

T

ICS 25.040.30

CCS P 97

团体标准

T/CWDPA XXX—2026

智能建造机器人集群协同作业施工及 验收规范

Specification for collaborative operation construction and acceptance of
intelligent construction robot clusters

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国西部开发促进会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 分类与编码 2

 4.1 按作业功能分类 2

 4.2 按移动方式分类 2

 4.3 按协同模式分类 2

 4.4 编码规则 2

5 基本要求 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 机器人性能要求 3

 5.3 调度系统要求 3

 5.4 通信与数据接口要求 3

 5.5 人员配置与资质要求 3

6 集群协同作业技术要求 4

 6.1 协同作业模式 4

 6.2 任务分配与调度 4

 6.3 路径规划与避障 4

 6.4 多机通信与同步 4

 6.5 典型场景作业要求 5

7 施工准备 5

 7.1 技术准备 5

 7.2 现场环境准备 5

 7.3 机器人及设备准备 6

 7.4 安全防护准备 6

8 施工流程管控 6

 8.1 作业前检查 6

 8.2 施工作业 6

 8.3 过程监控与数据采集 7

 8.4 作业结束与交接 7

9 安全与环境保护 7

 9.1 施工安全 7

 9.2 环境安全 7

 9.3 应急管理 7

 9.4 环境保护 8

10 质量验收 8

10.1 验收条件 8

10.2 验收内容与标准 8

10.3 验收程序 8

10.4 验收文件 8

11 维护与管理 9

11.1 日常维护 9

11.2 定期检修 9

11.3 数据与资料管理 9

11.4 报废管理 9

附录 A （规范性） 智能建造机器人集群协同作业验收记录表 10

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国西部开发促进会提出并归口。

本文件起草单位：中国建筑第四工程局有限公司、中交第三公路工程局有限公司、中国建筑第八工程局有限公司。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

智能建造机器人集群协同作业施工及验收规范

1 范围

本文件规定了智能建造机器人集群协同作业的分类与编码、基本要求、协同作业技术要求、施工准备、施工流程管控、安全与环境保护、质量验收、维护与管理等内容。

本文件适用于建筑工程领域中，多台智能建造机器人组成集群开展协同施工作业的施工管理、质量控制与验收工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 2894 安全色和安全标志
- GB/T 11291.1 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人
- GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其试验方法
- GB/T 38326 工业、科学和医疗机器人 电磁兼容 抗扰度试验
- GB/T 43738 工业互联网平台 异构协议兼容适配要求
- GB 50194 建设工程施工现场供用电安全规范
- GB 50203 砌体结构工程施工质量验收规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50209 建筑地面工程施工质量验收规范
- GB 50210 建筑装饰装修工程质量验收标准
- GB 50300 建筑工程施工质量验收统一标准
- GB 50666 混凝土结构工程施工规范
- GB 50720 建设工程施工现场消防安全技术标准
- GB/T 51212 建筑信息模型应用统一标准
- JGJ 46 建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准
- JGJ 59 建筑施工安全检查标准
- JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范
- JGJ 146 建设工程施工现场环境与卫生标准
- JGJ/T 185 建筑工程资料管理规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能建造机器人 intelligent construction robot

应用于建筑工程施工领域，具备自主感知、决策规划和自动执行能力，可独立或辅助完成特定建造作业任务的特种机器人。

3.2

集群协同作业 cluster collaborative operation

由多台同类型或不同类型的智能建造机器人，通过统一调度系统管控，按预设规则在空间、时序上协同配合，共同完成同一施工任务的作业模式。

3.3

调度系统 scheduling system

具备任务分配、路径规划、状态监控、冲突协调、数据统计等核心功能，实现多机器人集群统一管控与协同调度的软件系统。

4 分类与编码

4.1 按作业功能分类

智能建造机器人按作业功能可分为以下类别：

- a) 结构施工类：用于砌筑、钢筋绑扎、混凝土浇筑、构件焊接等结构施工作业的机器人；
- b) 装饰装修类：用于抹灰、墙面喷涂、地砖铺贴、表面打磨等装饰装修作业的机器人；
- c) 机电安装类：用于管线布设、设备就位、线缆接驳等机电安装作业的机器人；
- d) 检测监测类：用于质量检测、变形监测、环境感知、安全巡检等检测类作业的机器人；
- e) 搬运物流类：用于物料转运、构件吊装、仓储分拣等物流辅助作业的机器人。

4.2 按移动方式分类

智能建造机器人按移动方式可分为以下类别：

- a) 固定式：作业位置固定，仅作业执行端可运动的机器人；
- b) 轨道式：沿预设轨道实现定向移动的机器人；
- c) 轮式：依靠轮式行走机构实现地面自主移动的机器人；
- d) 履带式：依靠履带行走机构实现地面移动的机器人；
- e) 多足式：依靠足式行走机构实现复杂地形移动的机器人。

4.3 按协同模式分类

智能建造机器人集群按协同模式可分为以下类别：

- a) 主从协同：由一台主导机器人统筹作业感知与指令下发，其余从属机器人配合执行的协同模式；
- b) 并行协同：多台同功能机器人在同一作业面内分区并行作业、互不干扰的协同模式；
- c) 接力协同：多台机器人按工序顺序依次衔接、接力完成全流程作业的协同模式；
- d) 互补协同：多台不同功能机器人配合作业，共同完成复合工序的协同模式。

4.4 编码规则

智能建造机器人集群编码应采用“功能类别码-移动方式码-协同模式码-顺序号”的四段式结构，编码长度为8位：

- a) 第1~2位为功能类别码，用两位阿拉伯数字表示，01~05依次对应4.1中a)~e)类；
- b) 第3~4位为移动方式码，用两位阿拉伯数字表示，01~05依次对应4.2中a)~e)类；
- c) 第5~6位为协同模式码，用两位阿拉伯数字表示，01~04依次对应4.3中a)~d)类；
- d) 第7~8位为顺序号，用两位阿拉伯数字表示，为同类型机器人的流水编号。

示例：编码01030201表示轮式结构施工类机器人，采用并行协同模式，流水编号为01。

5 基本要求

5.1 一般规定

5.1.1 智能建造机器人集群协同作业系统应由机器人本体、调度系统、通信网络、感知设备及配套辅助设施组成，系统整体应满足建筑工程施工的功能、性能与安全要求。

5.1.2 集群协同作业的设计与实施应遵循安全可靠、高效协同、质量可控、数据可溯的原则。

5.1.3 机器人及配套设备应具备配套相关产品合格证明文件。

5.1.4 集群系统应具备数据安全防护能力，防止施工数据泄露、篡改与丢失，数据传输应采用加密方式。

5.1.5 不同厂商、不同型号的机器人接入同一调度系统时，应进行兼容性测试，测试合格后方可投入

集群协同作业。

5.1.6 智能建造机器人的安全使用应符合 JGJ 33 的相关规定。

5.2 机器人性能要求

5.2.1 机器人的安全防护、急停功能等安全性能应符合 GB/T 11291.1 的规定。

5.2.2 机器人的定位精度、重复定位精度、作业执行精度等性能指标应满足对应施工工序的质量要求，性能测试方法应符合 GB/T 12642 的规定。

5.2.3 室内作业机器人外壳防护等级不应低于 IP54，户外露天作业机器人外壳防护等级不应低于 IP65。

5.2.4 机器人连续作业时间应满足单段施工工序的时长要求，续航能力应匹配现场作业排班，单次充电作业时长不应低于 4h。

5.2.5 机器人应具备状态自检、故障报警与安全停机功能，故障状态下应自动触发安全保护机制，避免引发安全事故。

5.2.6 机器人的电磁兼容性能应符合 GB/T 38326 的规定，在施工现场复杂电磁环境下应能稳定运行。

5.2.7 机器人的额定负载能力应满足作业工况的最大载荷要求，安全系数不应小于 1.5。

5.2.8 机器人应具备声光报警功能，作业启动、故障、急停状态下应发出明显的声光提示。

5.3 调度系统要求

5.3.1 调度系统应具备任务管理、资源调度、路径规划、状态监控、冲突消解、数据统计六大核心功能。

5.3.2 调度系统应支持施工任务的自动拆解、分配与动态调整，任务分配应遵循负载均衡、效率最优的原则。

5.3.3 调度系统应能实时采集机器人的位置、姿态、作业进度、运行状态等数据，可视化展示集群作业全貌，数据刷新周期不应大于 2 s。

5.3.4 调度系统应具备空间冲突检测与自动调度能力，可预判机器人路径冲突、作业空间重叠并自动调整作业时序或路径。

5.3.5 调度系统应具备完整的日志记录功能，完整存储作业任务、调度指令、设备状态、异常事件等数据，数据保存期限不应少于 3 年。

5.3.6 调度系统应支持人工干预与自动调度两种模式，人工干预指令优先级高于自动调度指令。

5.3.7 调度系统应具备电子围栏功能，可设定机器人作业边界，机器人越界前应自动减速并停止。

5.3.8 调度系统应支持多终端访问，现场移动端与后台管理端数据应实时同步。

5.4 通信与数据接口要求

5.4.1 机器人与调度系统之间的通信应稳定可靠，作业区域内通信覆盖率应达到 100%，端到端通信时延不应大于 100 ms。

5.4.2 系统数据接口的格式、协议与数据交换规则应符合 GB/T 43738 的规定，支持不同厂商设备的数据互通与系统对接。

5.4.3 集群系统应支持与建筑信息模型（BIM）系统的数据对接，对接要求应符合 GB/T 51212 的规定。

5.4.4 现场通信网络应具备冗余备份机制，单点网络故障不应导致集群作业整体中断。

5.4.5 施工现场宜采用 5G、Wi-Fi6 等无线通信技术，通信带宽应满足视频、点云等大数据量传输要求。

5.4.6 数据接口应支持断点续传功能，通信中断恢复后应自动补传缺失数据，保证数据完整性。

5.5 人员配置与资质要求

5.5.1 集群作业现场应配备项目负责人、调度管理员、机器人操作员、运维技术员、专职安全员，各岗位职责应明确。

5.5.2 机器人操作员应经设备厂商专业培训并考核合格，熟悉对应机型的操作流程、参数设置与应急处置方法。

5.5.3 调度管理员应熟练掌握调度系统操作，具备集群作业任务编排、异常调度与故障处置能力。

5.5.4 涉及焊接、起重等特种作业的机器人操作人员，应取得对应特种作业操作资格证书。

5.5.5 运维技术员应具备机电设备维修相关专业背景，熟悉机器人机械、电气系统原理。

5.5.6 所有现场作业人员应经安全教育培训并考核合格后方可上岗。

6 集群协同作业技术要求

6.1 协同作业模式

6.1.1 主从协同模式下，主导机器人应具备作业面全局感知能力，可向从属机器人下发作业指令与修正参数，指令响应时延不应大于 200 ms。

6.1.2 并行协同模式下，多台机器人的作业空间应设置安全隔离距离，同一平面内相邻机器人作业间距不应小于 0.5 m；立体交叉作业时，垂直安全距离应符合 JGJ 80 的规定。

6.1.3 接力协同模式下，前后工序机器人的作业衔接点应设置明确的交接标识，上道工序完成后应向调度系统反馈，由调度系统触发下道工序机器人进场作业。

6.1.4 互补协同模式下，不同功能机器人的作业时序与空间位置应匹配工序逻辑，避免工序交叉与空间冲突。

6.1.5 集群协同模式的选择应根据施工工序特点、作业面条件、工期要求综合确定，同一施工任务可组合采用多种协同模式。

6.2 任务分配与调度

6.2.1 调度系统应根据施工任务的工序逻辑、工期要求、作业面条件进行任务拆解，生成单台机器人可执行的原子任务。

6.2.2 任务分配应综合考虑机器人的功能类型、性能参数、当前位置、剩余续航等因素，实现作业效率最优与设备资源均衡利用。

6.2.3 作业过程中出现设备故障、作业条件变化等异常时，调度系统应自动进行任务重分配，保障施工进度不受显著影响。

6.2.4 调度指令应设置优先级机制，安全类指令优先级最高，其次是质量修正指令，常规作业指令优先级最低。

6.2.5 任务调度应考虑机器人续航能力，合理规划充电时机与充电时长，避免作业中途因电量不足中断。

6.2.6 任务执行进度偏差超过计划 10%时，调度系统应自动发出预警，并给出进度优化调整方案。

6.3 路径规划与避障

6.3.1 调度系统应基于作业面电子地图进行全局路径规划，规划路径应避开固定障碍物、预留安全通行通道。

6.3.2 机器人应具备局部自主避障能力，可识别动态障碍物并实时调整行进路径，避障响应时间不应大于 200 ms。

6.3.3 多机器人交汇区域应设置通行规则，调度系统应统筹错峰通行，避免路径交叉冲突。

6.3.4 机器人的作业路径与行进路径应分别规划，作业路径精度应满足施工质量要求，行进路径应满足安全通行要求。

6.3.5 机器人避障安全距离应符合以下规定：

- a) 与静态障碍物的安全距离不应小于 0.3 m；
- b) 与动态障碍物的安全距离不应小于 0.5 m；
- c) 与现场作业人员的安全距离不应小于 1.0 m。

6.3.6 多机器人在狭窄通道通行时，应遵循“空载让重载、支线让干线、低速让高速”的通行规则。

6.4 多机通信与同步

6.4.1 集群内机器人应实现统一时间同步，同步误差不应大于 10 ms，保障协同作业的时序一致性。

6.4.2 机器人之间的作业状态、位置数据、环境感知数据应按约定频率交互，交互频率不应低于 1 Hz。

6.4.3 通信中断时，机器人应立即暂停作业并触发声光报警；通信恢复后应自动与调度系统同步状态，经调度管理员确认后方可恢复作业。

6.4.4 协同作业的关键工艺参数应实现多机一致性校验，参数偏差超出允许阈值时应自动修正并记录。

6.4.5 时间同步宜采用网络时间协议（NTP）或北斗授时方式，确保全系统时间基准统一。

6.4.6 协同作业的位置同步精度不应大于作业允许偏差的 1/3。

6.5 典型场景作业要求

6.5.1 砌体砌筑作业场景：砌筑机器人集群协同完成上料、砌筑、勾缝等工序时，灰缝厚度、墙面垂直度、平整度应符合 GB 50203 的规定。

6.5.2 墙面喷涂作业场景：喷涂机器人集群按分区并行作业时，涂层厚度应均匀，无漏喷、流挂现象，涂层质量应符合 GB 50210 的规定。

6.5.3 构件搬运作业场景：搬运机器人集群协同完成构件转运、吊装、就位时，构件就位精度应满足安装公差要求，作业过程应避免构件碰撞损伤。

6.5.4 质量检测作业场景：检测机器人集群按预设路径完成全覆盖检测时，检测数据应实时上传调度系统，缺陷识别准确率不应低于 95%。

6.5.5 混凝土浇筑作业场景：浇筑机器人集群协同完成布料、振捣、整平工序时，混凝土浇筑要求应符合 GB 50666 的规定。

6.5.6 钢筋加工作业场景：钢筋加工机器人集群协同完成下料、弯曲、绑扎工序时，钢筋加工与安装质量应符合 GB 50204 的规定。

6.5.7 地坪打磨作业场景：打磨机器人集群并行作业时，打磨后地面平整度、允许偏差应符合 GB 50209 的规定。

7 施工准备

7.1 技术准备

7.1.1 施工前应编制智能建造机器人集群协同作业专项施工方案，明确作业任务、集群配置、协同模式、进度计划、安全保障措施等内容。

7.1.2 应建立作业区域的建筑信息模型（BIM），模型精度应满足机器人路径规划与作业定位要求，BIM 应用应符合 GB/T 51212 的规定。

7.1.3 施工前应对所有作业人员进行技术交底与安全交底，交底内容应包括作业流程、操作要点、风险点及应急处置措施，交底记录应签字留存。

7.1.4 应根据施工任务完成调度系统的任务编排与参数配置，经模拟仿真验证无误后方可投入现场作业。

7.1.5 BIM 模型的精细度等级不应低于 LOD 300，模型应包含构件几何信息、材质信息、施工工序信息，满足机器人路径规划与精确定位需求。

7.1.6 专项施工方案应按规定履行审批程序，超过一定规模的危险性较大分部分项工程对应的机器人作业方案应组织专家论证。

7.1.7 施工前应进行协同作业仿真模拟，验证集群作业路径、时序、协同逻辑的合理性，排查潜在冲突风险。

7.2 现场环境准备

7.2.1 作业现场地面应平整坚实，地面承载力应满足机器人行走与作业要求，地面坡度不应大于机器人允许的最大爬坡角度。

7.2.2 应清理作业区域内的无关障碍物，对无法移除的固定障碍物应设置明显标识，并录入调度系统的电子地图。

7.2.3 作业现场应设置清晰的安全警示标识、通行路线标识、作业分区标识，标识设置应符合 GB 2894 的相关规定。

7.2.4 现场应布设满足通信要求的网络覆盖设施，保障作业区域内通信信号稳定、无盲区。

7.2.5 现场地面沉降、变形量不应超出机器人定位允许偏差范围，作业前应进行地面平整度检测。

7.2.6 作业现场的安全标志设置应符合 GB 2894 的规定。

7.2.7 夜间作业时，现场照明照度应满足机器人视觉识别与作业精度要求，照明设置应避免产生眩光干扰。

7.3 机器人及设备准备

- 7.3.1 机器人进场时应进行进场验收，核对设备型号、规格、合格证明文件，检查设备外观与功能完整性，验收合格后方可进场。
- 7.3.2 正式作业前应对机器人进行开机自检、精度校准、功能测试，各项性能指标应满足作业要求。
- 7.3.3 应根据作业任务为机器人配置对应的作业端具、感知模块与辅助装置，安装牢固并调试合格。
- 7.3.4 调度系统与各机器人的通信连接应测试正常，数据交互顺畅，指令下发与状态反馈无延迟、无丢包。
- 7.3.5 机器人进场验收应核查设备的出厂检验报告、使用说明书等技术资料。
- 7.3.6 新安装、大修或停用三个月以上的机器人，投入使用前应进行全面性能检测与标定，合格后方可使用。
- 7.3.7 配套的充电设施、物料周转装置等辅助设备应同步调试到位，满足集群连续作业需求。

7.4 安全防护准备

- 7.4.1 机器人作业区域周边应设置物理防护围栏或电子警戒线，防止无关人员误入作业区。
- 7.4.2 现场消防器材的配置与布置应符合 GB 50720 的规定。
- 7.4.3 应编制集群作业专项应急预案，明确设备故障、通信中断、人员伤害等场景的处置流程与责任分工。
- 7.4.4 高处作业场景应设置防坠落防护设施，临边、洞口防护应符合 JGJ 80 的规定。
- 7.4.5 电子围栏的边界应与物理防护围栏对应，围栏出入口应设置门禁与身份识别装置。
- 7.4.6 高处作业场景的机器人应配备防坠安全绳，防坠装置性能应符合现行相关标准规定。
- 7.4.7 作业现场应配备应急救援器材与药品，应急通道应保持畅通。

8 施工流程管控

8.1 作业前检查

- 8.1.1 每日作业前，操作员应对机器人进行班前检查，内容包括电量、外观、端具紧固度、传感器状态等，填写班前检查记录。
- 8.1.2 调度管理员应检查调度系统运行状态、通信网络状态、电子地图与现场一致性，确认当日任务编排无误。
- 8.1.3 安全员应检查作业现场安全防护设施、警示标识完好性，确认无安全隐患后方可准许作业。
- 8.1.4 正式作业前应进行空载试运转，机器人运行一个完整作业循环，确认动作顺畅、定位准确、通信正常后方可加载作业。
- 8.1.5 班前检查应形成记录，检查不合格的机器人不应投入作业，故障排除并复检合格后方可使用。
- 8.1.6 多班组交接班时，应履行交接班手续，交接设备状态、作业进度、异常情况等内容，双方签字确认。

8.2 施工作业

- 8.2.1 集群作业应严格按调度系统下发的任务指令有序执行，操作员不应擅自修改作业参数与规划路径。
- 8.2.2 作业过程中，调度管理员应全程监控集群运行状态，发现异常及时处置，必要时触发远程急停。
- 8.2.3 机器人作业参数超出允许偏差时，调度系统应自动发出预警并触发修正指令；偏差超标时应自动暂停作业。
- 8.2.4 工序转换、作业面转移时，应经调度系统统一调度，机器人按规划路径有序转场。
- 8.2.5 作业过程中需调整作业参数或修改作业路径的，应由调度管理员在调度系统中统一修改，经模拟验证后下发执行。
- 8.2.6 机器人作业时，操作员应在监控范围内值守，不应擅自离岗；发现异常情况应立即按下急停按钮。
- 8.2.7 暴雨、大风、高温等恶劣天气条件下，应停止户外机器人作业，将设备转移至安全场所并做好防护。

8.3 过程监控与数据采集

- 8.3.1 调度系统应实时采集机器人的位置、姿态、作业参数、运行状态等数据，形成作业过程全记录。
- 8.3.2 施工质量过程抽检应按现行建筑工程施工质量验收标准执行，抽检结果应录入调度系统并与对应作业数据关联。
- 8.3.3 专职安全员应定期巡查作业现场安全状况，发现违规作业或安全隐患及时叫停并督促整改。
- 8.3.4 作业过程中的异常事件、故障处置、参数调整等情况应如实记录，形成每日作业日志。
- 8.3.5 调度系统应具备数据统计分析功能，可生成作业效率、设备利用率、质量合格率等统计报表。
- 8.3.6 质量抽检频率应符合现行专业工程施工质量验收标准的规定，抽检不合格的部位应标记并安排返工。
- 8.3.7 安全员每日现场巡查不应少于 2 次，巡查发现的安全隐患应建立台账，跟踪整改闭环。

8.4 作业结束与交接

- 8.4.1 当日作业完成后，机器人应返回指定停靠点，完成关机、充电、清洁等收尾工作。
- 8.4.2 调度管理员应导出当日作业数据，统计作业进度、完成工程量、设备利用率、异常事件等信息，形成作业日报。
- 8.4.3 单道工序完成后，应组织工序交接验收，验收合格后方可进入下一道工序。
- 8.4.4 全部作业任务完成后，应整理作业全量数据、质量记录、验收资料，办理完工交接手续。
- 8.4.5 工序交接验收应由施工、监理单位共同参与，验收内容包括实体质量、技术资料、作业面条件等，验收合格后签署交接记录。
- 8.4.6 作业完成后，应及时对机器人作业端具、传感器进行校验，确保后续作业精度。

9 安全与环境保护

9.1 施工安全

- 9.1.1 集群作业现场安全管理应符合 JGJ 59 的规定。
- 9.1.2 机器人作业区域无关人员不应进入；人员确需进入时，应提前通知调度管理员暂停对应区域机器人作业，确认安全后方可进入。
- 9.1.3 机器人应设置物理急停按钮与远程急停功能，急停触发后应立即切断动力输出。
- 9.1.4 施工现场临时用电应符合 JGJ 46 的规定，机器人充电区域应设置专用供电设施与防火措施。
- 9.1.5 高处作业机器人的防坠落装置应完好有效，作业下方应设置警戒区，在警戒区周边应设置警戒线及警戒标识，作业期间应有安全警戒人员在现场值守。
- 9.1.6 不应在机器人作业范围内进行与作业无关的人工操作；人机配合作业时应制定专项安全措施。
- 9.1.7 机器人充电应在指定充电区域进行，充电时应关闭作业动力电源，充电区域不应堆放易燃物。
- 9.1.8 施工现场供用电安全应符合 GB 50194 的规定。

9.2 环境安全

- 9.2.1 机器人作业产生的建筑垃圾、废弃耗材应分类收集、及时清运，不应随意丢弃。
- 9.2.2 涉及喷涂、焊接等作业的，应配备废气、烟尘处理设施，污染物排放应符合国家现行环保标准的规定。
- 9.2.3 夏季高温作业应采取防暑降温措施，冬季低温作业应采取设备防冻措施。
- 9.2.4 作业现场易燃易爆物品的存放与使用应符合 GB 50720 的规定。
- 9.2.5 机器人液压、气动系统应采取防泄漏措施，泄漏的油污应及时清理，防止污染土壤与水体。

9.3 应急管理

- 9.3.1 应针对机器人失控、通信中断、火灾、人员伤害等风险制定专项应急预案，配备对应应急物资。
- 9.3.2 发生安全事故时，应立即停止全部作业，启动应急预案，组织人员疏散与救援，并按规定上报相关主管部门。
- 9.3.3 设备故障导致作业中断时，运维人员应及时排查故障，故障排除后经空载试运转合格方可恢复作业。

- 9.3.4 应定期组织应急演练，演练频次不应少于每季度 1 次，演练记录应留存归档。
- 9.3.5 应急预案应明确应急组织机构、联系方式、处置流程、上报程序，应急响应等级应与事故等级匹配。
- 9.3.6 发生机器人失控、碰撞等设备事故时，应立即切断总电源，保护事故现场，组织排查事故原因。
- 9.3.7 应急演练后应进行评估总结，针对演练中发现的问题修订完善应急预案。

9.4 环境保护

- 9.4.1 集群作业应采用绿色施工工艺，减少材料浪费与能源消耗。
- 9.4.2 机器人设备应优先选用节能型产品，降低作业能耗。
- 9.4.3 现场应合理规划机器人行进路径，减少场地占用与对周边环境的干扰。
- 9.4.4 施工噪声、扬尘、光污染等控制应符合 JGJ 146 的规定。
- 9.4.5 施工废水应经沉淀处理后排放，不应直接排入市政管网与自然水体。
- 9.4.6 废弃的电池、电子元器件等危险废物应按危险废物管理要求分类存放，委托有资质单位处置。

10 质量验收

10.1 验收条件

- 10.1.1 完成合同约定与设计文件规定的全部作业内容。
- 10.1.2 作业过程资料、质量检验资料、设备运行资料完整齐全。
- 10.1.3 机器人集群系统经调试与试运行，功能与性能满足设计要求。
- 10.1.4 施工质量经施工单位自检合格。
- 10.1.5 完成专项施工方案约定的全部验收内容，各项指标符合设计与标准要求。
- 10.1.6 相关隐蔽工程验收记录完整，验收合格。

10.2 验收内容与标准

- 10.2.1 系统功能验收：调度系统的任务调度、路径规划、状态监控、数据管理等功能应符合本文件 5.3 的要求；机器人的作业功能、安全功能应符合设计与产品标准要求。
- 10.2.2 协同性能验收：集群协同的响应时延、同步精度、避障能力、任务执行效率应符合本文件第 6 章的要求。
- 10.2.3 施工质量验收：施工实体质量应符合 GB 50300 及对应专业工程施工质量验收标准的规定。
- 10.2.4 资料验收：验收资料应完整、准确、可追溯，满足本文件 10.4 的要求。
- 10.2.5 安全性能验收：机器人安全防护、急停功能、电子围栏、现场安全设施应符合本文件第 9 章及相关安全标准的规定。
- 10.2.6 施工质量验收应按主控项目和一般项目划分，主控项目应全部合格，一般项目合格率不应低于 80%，且最大偏差不应超过允许偏差的 1.5 倍。

10.3 验收程序

- 10.3.1 施工单位完成自检后，应向监理单位提交验收申请与全套验收资料。
- 10.3.2 验收应按分项工程、分部工程、单位工程的层级依次进行，验收程序应符合 GB 50300 的规定。
- 10.3.3 验收时应进行现场实测实量与系统功能演示，验证各项指标的符合性。
- 10.3.4 验收合格的，出具验收合格文件；验收不合格的，责令施工单位整改后重新组织验收。
- 10.3.5 验收组应由建设、监理、施工、设备供应等单位相关人员组成，必要时可邀请行业专家参与。
- 10.3.6 验收过程应形成验收记录，参与验收的各方人员应签字确认；验收结论应明确合格或不合格。
- 10.3.7 验收不合格项经整改完成后，应重新组织验收，整改记录应纳入验收资料。

10.4 验收文件

- 10.4.1 验收文件包括但不限于：
 - a) 专项施工方案及技术交底记录；
 - b) 机器人及配套设备进场验收记录、产品合格证明文件；

- c) 协同作业验收记录表（附录 A）；
 - d) 调度系统运行日志；
 - e) 质量检验与试验记录；
 - f) 故障与异常处置记录；
 - g) 施工单位自检记录与验收申请；
 - h) 隐蔽工程验收记录；
 - i) 应急演练记录。
- 10.4.2 验收文件的整理归档应符合 JGJ/T 185 的规定。
- 10.4.3 验收文件应为原始记录，不应随意涂改；确需修改的，应采用划改方式，并由修改人签字确认。

11 维护与管理

11.1 日常维护

- 11.1.1 每日作业结束后应对机器人进行外观清洁，清理作业端具、传感器表面的粉尘、污渍。
- 11.1.2 应每日检查机器人的电量、行走机构、紧固件、外接线缆等易损部件状态，发现异常及时处理。
- 11.1.3 调度系统应每日进行数据备份，检查系统运行日志，排查系统异常。
- 11.1.4 日常维护应填写维护记录，记录维护内容、时间、人员、设备状态。
- 11.1.5 应按设备说明书要求对电池进行日常维护，避免过充、过放，延长电池使用寿命。
- 11.1.6 传感器镜头、视觉识别装置应采用专用清洁工具擦拭，避免划伤镜面影响识别精度。

11.2 定期检修

- 11.2.1 应按设备说明书要求制定定期检修计划，检修周期分为月度、季度、年度。
- 11.2.2 月度检修应包括传动部件润滑、传感器校准、安全功能测试、通信模块检测等内容。
- 11.2.3 季度检修应包括核心部件性能检测、电池容量检测、结构件紧固检查、软件系统升级等内容。
- 11.2.4 年度检修应对机器人进行全面拆解检测，更换老化部件，进行整机性能标定，检修后性能应符合出厂标准。
- 11.2.5 定期检修应由专业技术人员实施，检修后应出具检修报告，合格后方可继续投入使用。
- 11.2.6 检修过程中更换的核心部件应符合原设备技术参数要求，更换后应进行性能标定。
- 11.2.7 机器人累计作业时长达到设备说明书规定的大修周期时，应进行全面大修。

11.3 数据与资料管理

- 11.3.1 集群作业产生的任务数据、运行数据、质量数据、维护数据应分类存储，数据存储应安全可靠。
- 11.3.2 电子数据应定期备份，备份方式应包含本地备份与异地备份，备份周期不应大于 7 d。
- 11.3.3 数据访问应设置权限管控，涉密数据与核心技术数据应采取加密保护措施。
- 11.3.4 纸质资料与电子资料的归档管理应符合 JGJ/T 185 的规定，保存期限应满足工程档案管理要求。
- 11.3.5 数据存储介质应定期进行健康检测，防止数据损坏丢失。
- 11.3.6 超过保存期限的数据，应按数据管理制度履行审批程序后方可销毁。
- 11.3.7 应建立机器人设备台账，记录设备编号、进场时间、作业时长、检修记录、故障记录等信息。

11.4 报废管理

- 11.4.1 机器人达到使用年限、核心部件严重损坏无法修复，或经检测安全性能不达标且无整改价值的，应予以报废。
- 11.4.2 报废的机器人应按资产管理制度履行报废审批程序，报废处置应符合环保要求，危险部件应规范处置。

附 录 A
(规范性)
智能建造机器人集群协同作业验收记录表

智能建造机器人集群协同作业验收应按本附录规定的格式填写验收记录，记录表格式见表A.1。

表 A.1 智能建造机器人集群协同作业验收记录表

工程名称		验收日期	
施工单位		监理单位	
集群系统编号		协同模式	
机器人数量		作业工序	
验收类别	验收项目	验收内容及要求	验收结果
系统功能	调度系统功能	任务管理、路径规划、状态监控、冲突消解、数据统计功能完整	
	机器人功能	作业执行、安全防护、故障报警、自主避障功能正常	
协同性能	通信同步	通信覆盖率100%，时间同步误差≤10 ms	
	避障能力	动静态障碍物识别准确，避障响应时间≤200 ms	
	任务执行	任务分配合理，协同作业无冲突	
施工质量	主控项目	全部符合对应专业工程施工质量验收标准	
	一般项目	合格率≥80%，最大偏差≤允许偏差1.5倍	
安全性能	安全防护	急停功能有效，防护设施完好，警示标识齐全	
	用电安全	符合临时用电安全标准，充电区域防火措施到位	
资料完整性	过程资料	作业记录、质量记录、故障记录完整可追溯	
	验收资料	进场验收、自检记录、交接验收资料齐全	
验收结论			
验收人员签字	施工单位： 监理单位： 建设单位：		