



2025

金砖国家职业技能大赛（金砖国家未来技能和技术挑战赛）

工业机器人数字孪生技术应用

BRICS-FS-40

样题（国际总决赛）

2025 年 05

模块 A 工业机器人系统虚拟调试

A-1 仿真环境搭建

（一）场景搭建

使用 PQFactory 软件打开 CHL-DS18.robx 文件，打开显示界面如图 1-1 所示，按照安装步骤要求，将工作站各单元合理拼装成图 1-2 所示。

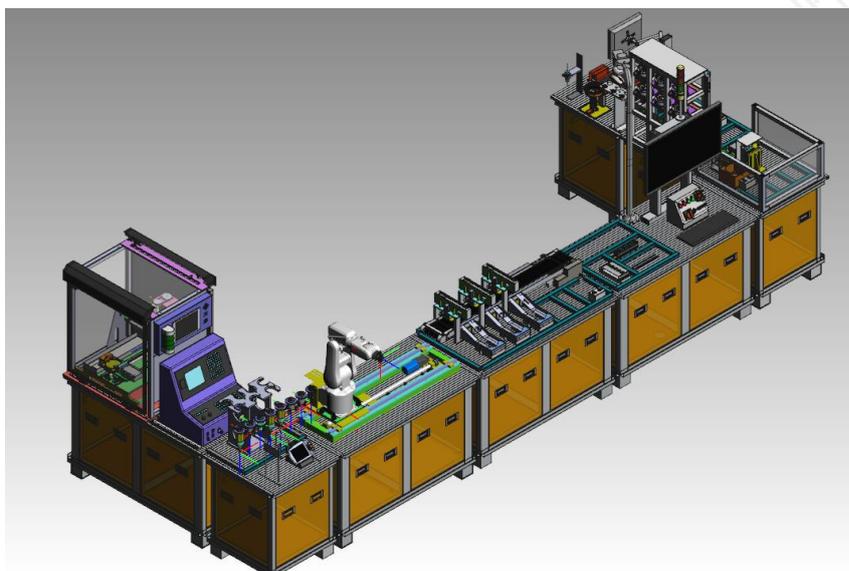


图 A-1 PQFactory 文件

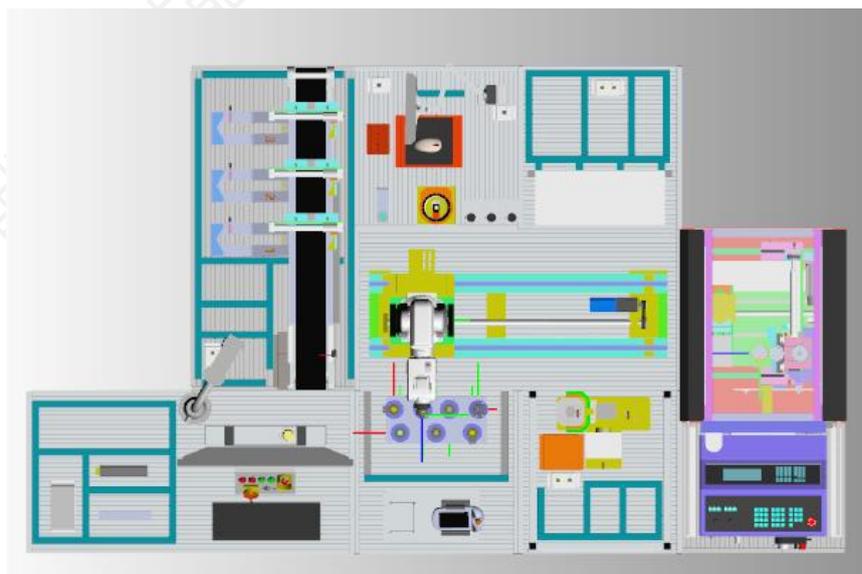


图 A-2 组装后俯视图

装配要求：

1、以“执行单元”为基准，以各加工单元为基本单元，进行全部工作单元的拼接工作；

2、拼装时，各加工单元桌面面板的侧面，要贴合到一起；要保持各加工单元的桌平面处于共面状态。（如图 1-3 所示）

3、工具单元上的快换工具，根据需求，安装放置到工具架的合适位置上。

（二）工作站模型定义

1、在虚拟仿真系统中，定义仓储单元 3 号、6 号工位的光电传感器，使其具备传感器检测功能，可以检测对应工位上的产品零件，并关联对应变量。

2、在虚拟仿真系统中，定义仓储单元 3 号、6 号工位的红、绿指示灯颜色状态，要求仓位有料显示绿色，无料显示红色，关联对应变量。

3、在虚拟仿真系统中，定义分拣单元 3 号道口三个气缸状态机。在模型“场景”下，找到“分拣-横挡板 3”、“分拣-上推板 3”和“分拣-下推板 3”装配体，定义为状态机，命名为“分拣-横挡板 3 状态机”、“分拣-上推板 3 状态机”和“分拣-下推板 3 状态机”。“分拣-横挡板 3”设定状态机运动方向为“平移”，运动范围最小“0mm”，最大“52mm”，方向与实际气缸运动方向一致；设定两个状态，状态 1 为抬起状态，运动时间 0s，关节值 0mm，状态 2 为落下状态，运动时间 1s，关节值 52mm。“分拣-上推板 3”设定状态机运动方向为“平移”，运动范围最小“0mm”，最大“110mm”，方向与实际气缸运动方向一致；设定三个状态，状态 1 为回位状态，运动时间 0s，关节值 0mm，状态 2 为伸出状态，运动时间 1s，关节值 16mm，状态 3 为推出状态，运动时间 3s，关节值 110mm。“分拣-下推板 3”设定状态机运动方向为“平移”，运动范围最小“0mm”，最大“147mm”，方向与实际气缸运动方向一致；设定三个状态，状态 1 为回位状态，运动时间 0s，关节值 0mm，状

态 2 为伸出状态，运动时间 2s，关节值 131mm，状态 3 为推出状态，运动时间 3s，关节值 147mm。

4、在虚拟仿真系统中，定义加工单元前门状态机。在模型“场景”下，找到“加工-左侧滑动门”装配体，对装配体部件进行重命名，并且定义为状态机，命名为“加工-左侧滑动门状态机”，设定状态机运动模式为“平移”，运动最小值“0mm”，最大值“550mm”，方向与实际气缸运动方向一致，设定两个状态，状态 1 为关门状态，运动时间 0s，关节值 0mm，状态 2 为开门状态，运动时间 1s，关节值 550mm。完成状态机定义后，用“加工-左侧滑动门状态机”抓取“加工-左滑动门-传感器遮挡板”。

5、对虚拟仿真工作站的状态机、指示灯、传感器、导轨等进行变量定义。使用的变量地址选手自行定义。

6、正确设置虚拟仿真工作站快照，快照为工作站初始状态。

A-2 集成系统手动调试

完成 PQFactory 的地址匹配，通信设置，使其与 PLC 控制箱实现外部信号通信。通过 PLC 编程，实现虚拟场景的手动控制。要求如下：

- 1、拨动开关按钮 1 仓储单元工位 3 伸缩气缸推出缩回；
- 2、拨动开关按钮 2 仓储单元工位 6 伸缩气缸推出缩回；
- 3、拨动开关按钮 3 加工单元左侧安全门打开关闭；
- 4、按下实训箱的“启动”按钮，仓储单元工位 3、工位 6 指示灯亮绿灯；
- 5、按下实训箱的“停止”按钮，仓储单元工位 3、工位 6 指示灯亮红灯。

注：PLC 控制箱的 PLC 地址如下表 A-1 所示。

表 A-1 IO 表

序号	地址	功能注释	序号	地址	功能注释
1	Q0.0	启动指示灯	1	I0.0	启动按钮

2	Q0.1	复位指示灯	2	I0.1	停止按钮
3	Q0.2	停止指示灯	3	I0.2	复位按钮
4	Q0.3	蜂鸣器	4	I0.3	急停按钮
5	-	-	5	I0.4	拨动开关 1
6	-	-	6	I0.5	拨动开关 2
-	-	-	7	I0.6	拨动开关 3
-	-	-	8	I0.7	拨动开关 4
-	-	-	9	I1.0	漫反射光电 1
-	-	-	10	I1.1	漫反射光电 2
-	-	-	11	I1.2	槽型光电
-	-	-	12	I1.3	接近开关
-	-	-	13	I1.4	安全光栅

A-3 集成系统虚拟调试

（一）HMI 界面编程设计

1、设计 HMI 监控界面，在 HMI 界面中能实现监控机床左侧安全门的打开、关闭状态；监控仓储单元 3 号、6 号轮毂有无状态；监控工业机器人当前导轨位置。

2、设计 HMI 自动流程界面。在 HMI 界面可选择装配车标号（可选 3 号车标或 6 号车标），选择流程分支，进入左侧分支（分拣轮毂）或右侧分支（轮毂回仓）。在 HMI 界面添加“自动启动”按钮。

（二）虚拟调试流程及调试

根据下图 A-3 所示的工艺流程要求，编写 PLC 程序，编写虚拟仿真中工业机器人仿真程序，最终实现虚拟调试，运行整个工艺流程。结合表 A-2 所示的初始特征及状态信息，调整工作站轮毂、车标摆放位置，完成 1 个轮毂零件的生产流程虚拟调试。

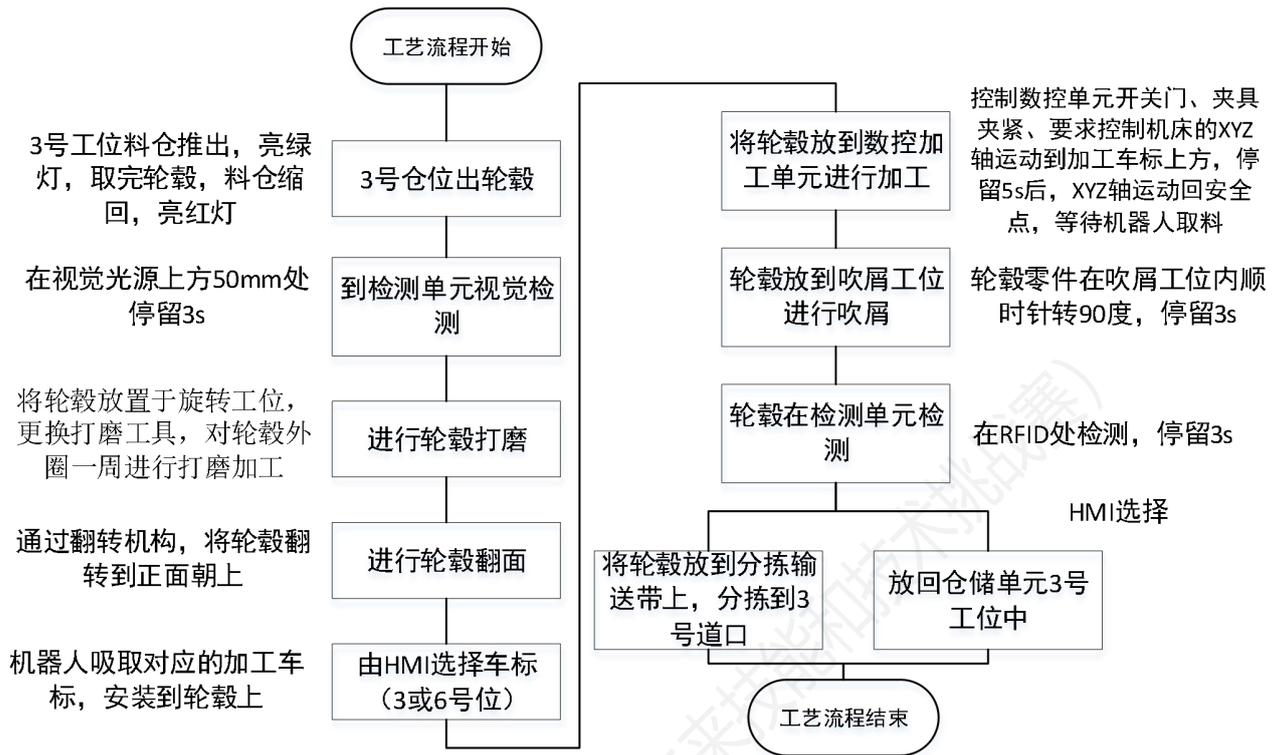


图 A-3 工艺流程图

表 A-2 虚拟调试过程轮毂初始状态

轮毂放置初始位置	是否安装车标	轮毂放置方向
3号仓	无	正面朝下

模块 B 工业机器人系统集成应用

B-1 硬件搭建及电气接线

（一）硬件搭建

根据虚拟仿真验证的系统布局方案设计，调整各单元的相对位置，完成应用平台的硬件拼装固定。

要求：

根据布局设计完成各单元位置调整。要求：各单元地脚支撑升起，各单元间通过连接板固连。

对各单元的底柜门板做调整。要求：应用平台底柜内部连通、无门板遮挡，外侧四周全部安装门板，多余门板放置在 U 型支架内。

（二）电气及网络连接

根据系统布局方案设计和控制系统方案设计，完成各单元的电路、气路、通讯线路连接，完成工业机器人示教器的线缆连接。

要求：

（1）电源线缆由单元底柜的底板快接插头安装后通过底柜的下部线槽铺设；气源、通讯线缆由设备端安装后通过底柜的上部线槽铺设。

（2）单元间电源线缆未放入线槽部分，不能出现折弯，整齐摆放在底柜底板上。

（3）应用平台总电源线路完成连接后用赛位内提供的临时线槽覆盖。

（4）气源线缆在台面部分必须进入线槽，未进入线槽部分利用固定扣和扎带固定在台面或立柱上，要求裁剪长度合适，不能出现折弯、缠绕和变形，不允许出现漏气。

（5）通讯线缆在台面部分必须进入线槽，未进入线槽部分利用固定扣和扎带固定在台面或立柱上，不能出现折弯、缠绕和变形。

（6）工业机器人示教器线缆在插接时注意接口方向和旋紧螺母的使用方法，不得在未完全插入前转动快接插头。

B-2 机器人及周边系统单元调试

（一）数控单元集成调试

2025 金砖国家职业技能大赛（金砖国家未来技能和技术挑战赛）

1、安装数控单元信号表，编写数控内部的 PLC 程序，实现：

(1) 在手动模式和 MDA 模式下，通过按键 1 控制数控前门打开，前门打开到位后按键 1 上方指示灯 1 亮。

(2) 在手动模式和 MDA 模式下，通过按键 4 控制数控夹爪松开，松开到位后按键 4 上方指示灯 4 亮。

(3) 在手动模式和 MDA 模式下，通过按键 7 控制数控前门关闭，前门关闭到位后按键 7 上方指示灯 7 亮。

(4) 在手动模式和 MDA 模式下，通过按键 10 控制数控夹爪夹紧，夹紧到位后按键 10 上方指示灯 10 亮。



图 B-1 按钮、指示灯定义图

2、刀具安装和对刀

利用现场提供的工具及刀具完成数控单元的刀具安装。并正确设置机床机械零点，进行对刀操作。

3、数控加工

参照图 B-2 所示加工图纸和表 B-1 加工工艺表，编写或调用加工程序，完成

工件加工：

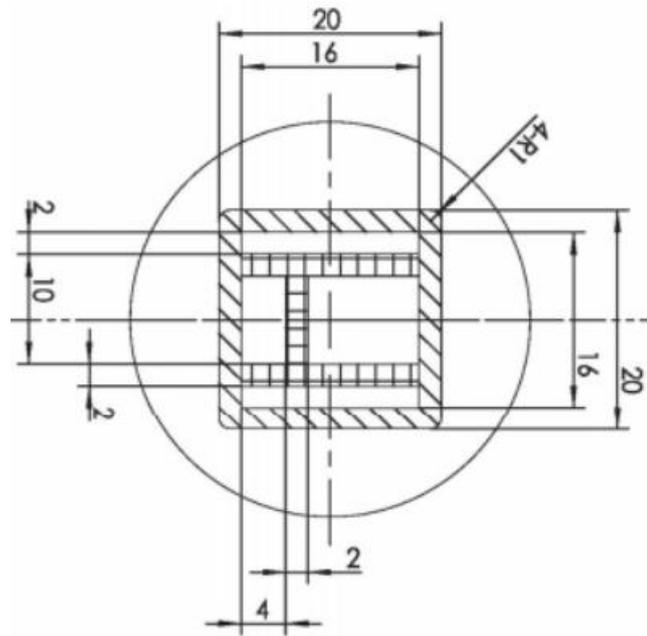


图 B-2 加工图纸

表 B-1 加工工艺表

工步	刀刃直径 (mm)	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	切削深度 (mm)
1	Φ2	8000	500	0.5

要求：

- (1) 须在产品零件范围内加工；
- (2) 数控加工产品零件需选手完成数控编程调试，在机床 MDA 模式下运行对应加工程序验证；
- (3) 数控加工后能够清晰的看出产品零件特征即可，其他不做特别要求；
- (4) 加工开始和结束时主轴位置处于机床坐标系原点。

(二) 视觉单元集成应用

1、视觉标定

编写视觉标定程序，完成视觉系统参数标定。利用现场提供的校准板工具，BRICS-FS-40_工业机器人数字孪生技术应用_样题 TP

通过编写工业机器人和视觉程序，完成视觉的校准。

2、视觉检测

初始 1 个轮毂正面朝上放置在仓储单元工位 4 上，视觉检测区域 3 贴有随机长度的划痕贴纸（固定位置）、视觉检测区域 4 贴有颜色标签贴纸（固定位置）。

通过工业机器人抓取轮毂零件置于视觉单元的视觉相机视野，编写 PLC、WINCC 程序，实现以下功能：

(1) 抓取仓储单元工位 4 上的轮毂，完成轮毂背面视觉检测区域 3 上的划痕检测，要求正确检测出划痕的长度；完成视觉检测区域 4 上的标签颜色检测，要求正确检测出颜色；并将长度数值、颜色信息在 WINCC 界面上正确显示出来。检测完成，放回仓储工位 4。划痕长度数值是在视觉控制器经过校准后，获取的视觉数据，且该数值长度与实际长度误差不得超过 ± 0.5 mm（WINCC 显示长度数据保留小数点后 2 位）。

(三) 机器人系统与周边设备联调

参考图 B-4 所示流程图，要求按下控制面板的绿色“自复位”按钮，启动流程，三色灯绿灯以 1Hz 频率闪烁。流程结束，三色灯绿灯熄灭，红灯常亮。

流程演示时，工业机器人需处于自动模式，且流程不允许中断。具体编程要求如下：

1、机器人编程调试

(1) 工业机器人安全姿态设定

对工业机器人操作与编程，确定工业机器人本体的安全姿态，此姿态下工业机器人本体不会与周边设备发生碰撞。当机器人单元第七轴运行时，工业机器人本体必须保持此姿态，不得同时动作。

(2) 机器人单元第七轴参数配置

①对机器人单元中的 PLC 编程，设置伺服电机的控制参数与实物规格一致，

实现 PLC 对第七轴的运动控制。其中伺服电机编码器分辨率为 131072 pulses/rev（17 线），伺服电机驱动器电子齿轮已设置为 900:1，减速机减速比 3:1，同步带减速比 1.5:1，滚珠丝杠导程 5mm。

要求：第七轴运动速度不得超过 50 mm/s。

②根据所提供的机器人单元内部接线图，对机器人单元内部的 PLC 进行编程，使第七轴实现回原点、定位运动、定速运动功能，原点传感器位于标尺零刻度一侧。

（3）快换工具的拾取与放回

对工业机器人操作与编程，使工业机器人可以完成对所需工具的拾取与放回，动作过程连贯无碰撞。快换工具在工具架的位置根据使用需求自行调整。注意：工业机器人不得悬空释放工具使其掉落到工具架上。

（4）快换工具的使用

对工业机器人操作与编程，使工业机器人可以完成对所使用工具的动作控制，如夹爪类工具的夹紧/松开、吸盘类工具的吸取/释放、电动工具的旋转，并实现产品的拾取、释放、加工等。

2、机器人与数控机床联调

编写机器人与 PLC 程序，要求如下：

（1）工业机器人将从打磨工位上取一个轮毂，数控单元安全门打开，工业机器人将轮毂上料到数控单元的夹具上；

（2）工业机器人退出数控单元，数控单元安全门关闭，数控单元夹具夹紧轮毂；

（3）数控机床完成指定图 B-2 所示的加工图纸图形和表 B-1 的加工工艺表进行加工（选手需根据产品零件的正背面状态在打磨单元自行完成翻转动作，确保对产品零件正面的数控加工区域进行数控加工），加工完成后数控主轴复位，

主轴回到机床原点。

(4) 工业机器人将产品零件从数控单元的夹具上拾取出来。

3、机器人与视觉系统联调

编写机器人与视觉程序，要求如下：

(1) 工业机器人抓取轮毂零件，进行背面区域的产品特征视觉检测；

(2) 检测视觉区域 3 的划痕长度，如划痕长度小于等于 22mm，则进入流程左侧分支；

(3) 检测视觉区域 3 的划痕长度，如划痕长度大于 22mm，则进入流程右侧分支。

4.机器人与其他外围设备联调

(1) 仓储单元

根据控制系统方案设计结果和所提供的仓储单元内部接线图，制定仓储单元立体仓库工艺，实现以下功能：

①由外部信号控制仓位托盘推出和缩回。

②每个仓位的传感器可以感知当前是否有产品零件存放在仓位中。

③仓位指示灯根据仓位内产品零件存储状态亮灯，当仓位内没有存放产品零件时亮红灯，当仓位内存放有产品零件亮绿灯。

(2) 分拣单元

根据控制系统方案设计结果和所提供的分拣单元内部接线图，制定分拣单元的工艺，实现以下功能：

①根据外部指令启动传动带，指定分拣机构的挡料气缸下降，并当产品零件运动到指定分拣机构时，传送带停止。

②当产品零件触发传送带起始端传感器后，根据外部指令将对应道口分拣机构升降气缸降下。

③当产品零件运动到指定分拣机构前，该分拣机构推动气缸将产品零件推入分拣道口，再通过道口的定位气缸将产品零件定位到 V 型槽处，保持 3s 后缩回。

（3）打磨单元

根据控制系统方案设计结果和所提供的打磨单元内部接线图，制定打磨单元的工艺，实现以下功能：

①当工业机器人准备将轮毂零件放置到打磨工位或准备将轮毂由打磨工位取走时，打磨工位的夹紧气缸松开，翻转工装处于旋转工位一侧；

②当工业机器人准备将轮毂零件放置到旋转工位或准备将轮毂由旋转工位取走时，旋转工位的夹紧气缸松开，翻转工装处于打磨工位一侧；

③翻转工装可将轮毂零件在打磨工位和旋转工位间翻转并准确定位；

④当轮毂处在旋转工位时，对应夹紧气缸夹紧，打磨工艺 1：区域 3、区域 4 打磨，只需将端面打磨工具与轮毂表面接触后开启打磨，保持 3S 后关闭打磨。

⑤当轮毂处在打磨工位时，对应夹紧气缸夹紧，打磨工艺 2：使用端面打磨工具，完成轮毂背面两个圆形外圈打磨，如图 B-3 所示。

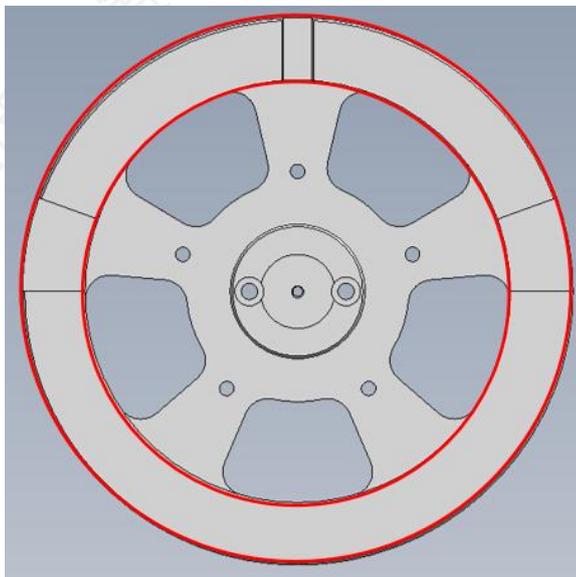


图 B-3 打磨工艺 2 打磨轮廓

（4）装配模块

装配模块工艺要求：

- ① 工业机器人使用单吸盘工具，吸取车标库的车标；
- ② 将车标放置到未装车标的轮毂上，并通过吸盘工具进行压装。

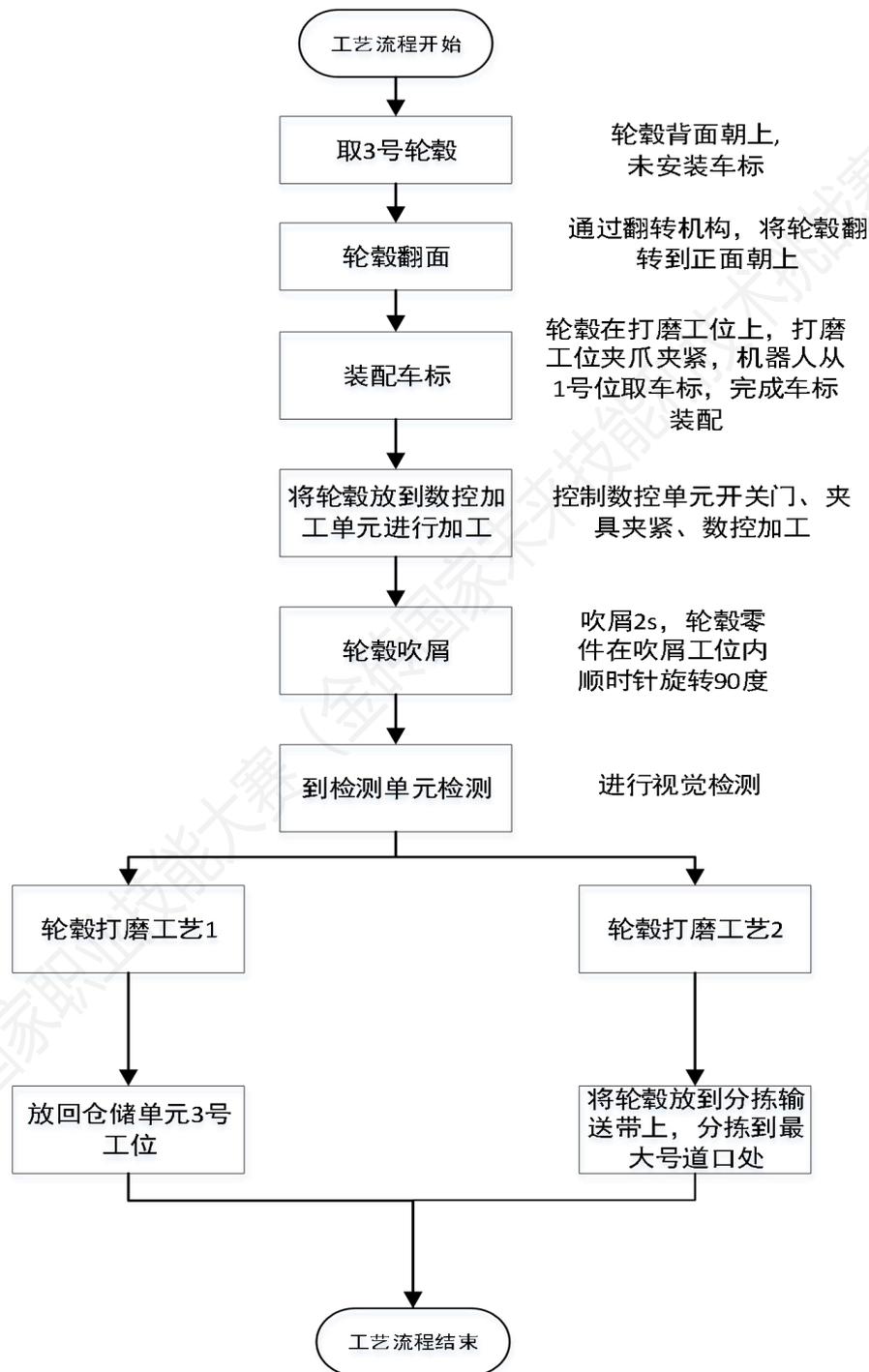


图 B-4 机器人与周边系统联调流程图

B-3 工业机器人系统集成联调

（一）MES 系统应用配置

1、MES 系统网关配置

（1）利用网关配置软件进行网关配置，建立通信通道，使其满足与设备的 PLC 进行数据交互。

（2）参考“D:\参考资料”中的“PLC_MES 采集点表信息”，添加需要监控及写入的数据到网关的采集点和 PLC 的采集点表中。

（3）建立 MQTT 通道，加载采集到的数据，进行数据上传到 MES。

（4）保存项目后并把项目下载到网关中

（5）打开网关监控软件，监控所需数据的采集状态。

2、MES 系统的业务流程制定

（1）系统管理中心定义

①选手打开浏览器，根据现场提供的账号和密码登陆 MES 系统。

②在系统管理中心下，新建生产主管角色，设置系统角色属性为否（角色名称：supervisor,角色编码：S0001）；

③为新建的生产主管角色授权流程配置工具模块、工艺派工中心和生产执行中心下的全部菜单并保存；

④在系统管理中心下，新建自定义组织机构（机构名称：生产型制造应用，机构代码：J0001，机构类型：省级公司）；

⑤在系统管理中心下，新建生产主管账号，分配生产主管角色，新建的账号初始登录密码为：123456；（登录账号：supervisor1，用户昵称：ABC

（2）审批订单模型设计

①在流程配置工具下，新增流程分类（流程名称:LC1 和分类编码:L0001）；

2025 金砖国家职业技能大赛（金砖国家未来技能和技术挑战赛）

②在流程配置工具下，创建“生产订单审批”的流程模型，流程至少具有两个节点，流程开始后第一个节点为流程发起人提交订单，结束前最后一个节点为生产主管角色审批订单，模型设计完成后将模型发布到流程分类中。（模型名称：Model1，模型 key：orderRecord）

（3）审批订单业务关联

在流程配置工具下，对“生产订单审批”流程进行业务关联，新增“生产订单”表单，表单 Key 必须为“orderRecord”，流程标题选择“流程标题生成脚本”流程脚本，PC 表单地址和手机表单地址均选择“流程表单地址（PC、手机）”流程脚本，流程其他选项中取消“跳过相同处理人”的勾选状态，保存。

（4）审批订单事件绑定

对新增的“生产订单”表单进行流程事件绑定，按顺序分别增加 3 个事件，增加【更新业务表状态（审核、退回）】事件，事件类型选择【任务创建】，事件脚本选择【流程事件 1- 更新业务表状态（审核、退回）】；增加【更新业务表状态（流程完成）】事件，事件类型选择【流程完成】，事件脚本选择【流程事件 2- 更新业务表状态（流程完成）】；增加【更新业务表状态（流程终止）】事件，事件类型选择【活动取消】，事件脚本选择【流程事件 3- 更新业务表状态（流程终止）】。

（5）生产数据定义

①在生产数据中心下，新增设备，“生产设备编号”SC0001，“生产工艺”选择预定义工艺；

②在生产数据中心下，新增设备编组，编组编号:BZ0001,编组名称:编组 1，之后新增“设备管理”，选择第 1 步新增的设备加入编组；

③在生产数据中心下，找到名称为【DS18】的“加工单元”代码，单击选中，在右侧工作组管理列表点击新增，将第 2 步新增的编组加入“加工单元”。

2025 金砖国家职业技能大赛（金砖国家未来技能和技术挑战赛）

（6）录入订单

在工艺派工中心下，录入 BOM 信息为“轮毂成品”，填写“需求数量”，并提交审批。

3、数据采集与可视化

（1）工艺派工

①平板连接赛位所提供的 WIFI 后，在平板端的 MES 系统登录生产主管账号，完成生产订单审批流程。

②在工艺派工中心，进行订单运算。

③在工艺派工中心，对加工单元类型为【设备作业单元】的生产计划进行下发；

④在工艺派工中心，选中任务数据，点击右上角设备作业派工，将作业任务派工给“生产设备定义”中创建的生产设备；

⑤在电脑端利用所提供的账号登录 MES 系统，在生产执行中心下，执行生产订单任务，物理设备开始运行对应流程。

（2）生产数据监控

系统开始运行后，在平板的 MES 系统登录生产主管账号，在生产执行中心监控当前设备的运行状态信息。

表 B-2 监控信息

序号	单元	参数项
1	执行单元	平移滑台目标运动位置
2	仓储单元	各仓位是否存储轮毂零件
3	数控单元	当前使用的刀具号
4		加工单元主轴 X/Y/Z 机械坐标
5		主轴转速
6	分拣单元	各分拣道口是否存在轮毂零件

（二）机器人系统综合调试

1、综合调试涉及 1 个产品零件，产品零件由 MES 下单执行启动，如无法实现 MES 下单执行，该系统综合调试不得分。

（1）系统检测仓储单元零件存储信息，机器人拾取合适的工具从仓储单元 1 号工位取出零件，轮毂正面朝上，已安装好车标。

（2）扫描背面 RFID 电子标签信息，获取预置工艺流程信息，（预置信息在评分前，按裁判指定内容手动写入）按照预置信息的先后顺序依次执行。例“**A1B3C2C3E2**”（RFID 电子标签信息含义如下表 B-3 所示）运行过程中，需要轮毂翻面的，选手自行通过打磨单元的翻转机构进行翻面。

（3）根据工艺流程信息按流程完成数控加工、打磨、检测、分拣、仓储等工作任务，并把当前运行的工艺流程信息显示在 WINCC 界面上，例如执行 A1 工序，WINCC 显示“当前执行 A1 工序”。

表 B-3 RFID 电子标签信息含义

序号	工序编号内容	含义
1	A1	数控加工字母“A”，尺寸自定义
2	A2	数控加工字母“B”，尺寸自定义
3	B1	对打磨区域 1、区域 2 进行打磨
4	B2	对打磨区域 3、区域 4 进行打磨
5	B3	打磨图 B-3 所示轨迹
6	B4	对轮毂进行吹屑
7	C1	对轮毂正面 RFID 芯片写入当前实时年月日时间戳数据，并在 WINCC 界面显示，该数据需在整个工艺流程中保持不被覆盖（例如 2025 年 5 月 20 号，则写入：2025-5-20）

2025 金砖国家职业技能大赛（金砖国家未来技能和技术挑战赛）

8	C2	对轮毂正面 RFID 芯片写入当前星期几时间戳数据，并在 WINCC 界面显示，该数据需在整个工艺流程中保持不被覆盖（例如周一写 Mon，周二写 Tue，周三写 Wed，周四写 Thur，周五写 Fri，周六写 Sat，周日写 Sun）
9	C3	对轮毂正面 RFID 芯片写入当前几点几分时间戳数据，并在 WINCC 界面显示，该数据需在整个工艺流程中保持不被覆盖（例如 9 点 28 分，则写入 09h28m）
10	D1	将轮毂放回 1 号仓位
11	E1	将轮毂放到分拣单元，分拣到 1 号道口
12	E2	将轮毂放到分拣单元，分拣到 2 号道口
13	E3	将轮毂放到分拣单元，分拣到 3 号道口

（三）工业机器人数字孪生应用

1、编写工业机器人通信程序，要求使用中断程序，通过计时中断触发，实现将工业机器人的关节角度发送给数字孪生软件。发送格式为“RA:0,0,0,0,0,90#”

（中间 6 个数值为实际机器人 6 个关节角度）

2、打开数字孪生模型，选择 ABB 机器人，“连接设置”；

3、在虚拟调试启动后，验证**真实工业机器人抓取夹爪工具流程**的虚实同步。



金砖国家职业技能大赛 (金砖国家未来技能和技术挑战赛)

