭窄、坡度过陡或地面承载能力不足等情况时，应采用汽车吊或塔吊等设备将机器人吊运至施工场地。吊运时应严格遵守吊运设备的操作规程，确保机器人

在吊运过程中的安全。

6.1.3 地面上的沟槽宽度应小于 50mm，若沟宽过大，机器人的行走系统可能会被卡住或受到损坏，还可能影响作业的连续性。地面障碍物高度应小于 30mm，较高的障碍物可能会对机器人的底盘造成碰撞和损坏，干扰机器人正常运行。地面坡度不应大于 15°，确保机器人在斜坡上能够保持稳定的行走姿态，防止因坡度过大导致机器人滑动或翻倒，保障设备和人员的安全。

6.1.4 机器人需要顺利进出室内各空间，因此室内门洞的尺寸应满足机器人通行的要求。门洞高度不宜小于 1800mm，宽度不宜小于 1000mm。施工前应根据机器通行要求对门洞尺寸进行测量，如不符合要求，应采取措施（如拆除部分门框或调整机器人路径）以确保机器人能够顺利通过。

6.1.5 合理的人员配置可以确保机器人施工的顺利进行，每台机器人应至少配置 1 名操作人员，根据实际工作需要配置合理数量的辅助人员。

1 操作人员需通过专业培训并考核合格，熟悉机器人基本原理、操作流程、安全规范、应急处置、日常点检、维护保养及常见故障诊断与处理等。主要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、执行施工操作、完成质量自检和机器人的日常维护保养等工作；

2 辅助人员主要负责细部位置处理，针对机器人施工难以覆盖的边角、墙根、柱脚等细部位置，使用手动工具进行施工。协助操作人员完成一些辅助性工作，如材料搬运、现场清理、设备辅助监护等。

6.1.6 样板施工是施工质量管理的重要环节，可以帮助作业人员验证施工工艺的合理性，熟悉选用的施工工艺，发现并解决施工过程中可能出现的问题，并根据施工样板结果调整施工工艺参数，优化施工流程，有助于提高施工质量的可控性和一致性。

6.2 地坪研磨机器人

6.2.1 为确保地坪研磨机器人的高效、安全与精准作业，其应具备以下功能：

1 在开机后，机器人能够自动检测各模块的功能状态，包括但不限于动力系统、研磨系统、导航系统、传感器等关键模块，并将检测结果以直观的方式反馈和显示出来，使操作人员能够及时了解机器人当前的状态；

2 机器人应具备手动遥控操作与自动程序作业两种模式。手动模式适用于复杂或局部区域处理，自动模式适用于规则或大面积区域作业。模式切换应在设备停止运行后进行，切换成功后方可重新启动；

3 机器人应具备作业路径规划功能，能够根据施工区域的形状、大小和边界条件，自动生成最优研磨路径，依据设定路线自主完成作业，尤其对于规则或大面积区域的施工，能够提高机器人自动化作业程度，提升施工效率；

4 机器人应具备障碍物检测功能，通过传感器实时感知周围环境中的障碍物（如设备、人员、建筑结构等）。检测到障碍物时，机器人应立即自动停机，避免碰撞事故的发生，保护设备和人员安全；

5 机器人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，同时应具备自动存储研磨过程中的各项参数和事件记录，便于后续的质量追溯、故障分析和设备维护；

6 当机器人出现故障、异常停机、超出设定工作参数等情况时，能够通过声音、灯光等报警方式及时提醒操作人员和周围人员，以便迅速采取措施进行排查和处理，保障施工安全和设备正常运行。

6.2.2 为确保地坪研磨机器人的施工安全、质量和效率，其应具

备以下性能：

1　研磨盘对地足够的压力能够确保研磨盘与地面紧密接触，从而实现高效的研磨作业。如果压力不足，可能导致研磨不彻底或研磨效率低下，影响地坪的整体质量；

2　不同的地坪材质和施工要求可能需要不同的转速设置，适宜的转速能够确保研磨颗粒与地面的充分接触，同时避免因转速过高或过慢导致研磨颗粒飞溅或研磨不均匀。转速应根据地坪材质、研磨颗粒大小以及施工要求进行调整；

3　机器人通常需要在施工现场自主移动，宜具备独立的供电系统。储电方式（如电池供电）可以确保设备在无外接电源的情况下正常转场，提高设备的灵活性和适用性。

6.2.3　施工前，应根据地面类型、质量要求（如研磨后的平整度、光泽度等）及施工面积等因素，合理配置相应的施工耗材。针对不同硬度和状况的地面，选择合适的金刚石磨片或树脂磨片；根据施工面积和施工工序，准备充足的磨片、研磨液等耗材。

依据设备清单，核对机器人主体、遥控器、充电器等所有构配件是否齐全，确保无遗漏。

1　逐一检查线缆及接头状态，重点查看是否存在线路破损、老化、插头松动、积尘等现象，一旦发现上述问题，严禁开机，应及时更换或修复线缆，确保线路安全可靠；

2　检查急停按钮外观应完好无损，按下急停按钮应能自动锁止，旋转急停按钮应能自动弹起，如有异常严禁启动设备，需立即对急停按钮进行修复或更换，保障紧急情况下的安全制动功能；

3　检查机器人本体、电控柜箱、研磨机构等外部防护装置的完整性，防护设施若有缺失或损坏，严禁开机，应及时修复防护装置，防止设备在运行过程中受到外界物体碰撞或损伤，保障操作人员安全和设备正常运行；

4　检查研磨主电机本体、研磨设备功能完整性，查看研磨机构是否有破损、裂纹、断裂现象，若存在此类问题禁止启动设备，

需对研磨机构进行修复或更换，确保研磨功能正常，避免出现施工质量缺陷；

5　检查电控柜内状态，清理杂物、积灰，查看是否存在浸液等异常情况，若发现杂物、积灰或浸液，严禁开机，需清理干净并修复可能的渗漏点，严禁在电控柜内放置配件、工具、杂物、安全帽等，以免影响线路，造成设备异常；

6　检测电源柜的合规性，确认主电源能稳定输出。确保设备在稳定的电源条件下运行，避免因电源问题导致设备故障或施工中断；

7　检查金刚石磨片或铁磨片和树脂磨片是否按照作业要求及时更换，确保无缺漏、无松动、无安装不到位等异常，如有问题应及时调整或更换磨片，保证研磨质量；

8　检查研磨机器人和遥控器电量，保障机器人持续稳定运行；

9　地坪研磨机器人的耗材应根据项目图纸设计要求和材料厂家说明进行选择和适配。

6.2.4　地坪基层的质量直接影响到研磨效果，如果基层有空鼓或开裂现象，研磨后地面可能会出现不平整的情况；如果基层有裂纹或脱皮等缺陷，研磨过程中可能会导致这些缺陷扩大。因此，施工前应对地坪基层进行检查和处理，确保其结合牢固、洁净且无缺陷。坡度应符合设计要求，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。

6.2.5　对已完成的墙、柱进行成品保护是为了避免在施工过程中对这些部位造成损坏。例如，如果机器人在施工过程中碰撞到墙柱，可能会导致墙柱表面出现划痕或损坏。成品保护措施可以包括使用保护膜、护角等材料，以防止和减少机器人在施工过程中对已完成的工序造成破坏。

6.2.6　机器人作业需要稳定的电源供应，以确保其电机和其他电子设备的正常运行。供电不足可能导致机器人功率不足或停

机，影响施工进度和质量。因此，施工前应核实供电容量、电压及线路负载，确保其能够满足机器人的用电需求，避免因电力不足或波动导致设备停机或损坏。

6.2.7 施工前对作业范围进行清理是为了保证机器人能够顺利进行研磨作业，避免因杂物等影响施工质量和效率。例如，如果地面上有垃圾或设备，机器人可能会被卡住或损坏。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，可以确保机器人在施工过程中不会因地面条件不佳而出现故障。施工范围内的坑、沟、井等部位应做好防护，以防止机器人掉入或发生其他意外。

6.2.8 地坪研磨应采用机器人为主、人工为辅的协同作业方式。机器人负责大面积规则区域，人工处理边角、柱脚等机器人难以覆盖的部位，确保整体施工质量均匀一致。

6.2.9 粗磨是地坪研磨的第一道工序，其目的是去除地坪表面浮浆。施工时应根据施工现场地面情况、设计要求和机器人的性能，选择合适的磨头目数，确定粗磨地面的磨头目数、研磨遍数以及行走速率等施工工艺参数，研磨过程中应密切关注地面的变化，及时调整研磨参数，以达到最佳的研磨效果。

磨头可选用金刚石磨头、铁磨头和树脂磨头，按磨头目数需要由低至高逐级进行研磨，不得跳级。研磨轨迹与上道工序的研磨轨迹方向交错行进，避免造成明显的单向研磨轨迹。

研磨过程中应密切关注划痕现象，通过调整底盘行走速度、研磨电机转速的方式，及时消除划痕现象，避免后续工序无法消除遗留划痕产生的质量问题。

6.2.10 细磨是在粗磨基础上进行的进一步研磨，目的是提高地面的平整度和观感质量。细磨磨片应按施工工艺要求的磨片目数和研磨顺序，逐级由低目数向高目数研磨。

每道工序作业前应清理前道工序形成的地面灰尘、磨盘防护壳内灰尘，保障本道工序的光泽度效果。

研磨过程中应将磨盘的活动挡灰罩提高并固定，避免扣地导致砂粒形成划痕。

6.2.11 抛光是地坪研磨的最后一道工序，目的是使地面达到设计要求的光泽度和光滑度。抛光磨片的目数应根据细磨后的地面状况以及抛光效果进行选择。

后道工序的研磨轨迹方向与前道工序的研磨轨迹方向呈“井字形”交错，避免出现明显的单向研磨轨迹。对于要求高光亮度的地坪，每道工序应前进、后退各一遍，达到质量要求。

抛光施工完成后，应做到手感光滑细腻、观感平整均匀、光泽均匀一致、无明显打磨痕迹，无起灰、起砂现象且无明显接缝线。

6.2.12 通过人机协同作业，能够充分发挥机器人施工的优势，同时弥补机器人的不足，确保地坪研磨施工的质量和效率，人工作业内容应包含以下几个方面：

1 在机器人开始研磨作业前，应对机器人作业进行详细的路径规划，明确研磨作业的范围，避免出现遗漏或重复研磨区域。根据地面状况和施工要求，合理设定研磨速度等参数，确保研磨效果符合质量标准。路径规划和参数设定应充分考虑施工效率、质量要求和地面条件，以实现最佳的研磨效果；

2 提前组织劳务人员清理施工现场，移除地面的杂物、工具、设备、钢筋头等障碍物，确保机器人研磨路径畅通无阻。在研磨过程中，也应持续关注施工现场情况，及时清理可能出现的障碍物，避免干扰机器人正常作业，保障施工的连续性和安全性；

3 监控研磨效果是保障施工质量的重要环节，能够及时发现并解决潜在问题。需要实时监控研磨效果，观察地面的平整度、光泽度等指标是否达到预期效果。注意磨片的损耗情况，当发现磨片磨损严重或研磨效果下降时，及时调整研磨参数或更换磨片，确保研磨质量的稳定性和一致性；

4 在研磨过程中，可能会出现各种异常情况，如设备故障、灰尘堆积过多等。作业人员应随时准备配合机器人处理这些异

常情况，及时排除故障，清理灰尘，确保研磨作业的顺利进行；

5 机器人完成研磨作业后，施工人员应对研磨效果进行全面检查，重点关注机器人可能无法完全覆盖的边缘或角落部位。如发现这些区域存在研磨不到位的情况，应及时进行人工补磨，确保整个施工区域的研磨效果均匀一致，满足施工质量要求；

6 施工结束后，再次清理施工现场，移除施工过程中产生的废料和垃圾，保持施工现场整洁。对研磨成品进行保护，防止后续施工或人员活动对研磨后的地面造成损坏。还需及时收集废料并进行处理，清洗和维护研磨设备，为后续使用做好准备。

6.2.13 使用地坪研磨机器人进行施工时，机器人主要的作业内容是基于规划好的行走路径进行研磨作业。机器人通过 BIM 模型导入、现场激光扫描建图或数字编程等方式，按设定的路径进行作业。确保研磨范围覆盖指定区域，无遗漏、无重复，并能自动识别并规避障碍物。机器人应能自动控制研磨机具的升降、行进速度、转速及路径跟踪，确保在整个作业面上施加均匀的研磨压力，保持恒定的行走速度与研磨精度。

6.2.14 研磨后的施工质量应从施工工艺衔接与前置条件验收以及符合国家标准要求进行严格把控：

1 当地坪研磨机器人施工作为其他工艺中的一道工序时，必须确保其施工质量符合后续工艺的前置条件验收要求。研磨后的地面不仅要满足自身的质量标准，还要为后续工序创造适宜的条件；

2 地坪研磨机器人施工后的地坪质量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 的规定和设计的要求，满足标准中关于地面平整度、强度、耐磨性、抗渗性等各项性能指标的要求，确保地面在长期使用过程中的稳定性和可靠性。

6.2.15 地坪研磨施工完成后，准备进行下一道工序处理前，应做好相应的成品保护措施。

1 在施工区域周边及关键位置设置“地面成品，谨防破坏”

等警示标识。设置于地面周边及人员、设备易进入的通道处，明确提示现场人员与设备操作者，防止因忽视而导致人员误踏、设备碾压或碰撞等行为对成品造成损害；

2 严禁重物在地面上进行拖拽操作，避免因摩擦力作用致使地面表层磨损、剥落或出现划痕，影响地面的平整度与完整性。杜绝尖锐物品接触地面，如铁器、玻璃碎片等，防止尖锐物体在地面滑动、磕碰，造成难以修复的划伤痕迹，破坏地面的美观与性能；

3 应采取有效措施防止水、油或其他液体污染地面，如铺设防护膜、遮盖物等。若地面不慎被污染，应立即使用合适的清洁工具和清洁剂进行清除，避免污染物质长时间附着对地面造成侵蚀或难以清理的情况，确保地面始终处于良好的养护状态。

6.3 地坪涂料涂敷机器人

6.3.1 为确保地坪涂料涂敷机器人高效、安全与精准作业，其应具备以下功能：

1 机器人开机后应自动进行各模块状态自检，包括但不限于电控系统、电机、传感器等关键部件，并将检测结果以直观的方式反馈和显示出来，使操作人员能够及时了解机器人当前的状态；

2 机器人应具备手动涂敷功能，允许操作人员根据现场实际情况手动控制涂敷操作，以应对复杂或特殊的施工环境。同时，也应具备自动涂敷功能，通过预设程序自动完成涂敷作业。产品在进行手动和自动工作模式切换时，应先停止运行，模式切换成功后再启动；

3 机器人应配备涂料余量自动检测系统，能够实时监测涂料剩余量。当涂料余量低于设定的最低值时，机器人应立即发出报警提示，提醒操作人员及时补充涂料，防止因涂料不足导致涂敷作业中断，保障施工的连续性；

4 机器人应具备作业路径规划功能，能够根据施工区域的

形状、大小和边界条件，自动生成最优涂敷路径，依据设定路线自主完成作业，实现高效、均匀的涂敷覆盖，尤其适用于规则或大面积区域的施工，减少重复涂敷和遗漏区域；

5 机器人应具备障碍物检测功能，通过传感器实时感知周围环境中的障碍物（如设备、人员、建筑结构等）。检测到障碍物时，机器人应立即自动停机，避免碰撞事故的发生，保护设备和人员安全；

6 机器人应具备实时信息显示功能，直观呈现当前的运行状态、涂敷参数（如速度、涂料流量等）、电池电量、故障信息等关键数据，方便操作人员随时掌握设备运行情况。同时，具备实时信息记录功能，自动存储涂敷过程中的各项参数和事件记录，便于后续的质量追溯、故障分析和设备维护；

7 在异常工作状态下（如设备故障、涂料供应中断、环境条件异常等），机器人应具备自动报警功能，通过声光或文字提示等方式及时通知操作人员和周围人员，以便迅速采取措施进行排查和处理，保障施工安全和设备正常运行。

6.3.2 为确保地坪涂料涂敷机器人的施工安全、质量和效率，其应具备以下性能：

1 机器人在进行地坪涂料涂敷作业时，其涂敷效率应达到每小时不低于 100 平方米，确保机器人在单位时间内完成较大面积的涂敷工作；

2 机器人的续航时间应达到 4 小时以上。较长的续航时间意味着机器人能够在单次充电后完成更多的施工任务，减少因频繁充电导致的施工中断，提高施工的连续性和效率。

6.3.3 在使用地坪涂料涂敷机器人施工前，为确保施工过程的顺利进行以及施工质量的可靠性，必须对设备进行全面点检，确保设备状态满足施工要求：

1 依据设备清单，逐一核对机器人本体及其附属设备的构配件，确保所有列出的部件均完整无缺，无遗漏现象。包括但不

限于机器人的主体结构、行走机构、涂敷装置等关键部件，任何部件的缺失都可能影响机器人的正常运行，进而影响施工进度和质量；

2 开启电控柜，仔细检查内部有无杂物堆积、积灰过厚或浸液痕迹。若发现此类异常情况，严禁启动设备，以防因线路短路等问题引发安全事故或设备故障；电控柜内严禁放置配件、工具、杂物、安全帽等任何可能影响线路正常运行的物品；

3 检查供料管道、泵送装置以及末端执行机构的安装情况，确认其已正确安装且运转正常，无松动、损坏或泄漏等问题，保障涂料输送与涂刷等功能的顺利实现。

4 启动无线控制终端，查看电量显示，确保其电量充足，以满足施工期间远程操控设备的需求，避免因电量不足导致控制中断；

5 检测机器人电池电量，保证其处于充足状态，避免因电池电量不足导致机器人在施工过程中突然停止运行；若电量不足，需提前安排充电，确保在施工过程中，机器人能够持续稳定运行，不受电量限制。

6.3.4 基层的质量直接影响地坪涂料的施工效果和使用寿命。基层表面应平整、干净，混凝土强度等级应满足规范和设计要求，基层含水率应与涂料的技术要求一致。施工前应对基层进行检查和处理，确保其符合施工要求。例如，基层表面应无裂缝、无起砂、无空鼓等缺陷，以保证地坪涂料的附着力和施工质量。

6.3.5 根据设计涂料类型、工艺要求，结合实际施工面积及材料消耗和损耗，确定合理的备料量，可以避免材料不足导致的施工中断，同时也能减少材料浪费。施工前应根据施工图纸和设计要求，计算所需涂料的总量，并考虑施工过程中的损耗，确保材料供应充足。

6.3.6 施工前应对现场已完成的工序进行成品保护，以防止施工过程中对已完成的墙、柱等部位造成损坏。可采用保护膜、护角等材料对已完工部位进行防护，防止涂料污染或碰撞损坏。通过成品保护，可以减少因施工导致的修复工作，提高施工效率和

质量。

6.3.7 施工环境的温度和湿度的变化对地坪涂料的施工质量有着直接的影响，由于地坪涂料种类较多，其对施工作业环境温度要求各有不同，必须依据所选涂料的具体规定确定。

6.3.8 施工前的地面前置条件直接影响施工质量和后续工序的顺利进行。地面应打磨平整，表面粗糙度应保证底层涂料充分渗透进地面，确保涂层的附着力。场地应清扫干净，无渗漏、积水、油污和浮浆，以避免影响涂料的施工效果。施工范围内的坑、沟、井等部位应做好防护，防止施工过程中发生意外。使用溶剂型涂料时，应设置危废处理区，以符合环保要求。

6.3.9 地坪涂料涂敷施工工序包括施工准备、底涂施工、中涂施工和面涂施工，每个工序都有明确的要求和操作步骤。施工准备确保施工现场和设备处于最佳状态；底涂施工为后续涂层提供良好的附着力；中涂施工增强涂层的厚度和耐磨性；面涂施工则为最终的装饰性和保护性涂层。严格按照施工工艺流程操作，可以有效提高施工效率和施工质量。

6.3.10 在正式施工前，选择适配的涂刷方式和末端执行组件，并进行现场打样确认各涂层材料配比、设备运转参数等施工工艺参数是确保施工质量的重要步骤。通过现场打样，可以验证材料配比和设备参数是否符合设计要求，避免因参数设置不当导致的施工质量问题。例如，材料配比不当可能导致涂层厚度不均匀或附着力不足，设备参数设置不当可能影响施工效率和涂层质量。部分单组分涂料接触空气会固化造成机器人管路堵塞；底涂、中涂、面涂的同组分（放置在同一料桶内的不同涂料）不应反应固化；中涂添加石英砂后沉淀分层时间应超过使用时间（宜超过8h），否则会堵塞管路。

6.3.11 底涂施工是地坪涂料涂敷的第一道工序，其目的是为后续涂层提供良好的附着力和封闭性。机器人末端执行组件的选择应与涂刷方式和施工工艺参数要求相适应，确保底涂涂刷均

匀、连续，无漏涂现象。

对于机器人无法作业的区域或缺陷位置，应进行人工补涂，确保涂层的完整性。涂层固化过程中应采取防护措施，避免污染，以保证底涂的质量。

6.3.12 机器人施工选用的末端执行组件必须与当前采用的涂刷方式以及既定的施工工艺参数要求相匹配。在实际操作前，应确认该末端执行组件能够在特定的涂刷动作、速度、压力等工艺条件下，精准地完成中涂的涂敷任务，保证涂层的均匀性与附着力，避免因组件不适用而导致的涂敷不均、漏涂等质量问题。

作业人员应在机器人操作前，依据设计文件精确设定机器人涂敷程序中的涂料量参数、移动轨迹以及速度等参数，利用机器人自带的监控系统实时监测涂敷过程，对涂层厚度进行即时检测与反馈调整，确保每一区域的中涂涂层都能达到设计规定的厚度标准，无明显厚薄不均的现象。

对于存在机器人无法作业的区域，如狭小空间、复杂角落、障碍物周围以及出现涂层缺陷的位置，应及时安排专业施工人员进行人工补涂作业。补涂所使用的中涂涂料应与机器人涂敷的材料一致，并严格按照施工工艺要求进行操作，确保补涂部位与机器人涂敷区域的涂层衔接自然、平整，无明显色差、高度差等问题，形成一个完整、连续、性能一致的中涂涂层体系。

机器人涂敷过程中，应合理控制涂料量、涂敷速度以及固化条件等关键因素，确保涂层在干燥固化后形成致密的结构，具有良好的抗压、抗冲击和耐磨性能。同时，要对涂层表面进行细致检查，对发现的任何表面瑕疵及时进行修复处理，以满足地坪使用功能与美观需求。

涂层固化过程中，应采取有效的防护措施，防止涂层受到污染。应划定专门的固化区域，设置隔离标识，限制无关人员与物品进入。在固化区域内，应保持环境清洁、无粉尘飞扬，避免其他施工活动对地坪涂层造成影响。同时，要合理控制固化环境的温

度、湿度等参数，保证涂层在适宜的环境下顺利完成固化反应，确保涂层性能的稳定发挥。

6.3.13 根据面涂涂料的特性和设计要求，选用合适形式和尺寸的刮刀、滚筒等执行部件，确保其能够精准地完成面涂作业，在涂敷过程中实现涂料的均匀分布，满足施工所需的速度、压力、流量等工艺参数，保障面涂施工的质量和效率。

施工时要精确控制机器人涂敷程序中的各项参数，如涂料流量、机器人移动速度、行走轨迹等，使涂层在地面上形成均匀一致的覆盖层，避免出现厚薄不均的现象。在机器人作业过程中，应确保末端执行组件的运动平稳、精准，避免因组件与地面碰撞、摩擦或操作不当等因素导致涂层表面出现刮痕，影响地坪的外观质量和使用性能。在涂敷过程中或涂敷后应采取有效的脱泡措施，如使用专业设备进行消泡、刮泡，或利用静置、热风等方式促使气泡逸出，确保涂层表面光滑平整，无气泡残留，提高涂层的致密性和附着力。

在面涂施工前，依据设计文件明确涂层厚度标准，并通过现场测试和校准机器人涂敷参数，确保实际施工后的面涂涂层厚度在允许的误差范围内，以满足地坪的防护、耐磨等功能需求。所使用的面涂颜色应与设计选定的颜色一致，施工过程中要严格控制涂料的配比和涂敷工艺，避免因色差问题影响地坪的整体美观效果。

对于机器人无法作业的区域，如狭窄通道、设备底座周围、墙角边缘等，以及在面涂过程中出现的涂层缺陷位置，如漏涂、流挂、气泡集中等，应及时安排专业施工人员进行人工补涂作业。补涂时应使用与机器人涂敷相同的面涂材料，并严格按照施工工艺要求操作，确保补涂部位的涂层与机器人涂敷区域的涂层在厚度、颜色、性能等方面衔接自然、一致，形成完整、连续的地坪涂层体系。

在施工完成后，检查涂层表面的平整度和光滑度，确保其无

明显的凸起、凹陷、颗粒感等问题，符合地坪的使用舒适性和美观性要求。通过严格控制面涂材料的质量、配色工艺以及涂敷过程中的均匀性，保证涂层表面颜色的一致性，避免出现色差、色斑等现象，使地坪整体呈现出均匀、协调的视觉效果。加强施工过程中的质量监控，对涂层固化后的表面进行全面检查，一旦发现开裂、空鼓、漏涂等问题，应及时分析原因并采取有效的修复措施进行处理，确保地坪涂层的完整性和可靠性。

在面涂涂层固化过程中，划定专门的固化区域，设置隔离标识，限制无关人员和设备进入，防止对涂层造成踩踏、碰撞等机械损伤；同时，保持固化环境的清洁，避免尘土、杂物、油污等污染物落在涂层表面，影响涂层的最终性能和外观质量。此外，还应合理控制固化环境的温度、湿度等条件，按照面涂材料产品说明书的要求进行养护，确保涂层固化反应的正常进行，达到预期的使用性能。

6.3.14 为保障机器人施工的顺利进行与施工质量，施工过程中人工作业主要做的内容应涵盖以下几方面：

1 在机器人开始涂敷作业前，需安排专人检查基层地面的状况，确保其平整度、强度、干燥度等指标符合涂敷要求，无起砂、裂缝、油污等问题，为地坪涂料的附着提供良好的基础；

2 根据施工现场布局及作业需求，对机器人进行路径规划，合理设置涂敷范围，避免遗漏或重复涂敷区域；同时，依据地坪涂料特性和施工标准，精确设定涂敷速度等关键参数，以保证涂敷效果的均匀性与一致性；

3 在机器人作业前及过程中，持续清理施工现场，移除地面的杂物、工具、线缆等障碍物，确保机器人行进路线畅通无阻，防止其在作业过程中发生碰撞或卡顿，保障施工的连续性；

4 安排专人实时监控机器人涂敷效果，观察地坪涂料的流平性、色泽、厚度等指标是否符合要求；同时，密切注意材料的消耗情况，当涂料余量接近设定阈值时，及时添加材料，确保机器人

能够不间断地完成涂敷任务；

5　在涂敷过程中，若机器人出现异常情况，如报警提示、涂敷不均匀、设备故障等，现场人员应迅速响应，根据故障类型采取相应的解决措施。如遇设备故障，应及时暂停机器人运行，进行故障排查与修复，避免对施工质量和设备造成进一步影响；

6　机器人完成涂敷作业后，对发现存在机器人涂敷不完整、漏涂等问题，应及时安排人员进行人工修补，确保整个地面涂敷效果的完整性和美观性；

7　在施工结束后，再次清理施工现场，清理过程中产生的垃圾、废料等，并按照规定进行分类处理。同时，采取有效措施对涂敷成品进行保护，如设置隔离区域、张贴警示标识等，防止成品在固化前受到污染或损坏；此外，还需及时收集残留的涂料及其他废料，对机器人及相关设备进行彻底清洗，为下一次施工做好准备。

6.3.15　使用地坪涂料涂敷机器人进行施工时，机器人主要的作业内容是基于规划好的行走路径进行涂敷作业。该路径通常根据施工区域的边界、障碍物位置通过BIM模型导入或现场测绘编程设定等方式。确保了施工范围的全覆盖和无遗漏，同时也避免了与现场障碍物发生碰撞。作业过程中机器人按照预设的路径、速度、喷幅或流量进行作业，从而能够保证地坪涂料的涂布均匀一致，有效消除人工施工中常见的搭接不均、漏涂、厚薄不一等质量缺陷，大幅提升施工质量的均一性和可靠性。

6.3.16　涂层厚度和颜色是地坪涂料施工质量的关键指标，直接影响地坪的使用寿命和装饰效果。涂层厚度不足可能导致耐磨性、耐腐蚀性下降，而颜色不符合设计要求则会影响整体美观。施工完成后，应按照规定的检测频率和布点方式对涂层厚度进行检测，确保其达到设计要求。

浮色发花通常是由于涂料搅拌不均匀或施工操作不当导致的，会影响地坪的整体外观。起泡、起皮和泛砂等现象则是施工过程中常见的质量问题，起泡可能是由于基层含水率过高或施工

环境湿度大导致的，起皮可能是由于涂层附着力不足，泛砂则是由于涂层未充分固化。施工完成后，应通过目测和触摸检查面层，确保无上述缺陷。

地坪施工完成后，面层的允许偏差如表面平整度、坡度等指标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的规定。

6.3.17 地坪涂料施工完成后，为确保涂面正常固化和性能达标，需严格控制施工区域涂面的养护条件，具体要求如下：

1 养护期间环境温度宜为15℃～30℃。温度过低会显著减缓涂料中树脂的固化反应速度，导致涂层强度增长缓慢，甚至难以完全固化；温度过高则可能使溶剂挥发过快或反应过快，引起涂层收缩开裂、起泡、橘皮等缺陷，影响表面质量和使用寿命；

2 养护天数不应少于7d。这是确保常见环氧、聚氨酯等地坪涂料达到足够固化度和强度所需的最短时间。具体时间可根据材料类型、涂层厚度及环境条件适当调整，但不得少于7天，否则涂层可能因强度不足而在使用中提前损坏；

3 养护期间应采取防水、防晒、防污染等措施。防水可避免未完全固化的涂层被水浸渍发白、软化甚至剥落；防晒（尤其是紫外线）可防止表层因紫外线照射而粉化、变色或性能劣化；防污染则是为保证地坪表面洁净，避免油污、化学品等对涂层造成永久性污染或腐蚀；

4 在养护期间，应避免对地坪进行踩踏和碾压。涂层在养护期内尚未完全达到设计强度，过早承重或受到机械冲击、摩擦，容易造成永久性压痕、划伤甚至粘脱，破坏涂层的完整性和表面效果。如需提前使用，应采取必要的铺垫保护措施。

6.3.18 在地坪涂料施工完成后，为确保施工质量与涂面完好，应立即对施工区域实施成品保护措施，具体要求如下：

1 在施工区域周边显著位置设置警示标识，明确标识“地坪涂料施工完成，严禁进入”等警示语。使用警示带或围栏对施工

区域进行全封闭隔离，确保隔离设施稳固且具有足够警示效果，严禁无关人员及设备进入，防止因踩踏或意外碰撞导致涂面损坏；

2 在地坪涂料完全固化前（固化时间通常不少于 7 天），应严格避免重物、尖锐物体及高温物体直接接触地面。现场堆放的设备与工具需轻拿轻放，严禁拖拽或滑动搬运，防止因外力冲击或摩擦造成涂面刮痕、破损等损伤，确保涂面的平整与光滑；

3 采取有效措施防止水、油、酸、碱等各类液体物质污染地坪涂层表面。如因意外发生液体污染情况，应立即安排专人使用适宜的清洁工具与清洁剂进行清理，避免液体在涂层表面长时间停留，导致涂层表面变色、腐蚀或留下难以清除的污渍，影响地坪的整体美观与使用性能；

4 在施工区域内放置物品时，必须使用干净、无污染的垫板或托盘，确保物品与地坪涂层表面保持一定间隔，防止物品直接接触地面造成污染或对涂层表面产生压迫性损伤；

5 严禁在地坪涂料施工完成的区域内进行电焊、切割等可能产生火花的施工作业。如因特殊需求必须进行此类作业，应提前做好防护措施，如在作业区域铺设防火垫、设置隔离屏障等，防止火花溅射到涂层表面，造成不可修复的损坏，确保地坪涂层面的完整与安全。

6.4 室内喷涂机器人

6.4.1 室内喷涂机器人应具备下列功能：

1 机器人喷涂系统应具备动态自适应调节功能，在工件形状变化、涂料特性波动等工况下，仍能保证涂层厚度均匀性；

2 机器人应集成障碍物检测系统，支持对静态及动态障碍物的实时感知，且能具备分级避障策略，根据障碍物距离自动调节运动状态；

3 机器人应能实时显示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、喷嘴更换提醒等信息，并能实时记录运行参数及存储运行时间、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、报警记录等数据；

4 机器人应配备专用无线控制终端，终端须具备防误操作设计，包括意外启动防护、按钮布局优化及操作指引功能；

5 机器人系统应具备多级报警机制，针对电气故障、机械异常、喷涂失效、安全隐患等不同类型问题，实现分级报警、故障定位等。

6.4.2 为确保室内喷涂机器人的施工安全、质量和效率，其应具备以下性能：

1 机器人在进行喷涂作业时，其墙面腻子喷涂效率应达到每小时不低于 50 平方米，墙面漆喷涂效率应达到每小时不低于 150 平方米，确保机器人在单位时间内完成较大面积的喷涂工作；

2 机器人的续航时间应达到 4h 以上。较长的续航时间意味着机器人能够在单次充电后完成更多的施工任务，减少因频繁充电导致的施工中断，提高施工的连续性和效率；

3 IP54 防护等级能够有效保护机器人内部电气元件免受灰尘、水汽等外界环境因素的干扰和损害，提高设备的可靠性和稳定性，延长设备使用寿命。

6.4.5 为避免已完成工序遭受损坏，确保墙面装饰质量与施工环境安全，每个项目应根据实际情况对现场成品进行保护，如预留灯具孔位、开关/插座、电箱孔位、地砖成品、门窗成品、窗台板成品、厨卫门洞等。

6.4.6 建筑机器人通行高度宜≥1.8m，通行宽度宜≥1.2m。

6.4.9 使用室内喷涂机器人进行工作时，应严格按照基层验收、路径规划、喷涂、人工补充涂敷等工序进行施工。

腻子层打磨完成后，可按需求选择合适的底漆和面漆面数。

涂料喷涂层数按项目设计要求喷涂，工序参考表 6.4.9 第 12、13 项。

6.4.12 针对机器人喷涂施工中的盲区处理，明确人工补涂的适用场景、工艺要求，通过人机协作确保涂层整体一致性。

1 人工补涂适用场景：空间受限区域：狭窄阴阳角（内角＜90°）、管道密集区、吊顶与墙面夹角（距离＜20cm）等机器人无法进入或喷头无法覆盖的部位；结构复杂区域：浮雕装饰线条、异形造型墙面等因路径规划难度大导致喷涂不均的部位；设备故障区域：机器人喷涂中断后，未完成区域需人工紧急补涂以保证施工连续性；

2 喷涂衔接工艺要求：人工补涂区域需与机器人喷涂区重叠 5～10cm，形成渐变过渡带，避免明显边界；人工喷涂方向应与机器人喷涂轨迹保持一致（如均为从上至下），减少纹理差异；在机器人喷涂未干燥前（表干时间内）完成人工补涂，确保两层涂料充分融合，降低色差风险；使用与机器人喷涂同批次、同型号涂料，避免因批次差异导致的颜色偏差；采用小型喷枪（口径 1.0～1.5mm）或细毛刷进行精细补涂，确保边角部位覆盖均匀。

6.4.14 针对机器人打磨施工后出现的质量缺陷，明确人工打磨修复的适用场景、工艺要求及验收标准，通过人机协作确保打磨面整体平整度与光洁度达标。

1 人工打磨修复适用场景：平整度不足：局部区域高低差＞0.5mm（设计要求平整度≤0.3mm），导致表面波浪起伏；砂纸痕残留：机器人打磨后砂纸纹理未消除，形成明显划痕或磨痕；其他瑕疵：漏磨区域、打磨过度形成的凹坑、打磨不均导致的粗糙度偏差；

2 打磨修复工艺要求：人工打磨方向需与机器人原始打磨轨迹平行或呈 45°角，避免交叉打磨产生新划痕；对深度缺陷采用“粗磨—中磨—细磨”三阶段处理，每阶段砂纸目数递增 50%，确保过渡平滑；每打磨一遍需用吸尘器或压缩空气清除粉尘，防止二次划伤；

3　验收标准：在自然光或≥500lux 照明下，距离打磨面0.5m 观察，无可见砂纸痕、凹坑、漏磨区域。

6.4.17　喷涂前，检查基层墙面是否平整，确保墙面达到喷涂条件，人工清理施工现场，避免障碍物干扰机器人喷涂；喷涂后，人工进行现场成品保护、质量检查、机器人日常维护（清洗、充电）等工作。

6.5　室内地砖铺贴机器人

6.5.1　本条款明确地砖铺贴机器人施工应具备的核心功能，确保其安全性、规范性、可靠性。

1　机器人开机时自动检测核心模块（如驱动系统、激光接收器、振捣机构、控制系统等）的运行状态，通过机器上指示灯反馈自检结果。若检测到异常会有报警信号，操作界面会提示对应模块故障类型，方便清除处理；

2　机器人配备碰撞传感器、超声波或激光雷达等避障装置，在检测到障碍物（如人员误入作业区域）时立即触发急停，并切断动力输出。急停后需手动复位方可恢复操作，防止二次碰撞；

3　操作界面需实时显示机器人运行状态、作业模式、当前机器人铺贴位置、机械臂执行铺贴状态等。如遇故障报警应显示视觉伺服异常、布料机构卡顿等具体代码。机器人可完成数据存储，实时记录运行日志，支持导出分析机器故障；

4　根据装修 1m 线，在作业区域墙面上标记完成面标高线，作业时将激光调整至标高线高度，布胶机构上方 PSD 接收激光信号，底盘行走过程中开始布浆，地面高的地方布浆薄，地面低洼的地方布浆厚，布浆上表面标高一致性好；

5　底盘相机引导机器直线行走，末端视觉相机二次引导铺贴对缝，按照设置可对 1.5mm、2mm 等不同大小砖缝；

6　电量低于 30%、视觉异常、机械臂异常等都有报警机制，

报警分为声光警示(≥80dB 蜂鸣器+LED 黄色灯闪烁)和界面弹窗两级。

6.5.2 设备是否齐全,铺贴机器人 1 台、激光及架子 1 套、引导线 10m、打料设备及加料设备 1 套;检查布料系统是否清理干净、PSD 三个面板是否有污染、吸盘及气管是否完好、视觉相机是否有污染,检查控制柜的门是否关好、柜中器件是否完好,确认风扇转动是否正常;上电后检查电池放电是否正常、电池电量是否满足作业需求,电量<30%时需充电补充。

6.5.3 人员资质要求:操作人员应接受专业培训并考核合格,熟悉机器人操作流程、安全规范及常见故障处理方法。

培训内容应包括但不限于:机器人基本结构与工作原理;操作面板及常见故障诊断与应急处理;安全防护措施及紧急停机操作。建议持有相关机械设备操作证书(如建筑施工机械操作证),懂操作、懂工艺、懂维保、懂交付。

6.5.4 前置工序如墙板安装、水电安装、门窗安装、栏杆安装等完成后,应清理多余材料、施工垃圾等大件物品,以及对楼地面浮浆、外露钢筋、坑洼进行处理。

6.5.5 优先采用施工升降机进行机器人的垂直运输【登机门高度≥1900mm,梯内尺寸:3200×1500×2500mm(长×宽×高),出入口坡度≤5°】。如智能升降梯在项目后期拆除,采用室内电梯进行垂直运输,采用室内电梯时,电梯要求开门宽度≥900mm、电梯轿厢长度≥1300mm、电梯额定载荷≥900kg。也可以采用汽车吊运。

6.5.14 瓷砖薄贴法施工技术规程规定瓷砖粘贴工程中粘结层厚度不大于 8mm。机器人可最薄布浆 6mm 厚,最厚 20mm,低于 6mm 容易引起刮齿触地,导致挂齿折断,大于 8mm 到 20mm 越厚材料浪费越大,水化反应后收缩变形大导致空鼓。

6.5.15 对于品质要求高的项目,一般采用地面清扫后刷界面剂,增强基层与瓷砖胶的粘接强度。

6.5.16 引用了现行国家或行业标准《瓷砖薄贴法施工技术规程》JC/T 60006、《陶瓷砖》GB/T 4100、《陶瓷马赛克》JC/T 456等，对瓷砖薄贴法施工中的材料选用等方面进行规范。

地砖薄贴瓷砖胶选择很关键，按照建材规范瓷质砖边长在600mm以下及600mm以上均需选择C2强度瓷砖胶，严禁使用不符合标准的瓷砖胶进行薄贴作业。

6.5.18 人工根据排版图提前放好铺贴控制线，机器人到达作业区域，根据铺贴控制线放置参考引导线进行第一列砖铺贴（底盘相机看引导线行走），非首列砖使用底盘左相机或右相机参考上一列砖边引导底盘行走，实现精准铺贴。

6.5.20 将瓷砖胶粉料放入清水内搅拌成膏状，注意先放水后放瓷砖胶粉料；瓷砖胶粉料与水拌和比例为粉剂25kg加水6～6.5kg；搅拌需充分，以无生粉团为准。搅拌完毕后静置五分钟再次搅拌才能使用；搅拌好的胶浆料应根据天气情况控制在2h之内使用完毕（胶浆表面结皮的应剔除不用），禁止将已干结的胶浆加水后再用。

6.5.25 供料系统清洗时，可将软管拆开，使用水枪进行冲洗，料仓也进行冲洗，需要避免料桶中的凝块进入供料系统中。

6.5.27 机器人负责地砖的大面积整砖铺贴工作，凭借其高效、精准的特性，提升大面积作业的速度与质量。人工则承担局部收边收口等精细工作，发挥人工在处理复杂、不规则任务时的灵活性。通过人机协作的分工模式，实现效率、质量、安全、文明施工以及施工标准化等多方面的提升。

6.5.30 上砖小车是解决机器人上砖的辅助设备。

7 排水管道检测与修复施工类

7.1 一般规定

7.1.1 材料质量直接影响管道修复效果和使用寿命，相关技术规程和设计文件对材料的规格、尺寸、性能等有明确要求，必须严格遵守，保证管道检测和修复所用材料的质量，确保修复后的管道能够满足设计要求和使用功能。

7.1.2 排水管道内环境潮湿，可能存在水浸、泥沙等恶劣条件，机器人需要具备良好的防护性能。机器人防护等级应符合《外壳防护等级(IP代码)》GB/T 4208的规定，确保管道检测和修复机器人在恶劣环境下的正常工作，提高设备的可靠性和使用寿命。推荐机器人防护等级为IP68，即具备防尘和防水能力，能够在水下长时间工作，适应排水管道内的复杂环境。

7.1.3 现行国家标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181对管道缺陷等级有明确规定，不同等级的缺陷需要采取不同的处理措施，明确管道检测和修复机器人的适用范围，确保机器人能够在安全、有效的环境下工作。机器人适用于处理中等及以下缺陷，对于严重及以上缺陷，机器人可能无法直接处理。在处理严重及以上缺陷前，需对管道进行预处理，如清理淤泥、降低水位等，确保机器人能够正常工作。

7.1.4 无线操控是管道检测和修复机器人的常用方式之一，选择合适的频段对操控效果至关重要。根据施工现场的环境和设备情况，选择干扰少、信号稳定的频段，确保无线信号的传输距离和稳定性，避免因信号中断或干扰导致机器人失控，影响施工安全。

7.1.5 本条文中非开挖管道修复主要有光固化、水固化、螺旋缠

绕、短管置换、裂管法等，应用场景主要为排水管道为主，因此本标准重点针对自动化和智能化程度较高的紫外光固化修复机器人。紫外光固化修复机器人适用于 DN300mm～DN1800mm 的市政排水管道，目前国外资料显示紫外光修复机器人修复管径最大可扩展至 DN2000mm，国内现行标准普遍将最大适用管径限定为 DN1800mm，超出此范围需评估设备与材料的适配性。

7.1.8 本条文指出长期停用的发电机组在重新使用前，必须检查各部件，并测量绝缘电阻值，使用过程中发现异常声响，过热等情况时，应立即停机检查，机组使用场所比较潮湿时应做好防潮措施，做好移动式发电机组接地接零工作，保障设备和用电安全。

7.1.9 本条文明确管道修复机器人应根据厂家使用说明书定期进行维修保养，施工单位应提供相应的运行维修保养记录。

7.2 排水管道检测机器人

7.2.1 在使用检测机器人前，应对管道内的水位、淤泥深度、流速等环境因素进行评估，根据评估结果选择合适的机器人，如无水环境使用轮式机器人。在水深大于 200mm 的管道，轮式机器人可能无法顺畅在管道行进，导致机器人受困或检测效率低下，因此需要使用水陆两栖机器人，确保检测工作的顺利进行。

7.2.2 轮式管道检测机器人需要清晰的图像来识别管道内部缺陷，水位和淤泥深度对图像质量有直接影响，管道内水深宜不大于管道直径的 20%，且水深宜小于 200mm，管内最大淤泥深度宜小于 100mm。确保轮式管道检测机器人的图像质量和检测效果，避免水位过高或淤泥过深影响检测结果。

7.2.3 满水时，机器人无法进入管道进行检测，需进行排水处理，使管道顶部与水面空间足够容纳机器人进行顺利检测。当水流速度过快时，机器人可能无法逆流而上或保持固定姿态完成检测，所以流速宜在 0.4m/s 以下。

7.2.4 管道内环境恶劣，检测要求高，本条对管道检测机器人的基本性能提出了明确要求，这些要求确保机器人能够在恶劣的管道环境中正常工作，并能够提供高质量的检测结果。

7.2.5 缺陷距管口的距离是描述管道缺陷的基本参数，也是制定管道修复和养护计划的依据。管道内行进距离、井室编号信息、井室内部实况能进一步帮我们了解管道状态信息，智能评估系统能极大地提升后续管道维护效率。因此管道检测机器人的距离测量功能、缺陷定位精度、完整监视器和评估系统是基本的要求。

7.2.6 我国的排水管道断面形状主要为圆形和矩形，蛋形管道国内少有，本条没有特别强调管道断面形状；圆形管道为“偏离应不大于管径的10%”，矩形管渠为“偏离应不大于短边的10%”。

7.2.7 检测机器人作业前，需要对机器人进行全面检查工作，确保设备处于最佳工作状态。各项检查应严格按照表格内容执行，并做好相应记录。需要根据管道情况进行初步判断，根据管道大小，水流情况选择合适的机器人。根据机器人检测要求，通过气囊封堵或导流管引流控制管内水流情况，符合机器人检测要求。需要全面检查机器人设备是否齐全、各项功能是否正常、设备电量是否充足。

7.2.8 检测机器人作业前，需检查机器人状况并在地面进行调试试机，确保电池电量充足且各机构正常使用。这是为了提前发现并解决潜在问题，避免在管道内因设备故障导致检测中断或失败。地面调试试机可以验证机器人的行进、拍摄等功能是否正常，确保检测过程顺利进行，提高检测效率和可靠性，同时保障设备和人员的安全。

7.2.9 在长时间管道检测时，应配备一块备用电池，以避免检测过程中出现断电问题。这是因为管道检测通常在复杂且难以快速更换电池的环境中进行，一旦主电池耗尽，机器人可能会停止工作，导致检测中断，甚至可能因无法及时退出管道而损坏设备。

配备备用电池可以确保检测过程的连续性，保障检测任务的顺利完成，同时避免因断电导致的设备故障和数据丢失，提高检测工作的可靠性和安全性。

7.2.10 检测机器人的行进器和线缆盘通过专用电缆连接，使用前必须确保连接正常。这是因为电缆连接是机器人与控制端通信和供电的关键，连接异常可能导致信号中断或不稳定，影响机器人行进和图像传输，甚至导致设备故障。检测前确认连接正常，可以保障检测过程的连续性和数据的完整性，确保检测结果准确可靠，避免因连接问题导致的重复检测或数据丢失。

7.2.11 使用轮式管道机器人检测前需进行管内气囊封堵，按照“上游两个、下游一个”的要求布置，封堵气囊压力范围宜为0.05～0.2MPa。这是因为轮式机器人依赖干燥环境，气囊封堵可有效阻挡水流，确保管道内干燥，便于机器人行进和检测。上游设置两个气囊可防止水流倒灌，下游一个气囊可拦截反向水流，确保检测区域稳定。气囊压力控制在合理范围(0.05～0.2MPa)既能保证封堵效果，又可避免对管道造成损伤，保障检测过程的顺利进行和安全性。

7.2.12 使用水陆两栖机器人检测前，需采取降水措施，确保水面与管道顶部距离大于200mm，流速控制在0.4m/s以内。这是因为水陆两栖机器人在水下作业时，需要足够的空间和稳定的水流环境来保证其正常行进和拍摄效果。水面与顶部距离过小可能导致机器人与管道顶部碰撞，影响检测；流速过快则会使机器人行进困难，甚至导致拍摄图像模糊，无法准确获取检测数据。通过控制水位和流速，可以为机器人创造良好的作业条件，确保检测过程的顺利进行，提高检测结果的准确性和可靠性。

7.2.13 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。这是因为管道检测过程中，专业检测人员需专注于检测设备操作和数据采集，而气囊压力观测等辅助工作同样重要。气囊压力观测可确保封堵安全，避免因压力异常导

致的设备损坏或安全事故。配备辅助人员可以合理分工，提高检测效率，确保检测过程的顺利进行，同时保障人员和设备的安全。

7.2.14 检测施工前核实管道使用年限、使用情况、堵塞情况及埋入和露出建筑物部分的损坏情况，是为了全面掌握管道的实际状况。使用年限和使用情况可预估管道老化程度和潜在问题；堵塞情况影响管道功能和检测路径；埋入和露出部分的损坏情况直接关系到施工安全和工程质量。通过提前核实这些问题，可以优化检测方案，确保施工顺利进行，同时为后续修复和维护提供依据，保障管道系统的安全运行。

7.2.15 技术人员应根据图纸上检查井施工位置进行测量摸底，并与图纸和设计资料复查核对。这是为了确保施工位置的准确性，避免因图纸与实际不符导致的施工偏差。通过现场测量和资料核对，可以及时发现潜在问题，调整施工方案，确保施工顺利进行，同时保障工程质量，避免因位置错误引发的安全隐患或工程事故。

7.2.16 确定施工顺序后，提前做好施工区域围挡，准备安全帽、工作服等用品，并平整清理施工地段，是为了保障施工安全和公共交通安全。围挡可以隔离施工区域，防止无关人员进入，避免意外事故；安全用品能保护作业人员免受伤害；平整清理施工地段，确保施工顺利进行，减少安全隐患。合理布置施工地段，避免对公共交通安全造成危害，体现了施工管理的规范性和对社会交通的责任感。

7.2.17 施工前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，是为了保障作业人员在复杂环境下的安全。长管呼吸机可提供持续的清洁空气，防止吸入有毒有害气体；照明灯能确保在光线不足的井下作业时视野清晰；救生绳具则可在紧急情况下快速救援。这些用品是应对突发状况、保障人员安全的关键，确保施工过程的安全性和可靠性。

7.2.18 施工前检测井内有毒有害气体浓度并做好应急救援准

备，是为了确保作业人员的安全。井内可能存在硫化氢、一氧化碳等有毒气体，这些气体无色无味且易积聚，一旦超标，极易引发中毒事故。通过提前检测气体浓度，可以评估作业环境的安全性，采取通风等措施降低风险。同时，做好应急救援准备，如配备呼吸器、急救设备等，能够有效应对突发状况，保障作业人员的生命安全，避免因准备不足导致事故扩大。

7.2.19 管道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。这些资料能够提供管道的详细信息，包括管道走向、埋深、材质、施工工艺等，帮助检测人员提前了解管道的基本情况，制定合理的检测方案。同时，水文地质资料可以指导检测过程中对地下水等环境因素的应对，确保检测的顺利进行。参考这些资料能够提高检测效率，避免因信息不足导致的误判或漏检，为后续的维护和修复提供准确依据。

7.2.20 管道检测内容应涵盖管道结构病害、变形与偏移、接口状况、内部堵塞、泄漏点等。这些检测内容全面反映了管道的健康状况，为后续维护和修复提供依据。结构病害检测可发现裂缝、腐蚀等潜在问题；变形与偏移检测有助于评估管道的稳定性；接口状况检测能识别渗漏风险；内部堵塞检测保障管道畅通；泄漏点检测则可定位渗漏源头。全面检测确保管道安全运行，降低事故风险。

7.2.22 检测机器人在管内行进方向宜与水流方向一致，以减少水的阻力和对机器人的影响，确保检测的平稳进行。当管径大于200mm时，直向摄影的行进速度不宜超过0.15m/s，这有助于确保图像的清晰度和稳定性，避免因速度过快导致的图像模糊或漏检。在检测过程中，应时刻关注机器人的行进状态，避免碰撞、侧翻等意外现象，这些意外不仅可能损坏机器人，还可能影响检测的完整性和准确性。在录取重点缺陷影像资料时，应停止行进并尽量降低机架，这样可以更清晰地捕捉到缺陷的细节，为后续的分析和处理提供更准确的依据。

7.2.23 检测机器人应在确认井口及井内无异常后开始检测工作，这是为了确保检测环境的安全性和可靠性，避免因井内未知的危险因素（如积水、杂物、有害气体等）对机器人或操作人员造成损害，同时确保检测结果的准确性。检测过程中使用隔离管将线缆与管口隔离，是为了防止线缆在机器人进出管道时与管口发生摩擦或碰撞，从而避免线缆磨损。线缆是机器人与控制端的重要连接部件，一旦磨损可能导致信号中断或传输不稳定，影响检测工作的顺利进行。通过隔离管保护线缆，能够有效延长线缆使用寿命，确保检测过程的连续性和稳定性。

7.2.24 在将载有摄像镜头的机器人安放在检测起始位置后，开始检测前将机器人的行驶距离归零，是为了确保检测数据的准确性和可追溯性。这一步骤可以确保检测过程中记录的距离信息从零开始，便于后续对检测结果的分析和定位。当检测起点与管段起点位置不一致时，进行补偿设置，是为了确保检测结果的准确性。补偿设置可以将检测起点与管段起点之间的距离差值考虑在内，从而在检测结果中准确反映管段的实际位置和长度，避免因起点不一致导致的检测结果偏差。

7.2.25 检测时，摄像镜头的移动轨迹应保持在管道的中轴线上，偏离度不应大于管径的10%。这一要求确保了摄像头能够均匀地覆盖管道内壁，从而获得全面且一致的检测图像。对于特殊形状的管道，可能需要适当调整摄像头的位置以获得最佳图像，这有助于确保检测结果的准确性和完整性。

7.2.26 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，以确保缺陷特征能够被准确识别和记录。在特殊情况下，例如当实时抓取的图片无法满足要求时，应采用观看录像截图的方式获取更清晰、更完整的缺陷图像。这一要求旨在确保检测结果的准确性和可靠性，为后续的分析和修复提供高质量的图像依据。

一处结构性缺陷抓取的图片数量应不少于1张，以确保检测

过程中对所有发现的结构性缺陷进行记录和存档。这一要求能够为后续的分析、评估和修复提供必要的图像依据，确保检测结果的完整性和可追溯性。

7.2.27 检测过程中，若出现以下情形应中止检测：行进器无法行走或推杆无法推进，表明设备运行异常，继续检测可能导致设备损坏或数据不准确；镜头沾有污物或浸入水中，会使图像模糊不清，影响检测结果；管道内充满雾气，也会降低图像质量，导致检测无法正常进行；其他任何影响检测正常进行的情况也应中止检测。这些规定旨在确保检测数据的准确性和可靠性，避免因设备故障或环境因素导致的误判或漏检。

7.2.28 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，以便及时发现和标记问题，为后续处理提供初步依据。现场检测完毕后，应由复核人员对检测资料进行复核，以确保检测结果的准确性和可靠性，避免因现场条件限制或人为因素导致的误判或漏检。这一流程有助于提高检测工作的质量，确保检测结果能够真实反映管道的实际状况。

7.2.29 检测报告应全方位清晰地反映缺陷的位置、距离、等级等详细情况，以便为后续的维护和修复提供准确依据。对于无法确定的缺陷类型或等级，应在评估报告中加以说明，避免因信息不完整导致误判或遗漏。这一要求确保了检测报告的完整性和准确性，同时也为后续的分析和决策提供了可靠的参考。

7.2.30 管道检测作业过程中应符合下列规定：

1 拍摄顺序：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。这一顺序确保了检测过程的系统性和完整性，避免遗漏重要信息，同时便于后续的分析和比对；

2 衔接周期：各拍摄步骤之间衔接周期良好，宜不大于 20 秒，以减少冗余时长。这有助于提高检测效率，避免因拍摄间隔过长

导致的视频信息不连贯，确保检测过程的流畅性；

3 外部环境拍摄：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。这一步骤为检测工作提供了地理和环境背景信息，便于后续的定位和追溯；

4 井室内部拍摄：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，能够从视频上清晰地反映井室内部的全部实况。这一步骤确保了井室内部情况的全面记录，为评估井室的结构和状况提供依据；

5 管节环视：管节环视时，镜头每次旋转应不超过 60°并应停顿 2 秒，保证管节处的缺陷能被清晰判读。这一要求确保了管节处缺陷的全面检测，避免因旋转过快或停顿时间不足导致的漏检；

6 终点井室环视：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，确保视频能够清晰地反映终止井室的内部状况。这一步骤确保了终点井室的全面检测，避免遗漏重要信息。

7.2.34 管道检测机器人拍摄的视频数据，是评判管道重要缺陷的依据，因此要从以下方面严格控制拍摄管道缺陷数据的质量：

1 机器人摄像头视频分辨率应达 1080P 及以上，确保图像清晰无失真。此标准可精准捕捉管道内细节，避免误判漏检，满足行业要求，便于后续分析存档，保障检测可靠性；

2 低光照环境下，摄像头灵敏度不低于 0.1Lux，确保图像亮度和对比度满足检测要求，可清晰地显示管道内部结构。此标准保障在复杂水下环境中精准检测，避免因光线不足导致漏检，提升检测可靠性；

3 当机器人在管道内部移动时，摄像头所拍摄的画面可能会因运动产生抖动。为保证后续分析的准确性，图像抖动幅度不得超过屏幕尺寸的 1%。这意味着即使在复杂管道环境中，图像也应保持清晰、平稳，避免因晃动导致关键缺陷被遗漏或误判；

4 为了准确识别管道内部的颜色变化(如腐蚀、沉积、渗漏等),摄像头必须具备良好的色彩还原能力。其色彩误差应控制在±10%以内,有助于技术人员对管道状态做出正确判断,防止误诊或漏检;

5 于管道内部结构复杂,摄像头须具备360°水平旋转能力,以确保对整个圆周方向进行全面扫描。旋转角度误差应小于±2°,表示控制系统对摄像头角度的调节精度高,能有效避免盲区,提升检测覆盖率和准确性;

6 在某些检测场景下,需要摄像头在不同角度之间频繁切换。摄像头角度切换时间不超过2秒,以确保检测工作流畅进行,减少因设备响应慢而造成的效率损失,从而提升整体作业效率;

7 裂缝是管道结构损坏的重要表现形式。本条款要求机器人摄像头能够识别并清晰地呈现宽度大于0.5mm的裂缝,并具备测量功能,测量误差不超过±5%。这有助于评估裂缝的危害程度,为后续维修提供科学依据;

8 腐蚀是影响管道使用寿命的关键因素之一。本条款要求摄像头能够清晰识别点蚀(局部小面积腐蚀)、均匀腐蚀(大面积均匀损耗)等不同类型,并通过图像颜色、形状和大小变化反映腐蚀严重程度,便于技术人员评估管道健康状况;

9 沉积物会影响管道流通能力和使用寿命。本条款要求摄像头能够清晰识别沉积物的存在及其边界,并具备厚度测量功能,误差控制在±10%以内。此外,还应能分辨沉积物成分差异,帮助判断沉积原因及处理方式;

10 管道内可能因施工或自然原因进入异物,如碎石、树枝、塑料袋等,这些异物可能造成堵塞或磨损。本条款要求摄像头能够清晰地捕捉异物的外形特征和具体位置,便于评估其对管道运行的影响,并为清除措施提供依据。

7.2.35 《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181的管道评估部分,对检测项目名称、代码及等级有详细的规定。将管道的

缺陷进行详细地分类，为后面管道修复提供依据。

7.3 排水管道修复机器人

7.3.1 修复机器人应至少具备固化与鼓气的功能。紫外光灯可选用高压汞灯、LED灯或金属卤素灯等，根据内衬管的壁厚选择对应辐照强度的紫外光灯。紫外光灯架/灯链应由多节独立部分组成，可自由组装，配备插入式和延杆式灯脚，可随意拆卸，满足多管径管道修复；内置耐高温抗干扰高清摄像头，通过LED灯实现固化前内衬管内照明；设两/三个红外传感器，记录固化过程中内衬管表面温度，监控固化过程。设置记录内衬管中空气温度的针式传感器和压力的压力传感器（小于DN1000的管道，灯链为可拆解式的，大于DN1000的管道灯架为可伸缩的）。主控系统的触摸显示屏上可独立显示每个紫外光灯的操作状态，配置紧急停机按钮；全程自动记录施工信息和固化过程中所有参数数据并生成报告。

7.3.2 修复机器人控制系统应满足自动化和智能化的操作要求，因修复材料需吸收足够的辐照剂量才能保证完全固化，但长时间的辐照一方面会造成软管内温度过高，导致内膜热熔，另一方面，过高的温度（研究表明＞120℃）会导致内衬管力学性能下降，因此紫外光等的开灯间隔、固化巡航速度是影响固化效果的关键参数。

7.3.3 修复机器人系统中一般风机的最大正排气压为100kPa，风机在工作中需要缓慢鼓气，应具备无级调节的功能，借此控制出风量，满足管径范围内内衬软管的充分伸展。气压控制需加强管道扎头处处理，扎头处配备高压气体接口，辅助气体接口及压力传感器接口，扎头应与软管尺寸相配合，安装金属扎头时应利用轧带将软管和扎头布固定，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。

7.3.4 紫外光灯透射辐照强度会随着物质的厚度呈指数下降，因此，紫外光在物质中的透射深度是有限的，未达到辐照强度，试样将不能接收到足够辐照，影响深层固化，力学性能下降。长期使用的紫外光灯，其功率会出现衰减，为不影响固化，建议在首次运行 400 小时后，对其性能进行检测。

7.3.7 管道修复施工前应采用管道检测机器人对原管道进行调查、检测，原有管道的属性调查应包括管道的类型、位置、埋深、走向、长度、断面形状与尺寸、材质与接口型式、使用年限、支线接入、流槽型式、井室构造与尺寸、设计流量、实际流量及其变化规律等，检测完毕后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。对管道现场环境踏勘，因紫外光固化施工不宜在大于 30℃ 或低于 −5℃ 气温下进行，紫外光固化主要适用于修复 DN300mm～DN1800mm、转弯角度不高于 15°。

修复所用的材料应符合《纤维增强塑料用液体不饱和聚酯树脂》GB/T8237 及《城镇排水管道原位固化修复用内衬软管》T/CUWA60052 的相关要求，工业废水管道修复，需选用耐腐蚀性的树脂，无特殊要求禁用邻苯型不饱和聚酯树脂，厂家应提供内衬软管耐腐蚀报告。

7.3.8 修复材料存储温度和环境温度应满足厂家要求，开箱后存放应阴凉、通风、干燥。

7.3.12 紫外光固化修复施工对原有管道的条件要求较高，首先施工过程应断水作业，还应清除影响紫外光固化修复施工的不利条件，在进行预处理之后，必须通过管道检测，目前主要管道检测方式为 CCTV、QV 等检测，确保管内条件达到紫外光固化施工的条件时，才可开展下一步操作。

7.3.14 管道修复工作应按有限空间进行管理，现场严禁吸烟，未经许可禁止使用明火。管道修复作业必须配备气体检测报警仪，按规定“先通风、再检测、后作业、有监护”，井下的空气含氧量不得低于 19.5%，且不得大于 23.5%。作业前自然通风时间不

应小于30min，换气效果不良的应采用机械通风，平均风速不应小于0.8m/s或通风换气次数不小于20次/h。管道修复充气加压过程中应确保工作井内无操作人员。

7.3.16 铺设垫膜是为了避免在下料过程中，玻纤软管与管底摩擦而损坏。

7.3.17 不得将软管与底膜同步拉入，绑扎过程中还应注意不要损伤玻纤软管，设置两道以上的轧带，保证在牵引过程中不发生脱落现象，用U型吊装环连接吊装带与钢丝绳套，利用检测机器人将钢丝绳拉入管道，并与卷扬机连接。底铺设完成后，将内衬软管端头长约0.5m的软管两侧分别向中心对折1/3，再纵向对折，并在折线底部放置吊装带，对折部分的外部应缠绕保护垫膜，然后用轧带绑紧，用U型万向环连接吊装带与钢丝绳套，然后沿管底的底膜将湿软管平稳、缓慢地拉入原有管道。

7.3.19 整个固化过程中要留意管壁的温度，通过控制反应温度，可以直观地判断紫外光固化的程度，温度应保持在80～120℃之间，若超出该范围，及时调整固化巡航速度和充气设备进气量。紫外光灯架的巡航速度与管径，内衬管壁厚以及紫外光灯的辐照强度均有关系，在施工过程中应参考材料厂家提供的安装手册。

7.3.20 固化完成后，依次关闭各盏紫外灯，相邻两灯的关闭间隔应与开启间隔相同，并按照0.01MPa/min降压。随后拆除滚筒和滑轮，再拆除充气管、扎头端盖，收缩灯腿，取出紫外灯架，并卸下控制电缆、牵引绳，用紫外光灯架牵引绳将内膜扎紧，并拉出。

7.3.22 紫外光固化过程需监控管道内温度、压力及巡航速度等参数并进行精准调节，对专业技术有较高要求，必须为修复单位具有相应操作技能和经验的技术人员，严禁采用临时调配人员，部分国内重大项目建设方已要求查证修复技术人员社保证明，禁止使用临时作业人员。

7.3.23 修复用软管壁厚一般3～18mm，根据现场需求长度多为20～100米，密度约为1.60g/cm^3，管径大于DN1000mm时软

管相对较重，需采用吊装设备施工。

7.3.25 管道非开挖修复为有限空间作业，每次作业需按规定办理施工许可审批并设置安全监护人，施工期间作业人员需在修复管道的起始工作井进行导排和封堵、拉入软管、安拆修复机器人、修复完成后取样等工作，均需人工配合完成，因此为保证施工质量安全，应配备表格中各岗位人员并履职尽责。

7.3.26 现行标准《给水排水管道原位固化法修复工程技术规程》T/CECS 559 中 2.1.6、2.1.7 两条制定了"结构性修复为内衬管独立承受原有管道内、外全部压力"与"半结构性修复为利用原管道承受外部土压力等，新形成的内衬管道仅承受静水压力等"的定义。管道修复机器人修复后管道使用年限国家无统一的标准，更多的明确设计寿命周期内承受的内部和外部荷载，并应由此进行设计，因非开挖修复过程中老旧管道较多且无相关的原设计年限参考文件，结合实际情况该标准明确了不同结构修复的最低使用年限，从设计源头上保证修复工作的质量。

7.3.28 根据 CJJ/T 210 的规定，内衬管的表面应光洁、无局部划伤、磨损、气泡或干斑等缺陷。T/CECS 559 规定局部划伤、磨损、气泡或干斑的出现频次每 10m 不大于 1 处，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，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。

7.3.29 壁厚设计反映了内衬软管的各项性能以及原有管道病害情况和环境影响因素，原则上按最不利条件进行设计。因紫外光修复技术为国外引进，国外标准规定平均壁厚不低于设计厚度的 80%，或者不低于 3mm，部分省地标沿用了该参数，现场应选取管道端头不少于 4 个点均布测量后取平均值，检测仪器精度应达到 0.02mm。《市政排水管道紫外光原位固化修复施工技术规程》T/CMEA 34-2023，该指标已调整为 90%，该标准确定按此实施。目前修复技术水平提高，成本降低，大管径修复增多，因此现

场应选取不少于 4 个点进行检查。

7.3.30 对于多个井段连续修复施工的，施工后切割中间井的井内内衬部分；对于两井之间修复施工的，施工后切割同步施工的伸出工作井井壁多余内衬部分；对于局部现场固化法，亦可在施工现场单独制作样品管或增加修复施工长度与修复部位同时制备样品管，固化后切割取出。送检样品应使用防紫外光的蔽光袋封装，现场样品需详细、真实记录取样信息，试验完成后便于对质量情况的客观分析和经验总结。

7.3.31 内衬管力学性能试验关键指标为拉伸性能和弯曲性能，采用三点弯曲法测试；因内衬管投入使用后，应具有良好的防渗性能，管壁密实性试验是使用网格切割，将待测基材的防水层划开，在 0.5bar 真空条件下，滴加染色剂的水溶液，持续 30min，观察其是否有渗水；修复管道功能性试验是国家验收标准明确规定的试验，验收前需严格执行。

7.3.32 管道修复机器人修复过程中的灯架开启时间、巡航速度、管内压力、固化温度计灯架关闭时间等工艺参数为固化机组自动记录需导出，对于 CCTV 检测、软管出厂资料及各种试验报告、试验记录等收集归档，作为修复质量合格的技术文件是工程资料的归档范围和工程验收的前提，也便于为保修期质量问题查询和运维提供参考。

7.3.33 修复管道端头一般突出井壁 20～30mm，老旧管道与井壁接触部位多未进行密封处理或年久失修，对端头进行密封处理，可以防止地下水进入内衬管与原有管道的缝隙，未处理前需遮盖做好成品保护。

8　建筑机器人作业云平台协同管理

8.1　一般规定

8.1.2　当云平台出现故障时，应在云平台运维监控中心大屏或运维团队的告警平台呈现故障报警信息；当机器人硬件状态、软件状态、任务执行状态或环境与交互出现故障或异常时，应在机器人管理云平台的专属监控界面（如地图视图、列表视图等）呈现报警信息。

8.2　云平台协同管理

8.2.1　实时监控和数据交互功能使技术人员能够快速调整机器人作业参数，确保作业质量，减少人工协调时间，提高施工效率。

云平台实时检测作业完成面质量，确保各机器人作业达标后才允许后续机器人进场，保障施工质量。

通过权限管理，防止无授权人员操作机器人，提高施工安全性。

重庆工程建设

9 安全与环境保护

9.1 安全防护

9.1.1 本条参照 IEC 60947-5-5 的规定。建筑机器人本体应具备不少于 2 个急停按钮，急停按钮应布置在机器人本体易于触及的位置。

9.1.3 本条参照《协作机器人设计标准》ISO/TS 15066 的规定。

9.1.5 电气安全专项规定：

技术要求：接地电阻≤4Ω(潮湿环境≤2Ω)；接地线截面积≥4mm^2(多股铜线)；接地极埋深≥0.6m；

检测方法：使用接地电阻测试仪每月检测；连接点采用铜鼻子压接并做防腐处理。

9.1.6 设备维护安全措施：

上锁挂牌(LOTO)：断开主电源并上锁(每人独立锁具)；悬挂“禁止合闸”警示牌；

泄压标准：液压系统压力表归零(保持泄压阀开启)；蓄能器能量完全释放。

9.1.9 操作人员防护标准如下：

防护用品	技术标准	更换周期
安全帽	GB2811-2019	30 个月
防护眼镜	GB14866-2006	破损即换
防尘口罩	GB2626-2019	8 小时
防砸鞋	GB21148-2020	6 个月

9.1.10 操作站位规范要求：

安全区域：最佳站位区：机器人两侧 45°扇形区（距离 1～1.5m）；禁止进入区：前后 2m 范围（急停缓冲带）；

操作限制：参数修改需双人确认（操作员＋技术员）；禁止屏蔽安全传感器。

9.1.11 动态风险防控要求：

监测参数：倾斜报警阈值：纵向±5°，横向±3°；过载保护：电流超过额定值 110%自动降速；

应急程序：碰撞预警：0.5m 内自动减速；人员闯入：2m 范围声光报警。

9.1.12 高处作业防护措施：

控制要点：作业面边缘设置防撞栏（高度≥1.2m）；机器人距临边距离≥1.5m；风速＞8m/s 时停止作业；

路径规划：提前标记安全警戒线（反光漆标识）；采用“由内向外”退行施工法。

9.1.13 手动控制机器人的操作要求：

速度控制曲线：0～5s：0～0.3m/s（缓启动）；5～15s：0.3～0.8m/s（加速段）；＞15s：保持设定速度；

空间确认：执行 360°环境扫描（应用激光雷达或视觉方案进行检测）；设置物理隔离栏（移动式围挡）。

9.1.15 根据统计，汛期短期强降雨极端天气增多，近年发生多起因强降雨导致的地下管网改造施工安全事故，虽管网修复施工时间短，但修复期间管道上下游封堵且多为老旧管网自身病害多，因此有效的应急措施和应急物资储备是风险防控的有效机制。

9.2 环境保护

9.2.1 本条文规定了建筑机器人的环保选用原则：

电动型机器人优先选用（噪声≤75dB，零排放）；燃油机型需符合国四及以上排放标准；能耗指标：单位面积耗电量≤

0.8kWh/m^2。

9.2.2 高噪声作业(>70dB)控制在8:00～12:00/14:00～18:00;敏感区域施工时增设移动式声屏障(降噪≥15dB)。

9.2.3 管网修复施工因涉及前期的清淤预处理,内衬软管含树脂材料自然降解困难,对工业配套的老旧排水管道内淤泥存在部分重金属超标的情况,需收集后由专门的机构进行处理。

9.2.5 文明施工标准:

废弃物处理:水泥残渣:专用密封容器收集(防扬尘);废水:经三级沉淀后排放(pH值6～9)

验收标准:地面无可见废弃物(按5m×5m网格检查);设备清洁度:无>10cm^2的污渍附着。

重庆工程建设