

涂装车间滑橇高压自动清洗控制系统应用

李思远, 黄 鹏, 张程皓, 高红杰, 刘少辉, 康 立, 姚世琪, 冯建旗, 陶 禹, 孙 浩
(中国汽车工业工程有限公司, 天津 300113)

摘要: 为解决传统汽车涂装车间滑橇人工清洗效率低下、人工清洗过程风险高等问题, 提出了涂装车间滑橇高压水自动清洗控制系统的整体架构, 并对系统内设计的软硬件进行介绍, 对工艺流程及安全功能进行完善布置。该系统做到了功能完备、逻辑严谨、高效智能、绿色节能的效果, 同时也为涂装外的行业工件清洗控制系统提供了有益的参考和借鉴。

关键词: 涂装车间; 清洗工业机器人; 控制系统; 滑橇清洗; 高压水射流

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2025)01-0041-05

Application of High Pressure Automatic Cleaning Control System for Skid in Painting Workshop

LI Si-yuan, HUANG Peng, ZHANG Cheng-hao, GAO Hong-jie, LIU Shao-hui, KANG Li,
YAO Shi-qi, FENG Jian-qi, TAO Yu, SUN Hao
(Automotive Engineering Corooration, Tianjin 300113, China)

Abstract: The proposed solution addresses the issue of low manual cleaning efficiency and the high risk associated with the manual cleaning process in automobile painting workshops. The automatic cleaning control system for sliding high-pressure water in the coating workshop has been redesigned, including both hardware and software. The system's process flow and safety functions have been meticulously arranged to ensure effectiveness. Overall, the system is equipped with complete functions, stringent logic, high efficiency, intelligence, and environmentally friendly, energy-saving features. at the same time, it also provides a usefu reference and example for the workpiece cleaning control systems in industries other than painting industry.

Key words: painting workshop; cleaning industrial robots; control system; skid cleaning; high pressure water jet

0 引言

在汽车涂装线上, 格栅和滑橇经过喷漆线总是沾满油漆, 这些工件的清洗工作重复而繁重, 人工清洗需要手持高压水枪进行冲洗除漆作业, 效率低, 噪音和高压都会对人体造成无可挽回的伤害。电泳滑橇反复经过电泳线和密封胶线, 电泳漆附着在电泳滑橇表面, 会使滑橇支点与锁紧结构表面发生变化, 产生锁紧异常风险; 密封胶线上由于人员踩踏和少量掉落的胶块, 经过烘

炉烘烤后, 也会顽固附着在滑橇表面, 阻碍滑橇平稳运行; 面漆滑橇反复经过喷漆线和面漆烘炉, 会产生滑橇漆片, 对车身质量产生影响, 积漆过厚也会影响滑橇平稳运行; 同时, 电泳工艺要求车身带电作业, 喷漆工艺要求滑橇和工件良好接触并接地。滑橇支点和车身接触, 可实现良好的导电, 有助于油漆的快速附着, 保持高上漆率, 支点积漆会使支点与车身导电点回路虚接打火甚至因灼伤而导电不良^[1], 上漆率降低, 耗费能源, 车身漆膜不均匀, 产生花斑纹等质量缺陷, 滑橇其他位置积漆严重也会导致喷涂工艺缺陷, 是涂装车间最严重的质量问题之一, 因此滑橇的合格清洁是涂装车间日常工作的重要一环。

随着工业机器人日益普及, 汽车主机厂涂装线自

收稿日期: 2024-06-26

作者简介: 李思远(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事汽车涂装车间自动化、机器人系统集成化研究工作。E-mail: lisiyuan@chinaaie.com.cn。

自动化生产率持续提高。为了解决上述难题,不锈钢工业机器人智能化自动高压清洗系统应运而生,此方案优势明显:全天连续工作,显著提高生产效率,避免了人身伤亡风险,并降低成本,水循环系统节能降耗,循环利用,多种滑橇智能识别,和车间主线输送系统连通,全自动无需干涉。

1 系统组成

滑橇清洗站主要由机械输送系统、清洗室体、防水机器人、高压旋转水枪、高压水供给系统、循环水利用过滤和收集设备、送排风系统和吹干设备、智能控制系统和辅助设备构成,其布局如图 1 所示。

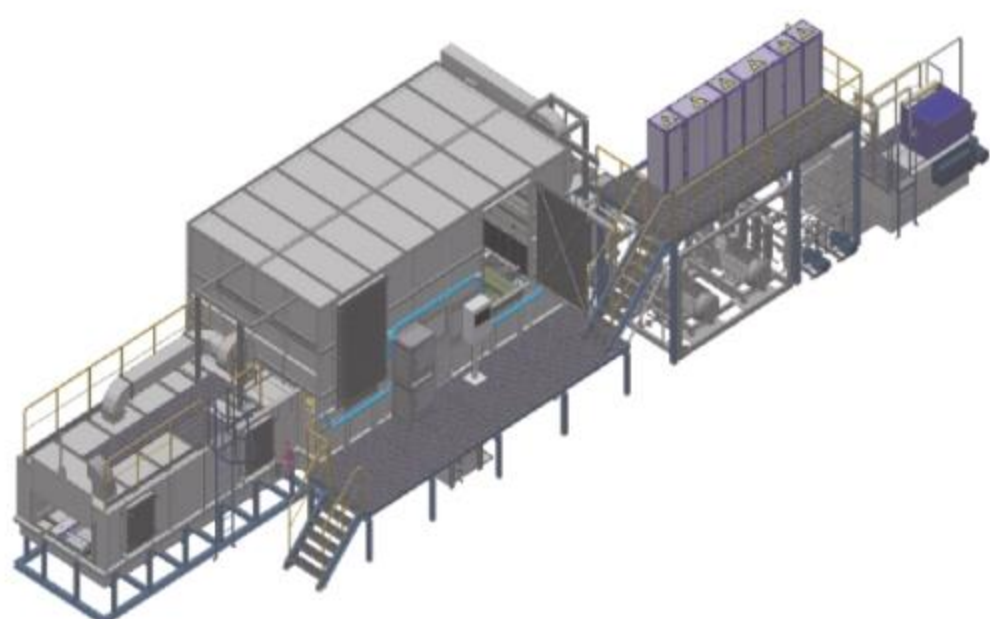


图 1 滑橇高压清洗系统布置

清洗室体单元是一个防水密闭室体,机器人在室内对滑橇进行脱漆、清洗。主要硬件设备有淌水板及其型钢底座、集水槽、室体、机器人及其安装底座、输送滚床等。

清洗单元有高压水清洗设备及其管路和低压循环水清洗设备及其管路两部分。高压水清洗设备及其管路配合机器人工作,主要包含净水槽及其补水管路、高压供给泵、粗过滤器、细过滤器、高压清洗泵及高压水管路、高压旋转驱动及其喷嘴;低压循环水清洗设备及管路主要包括集水槽内的回收泵、纸袋过滤机、低压清洗泵、低压清洗管路、淌水板清洗管路、滑橇清洗

管路等^[2]。

送排风系统和吹干设备包括室体的送排风风机、清洗后滑橇的吹气管路和喷嘴等。

控制系统分为 6 个功能模块:滑橇输送控制模块、机器人控制模块、高压水泵控制模块、供水循环再利用控制模块、风机和气控设备控制模块以及安全功能模块。辅助设备主要包括钢平台、出入口升降门、排污系统、隔音间等。

2 工艺流程

滑橇机器人清洗站使用高压水清除和清洗滑橇表面附着的漆渣,已建成投产运行近 3 年的某涂装车间滑橇高压清洗系统能够清洗多种类型滑橇(面漆橇、电泳橇等)。滑橇管理系统会自动将达到设定电泳/喷漆(过喷)循环次数的滑橇输送至清洗站,清洗完毕经出口站吹水后,直接上主线进行循环生产。工艺流程如下:需要清洗的滑橇在进入清洗站前,通过滑橇识别系统确定类型。输送控制系统将类型传给机器人控制系统,执行相应的机器人清洗程序,机器人手臂上固定有高压旋转喷枪,通过 PID 控制高压清洗泵动态输出的 180~250 MPa 高压水清除滑橇上附着的漆渣或过厚漆膜。机器人可以在滑橇的多个停止位执行相对应的清洗程序进行分段清洗。一台机器人或高压泵损坏,还可设置降级模式,牺牲部分节拍,执行清洗工作。循环水处理装置使用经过纸袋过滤机过滤后的低压循环水来清洗高压清洗过程中飞溅在滑橇表面或集水槽趟水板表面的固体颗粒。工件清洗完成后经过吹扫区去除滑橇表面的大部分残留水膜,再由转接输送系统将工件返回至车间输送系统。室体配备有送排风系统用于置换清洗间室内高压清洗过程中产生的大量水雾。该区域设置有一个污水坑,用于收集清洗废水并将其输送至污水管网。系统工艺流程示意如图 2 所示。

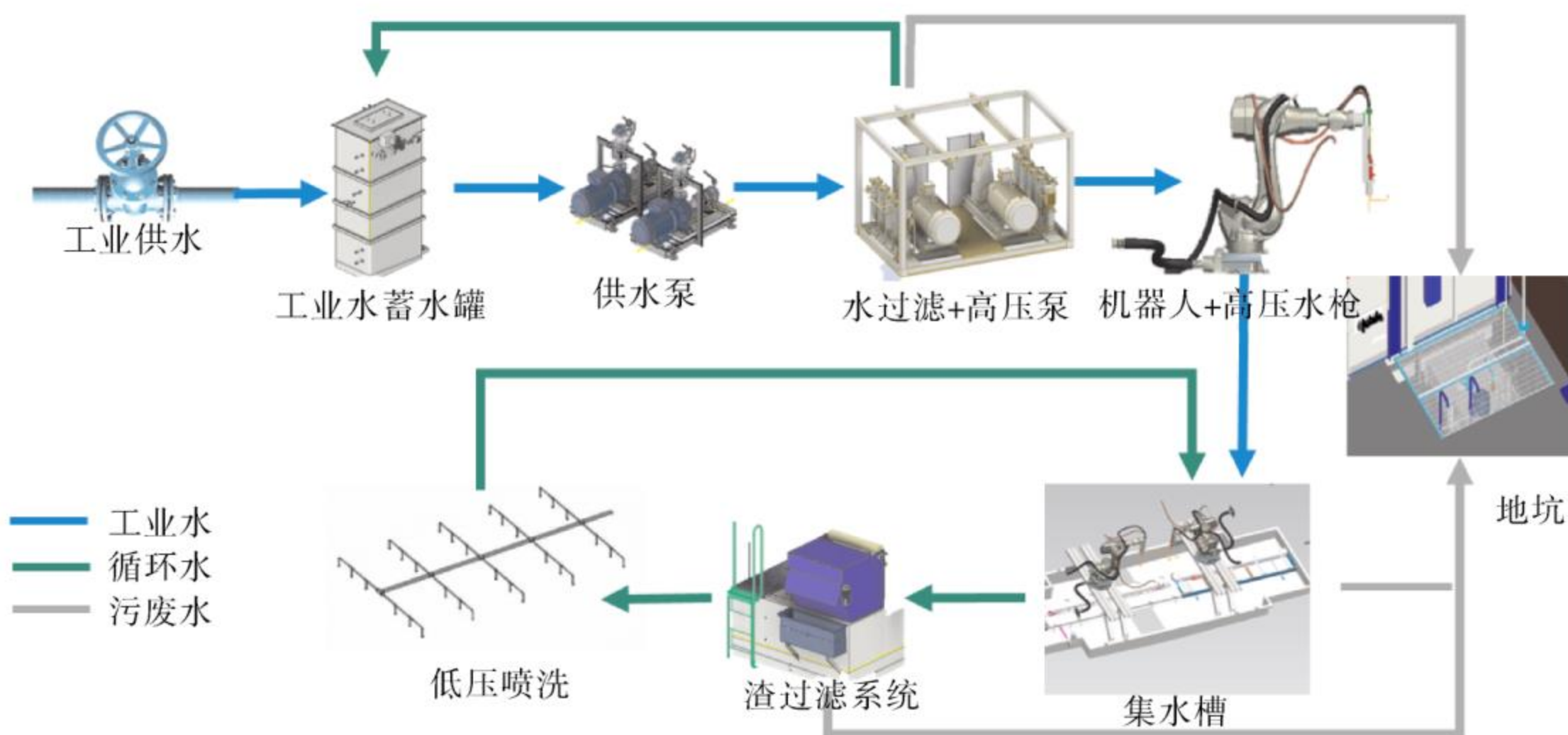


图 2 滑橇高压清洗站系统工艺流程示意

高压旋转喷枪用的是来自先后经过两级袋式过滤器过滤的工业水，在过滤装置的前后装有压差及温度传感器，以防过滤袋损坏后较大颗粒进入高压泵对泵体造成损坏。清洗滑橇后的水经滴水板收集至集水槽，经过除渣过滤之后一部分用来冲洗室体滴水板及低压清洗滑橇，过量的水溢流至地坑，地坑水位达到设定的液位时由地坑泵泵送至污水站进行进一步处理和排放^[3]。

3 控制系统硬件设计系统架构

3.1 系统架构

电控架构如图 3 所示，采用基于西门子 S7-319F-3 PLC 作为设备层控制核心。通过 PROFINET 网络与 PLC、远程 IO 模块互联，实现 PLC 与机器人间的数据通信。系统均连入车间 IT 网络，数据上传至中控，可实现远程监控功能。机器人控制柜与 PLC 进行基于 PROFINET 的安全连锁信号交互，保证系统运行安全可靠^[4]。

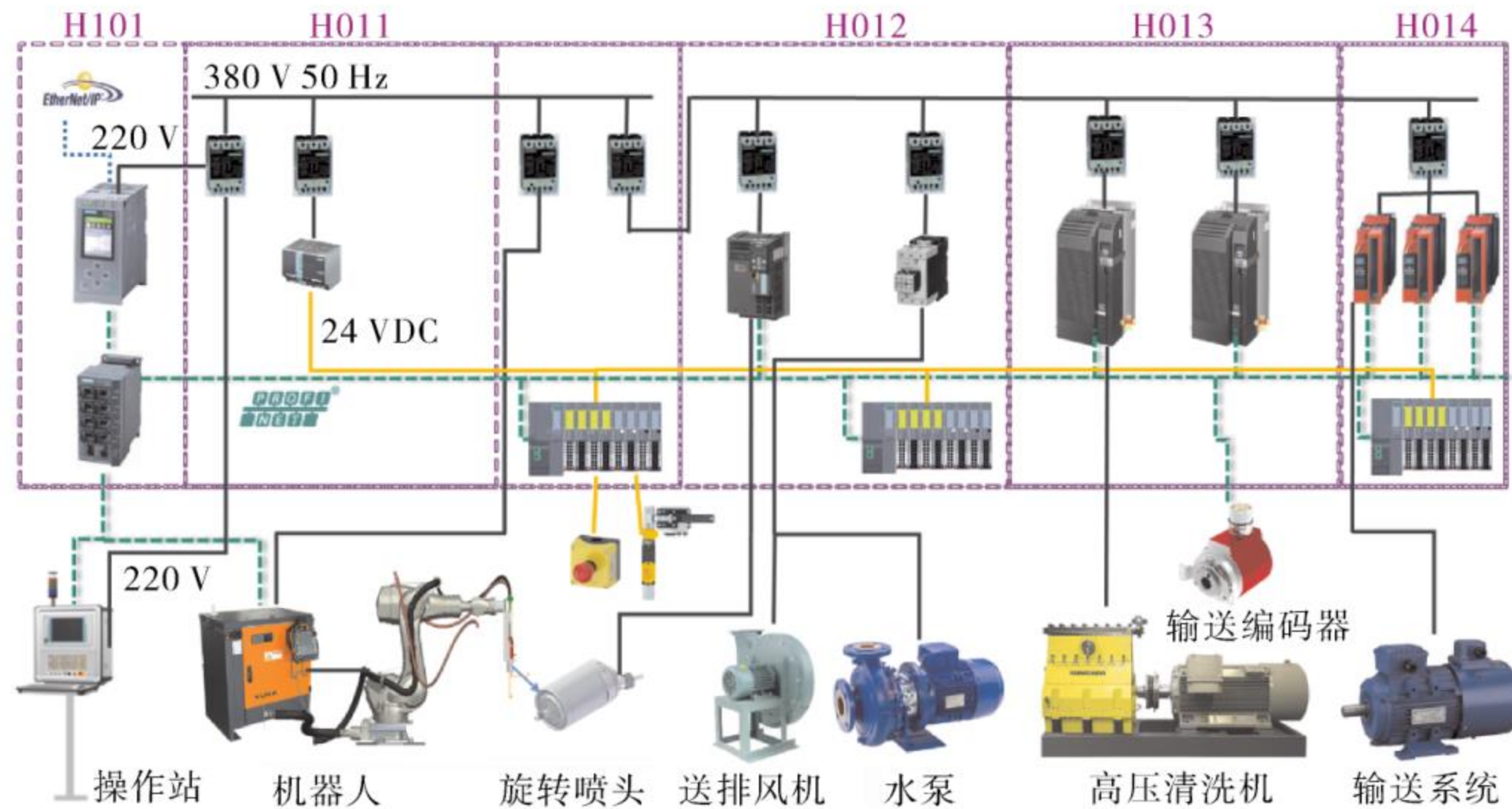


图 3 电控架构

3.2 安全功能

系统运行时，为防止人员进入工作区域时设备对其造成伤害^[5]，本系统在安全方面特别设计了六重防护措施，如图 4 所示。

- 1) HMI 急停，用于室体外部工作人员发现异常时使用操作站急停停止设备运行；
- 2) 室体外部按钮盒急停，用于室体外部工作人员发现异常时就近选择使用；
- 3) 室体内部防水型按钮盒急停，用于室体内部工作人员被误封在室内，机器人开始危险作业时选择使用；

4) 安全门开关，用于人员因维修或者点检等原因进入清洗室内时触发安全连锁，设备停止运行，人员工作完毕走出室体后复位开关，设备可正常运行；

5) 机器人示教器急停，在人员进行机器人示教的时候也可以通过示教器的急停按钮停止某些设备（机器人）运行；

6) 人员进入到高压危险区会有警报声光提醒，要求工作人员尽快远离此区域，当有维保需求的时候可以临时屏蔽此报警。

急停按钮的布置做到分区域全方位覆盖，以此来保障人员和设备安全。

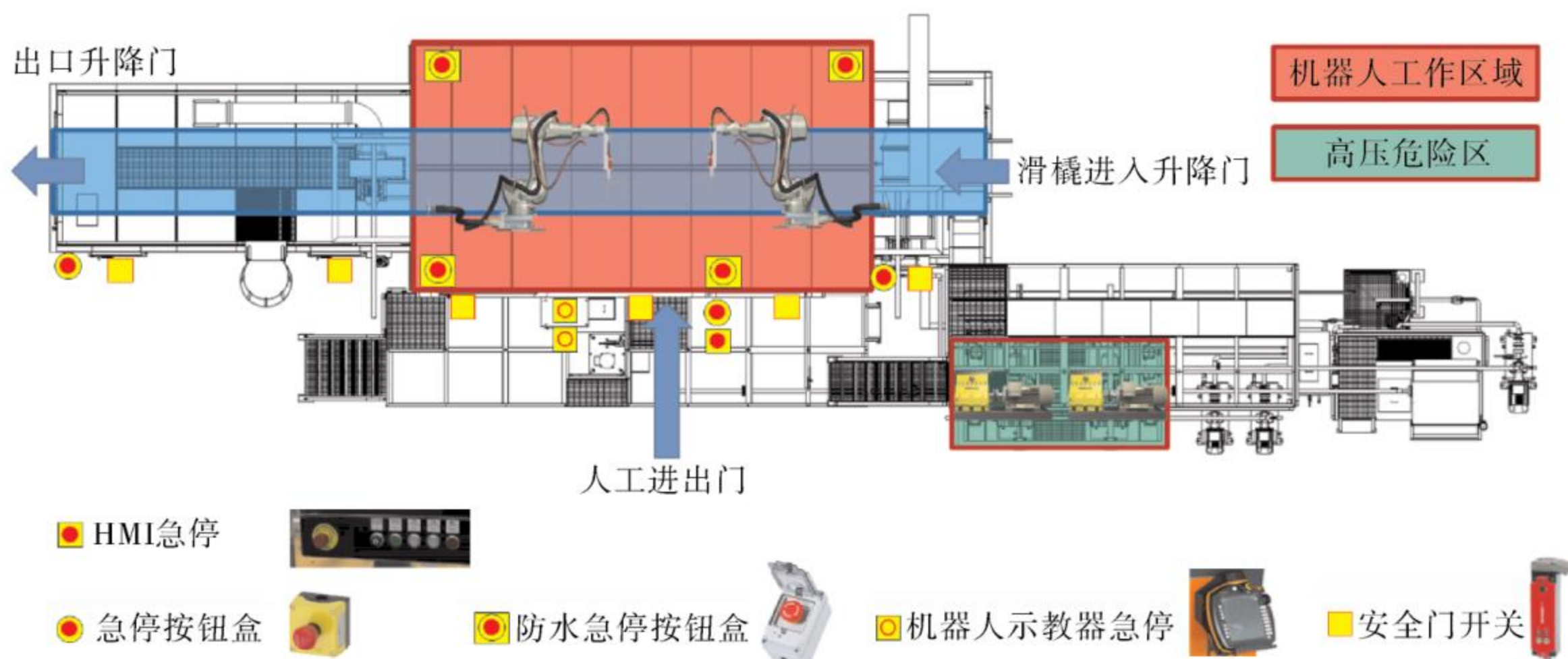


图 4 安全布局

4 软件设计

4.1 程序结构

软件采用结构化编程(如图 5 所示),为每个功能编写程序块,层层调用,可以快速扩展和程序移植,方便清洗机器人电控系统的编程和调试。OB1 主程序调用 6 个程序块,其中 ZS01_A01 人机交互程序块,负责当前机器人工作站所有机器人的输入输出映射、远程控制,滚床和输送链的运行以及当前操作站的控制功

能等等。循环中断组织块 OB35 调用 3 个程序块,设置 OB35 扫描周期固定为 10 ms,程序块通过 PID 闭环控实现高压水泵出水压力的精准调节。另外,OB35 调用安全程序块,负责外部急停按钮、安全门开关、室内防水急停按钮、操作站急停、机器人急停等安全信号的处理。

4.2 控制流程

控制流程如图 6 所示。

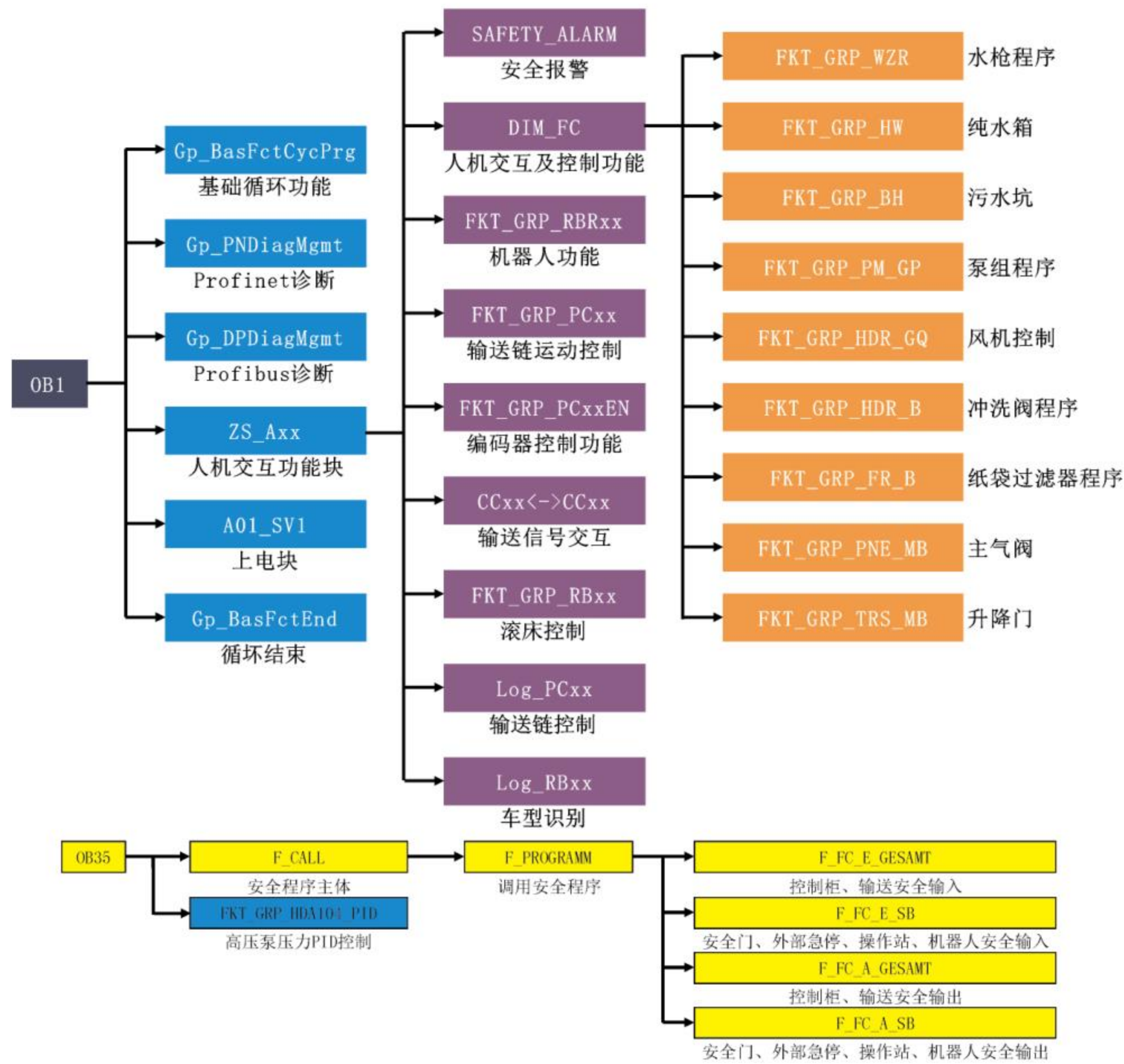


图 5 程序调用结构

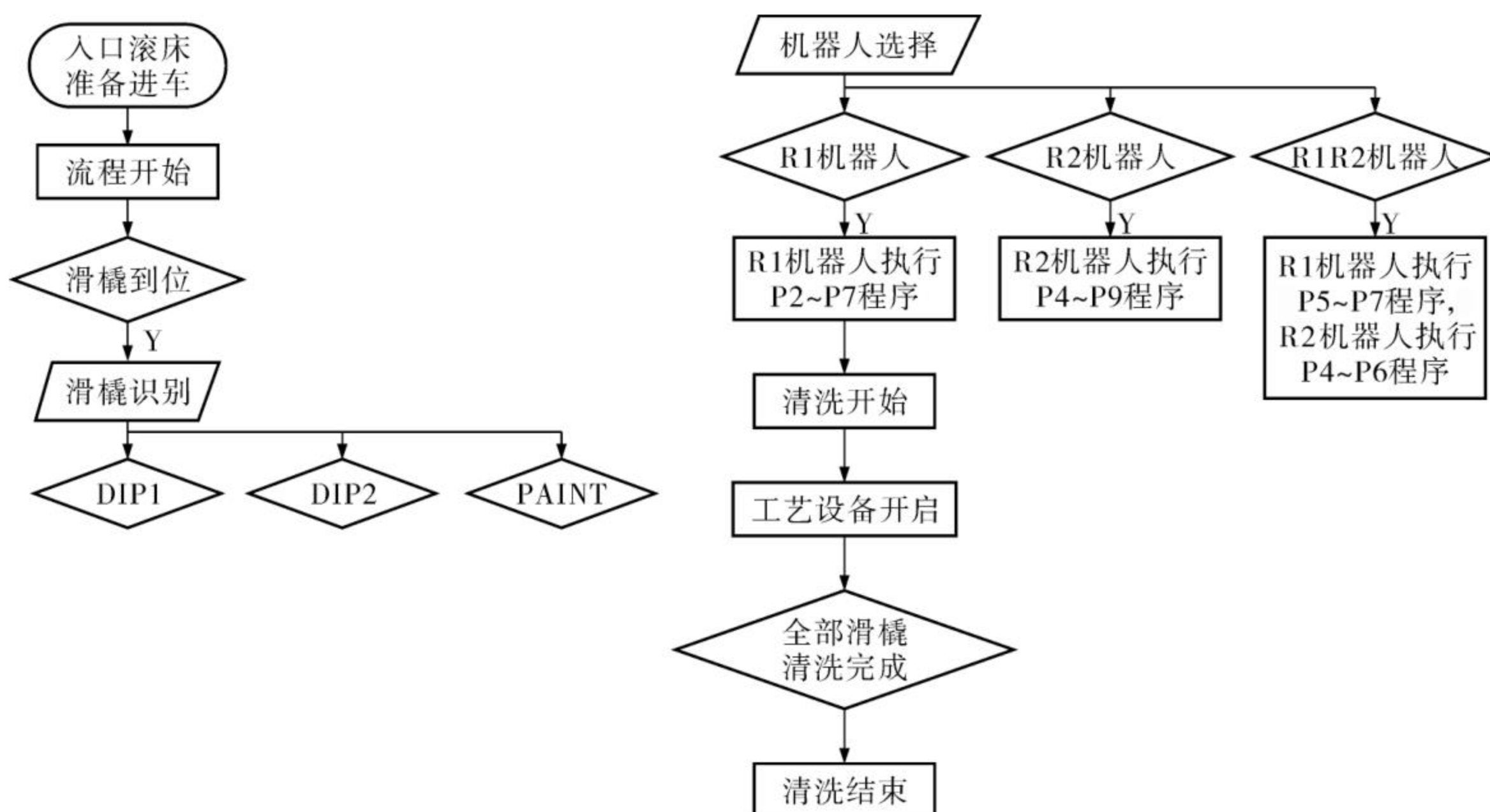


图 6 控制流程

4.3 机器人程序选择及信息传递说明

对应于不同的滑橇类型和不同的清洗模式，都设置相应机器人程序，通过程序号区分。当 PLC 将程序号发送给机器人时，相应清洗程序触发机器人清洗任务，同时封闭入口，直到清洗任务完成，才释放封锁信号，准许下一个待洗滑橇体进入到工作区域。输送根据滑橇体行进的不同位置，发出相应的机器人动作释放信号，触发机器人对滑橇体不同部位的清洗工作。

4.4 通讯方式介绍

如图 7 所示，操作监控界面使用西门子 TIA Portal 设计完成，并通过西门子触摸显示屏显示设备实时状态。使用西门子 S7 连接中的 TCP/IP 通道进行通讯，可以通过标准的以太网卡访问。PLC 和机器人柜通过 Profinet 建立链接，可以根据实际传输数据的大小进行信号映射实现与机器人实时信号交互。

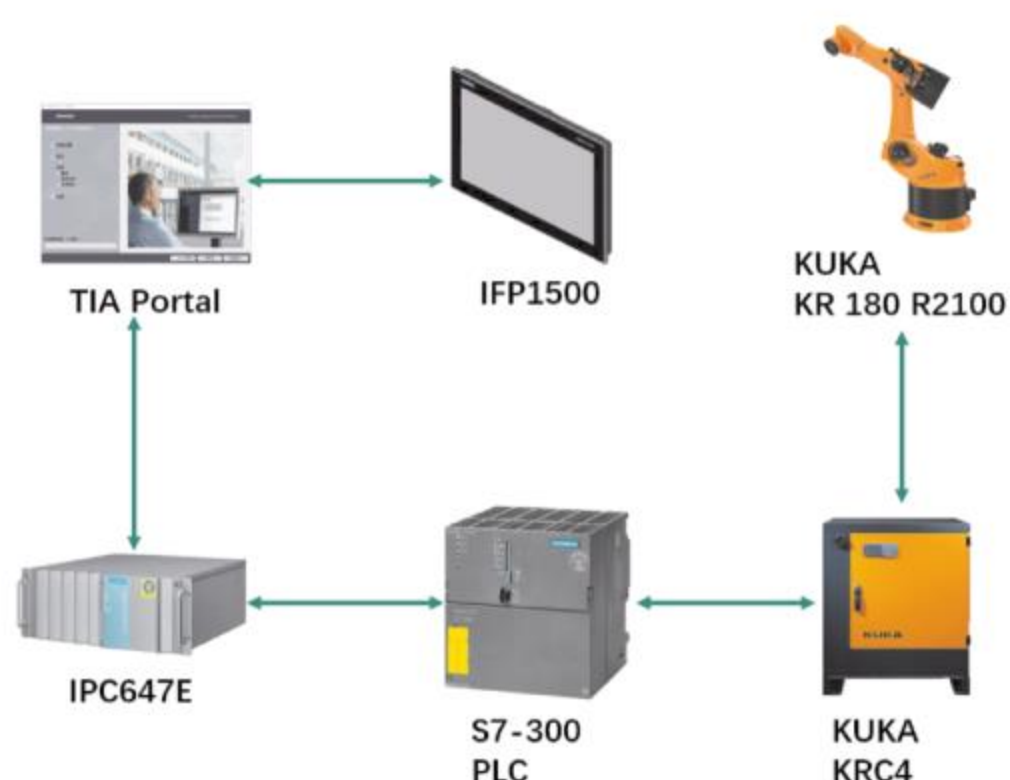


图 7 通讯连接

4.5 触摸屏功能

软件监控整个清洗系统的状态，比如清洗室高压系统中各个管道位置的压力、温度，旋转喷枪的频率，清洁水箱供水、纸袋过滤器、集水坑中的液位信息，以及各个管道中阀门的状态。设备的手自动模式、机器人的模式、滚床/输送链的实时状态、机器人正在清洗的位置、时间和数量、滑橇的编号及类型等信息都可以通过界面查看。

5 系统控制策略的优势

5.1 100%全覆盖清洗和降级功能

通过前期的机器人系统仿真，确定不同工件的清洗位置共用策略，同时机器人结合机运输送系统搭配工作可实现机器人的 100%工件全覆盖清洗，并且在单机器人故障的意外事件发生时可以实现单机器人降级模式 100%工件全覆盖清洗。

要想实现全工件 100%覆盖清洗（不含底部），滑橇必须按照顺序从位置 P1 一直到 P9 顺序停止，这样机器人才可以实现分区域清洗。

正常模式下 2 个机器人工作位置为某几个特定点

位；降级模式工作位置为某几个特定点位。

通过编程实现整个控制流程图的程序逻辑，可以完美实施整个系统的工艺流程。

5.2 清洗水循环再利用、循环风吹干

参考工艺流程，优化控制策略，编制控制程序可实现以下功能：

1) 高压喷嘴喷射清洗滑橇表面漆渣后的含漆渣废水由回收槽进行 100%收集并进行除漆渣处理，透过纸带过滤机的清液返回清洗间二次利用，水资源利用率提高 1 倍。

2) 清洗作业产生大量的细水雾，需通过送排风及时消除，同时为避免经高压清洗过的滑橇在返回生产线途中滴水而造成对设备平台积水污染和水腐蚀，滑橇也需保持干燥，利用送风空气在出口段滑橇行走路径上的二次循环，可达到在减少送风量的同时提高滑橇的表干速度的效果。

3) 滑橇高压清洗的效果与清洗点位的清洗水压力密切相关，清洗水压力越大，需要高压泵的运行频率和功率越大；喷嘴与工件间的距离影响清洗点位的清洗水压；本系统通过优化机器人手臂上喷嘴的运行轨迹，可随时调整喷嘴与工件之间距离（机器人 TCP）和高压泵的输出水压（160~200 MPa 实时调节），在保证清洗效果的同时，也可节约高压泵的电能消耗 20%以上。

5.3 满足高压清洗及多种滑橇体随动的自动输送系统

设备采用链式推车机形式，自带定位装置，满足多种滑橇体，多种位置，固定及随动清洗。限位导向轮及整体框架均采用护板防护，防止高压水流对设备的冲击，输送链条有两组推头，均推动滑橇横梁，使滑橇体运行。外伸轴电机轴安装旋转编码器，配置 profinet 接口，PLC 直接读取位置数据，即可实现滑橇清洗间内部滑橇输送系统精确定位（±3 mm），且重复定位精度高，保证了机器人与滑橇相对位置的精确，保证机器人动作的可靠和安全。

6 结语

该项目得到某高端车厂业主的验收并赢得了较高的评价。在国家自动化装备质量检验检测中心出具的检测报告、某市科学技术信息研究所出具的报告中，对创新点内容及技术数据达到的国际领先水平给予证明。本项目产生的技术成果成功应用于多个国际知名品牌车企和国内新能源汽车领军企业，取得显著的经济效益。随着中国人力成本的年年增高及工业机器人日益普及，汽车厂自动化生产率持续提高。机器人自动高压清洗系统以及配套水循环利用系统在国内汽车厂的应用会持续增长。我公司产品在正常生产时不需要人工进行工件转运和手工操作，可全天（下转第 48 页）



图4 多层 RGV 穿梭车立库

多层 RGV 立库的技术特点是,采用 RGV 完成车身在立库内的平层输送和存取;车身在立库内不同层间的升降转移由升降机完成;多台 RGV 协同工作,分担同一巷道的出入库作业。相比于巷道堆垛机式的立库,RGV 驱动立库的优势在于多层 RGV 穿梭车在不同的层可以协同配合工作,因此可以大大地提升立库运行节拍;当某一层的 RGV 出现故障,其他层的 RGV 仍可以维持运行,使系统的鲁棒性更强;对于每个单体的 RGV 来说,结构更加简单,维修更加容易;后期可以通过扩展 RGV 的个数和立库的层数对立库来进行扩展,可扩展性更好;此外还可以在库内完成换撬、堆拆垛等功能,使立库的功能更加多样化,工艺布局更加合理。可以看出这种立库的柔性存取、柔性拓展、柔性工艺布局更为优秀。

4 智能化技术应用

在智能化方面,主要体现在两个方面,一是体现在在设计之初的智能化仿真,二是体现在项目运行过程中智能化调度控制。在智能化仿真方面,即可以运用 Plant Simulation 物流仿真技术,可以形象、直观地模拟呈现整个自动化存储区的运行情况,发现设备的瓶颈以及安装、调试过程的难点,在设备投入制造之前完成设备能力的验证,为设计提供及时更正的依据和时间,避免损失。除此之外,Plant Simulation 仿真技术还对整个自动化立体仓库的关键指标进行统计分析,进而优化整个系统的运行效率。

在智能化控制方面,智能化控制系统主要由 WMS 管理系统、WCS 调度系统和现场设备执行层组成。WMS 管理系统是整个存储区的神经中枢,存储区除去其基本的存储功能之外,对于涂装车间来说最大优点就在于该系统的柔性存取功能。尤其是对颜色编组,可实现多车型、多颜色、小批量、定制化车身随机入库,以最优路径完成同种颜色车身成批量出库,进而成规模地完成涂装作业。WCS 调度系统通过特定接口与管理系统和执行设备的 PLC 对接,根据给定任务、设备状态和库存状态,通过决策算法完成出入库方式和位置的决策,实现立库的最优效率运行、出入库的智能排序

及柔性化颜色编组。设备执行层用于完成单体设备的具体动作执行,比如 RGV 立库模式下升降机垂直方向的输送动作,穿梭车水平方向的输送动作,以及两者配合实现出入库动作。

5 发展趋势与总结

伴随着中国汽车产业的飞速发展,各大汽车厂对汽车生产线的柔性化、自动化、智能化等方面重视程度越来越高,更加柔性智能的存储方式是汽车涂装车间存储方式的发展方向。以 RGV、AGV 为代表的柔性存取平面库在平面存储的型式下能够提高系统柔性,灵活存取,对存储空间要求不高,但对系统柔性高的场合,例如小修或颜色编组等;以巷道堆垛机和多层 RGV 为代表的立体库,在提高系统柔性的同时,还能够节省占地面积,适合作为整个车间的存储中转中心使用;此外相比传统的巷道堆垛机,基于多层 RGV 的立体库,具有节拍快、鲁棒性强、故障率低、维护方便等显著优势,能够有效提高汽车生产效率和智能化水平,市场应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 刘品言,张川,赵剑,等.AGV 小车在汽车涂装生产线上的应用[J].电镀与涂饰,2022(20):1489-1492.
- [2] 赵剑,林涛,赵恒锐.立体库在汽车涂装车间的应用[J].汽车工业,2023(10):63-66.
- [3] 赵亮,牛文文,许健,等.汽车涂装车间立体仓库浅析[J].现代涂料与涂装,2024(2):37-39. ◆

(上接第 45 页)连续工作,能够显著提高生产效率,避免高压人身伤害事故,并降低人工成本。该装备运行效果良好,很好地满足了客户相关需求,其应用市场呈逐步扩大趋势。

参考文献:

- [1] 王胜强,马荆亮.涂装车间滑撬自动清洗方案[J].汽车工艺与材料,2022(11):69-72.
- [2] 陶磊,乔一行,王明,等.浅谈涂装车间辅助设备设计说明及技术要求[J].现代涂料与涂装,2024(2):47-49.
- [3] 彭松,杨成,牛焱,等.超高压水射流自动清洗技术在汽车涂装车间的应用[J].中国设备工程,2018(18):141-144.
- [4] 林骥,李思远,张程皓,等.一种汽车涂装车间喷漆机器人控制系统应用[J].汽车工艺与材料,2019(11):11-15.
- [5] 陈鑫,杨明川,李华涛.高压清洗工位区域划分功能的实现[J].设备管理与维修,2023(5):87-89. ◆