

复产项目中涂装机器人的评估要素

张艳芬 李飞 郭家 马红猛 王云飞

吉利汽车集团有限公司

摘要: 对于需要复工复产的汽车涂装生产线, 评估机器人的改造方案, 主要从机器人可达性及设备良好等维度进行。本文对机器人设备、工艺和品质可达性逐一分析, 对机器人本体、工艺设备等进行现场评估阐述, 为复产项目中涂装机器人复工的方案评估提供参考思路。

关键词: 复产; 涂装机器人; 机器人可达性

0 前言

汽车制造环节中, 生产排布受多因素影响, 如市场销量、外界经济形势、产品定位及营销等。当市场需求量过小时, 汽车制造端从节约成本角度出发, 一般会考虑集中生产模式。当同一汽车集团有多个工厂时, 则考虑多车型集中某一工厂生产而其他工厂停产的策略, 以降低公司整体的运营能耗。而当市场环境变化或者新产品需求变化, 现有生产线不能满足市场需求及公司战略目标时, 需对已停工停产的生产线进行生产恢复评估及改造。

本文以某一停产的汽车涂装生产线需导入新车型为例, 对涂装机器人恢复生产需评估的要点进行阐述, 为复工复产项目的机器人方案评估提供参考。

1 现场条件

某汽车涂装生产线采用 3C1B 工艺, 设前处理电泳、涂胶、喷漆和注蜡等工序。其中, 车身 UBC 涂胶及车身外板喷涂采用机器人自动喷涂。车身 UBS 涂胶以及车身内表面喷涂采用人工作业。此生产线由于前期产品销量不足, 停产约一年时间, 因新车型导入, 生产线需重新启动生产。

汽车生产线虽停产, 但相关的设备及工艺人员还需要做好日常的维护保养及必要的点检工作。针对设备的维护保养, 分为: 停产前、停产期间和准备恢复生产前的维护保养。在此基础上, 对于新车型导入项目, 还需要综合评估新车型的通过性以及适应性。

2 前期评估

评估机器人复产方案时, 机器人工程师需要充分了

解导入车型的产品需求, 含产品尺寸、产品喷涂要求和产品工艺要求。在此基础上, 从生产线通过性、机器人可达性、机器人工艺能力、品质能力以及设备状态等多个维度, 确认工艺实现性。

基于以上原则, 机器人工程师从产品信息、质量要求、工艺信息以及产品线基础信息编制车型导入产线的基础点检表, 见表 1。

在车型导入项目中, 规划方案依据此点检表中相关信息进行方案规划与风险规避, 并用于指导设备技术相关要求的编制。

3 主要影响因素分析

根据车型导入产线点检表, 首先需确认导入的车身是否在原产线设计的最大通过性范围内。确认线体通过性无问题后, 从机器人可达性及机器人系统设备状态两方面进行分析评估。

3.1 机器人可达性分析

机器人可达性, 主要指机器人设备可达性、工艺保证能力及品质保证能力三大部分。

3.1.1 机器人设备可达性分析

该生产线机器人采用安川 EXP2900 机器人, 结合现场的机器人布置方式、机器人本体轴数、臂展范围及是否带轨道等信息, 将产品数模导入仿真软件后, 按照规划的生产节拍对机器人可达性进行分析。以中涂站为例, 经离线仿真分析后, 确认机器人设备可达性满足车型导入要求。中涂站的离线仿真如图所示。

3.1.2 机器人工艺保证能力分析

机器人工艺保证能力主要指机器人工艺设备的能力, 如涡轮转速、高压反馈以及成形空气流量等是否满

表 1 车型导入产线点检表

分类	点检项	生产线能力	导入产品的需求	评价结果	判断 / 评价要素
产品信息	产品最大尺寸				是否在产线最大通过性范围内
	开门开盖形式				现有设备能力是否可以满足
					
质量要求	漆膜膜厚要求				现有设备能力是否可以满足
	外观				现有设备能力是否可以满足
	橘皮				现有设备能力是否可以满足
					
工艺信息	工艺要求				现有设备能力是否可以满足
	成膜要求				现有设备能力是否可以满足
	喷涂区域				现有设备能力是否可以满足
	喷涂面积				现有设备能力是否可以满足
					
产品线基础信息	节拍				现有设备能力是否可以满足
	单双线				现有设备能力是否可以满足
	输调漆数量				现有设备能力是否可以满足
	输送信息				现有设备能力是否可以满足
					

足要求。

一般情况下，溶剂型中涂漆转速要求控制在 30000 ~ 45000 r/min；底色漆转速一般控制在 35000 ~ 55000 r/min；清漆转速一般控制在 35000 ~ 55000 r/min。经现场检测，机器人旋杯控制器状态显示正常，高压控制器上电显示正常。由于现场空气管路有泄漏，成形空气检查需要等管路更换后确认。

3.1.3 机器人品质保证能力分析

本项目采用高固含涂料，需要高转速雾化。经查，安川 EXP2900 机器人旋杯转速理论值 20 ~ 100 kr/min。现场采用 RMA303 雾化器和 65 mm 杯头，经咨询现场设备工程师，停产前设备运行转速可达 55 kr/min。经涂料供应商确认，旋杯转速在 45 kr/min 以上时，高固含涂料雾化良好。由于现场空气及涂料管路有泄漏，涡

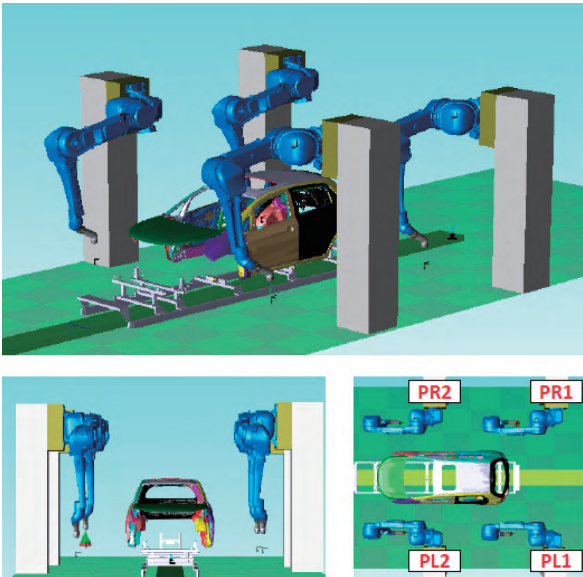


图 离线仿真示意图

轮转速实际能力需等管路更换后确认。

3.2 机器人系统硬件评估

完成机器人可达性分析后，对机器人系统的硬件进行评估确认。机器人系统的硬件包含机器人本体、工艺设备如雾化器、换色阀及齿轮泵等以及易损件如涂料管、压缩空气管等。

3.2.1 机器人本体评估

经与现场设备维保工程师确认，机器人的维保工作按照正常流程开展。停产前，设备工程师对机器人进行了必要的清洗及保养等工作，停产期间也在做例行的保养。经现场勘察，机器人整体状态良好，工艺装备保养良好，为机器人复工复产提供了较为优质的现场条件。

在此基础上，现场评估机器人本体状态，EXP2900 为 6 轴壁挂式机器人，经上电测试，开机正常，无报警，设置为 PLAY 模式，测试程序各轴运转正常，机器人初步评估无问题。

3.2.2 机器人气动柜评估

评估机器人气动柜状态，首先评估 PLC 从站模块状态、变频器显示状态，均为正常。气动柜中的空气管路也存在老化、破损现象，需要更换。空气过滤器使用时间较长，根据过滤器滤芯状态进行评估，推测现场压缩空气含油量过高，为了保证机器人用压缩空气的质量，在机器人前端设置空气过滤器，对进入机器人的压缩空气进行除油除水处理。此外，运行过程中，需增加机器人前端过滤器的检查及更换频次。

3.2.3 机器人工艺设备评估

机器人的工艺设备主要有旋杯、换色阀、齿轮泵、

阀岛及管路等。

对旋杯进行目视评估，部分旋杯存在轻微磨损，考虑现场采用高固含涂料，为了最大限度保证产品品质，对磨损的旋杯进行修复或更换处理。对换色阀进行目视评估，未发现泄漏点。由于空气管路存在破损，阀动作无法检测，需更换空气管路后进行测评。此点设为风险项，需要关注。经查齿轮泵及齿轮泵电动机、减速机以及联轴器等，现场仅一台齿轮泵存在泄漏现象，同时存在多台齿轮泵轴头磨损，需要修复或更换。

3.2.4 机器人系统信号交互能力评估

对机器人系统信号交互能力评估，主要是指机器人系统站与站之间的信息传递，以及机器人系统与输送、消防等的连锁信号确认等。

评估机器人系统站与站之间的信息传递，首先对 PLC 主控柜各模块进行逐一排查，无异常。然后，检查上位机与 PLC 通信、HMI 与 PLC 通信，发现偶发失联，需更换交换机。对监控软件，编程软件进行评估，无异常。对 PLC 程序进行写入及读取后，未发现异常。之后评估机器人与输送、消防之间的信号传递，检查编码器、机器人及 PLC 计数，无异常，机器人同步跟踪数据检测见表 2。

同时，对机器人进行安全性检查，在相应位置拍停后，机器人动作可以对应停止。对程序进行排查，消防

表 2 机器人同步跟踪数据

外部距离测量 /mm		中涂机器人显示距离 /mm			
卷尺测量距离 /mm	PLC 计数距离 /cm	L1	L2	R1	R2
2302	229	2301.860	2301.866	2301.869	2301.856
3105	309	3104.339	3104.333	3104.346	3104.334
4330	432	4328.759	4328.774	4328.768	4328.782

表 3 机器人安全项检查

确认		对象							
大项目	小项目	PR				BC			
		L1	L2	R1	R2	L1	L2	L3	L4
第二原点确认	对准记号确认	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
紧急停止 (PP)	拍下确认	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
紧急停止 (EP)	拍下确认	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
OP 急停	拍下确认	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

与机器人连锁信号正常。机器人安全项检查见表 3。

3.2.5 机器人动态验证

根据以上评估验证内容，本次机器人复产点检汇总表 4。由于空气管路、油漆管路有破损，需对其更换后才能开展动态验证工作。

表 4 涂装机器人状态初步点检汇总（中涂站）

站别	设备	项目	点检说明			备注
中涂站	PLC 系统	主控柜各模块状态	正常			现场反馈 HMI 会偶发与 PLC 失联，建议更换交换机
		上位机与 PLC 通信	正常			
		HMI 与 PLC 通信	正常			
		监控软件、编程软件	正常			
		PLC 程序读取、写入	正常			
		编码器、机器人及 PLC 计数	正常			
	1#PL1 机器人设备	机器人	正常	开机正常、无报警 PLAY 模式，测试程序各轴运转正常		
		气动柜	异常	空气管路老化、破损 / 漏漆		更换
			异常	空气过滤器滤芯使用时间长		更换
			正常	变频器显示状态		
			正常	PLC 从站模块状态显示		
		旋杯及控制器	基本正常	部分旋杯轻微磨损控制器状态显示正常		更换管路后测试高压、转速

4 改造方案及结果

对该工厂机器人进行整体评估后，结合项目成本考虑，计划先对压缩空气管路及接头、油漆管路和空气过滤器进行更换，以进一步对机器人进行动态验证测试，已确认机器人涡轮转速、高压测试等是否满足要求。同时，对交换机进行更换，保证 HMI 信号与 PLC 通信无异常。对已确认的磨损件（如齿轮泵及磨损的轴头等）进行更换及修复。

经现场更换压缩空气管路及涂料管路，对换色阀等部件进行拆卸清洗后重新安装，对阀岛进行重新布管后，对机器人进行动态验证，测试机器人空载及负载下的转速是否满足要求，检测结果见表 5 和表 6。从测试结果确认，机器人涡轮转速可维持 50 kr/min 运行稳定，雾化器涡轮可达性无问题。

同样地，测试机器人高压控制器运行状态、成形空气状态等是否满足要求。此外，对机器人流量进行标定，以便进行喷涂工艺调试。

经转速检测合格，高压测试合格，流量标定合格，阀岛测试合格，安全检查合格等一系列检查均合格后，

表 5 机器人空载时转速检测

设定值反馈值站别		20	25	30	35	40	50	60	备注
中涂	L1	20	25	31	35	41	51	62	
	L2	20	25	31	36	41	51	62	
	R1	19	25	31	36	41	51	61	
	R2	20	25	31	35	41	51	61	

（上接第 38 页）

器人厂商常见的运动控制方式。Realtime Robotics 技术也是使用耦合运动计算路径插补点的。

在汽车行业实际项目的应用中，我们使用 Realtime Robotics 软件计算机器人的路径，并在 Process Simulate 中记录机器人路径后，加载对应品牌机器人的 RCS（图 7），运行机器人路径，RTR 计算出来的机器人路径节拍与 RCS 运行的机器人节拍接近。

5 结语

西门子数字工业软件和 Realtime Robot 软件合作，为制造商提供独特的附加价值。在 Tecnomatix® 产品组合中使用西门子过程仿真软件和 Realtime 的硬件和软件技术，可以通过在生产之前使用人工智能自动化运动

表 6 机器人负载时转速检测

设定值反馈值站别		200 CC				300 CC				备注
		40	45	50	55	40	45	50	55	
中涂	L1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	L2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	R1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	R2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

可确认机器人设备、工艺和品质保证能力无问题，具备工艺调试条件。

此项目由于前期进行了充分评估，仅用一个月时间，首台调试合格车身具备下线条件，其相关数据见表 7。

表 7 某车型面漆外观测量报告

部件	序号	LW	SW	DOI	示意图
机盖	1	8.9	12.0	90.2	
	2	8.8	12.9	89.7	
	3	8.9	15.9	89.2	
	4	8.9	15.2	89.8	
	5	8.8	12.4	90.6	
右翼子板	6	8.9	12.0	89.8	
	7	7.8	9.7	90.1	
	8	7.9	11.9	89.1	
右前门	9	6.1	11.3	90.4	
	10	8.8	13.0	90.2	
	11	9.2	13.9	88.7	
	12	7.8	12.2	89.9	

5 结语

汽车涂装生产线复工复产项目中，对机器人的可达性进行评估，主要从工艺、品质及设备三个维度进行。归根到底，工艺及品质的实现能力由设备能力实现，因此，需要对现场机器人设备状态、工艺部件状态及能力进行全方位的评估及测试，提出切实可行的规划改造方案，并在改造后充分验证，在调试过程中对喷涂参数不断优化，以达到最佳的漆膜品质要求。

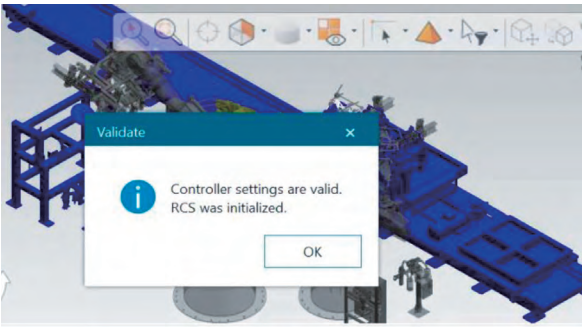


图 7 使能机器人 RCS 计算机器人节拍

编程，帮助简化机器人编程和工作单元协调。Realtime Robot 软件的人工智能自动机器人路径计算算法，计算速度快，计算成功率概率高，在汽车制造业多机器人复杂工位的路径编程中应用前景广阔。