

# 成都市建筑机器人选用导则

## (2025 版)

成都市住房和城乡建设局

2025 年 10 月

# 前言

为贯彻落实《住房城乡建设部等部门关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（建市〔2020〕60号）、《四川省住房和城乡建设厅等部门关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的实施意见》（川建建发〔2021〕173号）等文件精神，积极推动成都市建筑行业的数字化、信息化、智能化转型，进一步加快建筑机器人在智能建造中的应用，提升建筑施工效率与质量，由成都市住房和城乡建设局组织，会同成都市各大建筑集团及相关技术单位，经过深入调研与广泛征求意见，制定本选用导则。

本导则旨在为成都市建筑行业引入建筑机器人技术提供标准化、科学化的选用指导，推动建筑机器人在施工现场的广泛应用，促进建筑生产方式的创新与转型。通过本导则的成果编制，规范了建筑机器人的适用场景、技术标准和使用效果，确保建筑机器人能够在实际项目中高效、稳定、安全地运作，从而提升城市建筑施工的整体水平和智能化水平。

本导则共分为5个章节，内容包括：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.安全规定及维护要求；5.建筑机器人场景选用导则。

本导则由成都市住房和城乡建设局审核，由编制组负责具体技术内容的解释和说明。执行过程中如有意见和建议，请发送反馈成都蓉筑智能建造创新研发与产业促进中心（地址：成都市锦江区柳荫路9号，邮编：610023，邮箱：cdrzic@163.com），以便进一步修改和完善。

主编部门：成都市住房和城乡建设局

主编单位：成都蓉筑智能建造创新研发和产业促进中心  
四川展视数科科技有限公司  
四川升拓检测技术股份有限公司  
成都磊数科技有限公司

参编单位：四川华西集团有限公司  
盎锐(杭州)信息科技有限公司  
成都职业技术学院  
中国五冶集团有限公司  
佛山奥卡机器人有限公司  
成都环境工程建设有限公司  
成都建工集团有限公司  
中国建筑一局（集团）有限公司  
眉山环天建设工程集团有限公司  
重庆智能建造研究所  
中建三局云构机器人有限公司  
西南数智机器人科技（重庆）有限公司  
四川建瓴建设项目管理有限公司  
电子科技大学

主要起草人员：	易富民	林伟	吴佳晔	何伟	陈浩
	龙飞宇	谢军	刘万里	曾宏亮	沈宇豪
	高宇	贺斌	毛伟	周献华	李科
	朱子耕	李佳皓	王卓	王琪	甘庆峰
	廖峰	代勇	段发志	王永景	周敬
	万仁威	王杰	胡阔海	甘丹	牛智祥
	唐克强	邬静芝	王成刚	南玲博	唐贵伟

主要审查人员：高宏力      商宏谟      黎金亮      刘俊      吴畏

# 目 次

第一章 总则	1
第二章 术语	2
第三章 基本规定	3
第四章 安全规定及维护要求	4
第五章 建筑机器人场景选用导则	5
5.1 建筑机器人分类、名称及介绍	5
5.2 三维测量机器人	6
5.2.1 三维测量机器人功能与性能参数	6
5.2.2 三维测量机器人应用场景	6
5.2.3 三维测量机器人导入要点	7
5.2.4 三维测量机器人作业方案	7
5.3 混凝土整平机器人	8
5.3.1 混凝土整平机器人功能与性能参数	8
5.3.2 混凝土整平机器人应用场景	8
5.3.3 混凝土整平机器人导入要点	8
5.3.4 混凝土整平机器人作业方案	9
5.4 混凝土抹平机器人	10
5.4.1 混凝土抹平机器人功能与性能参数	10
5.4.2 混凝土抹平机器人应用场景	10
5.4.3 混凝土抹平机器人导入要点	11
5.4.4 混凝土抹平机器人作业方案	11
5.5 混凝土抹光机器人	12
5.5.1 混凝土抹光机器人功能与性能参数	12
5.5.2 混凝土抹光机器人应用场景	13
5.5.3 混凝土抹光机器人导入要点	13
5.5.4 混凝土抹光机器人作业方案	14
5.6 地坪研磨机器人	14
5.6.1 地坪研磨机器人功能与性能参数	14
5.6.2 坪研磨机器人应用场景	15
5.6.3 地坪研磨机器人导入要点	15
5.6.4 地坪研磨机器人作业方案	16
5.7 墙面智能抹灰机器人	16
5.7.1 墙面智能抹灰机器人功能与性能	16
5.7.2 墙面智能抹灰机器人应用场景	17
5.7.3 墙面智能抹灰机器人导入要点	17
5.7.4 墙面智能抹灰机器人作业方案	17
5.8 通用物流搬运机器人	18
5.8.1 通用物流搬运机器人功能与性能参数	18
5.8.2 通用物流搬运机器人应用场景介绍	18
5.8.3 通用物流搬运机器人导入要点	18
5.8.4 通用物流搬运机器人作业方案	19
5.9 室内喷涂机器人	19
5.9.1 室内喷涂机器人功能与性能参数	19
5.9.2 室内喷涂机器人应用场景	20
5.9.3 室内喷涂机器人导入要点	20
5.9.4 室内喷涂机器人作业方案	21
5.10 地砖铺贴机器人	22
5.10.1 地砖铺贴机器人功能与性能参数	22
5.10.2 地砖铺贴机器人应用场景	22
5.10.3 地砖铺贴机器人导入要点	22
5.10.4 地砖铺贴机器人作业方案	23
5.11 混凝土板质量检测机器人	24

5.11.1 混凝土板质量检测机器人功能与性能指标 .....	24
5.11.2 混凝土板质量检测机器人的应用场景 .....	24
5.11.3 混凝土板质量检测机器人的导入要点 .....	25
5.11.4 混凝土板质量检测机器人的作业方案 .....	25
5.12 建筑巡检机器人 .....	26
5.12.1 建筑巡检机器人功能与性能参数 .....	26
5.12.2 建筑巡检机器人的应用场景 .....	26
5.12.3 建筑巡检机器人的导入要点 .....	27
5.12.4 建筑巡检机器人的作业方案 .....	27
5.13 市政非开挖疏通机器人 .....	28
5.13.1 市政非开挖疏通机器人功能与性能参数 .....	28
5.13.2 市政非开挖疏通机器人应用场景 .....	28
5.13.3 市政非开挖疏通机器人导入要点 .....	28
5.13.4 市政非开挖疏通机器人作业方案 .....	29

# 第一章 总则

1.1 为促进机器人技术在成都市建设领域的创新应用与健康发展，推动建筑业与先进制造技术、新一代信息技术深度融合，加快施工方式智能化转型，旨在科学引导建筑机器人的选用与应用，通过人机协同模式，重点应用于施工中“危、繁、脏、重”的作业环节，降低人员安全风险、提升工程建造质量与施工效率，制定本导则。

1.2 本导则适用于成都市行政区域内各类新建、改建、扩建工程项目的建筑机器人应用选择及场景准备工作，涵盖房屋建筑工程、市政基础设施工程及城市更新项目等。

1.3 建筑机器人在选择应用过程中除应符合本导则外，尚应符合现行国家、行业及地方有关标准的规定。

## 第二章 术语

### 2.1 建筑机器人 Construction Robot

基于自动化、物联网、人工智能等技术，通过集成控制系统、感知系统、驱动系统和机械系统等，结合工程施工工艺，以“危繁脏重”的施工作业为重点，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，辅助和/或替代人执行任务的机器人。

### 2.2 作业空间 Reachable Workspace

机器人的执行指令或遥控器能够到达的目标点的集合。

### 2.3 协同作业 Human-Robot Collaboration

多个机器人之间和/或与周边设备、人员之间交流信息和动作,共同确保其运动的有效作用，以完成任务。

### 2.4 感知 Perception

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

### 2.5 导航 Navigation

一种根据定位和环境地图决定并控制运动方向的功能。

### 2.6 轨迹规划 Trajectory Planning

根据作业任务要求，计算出机器人预期的运动轨迹。

### 2.7 保护性停止 Protective Stop

为安全防护目的而允许运动停止并保持程序逻辑以便重启的一种操作中断类型。

### 2.8 机器人操作员 Robot Operator

经过专门培训的、操控机器人的人员。

### 2.9 激光波长 Optical maser wavelength

指激光器的输出波长，是激光器输出激光光束的重要参数。

### 2.10 冲击回波法 Impact echo

通过冲击方式产生瞬态冲击弹性波并接收冲击弹性波信号通过分析冲击弹性波及其回波的波速、波形和主频频率等参数的变化，判断混凝土结构的厚度或内部缺陷的方法。

### 2.11 探地雷达 Ground penetrating radar

向被探测目标体发射高频电磁波束，通过观测反射电磁波的时间滞后及强弱特征研究目标体特性的电磁勘探装置。

## 第三章 基本规定

- 3.1 施工单位应在项目建设阶段前，综合考虑工程特点、施工工艺、质量要求等因素，决定所采用的建筑机器人类别。建设单位和设计单位宜协同参与，设备供应商应积极配合。
- 3.2 施工单位宜在采购前明确建筑机器人的功能、使用环境、数据标准和使用效果等。
- 3.3 监理单位宜负责建筑机器人的使用督导工作，督导工作包括建筑机器人的安全使用、合作方协调及使用效果评价。
- 3.4 试点工程项目宜导入应用建筑机器人，新建房屋建筑工程、市政基础设施及城市更新项目推荐导入使用建筑机器人。
- 3.5 建筑机器人应具备可靠稳定的性能，在规定的工作条件下能正确地完成任务。其功能性能应符合相关国家或行业标准，作业精度应满足施工质量验收标准。
- 3.6 建筑机器人应用环境：机器人在环境适应性与防护，应具备坚固的机体机构、极高的高密封性、宽温域的工作能力，防腐蚀处理，严禁明火、易爆及结构不稳的危险环境中作业。
- 3.7 建筑机器人的操作人员应经过专业培训，掌握机器人的基本操作、设备日常维护保养、安全应急预案措施等内容。

## 第四章 安全规定及维护要求

- 4.1 建筑机器人作为现场关键工程设备，其安全性关系到现场人员、设施乃至整个项目。在建筑机器人进场作业前，作业空间人员需树立安全意识，落实风险评估，明确安全职责，掌握应急措施。
- 4.2 在使用建筑机器人前，操作人员应对其机械部件、电子元件、传感器等部件设备开展详细检查，确保其工作状态处于正常水平。
- 4.3 建筑机器人在使用时应具备安全防护装置，确保机器人即使掉落、倾翻，也不会对周围环境的人员造成严重伤害。
- 4.4 建筑机器人应具备自主应急报警、工作急停和故障诊断功能。当建筑机器人出现故障或受损时，操作人员可立即停止机器人，通过指示故障信息，排查机器人问题。
- 4.5 建筑机器人的使用单位应根据其使用情况，制定日常保养内容与定期维护计划。保养维护应包括但不限于更换磨损部件、润滑机械关节、维护电池、更新软件系统等内容。
- 4.6 使用单位在对建筑机器人进行维护保养的过程中若发现其存在故障问题，应放置明显标识警示现场作业人员。待其维修完毕后方可带走警示标识。

# 第五章 建筑机器人场景选用导则

## 5.1 建筑机器人分类、名称及介绍

表 5-1 建筑机器人介绍一览表

序号	建筑机器人名称	功能说明	适用场景	核心价值
1	三维测量机器人	用于对施工现场环境和结构进行快速、精准的三维空间数据采集与分析	结构主体施工阶段、装饰与饰面阶段、隐蔽工程与狭小空间、工程验收及归档阶段等。	提升数据采集效率，降低数据分析成本
2	混凝土整平机器人	通过自主导航与智能控制技术，代替人工完成混凝土摊铺、振捣、整平及收面等工序	主体结构阶段中大面积平面施工、饰面施工阶段最终饰面基层处理、需要连续不间断施工	提升施工质量与精度
3	混凝土抹平机器人	对混凝土初凝后的表面进行提浆、收面和压实处理。它通过下压旋转的抹盘反复揉压混凝土表层，将泌出的水泥浆均匀提至表面并填补空隙，以提高表层密实度和平整度	主体结构阶段中大面积平面施工、饰面施工阶段最终饰面基层处理、需要连续不间断施工	提高混凝土施工质量、缩短施工时间
4	混凝土抹光机器人	用于混凝土结构地坪终凝前收光、抛光作业	地面面积、平整度、光洁度、施工效率有较高要求的项目	显著提高施工质量核销率、确保表面致密平整
5	地坪研磨机器人	用于地坪地面研磨,主要用于去除混凝土表面浮浆	对地面平整度和洁净度有较高要求的应用场景，如地下车库、室内厂房等的环氧地坪、固化地坪、金刚砂地坪施工	降低施工成本，提升施工效率、质量，降低劳动强度
6	墙面智能抹灰机器人	用于墙体表面的找平、打底作业（即抹灰）	户型标准化程度高、重复作业多、对墙面平整度要求高的墙面	提高混凝土施工质量、缩短施工时间
7	通用物流搬运机器人	用于工地施工现场物料搬运	物料搬运任务重复、频繁（存在大量“两点之间”的	提高施工效率，降低安全隐患

序号	建筑机器人名称	功能说明	适用场景	核心价值
			固定搬运流程	
8	室内喷涂机器人	用于室内墙面及顶棚在基层处理完后进行喷涂作业	可用于各类建筑室内墙面及顶棚喷涂作业，宜用于重复性高的标准户型	降低施工成本，提高施工质量
9	地砖铺贴机器人	用于室内外地面，在地面硬化找平后薄贴作业	可用于各类建筑室内外地面铺贴作业，宜用于大面积且重复性高的地面作业（如厂房，商业体，医院等）	提升施工效率，降低施工成本
10	混凝土板质量检测机器人	用于施工后混凝土板内部缺陷检测	对质量、可靠性要求高的项目，如大型商业中心、地下车库、高速桥梁	确保工程质量；减轻人员工作强度
11	建筑巡检机器人	在现场项目安全巡查及应急救援	需要安全及应急处理的施工及运营场景。如医院、学校、工业厂房、地铁隧道等	即时发现事故问题，降低安全风险
12	市政非开挖疏通机器人	人工无法进入的小径管道，在不破坏地面，人不下井的情况下，对管道内混凝土结晶、砂浆固结、砖石混合堵塞等，进行非开挖清除。	城市排水管道因混凝土结晶、注浆固结、建筑垃圾等造成的堵塞；适用于老旧街道、铁路保护	零开挖、零占道、零电火花、零噪音；单井口作业，最快6小时完成贯通；降低交

## 5.2 三维测量机器人

### 5.2.1 三维测量机器人通用要求

(1) 功能：三维测量机器人是通过大量激光扫描测试的数据，来进行建筑空间的测量工作。

该机器人主体部分是高精度三维激光扫描仪，内置空间算法来替代人工靠尺、直尺等测量，大幅提高测绘工作效率。机器人主要测绘内容为平整度、垂直度、顶板极差等空间数据。扫描结果可直接对接 BIM/CAD 等建模软件。

(2) 关键性指标：三维测量机器人的核心性能在于集成了高精度激光测量与智能自动化技术，在严格遵循人眼安全国际标准的前提下，能够高效、可靠地完成大范围三维空间数据的采集与处理，最终输出高密度、高保真的结构化点云数据，为数字化建模与分析提供坚实的数据基础。

### 5.2.2 三维测量机器人应用场景

三维机器人广泛用于勘察、施工、验收等各阶段。如土建施工阶段：混凝土、砌体、抹灰阶段的实测实量（开间、进深、垂直度、平整度、极差等），逆向建模生成 BIM 模型，用于施工纠偏与设计优化；装饰装修阶段：精装房分户验收。装配式装修排版算量，基于扫描数据生成材料下单方案；桥梁隧道施工阶段：危险区域替代人工测量。

### 5.2.3 三维测量机器人导入要点

#### (1) 前置工序要求

在使用三维激光测量机器人之前，需确保混凝土支模立杆拆除，无支模架堆料，现场具体基本场清条件，无过多的充斥被测房间的遮挡物。

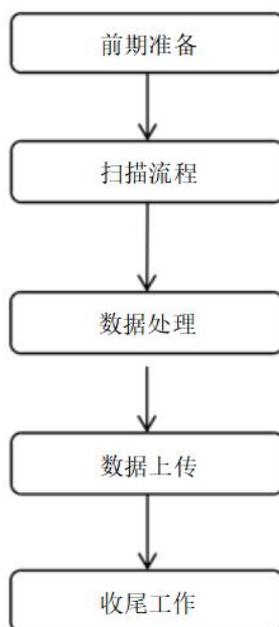
#### (2) 作业环境要求

扫描空间内无障碍物遮挡，作业时沿线不可有人员走动。

#### (3) 人员配备及要求

应配置 1 名经专业操作人员，负责设备管理，现场扫描任务、数据采集与模型导出。

### 5.2.4 三维测量机器人作业方案



(1) 前期准备：登录三维测量机器人管理平台录入项目信息、分配测量任务信息；至测量现场后安装三脚架并检查三脚架是否稳固，安装扫描仪，确保电池与传感器状态正常。

(2) 扫描流程：系统中选择需要测量的项目及房间，测量员按照当前的施工状态确定为混凝土、砌体、抹灰阶段等状态，点击开始测量进行扫描，扫描时间约为 2 min，扫描结束后设备会发出提示音，则当前房间扫描结束，人工将设备移动至下一个测量空间，重复操作进行测量，所有的测量结果会在后台自动计算，自动生成三维模型及测量结果；路径规划：按房间或梁柱分割空间，测量员进行设备的挪动测量。

(3) 数据处理：扫描完成后自动输出三维模型与爆点等高线图；导出模型至 BIM 软件进行正逆向比对，或通过 CAD 插件生成装饰排版方案。

(4) 数据上传：返回项目部后上传扫描结果至云端平台，除现场自动生成的实测实量结果，平台可自动生成各项数据分析，并自动生成各类数据报表。

(5) 收尾工作：关闭设备并拆卸三脚架，将设备装入专用三防箱。

定期维护注意事项：三维机器人需定期检查扫描仪、电池、三脚架（固定装置）、充电器、无尘布；锂电池及备用电池做好充放电保养；机器人每年宜进行计量校准。

## 5.3 混凝土整平机器人

### 5.3.1 混凝土整平机器人通用要求

（1）功能：混凝土整平机器人是一种用于楼地面混凝土浇筑后自动振捣找平的智能施工装备。

该类设备通常采用前置激光找平装置（俗称激光整平机），能够在混凝土摊铺完成后快速精确地整平地面。通过人机协同作业，整平机器人可替代人工刮杠等繁重工序，提高大面积混凝土地坪施工的效率和标高精度，施工平整度误差可控制在 5mm 以内。

该机器人主要功能是对新浇筑混凝土表面进行振捣和找平作业。整平机器人集成了激光基准控制系统和振动整平机构，工作时通过激光发射接收器实时调整标高，确保地坪标高和平整度满足设计要求。

（2）关键性能指标：机器人具备通用性与综合性能。其设计能够灵活适配多种不同规格的刮板组件，应对各类作业场景。在运行效率上，机器人可持续保持高水平输出，确保单位时间内可完成大面积的作业任务，并对工作区域实现极高程度的覆盖，无遗漏死角。移动方面，拥有强劲的机动性能，移动迅捷流畅，不仅能稳定跨越一定高度的障碍，也可轻松越过具有一定宽度的沟槽。此外，机器人内置持久续航系统，支持长时间连续稳定工作，足以满足高强度作业下的续航要求，保障工作任务的无间断完成。

### 5.3.2 混凝土整平机器人应用场景

混凝土整平机器人通常更适用于大面积、高平整度要求的混凝土楼板或地坪施工，与此同时，其高度的灵活性与智能化特点，同样能高效适配于中小户型和复杂分区项目，确保不同规模的项目均能享有远超传统工艺的平整度与整体性。例如工业厂房、大型商场地面、大跨度地下车库等场景，采用激光整平可有效保证标高一致性和表面平整度。此外，在涉及高危施工环境的工程中，如桥梁、机场跑道、港口码头、易燃易爆场所及特殊化工厂区等，通过整平机器人替代人工操作，可有效降低施工人员遭受机械伤害或环境风险的可能性，保障施工作业的安全性和稳定性。

在混凝土初凝之前投入使用是必要条件，通常混凝土浇筑后立即进行机械整平。荐在混凝土板厚度中等偏厚（如 100~200mm）且钢筋布置不致干扰整平装置运动的结构中使用，以发挥设备效率和保证振捣效果。

实际应用中，整平机器人对施工场地开阔度有一定要求：场地应尽量成大片区域，减少狭窄空间和密集障碍，以便机器人直线行驶和成段作业。对于要求地面平整度误差在  $\pm 5\text{mm}$  以内、高度标高精准控制的工程（如耐磨地坪或超平地面施工），激光整平机器人能够满足其技术指标要求。

### 5.3.3 混凝土整平机器人导入要点

#### （1）前置工序要求

在使用整平机器人前，应完成混凝土的运输布料和初步摊铺工作，使浇筑区域大致铺平至设计厚度略高的位置。周边模板（或控制条）应提前按标高支设牢固，作为整平边界

基准。施工前需架设激光基准仪（激光发射器）在现场一角，高度设置到地坪设计标高并确保覆盖整个施工面的信号。

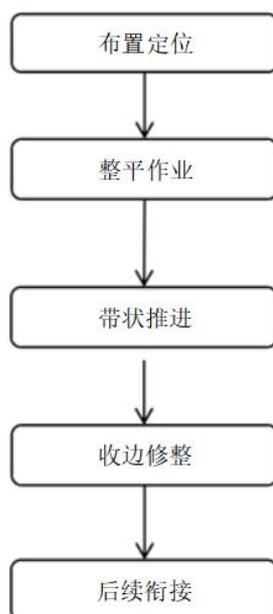
### （2）作业环境要求

施工现场应提供设备充电条件，使用配套充电器为机器人充满电。为安全起见，严禁现场私拉电线给机器人充电，应在指定地点充电后再将设备移入施工面。地坪底部模板和支撑体系需有足够强度，能够承受机器人约 0.3 t 的重量及其振动冲击。现场应清理障碍物和钢筋头等凸出物，避免卡阻整平头。

### （3）人员配置要求

应配备至少 1 名经过培训合格的机器人操作员，负责对机器人工作前的安全检查、作业以及机器人工作完成后对机器人的日常管理、维护保养等工作；同时宜配备 1 名安全员负责监督机器人的使用，及协助处理工作中的突发情况。操作人员须经过培训并熟悉遥控器的控制，施工时在机器人周边留有安全区域，防止无关人员靠近。另外，施工宜避开大风暴雨天气，室内作业保持一定通风，以防设备电气受潮和保障人员安全。

## 5.3.4 混凝土整平机器人作业方案



（1）布置定位：整平机器人作业前，先在待施工区一端放置激光基准仪，校准标高。混凝土浇筑并由人工或布料机初步摊铺至接近设计高度后，将整平机器人吊运或驾驶至作业面的起点。

（2）整平作业：启动设备的激光找平系统和振捣电机，按照预设方向缓慢前进，前部整平头一边振捣混凝土一边刮平表面多余混凝土浆体。

（3）带状推进：当一条带状区域整平完成后，机器人后退脱离该区域，再平移至相邻未整平区域起点，搭接先前已施工边缘继续下一带整平，带与带应有部分重叠以避免出现施工缝台阶。如此循环，按照“直线带状分幅”的路线覆盖整个浇筑板面。

（4）收边修整：对于靠近墙边、柱边等机器整平头无法完全触及的局部区域，需由人工使用刮杠或振动尺补充找平，使之过渡平顺。

（5）后续衔接：整平完毕后，紧接进行下一步提浆抹平工序（可由抹平机器人执行），防止混凝土表层水分快速蒸发造成干燥过度。在整个整平施工过程中，应确保激光基准稳

定不受干扰，并密切关注混凝土塌落度和和易性变化，必要时调整施工速度和振捣频率以保证平整度质量。

定期维保要求：混凝土整平机器人应建立完善的维保计划，每次施工结束后，及时清洁设备表面及整平头，检查轮胎、整平头、传感器及激光接收装置等关键部件，发现磨损或损坏立即修复或更换。每月至少进行一次全面的设备检查与维护，重点关注电气线路、电池、控制系统和机械传动部件的完好性，确保机器人始终处于可靠安全的作业状态。

## 5.4 混凝土抹平机器人

### 5.4.1 混凝土抹平机器人通用要求

(1) 功能：混凝土抹平机器人是用于混凝土初凝后表面提浆、收面的智能施工装备。

混凝土抹平机器人通常采用履带行走与前部摆动抹盘相结合，可在混凝土初凝阶段安全行走并均匀揉压地面。这类机器人通过高精度激光/陀螺传感和实时高度控制，可控制抹平部件对地面的压力和角度，实现对混凝土表层浆体的有效找平和压实。履带式底盘使其单位接地压力较低，能够在混凝土“塑性状态”下施工而不破坏地面。总体而言，混凝土抹平机器人解决了混凝土初凝后“提浆抹压”这一繁重且要求技术经验的环节，降低人工强度并提升施工质量。

抹平机器人的主要功能是对混凝土初凝后的表面进行提浆、收面和压实处理。它通过下压旋转的抹盘反复揉压混凝土表层，将泌出的水泥浆均匀提至表面并填补空隙，以提高表层密实度和平整度。

(2) 关键性能指标：机器人专为高效抹平作业而设计，展现出卓越的综合性能。其核心抹平机构具备高度的适应性，能够根据工作介质的实时状态智能调节运作强度，从而确保在不同工况下均能获得一致的高质量作业效果。在效率方面，机器人可持续保持高速行驶，单位时间内可处理极大的面积，并对目标区域实现极为全面与彻底的覆盖，显著减少重复作业。其机动性同样出色，拥有良好的通过性，可稳健应对地面常见的微小起伏与障碍。此外，其搭载的高效能源系统提供了持久的运行耐力，保障了长时间、高强度连续工作的需求，有效满足各类施工任务对效率和续航的严苛要求。

### 5.4.2 混凝土抹平机器应用场景

混凝土抹平机器人用于在混凝土整平后，初凝结束前，进一步微观处理，用于提升混凝土表面观感、闭合裂缝并减少泌水的现象。通常更适用于大面积、高平整度要求的混凝土楼板或地坪施工，与此同时，其高度的灵活性与智能化特点，同样能高效适配于中小户型和复杂分区项目。例如，地下停车场、大型商场楼板等一次性浇筑面积较大的工程，在混凝土初凝后立即投入抹平机器人进行提浆收面，可避免因人手不足或进度较慢导致局部混凝土表面硬化过度。同时，在存在施工安全风险的特殊高危场景（如隧道、地下空间、含有毒或易燃易爆物质的化工厂地坪，以及桥梁、高架施工平台等高处作业地坪）中，采用抹平机器人能有效降低人工操作风险，减少人员与危险环境的直接接触，避免机械伤害事故的发生，提升整体施工安全性。

当混凝土表层达到初凝（浇筑后约 2~3h）的状态时即可开始机械抹平。

抹平机器人适合在早期强度较低、混凝土塌落度较大的情况下作业而不致下陷过深。为顺利完成机械作业，推荐在混凝土标号不低于 C25 且塌落度中等（如 150~180mm）的施工中使用。对于有较高平整度和密实度要求的地坪（如需做硬化耐磨地坪或精找平地

坪)，抹平机器人的提浆和压实效果明显高于人工作业。需要注意的是，作业面应无积水浮浆（初凝前已适当排除或吸收），以免机器人抹压时因水分过多导致表层起泥或强度下降。

### 5.4.3 混凝土抹平机器人导入要点

#### （1）前置工序要求

在混凝土完成激光整平或人工找平后，应静待其达到初凝。判断初凝的简便方法是，人员可轻踏混凝土表面，脚印下陷深度不超过几毫米且无明显泌水。此时即可考虑投入抹平机器人作业。若过早上机，混凝土过于稀软可能被履带压出深痕；过晚则表面浆体变少，不利于提浆作业。

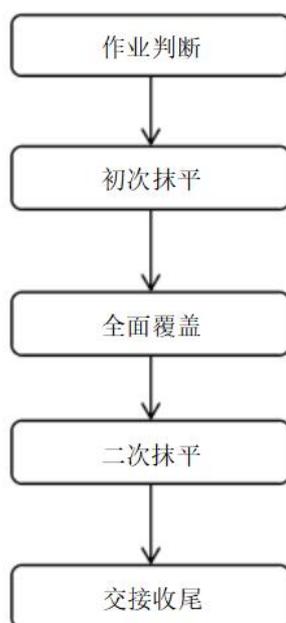
#### （2）作业环境要求

为机器人留出上下场通道，如通过临时坡道将设备推上楼层，或利用塔吊/施工电梯吊运至施工面。在四周临边（如无护栏的板边）应有防护措施，防止机器人接近边缘时意外倾坠。边角、柱边区域因机器转身受限，宜预先安排人工初步收面，这样机器人主要负责大面积区域。

#### （3）人员配置及要求

应配备至少 1 名经过培训合格的机器人操作员，负责对机器人工作前的安全检查、作业以及机器人工作完成后对机器人的日常管理、维护保养等工作；同时宜配备至少 1 名安全员负责监督机器人的使用，及协助处理工作中的突发情况。操作人员须经过培训并熟悉遥控器的控制，施工时在机器人周边留有安全区域，防止无关人员靠近。操作人员应密切关注机器人运行状态，如出现履带打滑、偏离路线等情况及时通过遥控纠正，把握好混凝土初凝至终凝这段黄金时间窗口进行机械抹压，以及确保作业面的条件适宜机器人发挥作用。

### 5.4.4 混凝土抹平机器人作业方案



（1）作业判断：当混凝土表面进入初凝状态后，立刻将履带抹平机器人运输至板面起始位置。此时混凝土状态应满足“脚印不陷，表面微湿”的条件方可开始机械抹平作业。

(2) 初次抹平：从房间或区域的一侧开始，以直线方式推进。启动机器人，使其抹盘贴近混凝土表面开始旋转，同时摆臂左右摆动进行提浆作业。机器人沿规划路线缓慢行进，履带驱动配合摆动抹盘，将表层浆液反复揉压扩散，填平因泌水收缩产生的细微不平。

(3) 全面覆盖：操作人员通过遥控控制行进方向和速度，使机器人以“来回平行蛇形”的路径遍历整个区域，即走到尽头后小幅横移，然后反向行驶抹平相邻未处理带，确保相邻行程间有一定重叠以免漏抹。对于柱边、墙边等机器未覆盖到位的地方，可在机器人经过后由人工持抹子补充处理，消除界面痕迹。

(4) 二次抹平：若混凝土表面仍有较多泌水或起砂现象，可在首次抹平结束后稍等一段时间，让混凝土再凝固一些，然后进行第二次机械抹压，以进一步提浆和压实。履带抹平机通常进行1~2遍作业，直到表面泛出均匀浅光泽、脚踩不出现明显下陷为止。

(5) 交接收尾：抹平机器人作业完成后，应立即转入终凝前的抹光工序（可由抹光机器人或人工完成），以最终获得光滑致密的地坪表面。在此过程中保持施工现场通风和适宜的湿度，以防止表面过快干燥。整个抹平施工需要与浇筑、整平和抹光环节紧密衔接，形成连续高效的作业流水线，实现混凝土楼板从浇筑到光面成型的机械化施工。

定期维保要求：抹平机器人使用后应及时进行清洁，尤其是履带、抹盘和传动部件，清除混凝土残浆，防止固化结块影响设备运行。每日作业完成后应检查机器人电池、电气线路及遥控器工作状态，确保其功能完好、连接可靠。每月应对机器人进行一次系统的全面检查，包括关键传动部件、电机、电池组、履带的磨损情况，定期润滑并更换磨损或老化的零部件，以保证抹平机器人安全稳定运行，延长设备使用寿命。

## 5.5 混凝土抹光机器人

### 5.5.1 混凝土抹光机器人通用要求

(1) 功能：混凝土抹光机器人是用于混凝土终凝前进行最终收光抛光的智能装备。通过同步运行实现大面积地面的快速抹光。这类机器人一般在混凝土表面即将硬化但仍具可塑性时投入，使多个高速旋转的抹盘反复揉压地坪表层，提升平整度并赋予表面光洁度。相比人工反复抹压，机器人抹光可更均匀地作用于地面，显著提高施工质量和效率。同时，利用电驱动实现“以机代人”，降低工人在长时间抹面施工中的劳动强度，减少“繁、重”人工操作环节，实现更安全的作业环境。

抹光机器人通过机组协同对混凝土表面进行抹光。主动机提供行走驱动力和部分抹光功能，从动机扩大抹光覆盖宽度。主动机与从动机之间以刚性框架或连接杆相连，通常成前后布置，共同保持平衡。

主动机利用改变自身抹光盘的倾斜角度实现牵引运动，当抹光盘略倾斜时，会产生水平分力推动机器向相应方向移动。这样，无需车轮，机器即可依靠抹盘倾角差实现前进、后退和转向，具备一定的自主移动能力。

(2) 关键技术指标：机器人专注于高品质抹光作业，集高效、智能与持久续航于一体。其核心抹光系统具备先进的智能调节能力，可精准感知作业面状态并自动调整工作模式，确保在不同工况下都能实现均匀、细腻的最终效果。机器人运行高效流畅，能够持续完成大面积的抹光任务，并对施工区域进行极为全面细致的覆盖，有效避免遗漏。其底盘设计稳健，具备良好的地面适应性，可轻松应对施工现场常见的微小障碍，保证作业流程的连贯性。此外，其内置的高容量动力系统支持长时间连续工作，足以满足日常作业周期对续航能力的严格要求，保障施工效率。

### 5.5.2 混凝土抹光机器人应用场景

混凝土抹光机器人适用于对地面光洁度和平整度要求很高的建筑地坪施工。在如大型仓储、厂房生产车间、展览馆、体育场看台等需要光滑耐磨地面的场所，采用机器人抹光可确保表面致密平整，减少人为因素造成的质量波动。

在某些高危施工环境（如核电站、化工厂、桥梁高架平台、地下隧道工程等）中，由于存在辐射、化学物质、高空作业等风险，人工施工的安全性和效率均受到限制，抹光机器人能有效替代人工进入高危环境进行作业，显著降低人员受到机械伤害、辐射或有毒物质暴露的风险。

在混凝土终凝前夕开始机器人抹光最佳。机器人可在有限的终凝前时间窗口内连续作业，大幅覆盖地面，提高效率，弥补人工抹光面积有限的不足。浇筑面积大的工程（如整层商业楼面或大仓库地坪），通过数台抹光机器人并行作业，在混凝土终凝前完成整个的收光，有效避免因人工抹光不及时而出现的冷缝、光泽不均等问题。

推荐在混凝土强度等级不低且掺有适量缓凝剂或减水剂的条件下使用机器人抹光，以确保有充裕时间多遍作业并获得良好光滑度。如果混凝土配合比黏性较低或终凝过快，则需提前评估是否适合机器人多次抛光。

### 5.5.3 混凝土抹光机器人导入要点

#### （1）前置工序要求

抹平工序已经使地面平整度和浆料分布达到均匀后进行抹光作业。抹光机器人无法补救大起伏不平或缺浆坑洼。

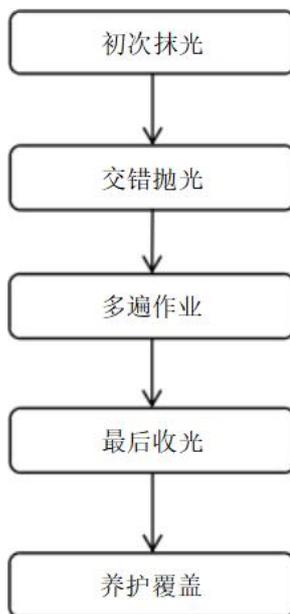
#### （2）作业环境要求

混凝土配合比宜保证足够的水泥浆含量，同时采用适当缓凝措施，方便多遍抹光。大型场地分区分段依次完成。施工现场照明应良好，以便及时观察表面光洁度和平整度的变化。抹光作业应避免因电力不足导致抹光不彻底。

#### （3）人员配置及要求：

应配备至少 1 名经过培训合格的机器人操作员，负责对机器人工作前的安全检查、作业以及机器人工作完成后对机器人的日常管理、维护保养等工作；同时宜配备至少 1 名安全员负责监督机器人的使用，及协助处理工作中的突发情况。操作人员遥控机器人抹光时，应有全局意识，优先处理边角、通风区域，避免长时间反复旋转抹盘，以防止局部过热磨损或“烧浆”（表面浆料因过度摩擦而失去水分烧焦）。

## 5.5.4 混凝土抹光机器人作业方案



(1) 初次抹光：当混凝土表面失去浮水、呈现均匀发暗的湿润状态时，即可开始第一次机器人抹光作业。将抹光机器人（主动机与从动机连接状态）开至板面一侧起点位置，启动各抹盘旋转。操作者通过遥控缓缓倾斜抹盘使机器开始前进，并控制其以螺旋状或平行 Z 字形路线行走，全场覆盖地面。第一次抹光主要作用是压实混凝土表层并提高清晰度，此时抹盘角度宜较平，以减少抹痕。

(2) 交错抛光：随着混凝土进一步硬化，经过一段时间（例如 30 min）可进行第二次抹光。此时适当增加抹盘倾斜角度以施加更大压力，同时改变行走路径与第一次错开角度，交叉抛光以抹除前一遍遗留的环向纹路。

(3) 多遍作业：若需要更高光洁度，可进行第三次甚至更多遍的抹光作业，直至地面达到均匀泛光、无明显抹纹为止。一般最后一遍抹光时混凝土已接近终凝，抹盘对地面的作用力会使表面出现微光亮且非常平滑。

(4) 最后收光：最终一次抹光作业过程中，应密切观察混凝土表面泛光情况，确保整个施工区域内光洁度一致，无明显抹纹或瑕疵。

(5) 养护覆盖：抹光完成后，及时关闭机器并将其移出施工区域。立即对完成的地坪覆盖养护膜或洒水覆盖，以保持表面湿润养生，防止因快速失水导致裂缝或表面强度降低。机具收尾时清理抹盘上附着的水泥浆，以免硬化后难以清除。

定期维保要求：抹光机器人使用结束后，应及时清洁抹盘及其底部各部件，彻底清除混凝土浆液残留，避免浆液固化影响后续作业效果。每次作业后需检查电池、遥控设备、电气线路等运行情况，确保无损坏、无进水或受潮现象。每月应进行一次全面的维保检查，重点检查抹盘磨损程度、倾角调节机构、电机运行状态及机械连接部件，并根据磨损情况及时润滑或更换零部件，以保证机器人长期稳定、安全、高效运行。

## 5.6 地坪研磨机器人

### 5.6.1 地坪研磨机器人通用要求

(1) 功能：地坪研磨机器人是用于地坪地面研磨的自动化设备，主要用于去除地坪地表面浮浆，以便开展后续地坪表面施工工作。

该机器人通常由自行底盘和研磨装置组成，通过研磨装置控制、路径规划，实现自动化的地坪研磨。替代人工的繁重工序。

(2) 关键性能指标：本系统集成高精度导航与大范围空间感知能力，能够在大幅度作业区域内实现精准定位与自主路径规划，确保无死角覆盖整个施工面。其搭载的宽幅高效处理模块，在保证处理效果均匀一致的前提下，显著提升了单次作业的覆盖面积与单位时间内的施工进度，轻松满足大型项目对效率的苛刻要求。

### 5.6.2 坪研磨机器人应用场景

地坪研磨机器人是用于地坪地面研磨的自动化设备，主要用于去除地坪地表面浮浆，以便开展后续地坪表面施工工作。

主要应用场景可广泛应用于地下车库、室内厂房的环氧地坪、固化地坪、金刚砂地坪施工。地坪研磨机器人自动研磨可很大提高研磨的效率，按设定的路径作业能避免漏磨、小磨的现象，提高研磨质量。此外，在自动研磨过程中，不需人工近距离操作机器，可有效降低粉尘对施工人员伤害风险。

### 5.6.3 地坪研磨机器人导入要点

#### (1) 前置工序要求

使用地坪研磨机器人进行施工前的地坪基层应检查合格，并应符合与下一层结合牢固，不应有空鼓和开裂现象；洁净，不应有裂纹、脱皮、麻面、起砂等缺陷。

#### (2) 作业环境要求

应与地坪施工无关的设备、建筑材料、建筑垃圾等清空；应保证地面干净、无积水、无渗漏、无杂物堆积，无外漏的钢筋头；靠近墙、柱边缘的地面应清理干净，不应有混凝土块等遗留残迹；施工范围内的集水井、排水沟等部位应封闭，并采取措施保证地面平整；现场供电能力满足机器人产品的使用要求。

#### (3) 人员配置及要求

应配备至少 1 名经过培训合格的机器人操作员，负责对机器人工作前的安全检查、作业以及机器人工作完成后对机器人的日常管理、维护保养等工作；同时宜配备至少 1 名安全员负责监督机器人的使用，及协助处理工作中的突发情况。操作人员须经过培训并熟悉控制研磨机器人，施工时在机器人周边留有安全区域，防止无关人员靠近。另外，施工宜避开大风暴雨天气，室内作业保持一定通风，以防设备电气受潮和保障人员安全。

## 5.6.4 地坪研磨机器人作业方案



(1) 激光建图自动生成路径：遥控地坪研磨机器人在场地行走扫描场地周围的形态，构建高精度、静态的全局一致性的地图；选择需要研磨区域，确定研磨起点，自动生成作业路径。

(2) 定位及自动研磨：手动调整，使机器在操作端上显示的位置与现实中所处的位置相同，让机器知道自己在实际施工场地的位置在那，为沿着地图路径自动研磨作业做准备。确定研磨地面所选用磨头目数和研磨遍数并安装磨头在机器研磨盘上，设定研磨转速和行走速度等机器人施工工艺参数，启动自动研磨，机器人沿着地图路径自动研磨作业。另外，根据不同的地坪施工工艺需求，研磨抛光前，确定是否增加喷涂渗透型液体硬化剂工序。

(3) 边角打磨:对无法自动研磨的区域(比如柱子边或者墙边)，可遥控机器人进行研磨；机器人无法施工的区域(如柱子的阴阳角)，应人工打磨处理；

(4) 地面修补：每次研磨结束后，应将地面清扫干净；并应及时检查地面基层，对出现坑洼、钢筋头、高低差比较大的地方应修补；待修补位置硬化后，可使用地坪研磨机器人局部研磨处理；

(5) 后续衔接：若是环氧树脂地坪施工，则紧接着进行地坪漆刮涂工序，若是混凝土密封固化地坪施工、金刚砂地坪施工等，则没后续工序。

## 5.7 墙面智能抹灰机器人

### 5.7.1 墙面智能抹灰机器人通用要求

(1) 功能：墙面智能抹灰机器人是一种用于建筑物墙面（包括室外墙面及室内墙面）自动抹灰找平的智能施工装备，具备自动行走功能，能自行移动。

(2) 关键性能指标：

抹灰设备可根据不同施工场景与效率需求，在大范围内灵活调节作业覆盖面，实现高效喷涂与精细找平的完美匹配。核心优势在于其微米级的精密控制能力，对抹灰厚度与位

置实现了前所未有的精准掌控，保障了施工品质的一致性。四轮独立电机驱动系统赋予移动灵活性，不仅支持零转弯半径的原地转向，更能进行无需掉头的直接横向平移，在狭小空间内穿梭，告别传统设备的操作盲区。通过远距离无线遥控，操作员可在安全、视野最佳的位置灵活指挥设备，全面掌控施工流程。

### 5.7.2 墙面智能抹灰机器人应用场景

墙面智能抹灰机器人适用于各种外墙面、室内墙面的抹灰施工。例如工业厂房外墙及内墙、大型商场外墙及内墙、大跨度地下车库墙面、住宅楼外墙面及室内墙面等场景。在涉及高危施工环境的工程中，如桥梁、机场跑道、港口码头、易燃易爆场所及特殊化工厂区等，通过墙面智能抹灰机器人替代人工操作，可有效降低施工人员遭受机械伤害或环境风险的可能性，保障施工作业的安全性和稳定性。

实际应用中，墙面智能抹灰机器人对施工场地的要求，只要工地具备 220v 电网电源，抹灰场地基本平整，没有密集障碍，机器人就可自行行驶和成段作业。

### 5.7.3 墙面智能抹灰机器人导入要点

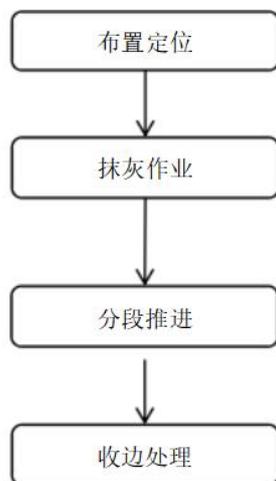
(1) 前置工序要求：在使用墙面智能抹灰机器人前，应完成墙面建造和初步清理工作，使抹灰区地面大致铺平没有障碍、墙面没有钉子等突出物。

(2) 作业环境要求：施工现场应提供设备用电条件。施工地面能够承受机器人的重量及其移动振动冲击。现场应清理障碍物和钢筋头等凸出物，避免机器人移动和抹灰头的卡阻。

(3) 人员配置要求：作业人员应经过培训并熟悉机器人的施工作业流程和控制。施工时在机器人周边留有安全区域，防止无关人员靠近。施工宜避开大风暴雨天气，室内作业保持一定通风，以防设备电气受潮和保障人员安全。

(4) 定期维保要求：应建立完善的维保计划。每次施工结束后，应及时清洁设备表面、抹灰头及供料装置。检查关键部件，发现磨损或损坏应立即修复或更换。每月至少应进行一次全面的设备检查与维护，重点关注电气线路、电池、控制系统和机械传动部件的完好性，确保机器人始终处于可靠安全的作业状态。

### 5.7.4 墙面智能抹灰机器人作业方案



(1) 布置定位：墙面智能抹灰机器人作业前，先在待施工区一端放置激光基准仪，校准标高。现场清理完成后，将墙面智能抹灰机器人吊运或驾驶至作业面的起点。启动墙面智能抹灰机器人并完成施工作业准备后，将机器人移动到待作业墙面前。

(2) 抹灰作业：启动墙面智能抹灰机器人抹灰作业，按照预设参数，前机器人自动控制抹灰头上下移动抹灰、找平、收面及磨光的全部工序，一次成型完成墙面抹灰。

(3) 分段推进：当完成一段墙面抹灰后，机器人自行后退脱离墙面，再横向平移至相邻未抹灰平区域起点，搭接先前已施工边缘继续下一段抹灰，段与段间的有少许重叠以避免出现施工缝台阶。如此循环，按照“分段分幅”的路线覆盖整个墙面。

(4) 收边处理：对于靠近墙边、柱边等机器人抹灰头无法完全触及的局部区域以及两板抹灰的接缝处可见的细微缺陷，需由人工处理，使之过渡平顺。

## 5.8 通用物流搬运机器人

### 5.8.1 通用物流搬运机器人通用要求

(1) 功能：通用物流搬运机器人是一种专为建筑施工现场设计的智能化物料运输设备。该设备应具备自主导航、自动装卸和集群调度等核心功能。机器人通过集成 BIM 导航系统和多传感器融合技术，能够实现施工现场材料的精准运输和自动化管理。

(2) 关键性能指标：通用物流搬运机器人具备自主导航与精准运动控制能力，可在复杂动态环境中辅助人工进行运输作业。其高精度导航系统确保了精准的位姿控制与路径跟随性能，能够灵活高效地完成各类物料搬运任务。机器人采用稳健的动力系统设计，提供多种工况下的自适应速度匹配，在保障运行安全的同时兼顾搬运效率。设备搭载高密度电池组，支持超长续航与快速充电能力，可满足多班制连续作业的严苛要求。为适应工业场景的通信需求，机器人支持主流无线通信协议与多种工业互联接口，确保与现有系统和设备实现无缝集成。整机采用工业级防护设计，具有良好的防尘防水性能，能够可靠运行于各类苛刻的工业环境。

### 5.8.2 通用物流搬运机器人应用场景介绍

通用物流搬运机器人适用于建筑施工现场的多个阶段。在主体结构施工阶段，可用于钢筋、模板、脚手架等材料的运输。装饰装修阶段可承担瓷砖、砂浆、石膏板等装修材料的配送任务。设备安装阶段则适用于空调机组、配电柜等重型设备的搬运工作。此外，机器人还能与施工电梯联动，实现跨楼层物料运输。设备对作业环境有特定要求。地面需保持平整硬化，最大坡度不超过 10%，地面起伏控制在 30mm 以内。作业通道宽度不小于 1.5m，转弯半径不小于 2m。作业区域照度不低于 50lux，夜间作业需增设照明设施。同时，作业区域需保证稳定的 5G/WiFi 信号覆盖，确保通信畅通。

### 5.8.3 通用物流搬运机器人导入要点

(1) 前置工序要求：在使用通用物流搬运机器人前，需完成必要的准备工作。准备施工现场的模型，包含各楼层平面图和关键路径信息。场地勘测，使用激光扫描建立高精度导航地图。预先规划运输路径和装卸点位。

(2) 作业环境要求：作业环境应设置专门的安全区域，机器人作业半径 2m 内禁止人员随意进入。作业区域附近应配置专用充电站，并配备必要的消防设施。现场还应设置急停装置和人工干预设备，确保作业安全。

(3) 人员配置要求：通用物流搬运机器人的操作应至少配置 1 名持证操作员。同时宜配备 1 名专职安全员，负责作业区域的安全管理。设备供应商应提供定期维护服务，每月宜至少进行 1 次全面检查。所有接触人员应接受不少于 8 h 的安全操作培训，确保熟悉设备性能和操作规程。

(4) 注意事项：使用通用物流搬运机器人时，作业区域要应设置明显的警示标志，非操作人员不得进入作业区域。机器人在运行时严禁人员靠近或阻挡其行进路线。遇到紧急情况应立即按下急停按钮。同时要注意观察机器人状态指示灯，发现异常应及时处理。

(5) 定期维保要求：日常检查应包括电气系统、传感器状态和机械部件的检查。定期维护工作应包括每周维护传动部件和关节部件，每月校准传感器。软件应定期升级导航算法和控制系统，备份系统参数和作业日志。

#### 5.8.4 通用物流搬运机器人作业方案



施工通用智能运输机器人的标准作业流程包括系统启动、任务下发、自动装卸、路径运输和到达卸货五个主要环节。

- (1) 系统启动：在系统启动阶段，要确保所有系统组件正常运作。
- (2) 任务下发：任务下发时要明确运输需求和路径规划。
- (3) 自动装卸：自动装卸环节需保证货架识别和对接的准确性。
- (4) 路径运输：路径运输过程中要实时监控机器人状态。
- (5) 到达卸货：到达卸货后要确认任务完成情况。

注意事项：遇到突发障碍时，机器人应自动急停并报警提示周边人员。机器人宜具备自动规划绕行路径或等待人工干预。

### 5.9 室内喷涂机器人

#### 5.9.1 室内喷涂机器人通用要求

(1) 功能：喷涂机器人是一种自动化涂料喷涂设备，专为室内墙面的喷涂作业而设计。它能够自动、高效地完成室内墙面、顶棚、立柱等不同表面的涂料喷涂工作，减少传统人工作业，实现更高的施工效率与更均匀的涂层效果。

该类设备目前通常采用底盘、内置激光雷达和外置喷涂装置（俗称自动喷涂机），能够在基层面处理后快速均匀地喷涂涂料。通过人机协同作业，喷涂机器人可替代大部分人工喷枪等繁琐工序，提高大面积涂层施工的效率和覆盖均匀度，喷涂厚度误差可控制在约 0.1mm 以内。

该机器人主要功能是实现高效精准的物体表面喷涂作业，包括自动执行底漆、面漆等喷涂、通过可编程路径确保轨迹精确、控制参数实现均匀涂层覆盖、适应复杂曲面工件、提升生产效率与质量一致性、减少涂料浪费与环境污染、改善工作安全环境。

#### (2) 关键性能指标：

喷涂机器人具备卓越的喷涂控制性能。其喷涂系统支持压力无级调节，能够精准控制涂料附着与雾化效果，实现对涂层厚度的精密管理，确保成膜均匀稳定，品质卓越。机器人搭载宽幅喷涂作业模块，单遍覆盖范围大，有效减少了重复作业区域，从而显著提升了整体施工效率。在持续高强度作业中，设备表现出色，能够维持长时间不间断的高效输出，轻松满足大型项目的快速工期要求。此外，其持久的续航能力保障了单班作业时长，避免了频繁中断，确保施工流程的连贯性与高效性。

### 5.9.2 室内喷涂机器人应用场景

室内喷涂机器人适用于大面积、高平整度要求的墙面或顶棚施工。例如住宅、医院、商业体等室内墙面，采用自动化喷涂可有效保证标高一致性和表面平整度。

实际应用中，喷涂机器人对施工场地开阔度有明确要求：作业区域应尽量完整开阔，减少狭窄空间和密集障碍物，确保机器人能连续喷涂和分段作业。涂层覆盖精准控制的工程（如平整墙面或高差均匀的顶棚），室内喷涂机器人可满足其高精度技术指标要求。

### 5.9.3 室内喷涂机器人导入要点

#### (1) 前置工序要求

在使用机器人进行施工，乳胶漆喷涂基层应符合基层含水率不得大于 10%。木材基层的含水率不得大于 12%；旧墙面在涂饰涂料前应清除疏松的旧装修层，并涂刷界面剂；新建筑物的混凝土或抹灰基层在涂饰涂料前应涂阳抗碱封闭底漆；基层腻子应平整、坚实、牢固，无粉化、起皮和裂缝；内墙腻子的粘结强度应符合《建筑室内用腻子》（JG/T3049）的规定；基层质量应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB50210 的有关规定及工程设计要求。

#### (2) 作业环境要求

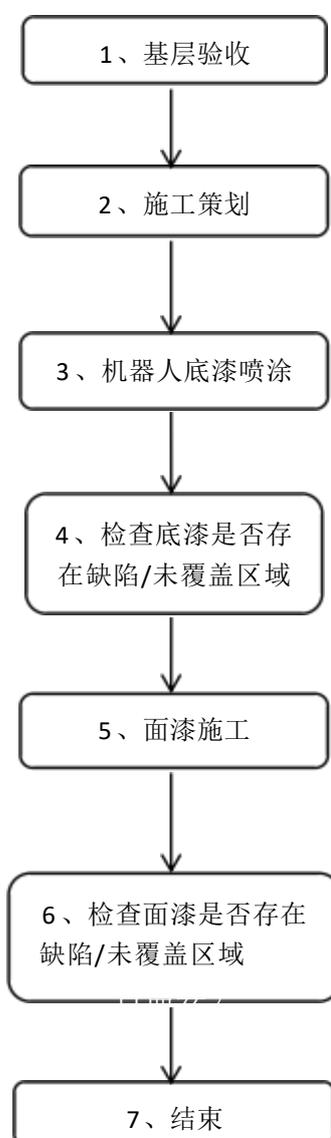
工作场地无杂物、无积水，灰浆、钢筋头等地面临时凸起物应已处理干净；地面平整，坑洼处应用砂浆找平，整体地面平整度应不超过 10mm，斜度应小于 6°。现场应有满足设备进出的通道，行走路线应满足通行高度≥2m，通行宽度≥1m，承重≥1000kg；通行道路畅通无阻，地面坑洼不超过 5cm，无明显积水；出入口平整并设置有过桥，越障坡度≤10°；地面坡度≤10°，地面越障≤30mm，地面沟宽≤50mm；通道照明设施齐全。需喷涂的墙面、顶棚（含吊顶和石膏线）、飘窗等应完成二遍腻子刮涂、打磨，存在的质量缺陷应已整改完成，喷涂前需喷涂部位应完成扫灰，满足室内喷涂条件。喷涂前应做好已完工序的成品

保护，如地砖、门窗、厨卫门洞及开关面板等。现场供电应满足室内喷涂机器人的使用要求，设有工地用水及废水处理区域。

### (3) 人员配备及要求

应配备至少 1 名经过培训合格的机器人操作员，负责对机器人工作前的安全检查、作业以及机器人工作完成后对机器人的日常管理、维护保养等工作；同时宜配备至少 1 名安全员负责监督机器人的使用，及协助处理工作中的突发情况。机器人操作人员必须依据场地规定，穿戴好防护服、安全帽、防护手套以及防护眼镜等防护装备，以此保障人身安全。在机器人运行期间，操作人员需处在机器人工作范围的邻近区域，不可踏入其工作范围，以防机器突然运作或者出现故障而引发伤害。操作人员务必要依照操作说明书来操控机器人，严禁开展未获授权的操作。机器人操作人员应当紧密关注机器人的运动作业状况，防止出现机器人撞人、撞物、倾翻、长时间超负荷等风险与事故。

### 5.9.4 室内喷涂机器人作业方案



(1) 基层验收：基层表面应平整、坚实，无明显凸起、裂缝、孔洞等缺陷，若存在不平整处应选用合适材料修补并打磨光滑；基层应干净整洁，无灰尘、油污、脱模剂、浮浆及其他杂物，必要时需进行清扫、冲洗或打磨处理；基层含水率应符合喷涂材料要求（通常墙面基层含水率不宜超过 10%）；对于有特殊要求的基层，应检查其强度是否达标，

确保无起砂、空鼓现象，且表面平整度、垂直度偏差在规范允许范围内，以保障喷涂机器人后续施工的顺畅性及涂层质量。

(2) 施工策划：室内喷涂机器人宜具有全自动作业功能，根据图纸、模型及喷涂需求，通过无线控制终端进行机器人施工组织，生成机器人全自动施工路径、喷涂任务策划。

(3) 机器人底漆喷涂：应按照喷涂作业工序、机器人操作手册和设计要求进行设置机器人喷涂压力、喷涂速度、喷头离墙距离、喷涂宽度、喷涂高度等喷涂参数。

(4) 检查底漆是否存在缺陷/未覆盖区域：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。

(5) 面漆施工：喷涂机器人应确保喷枪与工件表面保持适当距离和适当角度，避免过喷或欠喷；应选择合适的喷嘴大小和喷漆压力，以获得均匀的涂层厚度；同时，宜控制环境温度和湿度，避免因温湿度变化导致漆面缺陷；在面漆工作结束后，宜进行喷涂机器人的喷头清洗和管道泄压工作，避免造成喷头堵塞及管道失压。

(6) 检查面漆是否存在缺陷/未覆盖区域：应检查面漆表面的色泽是否均匀一致，有无明显色差、发花或光泽度不均现象；细致查看涂层是否存在流挂、橘皮、针孔、缩孔、起泡、漏涂等影响外观的缺陷；验证涂层的丰满度、平整度是否符合设计要求，触感是否光滑无颗粒感；对于有特定功能要求的面漆（如耐候性、耐磨性、耐污性等）。同时应检查涂层的干燥程度及与底漆的附着是否牢固，确保整体装饰效果和防护性能的完整性。

(7) 结束：室内漆喷涂机器人喷涂工作结束后，应由机器人操作员进行有序撤场操作，确保机器人移动到指定区域，并宜进行维护及保养等事项。

## 5.10 地砖铺贴机器人

### 5.10.1 地砖铺贴机器人通用要求

(1) 功能：地砖铺贴机器人是一种用于室内地砖铺贴作业的自动化设备，通常配备精准铺贴系统、机械臂、导航定位系统、视觉识别系统及无线控制终端等核心部件，能够替代人工完成地砖铺贴全流程作业。

该设备通过集成机械操作、智能导航、视觉识别等技术，实现地砖铺贴的高精度、高效率施工，有效提升铺贴平整度、垂直度及砖缝均匀度，减少人工操作误差。

(2) 关键性能指标：具备可控制供料及铺贴吸盘，可根据不同户型的铺贴要求，人工进行换砖，在操作软件内自主设定铺贴路径；铺贴厚度控制精度优于 $\pm 0.1\text{mm}$ ，机器人运动宜具备原地转向及前进后退；在连续作业下，平均施工效率 $>20\text{ m}^2/\text{h}$ 。

### 5.10.2 地砖铺贴机器人应用场景

地砖铺贴机器人适用于各类新建、改建、扩建的住宅、商业建筑、公共建筑等室内地面地砖铺贴工程。尤其适用于大面积、规则空间的地砖铺贴作业，如客厅、餐厅、商场、写字楼等场所，能够充分发挥其高效、精准的优势，提高施工效率，保证铺贴质量的一致性。

实际应用中，对于一些对地面平整度和美观度要求较高的场所，如高档住宅、酒店等，地砖铺贴机器人也能满足其严格的施工标准。在一些人工铺贴难度较大或劳动强度较高的区域，如地下室、高层建筑物的大面积楼层等，使用地砖铺贴机器人可有效降低施工人员的劳动强度，提高施工安全性；但在一些收口部位、异形房间，还需要人工进行协助作业。

### 5.10.3 地砖铺贴机器人导入要点

### (1) 前置工序要求

在使用机器人进行地砖铺贴施工前，应对前置工序进行严格验收。基层的含水率应符合相关标准要求，避免因含水率过高导致地砖空鼓、开裂等问题；基层的平整度、垂直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》GB50209的有关规定及工程设计要求；基层表面的粘结强度应满足地砖铺贴的要求，必要时可进行拉拔试验检测；若基层存在质量缺陷，如起砂、疏松等，应在施工前进行修复处理，确保基层质量符合要求。

### (2) 作业环境要求

工作场地应无杂物、无积水，地面凸起物（如钢筋头、石块等）应提前清理干净，确保地面平整，整体地面平整度误差应控制在允许范围内（如使用2m靠尺检查，平整度偏差不得超过5mm）；现场应具备满足设备进出的通道，行走路线需满足以下规定：机器人通行高度 $\geq 2\text{m}$ ，通行宽度 $\geq 1\text{m}$ ；通道地面应坚实，承重能力满足机器人满载运行要求；通行道路应畅通无阻，地面坑洼不超过30mm，无明显积水；地面越障高度 $\leq 30\text{mm}$ ，地面沟宽 $\leq 30\text{mm}$ ；

### (3) 人员配备及要求

应配备至少2名经过培训合格的机器人操作员，负责对机器人工作前的安全检查、作业以及现场上砖、现场清理等辅助工作；同时宜配备1名安全员负责监督机器人的使用，及协助处理工作中的突发情况。

## 5.10.4 地砖铺贴机器人作业方案



(1) 基层验收：按照相关标准和规范，对基层的平整度、垂直度、含水率、粘结强度等指标进行检查验收，确保基层质量满足地砖铺贴要求。

(2) 施工策划：机器人宜具有全自动作业功能，根据施工图纸、户型信息及铺贴需求，通过无线控制终端或配套软件进行施工策划，生成机器人全自动施工路径和铺贴任务计划。施工策划应符合下列规定：每个房间的铺贴路径规划应合理，尽量减少机器人的行

走距离和转弯次数，提高施工效率；合理设置铺贴起始点和终点，充分考虑现场空间布局 and 地砖排版要求，确保机器人能够顺利完成整个房间的铺贴作业，避免出现铺贴死角；根据墙面位置、门窗洞口等因素，精确设置每块地砖的铺贴位置和角度，确保地砖铺贴符合设计要求，与周边环境协调统一。

(3) 基准砖安装：应选择平整、坚固的地面作为安装位置，基准砖应放置在机器人铺贴区域的中心或起始点，并且要保证基准砖的水平度和垂直度，避免任何倾斜或不平整，以确保机器人铺贴的精确性和整体美观。

(4) 铺浆作业：在进行铺浆作业时，地砖铺贴机器人应确保浆料的均匀分布，避免出现空隙或过厚的情况，其次应保证砖块能够平整、牢固地铺设。同时，应根据砖块类型和铺贴环境调整浆料的稠度，确保铺砖效果和效率。

(5) 地砖铺贴：应确保地面平整、清洁并符合铺贴要求，选择合适的粘合剂或砂浆，按照正确的铺贴顺序和方向进行操作，避免在铺贴过程中对砖面造成损伤，确保铺贴质量和效率。

(6) 人工精调：机器人无法施工的区域或出现铺贴缺陷的点位，应由人工进行补铺或修复。人工补铺区域与机器人施工区域的接缝处应平整、美观，砖缝宽度和高低差应与周边地砖保持一致，确保整个地面的铺贴质量均匀一致。

(7) 成品养护：应保持地面湿润，避免阳光直射和风吹，使用塑料薄膜或湿布覆盖新铺贴的砖面，定期洒水保持湿度，避免过早行走或放置重物，确保地砖充分固化，具体时间根据地砖类型和环境条件调整。

## 5.11 混凝土板质量检测机器人

### 5.11.1 混凝土板质量检测机器人通用要求

(1) 功能：混凝土板质量检测机器人是一种用于无损探测混凝土结构内部缺陷的智能检测机器人。

该设备通常由自行式底盘、无损检测装置和自动化控制系统组成。能够对浇筑或装饰后的混凝土板的进行全面自动的质量检测。通过人机协同作业，检测机器人可实现区域全覆盖检测，自动描绘测线，生成检测结果，提高作业效率，精确定位内部缺陷，保障现场施工质量。

(2) 关键性能指标：可搭载的检测装置有冲击回波检测装置、探地雷达。机器人由电机驱动运动，可原地转向和前进后退。机器人应具备无线遥控和区域路径规划与记录功能，无线通信距离不低于 20m（无遮挡）。机器人应具备信息实时显示功能，包括但不限于机器人当前的运行状态、速度、检测参数、电池剩余电量、故障报警及错误码。

### 5.11.2 混凝土板质量检测机器人的应用场景

混凝土板质量检测机器人主要应用于混凝土浇筑后的内部质量检测，特别是在需要高精度和高可靠性的项目中，如大型商业中心、地下车库、高速公路桥梁、机场跑道等。这些场景要求混凝土板在浇筑后能够及时进行内部缺陷检测，确保施工质量及结构耐久性。在这些工程中，机器人主要负责通过非破坏性检测技术，对混凝土内部的分层、贯通裂缝、空鼓状缺陷进行高效检测。特别是在高危或高难度施工环境中，如特殊工厂区或地下施工空间，检测机器人能够替代人工，通过远程遥控，减少施工人员的暴露风险，确保施工过程中的人员安全。

混凝土板质量检测机器人适用于混凝土板厚度中等或偏厚的结构（如 100~300mm），在成片空旷区域，可以实现高效快速的全自动检测。

### 5.11.3 混凝土板质量检测机器人的导入要点

#### （1）前置工序要求

在使用检测机器人前，测试区域建筑主体应基本完成，脚手架已拆除，建筑轮廓清晰可见。测试面无明显坑槽或凸起障碍物，不平整位置高低差不可大于 30mm。

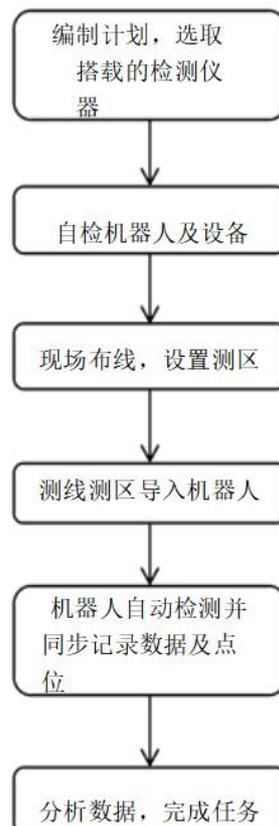
#### （2）作业环境要求

施工现场应提供设备充电条件，使用配套充电器为机器人充满电，为安全起见，严禁现场私拉电线给机器人充电，应在指定地点充电后再将设备移入施工面。测试区域相对空旷，检测期间不应有非作业人员在区域内活动。检测机器人在工作时，与操作人员之间需在视距内无遮挡，确保网络通讯稳定。

#### （3）人员配置及要求

应配备至少 1 名经过培训合格的机器人操作员，负责对机器人工作前的安全检查、作业以及机器人工作完成后对机器人的日常管理、维护保养等工作；同时宜配备 1 名安全员负责监督机器人的使用，及协助处理工作中的突发情况。机器人操作人员应该严格按照场地要求佩戴相应的防护服、安全帽、防护手套和防护眼睛等防护用品，以确保人身安全。机器人工作时，操作人员应在机器人工作范围附近，避免踏入机器人工作范围，以防止因机器突然移动或发生故障而造成伤害。操作人员应严格按照操作说明书来操作机器人，禁止进行未经授权的操作。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。

### 5.11.4 混凝土板质量检测机器人的作业方案



(1) 编制计划, 选取搭载的检测仪器:检测开始前, 应根据检测对象、环境和目的, 选取配置对应检测仪器。若混凝土内部主筋直径 $<14\text{mm}$ , 可选用探地雷达装置, 否则宜选用冲击回波检测装置。选定检测装之后, 根据测区大小, 设置合适的采集参数、信号增益及传感器信息。

(2) 自检机器人及设备: 检查机器人外型有无变形, 能否正常遥控运动。机器人、控制器或控制电脑电量, 宜保持在 80%以上。

(3) 现场布线、设置测区: 根据工作需要, 规划检测测区。测线布置应避开边界影响, 清除地面明显不平整障碍物, 避开明显的贯通裂纹。

(4) 测线测区导入机器人: 完成现场测区布置后, 将测线设置情况导入机器人检测系统并检查设置是否正确。

(5) 机器人自动检测并同步记录数据及点位: 机器人自动根据布置测线进行内部缺陷检测。同时, 检测的数据与测点信息应存储到控制系统或指定的存储设备。机器人遍历完测试任务后, 自动停止作业。

(6) 分析数据、完成任务: 通过检测装置的分析软件, 进行数据分析。典型分析方式: 单道反射波时域分析, 卓越周期偏差。检测精度: 缺陷深度误差 $\leq 5\%$ 厚度, 平面定位 $\leq \pm 10\text{cm}$ 。

注意事项:

在进行机器维护、调整或清洗时, 应先切断电源, 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。

若长时间不使用机器人, 应对其进行充电, 然后存放, 以确保电池正常工作。

## 5.12 建筑巡检机器人

### 5.12.1 建筑巡检机器人通用要求

(1) 功能: 建筑巡检机器人是一款集成了摄像监控、应急救援和声光报警的智能设备。专为建筑物的施工运维期的安全巡检和紧急响应设计。

该机器人通过搭载高清摄像头, 能够在建筑内部或外部进行实时视频监控, 捕捉建筑各个角落的情况, 及时发现潜在的安全隐患。同时巡检机器人还配备了应急救援和事故报警功能。当机器人在巡检过程中检测到火灾、爆炸、人员受困或其他紧急事故时, 能够自动启动声光报警系统, 向现场发送通知。

建筑巡检机器人通过集成监控、报警与应急救援功能, 降低人力巡检的负担, 提高反应速度和安全性, 保障建筑物施工期的安全。

(2) 关键性能指标: 巡检机器人应具备无线遥控和区域路径规划与遍历功能, 无线通信距离不低于 100m (无遮挡), 运动方式有前进、后退、左右转弯、原地掉头功能; 机器人续航应不小于 3h, 宜具备应急物资的承载能力; 机器人宜具备紧急手动报警功能, 配置应急电话机。

### 5.12.2 建筑巡检机器人的应用场景

建筑巡检机器人适用于需要高效、安全监控和应急响应的建筑施工及运营场景。特别在大型商业综合体、医院、学校、工业厂房、地铁隧道等建筑环境中, 该机器人通过视频监控、应急物资提供及声光报警功能, 能够有效提升建筑物的安全管理水平。

在日常巡检中，建筑巡检机器人能够实时监控建筑物的各个区域，包括外立面、走廊、电梯井、楼梯间等，确保建筑的安全性。在发生紧急情况时，建筑巡检机器人还能通过内置的应急物资提供系统，自动向事故区域输送应急救援物资，如绷带、急救包、呼吸面罩等。同时，机器人还配备了声光报警系统，一旦发生火灾、爆炸、入侵或其他紧急情况，机器人可以立即发出响亮的报警声，并通过闪烁的灯光进行警示，确保建筑内人员及时得到预警，并能够快速采取疏散和自救措施。

### 5.12.3 建筑巡检机器人的导入要点

#### (1) 前置工序要求

在使用巡检机器人前，建筑主体工程应基本完成，脚手架大部分已拆除，建筑轮廓清晰可见。

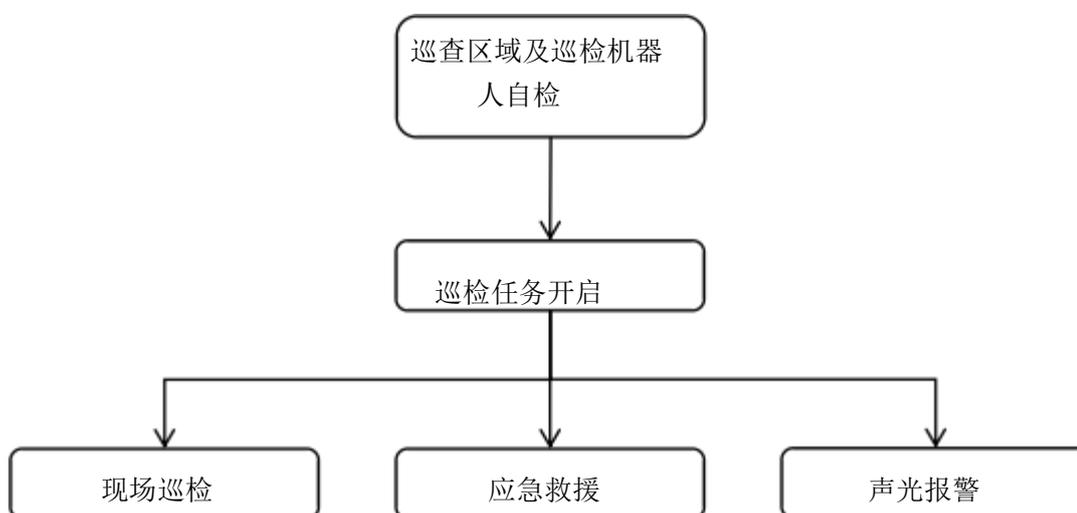
#### (2) 作业环境要求

建筑材料（如钢筋、模板、砌块、大量砂石水泥等）应清理完毕，场地相对空旷，通道平整畅通，无明显障碍物。巡检机器人工作空间，宜减少人员活动，便于安全巡逻。

#### (3) 人员配置及要求

应配备至少 1 名经过培训合格的机器人操作员，负责对机器人工作前的安全检查、作业以及机器人工作完成后对机器人的日常管理、维护保养等工作。机器人工作时，操作人员应在机器人工作范围附近，避免踏入机器人工作范围，以防止因机器突然移动或发生故障而造成伤害。操作人员应严格按照操作说明书来操作机器人，禁止进行未经授权的操作。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。

### 5.12.4 建筑巡检机器人的作业方案



(1) 巡查区域及巡检机器人自检：检查机器人外型有无损坏。各按钮及功能无异常，可正常遥控运动。检查机器人、控制器电量，宜保持在 80%以上。巡查区域满足作业环境要求。

(2) 巡检任务开启：将机器人放置在巡查区域中，开启自动巡检，机器人则自行在指定区域巡查。

(3) 现场巡检：机器人通过监控摄像头，将现场实时画面推送到用户指定处或移动存储设备。

(4) 应急救援：机器人内部装有绷带、急救包、呼吸面罩、消毒液等应急救援物资。当出现事故后，应第一时间使用机器人提供的救援物资。

(5) 声光报警：当现场出现事故时，宜根据如下步骤作业。机器人上的报警器可通过控制器或机器人上的报警按钮开启，机器人进入报警状态。

## 5.13 市政非开挖疏通机器人

### 5.13.1 市政非开挖疏通机器人通用要求

(1) 功能：市政非开挖疏通机器人专为内径 700mm（含 700mm）以下的人工无法进入的排水管道设计，可在不破坏路面、不下人井的前提下，对混凝土结晶、砂浆固结、砖石混合堵塞进行非开挖清除。

整机采用“盾构式”蠕行结构：前端为 PDC 滚刀刀盘，后端设两组液压伸缩支腿，中间为单级双作用液压推杆。作业时，后支腿伸出撑紧管壁，推杆以 0-150 mm 的伸缩行程将刀盘向前推进切削；推杆到顶后，前支腿伸出锚定，后支腿收回，推杆回缩复位，完成一个蠕行步距。刀盘切削下来的碎屑由高压水流带出管外：一路高压水经刀盘中心喷嘴向前喷射，冷却刀头并软化切削面；另一路高压水经机尾环形喷头向后喷射，形成回流将碎屑冲至下游检查井，再由地面吸污车抽排。整机无电机、无电流，所有动作由地面 45 kW 液压动力站统一驱动，防爆等级 Ex d IIB T4。

(2) 关键性能指标：

市政非开挖疏通机器人专为地下管道维护设计，具备环境适应性与操作便捷性。适用于多种常见管道规格。机器采用高强度耐腐蚀材料，并配有特殊防护涂层，可在恶劣化学环境下稳定工作。设备集成高清防水摄像系统，配备广角镜头与高亮度照明单元，确保管道内部影像清晰、实时传输至地面控制端，为操作人员提供准确、直观的视觉反馈。该机器人兼具坚固性与功能性，是城市排水系统维护的高效解决方案。

### 5.13.2 市政非开挖疏通机器人应用场景

市政非开挖疏通机器人，适用于城市核心区、老旧小区、铁路保护区、地铁上方、加油站、医院、学校周边等严禁开挖路段 DN700mm（含 700mm）以下的人工无法进入的排水管道；堵塞物为混凝土结晶、注浆固结、砖石碎石混合物，堵塞长度 2-50 m；管底埋深 2-8 m；井内水位需提前抽排至管底以下 20 cm。

### 5.13.3 市政非开挖疏通机器人导入要点

(1) 前置工序要求

收集竣工图、近年 CCTV 报告，现场踏勘确认井口内径 $\geq 600\text{mm}$ 、井壁完整；QV 或 CCTV 复核堵塞位置、长度、硬度；办理占道、夜间施工许可；提前 24 h 完成井口围挡、警示灯、交通疏导。

(2) 作业环境要求

作业前 2 h 强制通风，水位抽排至管底以下；气体连续监测（ $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{O}_2$ ），超标即停工；动力站、高压泵布置在井口侧后方 $\geq 5\text{m}$ ，铺防渗布，设灭火器；夜间照明 $\geq 150\text{lux}$ 。

(3) 现场车辆要求

吸污车 1 辆（6 m<sup>3</sup>，-0.08 MPa 真空）负责抽排污水与碎屑；综合作业车 1 辆（45 kW 液压动力站+12 MPa 高压水泵+5 kW 发电机）；工具车 1 辆（铝合金龙门架、吊装葫芦、备用软管、应急器材）。

#### （4）人员配置及要求

操作员 1 人（机器人操作证+有限空间作业证），负责全程遥控、压力调节、影像判读；安全员 1 人（注册安全员 C 证），负责气体监测、警戒、应急；辅助工人 4 人，其中 2 人负责龙门架安装与井口监护，1 人驾驶吸污车兼抽排，1 人驾驶综合作业车兼高压泵操作。班前安全教育，穿戴防静电服、防滑靴、五点式安全带、防爆头灯。

### 5.13.4 市政非开挖疏通机器人作业方案

施工流程：



（1）施工准备：空载试机，检查刀盘、支腿、推杆、摄像头、高压软管；液压油温度<60℃，压力表、过滤器正常。

（2）井口布置：安装铝合金折叠龙门架（承重≥500 kg），设防坠器、导向滑轮；摆放气体检测仪、防爆风机、警示带。

（3）机器人吊装：两点平衡吊装，吊带角度≤60°，机器人以 0.1 m/s 匀速下放至井底，先空载爬行 1 m 验证支腿锚定可靠。

（4）路径设定：在监视器上设定起始里程、推杆行程 150mm、切削深度 5 -10mm、高压泵压力 10 -12 MPa。

（5）爬行切削：后支腿撑壁→推杆推进 150 mm→刀盘旋转切削→前支腿撑壁→后支腿收回→推杆回缩，循环前进；推进力控制在 15 -25 kN，遇阻力>25 kN 自动回退 3 cm。

（6）高压冲渣：前喷嘴冷却刀头，后喷嘴形成回流将碎屑冲至下游井；每推进 3 m 暂停，吸污车抽排碎屑，保持管内清洁。

（7）CCTV 复查：机器人退回，摄像头以 0.1 m/s 匀速复检，残余凸起>10 mm 处二次切削，直至管内径≥设计值 95%，影像刻录保存≥2 年。

（8）回撤清洗：机器人退至井口，清水冲洗整机；拆除吊装设施，恢复井盖；现场洒水降尘，撤除围挡，提交《非开挖疏通竣工报告》。

注意事项：

禁止处理含油、酸碱、爆炸性气体的管道；

如遇严重变形、错位、断裂，立即停机并上报设计单位；

连续降雨井内水位上涨时，加装临时围堰及抽水泵，确保水位低于管底；

作业结束 48 小时内回访，确保排水畅通、无渗漏。