机器人在研磨抛光项目中的应用

■ 上海东行自动化公司 （200233） 黄 风

摘要：介绍了机器人抛光项目中的实用硬件控制系统配置、磨削压力控制及空间圆弧插补程序的编制等关键技术。

1. 项目综述

某客户的工件要求采用机器人抓取实现抛光。工件如图1所示，要求抛光5个面，抛光运行轨迹由机器人完成。

加工要求如下：①抛光轮由变频电动机驱动，必须能够预置多种速度。②工件由机器人夹持实施抛光，有5个抛光面。③机器人由外部硬件操作屏与触摸屏GOT共同实现控制。在触摸屏上设置各种工作参数，例如“位置补偿值”。④能够简单检测抛光质量。⑤要求机器人运行轨迹符合工件的3D轨迹。⑥能够进行工件计数。⑦夹持工件不需要视觉装置辅助调整。⑧能够提供实用的操作（抛光轮速度、机器人运行线速度、抛光轮及磨料）。

2. 解决方案

（1）经过技术经济分析，决定采用如表1所示的硬件配置。

硬件选配以三菱机器人RV-2F为中心，因为需要对5个工作面进行抛光作业，所以必须选择6轴机器人。示教单元为R33TB（必须选配，用于示教位置点）；机器人输入输出信号卡为2D-TZ368（32输入/32输出），用于接受外部操作屏信号和控制外围设备动作；抛光轮驱动系统选用变频电动机结合三菱变频器A740-2.2K，可调速；主控系统选用三菱PLC FX3U-32MR。

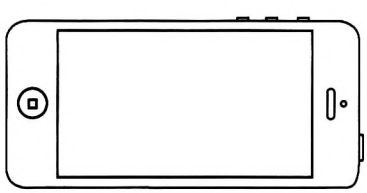

图1 加工工件

（2）应对客户要求的解决方案如下：①抛光轮由变频器结合普通电动机驱动，由PLC控制可以预置7种速度并进行修改。②工件由机器人夹持实施抛光。机器人搬运质量为2kg、6轴，臂长504mm。可实现复杂空间运行轨迹。③触摸屏GS1000可以直接与机器人相连接，直接设置和修改各工艺参数。④使用机器人的负载检测控制，间接实现抛光质量检测。⑤在进料输送端设置挡块，使工件定位。机械手为内张型，可控制定位。同时放大抛光行程，可以满足工件表面全抛光的要求。⑥工件计数。由卸料端光电开关检测，有PLC计数，在GOT上显示。⑦重复定位精度为0.02mm。可以满足小于0.12mm的要求。⑧通过工艺试验确定抛光工艺参数。

确定解决方案后，首先在机器人运行速度和抛光磨料确定的条件下，测试抛光轮材料、速度与工件抛光质量的关系。试验时以5种不同材料的磨轮在不同转速下进行了试验。因为使用柔性磨轮，无法预先确定运行轨迹，而工作电流表示了工件与磨轮的贴

表1 硬件配置

序号	名称	型号	数量	备注
1	机器人	RV-2F	1	三菱
2	简易示教单元	R33TB	1	三菱
3	输入输出卡	2D-TZ368	1	三菱
4	PLC	FX3U-32MR	1	三菱
5	触摸屏	GS1000	1	三菱
6	变频器	A740-2.2K	1	三菱
7	电动机	普通电动机2kW	1	—
8	光电开关	—	1	—

合程度，即磨削量。所以必须在基本选定磨轮转速和工件运行速度后，测定“最佳工作电流”，最终确定完成正常抛光参数。试验时，逐步加大抛光磨削量以观察工作电流的变化，还需注意磨削量要在图样给出的加工范围内。

3. 机器人工作程序编制

根据上述需求，程序还应具备如下功能：①必须按工件的3D轮廓编制运行轨迹，不采用描点法。②能够设置3次磨削量及磨轮转速。③能够根据磨轮材料自动匹配磨轮转速、工件线速度，根据加工效率确定“工件运动线速度”。④自动添加抛光磨料。

抛光工件总流程如图2所示。主要包含一个试磨程序，即通过检测工作负载率来测试工件与抛光轮的贴合紧密程度。如果达到“最佳工作电流”就进入“正常抛光工作程序”，反之，就进入“基准工作点补偿程序”。可见“最佳工作电流”是工件抛光质量的间接反映。

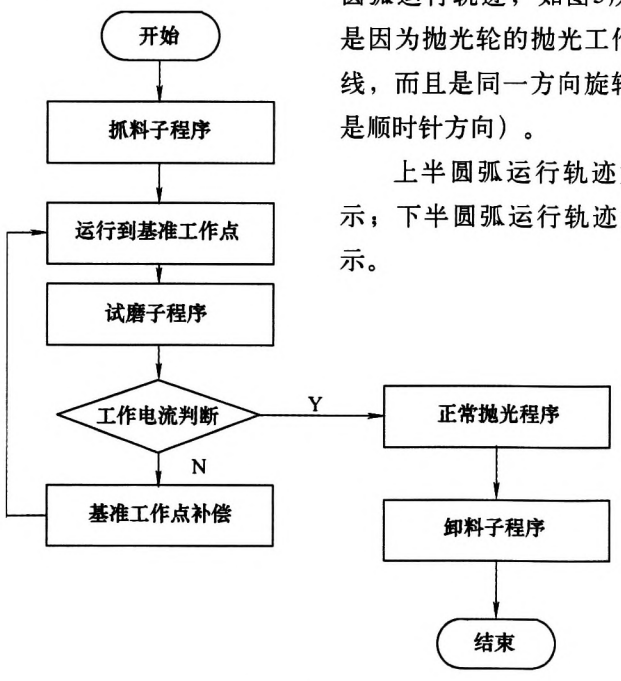

图2　工件抛光程序总流程图

正常抛光工作流程如图3所示。包括背面抛光和其余4个面的圆弧抛光。

由于5个面的抛光运行轨迹各不相同，为简化编程，预先将各部分动作划分为若干子程序，再利用主程序进行调用。经过分析，需要编制的子程序如表2所示。

初始化程序用于对机器人系统的自检和外围设备的启动和检测。如果气压、抛光轮速度及有料信号全部到位，则进入抓料程序，否则继续进行初始化程序。

背面抛光程序必须考虑做3次抛光运行。每一次比之前有微前进量。背面抛光运行轨迹如图4所示。以P_1点为基准点，其余P_2、P_3、P_4各点根据P_1点进行计算。运行轨迹为$P_1\rightarrow P_2\rightarrow P_3\rightarrow P_4\rightarrow P_5\rightarrow P_6\rightarrow P_3\rightarrow P_4\rightarrow P_7\rightarrow P_8\rightarrow P_3$。

为简化编程，长边圆弧的抛光运行轨迹分为上半圆弧和下半圆弧运行轨迹，如图5所示。这是因为抛光轮的抛光工作线是直线，而且是同一方向旋转（图中是顺时针方向）。

上半圆弧运行轨迹如图6所示；下半圆弧运行轨迹如图7所示。

本工件有4个圆弧，其抛光的运行轨迹如图8所示。

圆弧倒角子程序用于对工件的4个圆角进行抛光。由于机器人的控制点设置在工件中心，所以可直接将工件运行到图8位置后，进行圆弧插补。“圆弧倒角子程序”与“长边圆弧抛光程序”在结构上是相同的，都是运行圆弧轨迹，只是各自的圆弧起点、终点及圆弧圆心位置各不相

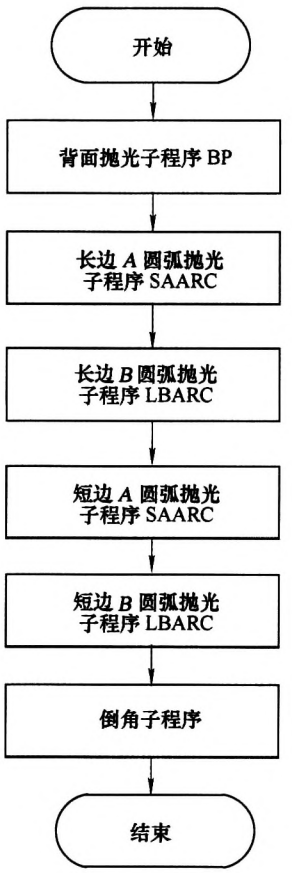

图3　正常抛光工作流程

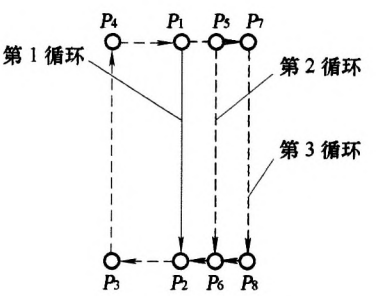

图4　背面抛光运行轨迹

表2　子程序汇总表

序号	子程序名称	功能	程序代号
1	初始化程序	进行初始化	CSH
2	抓料子程序	抓料	ZL
3	试磨及电流判断子程序	试磨／电流判断／基准点补偿	ACTEST
4	背面抛光子程序	抛光背面	BP
5	长边*A*抛光子程序	抛光长边*A*圆弧	LAARC
6	长边*B*抛光子程序	抛光长边*B*圆弧	LBARC
7	短边*A*抛光子程序	抛光短边*A*圆弧	SAARC
8	短边*B*抛光子程序	抛光短边*B*圆弧	SBARC
9	圆弧抛光子程序	纯粹圆弧抛光	YHPG
10	圆角抛光子程序1	抛光圆角	ARC1
11	圆角抛光子程序2	抛光圆角	ARC2
12	圆角抛光子程序3	抛光圆角	ARC3
13	圆角抛光子程序4	抛光圆角	ARC4
14	卸料子程序	卸料	XIEL

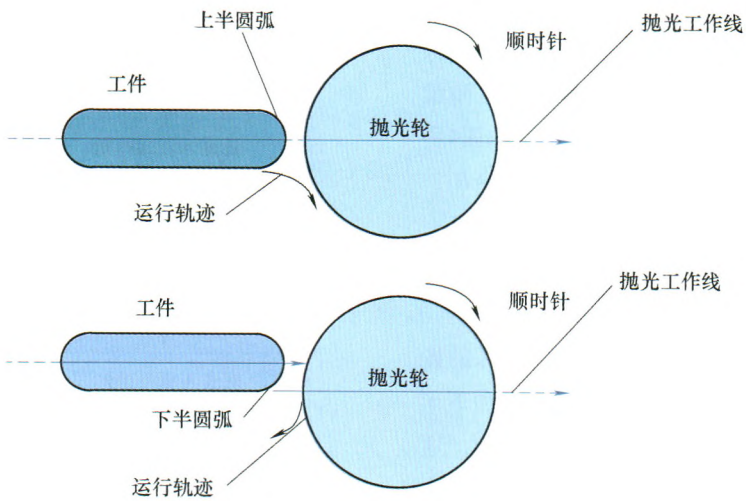

图5　长边圆弧抛光运行轨迹示意图

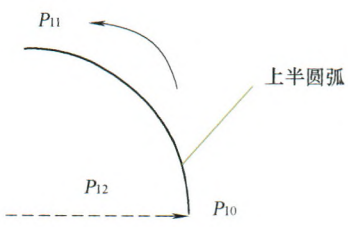

图6　上半圆弧运行轨迹

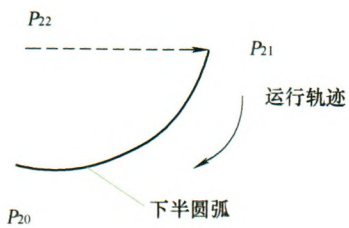

图7　下半圆弧运行轨迹

同，均需要做不同的设置。

因工件有5个面需要抛光且为矩形，抛光磨削工作线为抛光轮直径水平线，其位置是固定的。在机器人坐标系中，其*X*、*Z*坐标是固定的，*Y*坐标取抛光轮中心线。因此，程序应使工件待抛光面与抛光轮磨削工作线形成相对运动。为编程方便，设置机器人控制点为工件矩形背面中心点（计入机械手长度），基准抛光点为背面磨削的起点，即工件底部中心点位于磨削线*Z*向10mm处，该点用全局变量*P*_01表示。

为了将各待抛光面移动到抛光轮工作线，需要进行空间移动，机器人的“位姿（pose）”会改变，其中绕*X*/*Y*/*Z*轴的旋转通过两点的乘法进行。工件尺寸如图9所示。

为编程需要，必须预置专用工作点。专用工作位置点如表3所示。

详细程序请扫描如图10所示二维码进行查询。

关于运行轨迹应注意如下几点：

（1）TOOL坐标系设置时，要尽量减小对*Z*轴的设置，如果*Z*方向过大，需摆角90°时，易导致机器人无法完成，在设计机械手时，应该尽量缩短其长度。机器人的位置控制点一般设置在机械手中心点。为了使机械手绕*X*、*Y*、*Z*轴都能够旋转，且能够旋转较大的角度，必须设置尽量小的*Z*坐标值。

（2）工件需要旋转某一角度时，使用“点与点的乘法”指令效果较好。

（3）对于TOOL坐标系，可以绕其中某点旋转，但运动轨迹不一定正确。

（4）如果确定是直线运动，就必须用MVS指令。

（5）要获得确切的轨迹，必须使用圆弧插补指令和直线指令。

（6）尽量少使用“全局变量”，以免全局变量的改变影响所有程序。

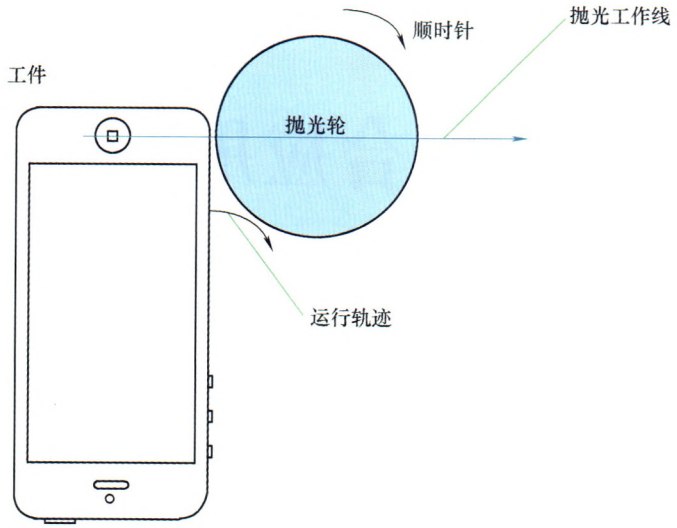

图8　圆弧抛光的运行轨迹

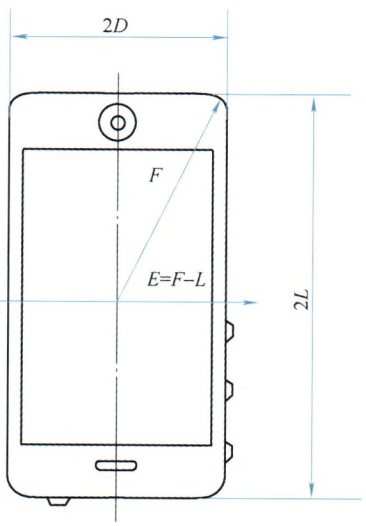

图9　工件尺寸示意图

表3　专用工作位置点

序号	变量名称	变量内容	变量类型
1	P_01	抛光基准点	全局
2	P_02	*L*为工件1/2长度	—
3	P_03	*D*为工件1/2宽度	—
4	P_04	*H*为工件1/2厚度	—
5	P_05	*E*为工件数据（斜边-直边）	—
6	P_06	(0，0，0，0，90，0)	绕*Y*轴旋转90°
7	J_6	(0，0，0，0，0，90)	J6轴旋转90°

4. 结语

抛光项目涉及的工艺因素很多，是比较复杂的应用类型。从机器人的使用角度来考虑，主要影响因素是磨削工作电流。因此在不同的磨轮材料和速度下，检测获得适当的工作负载电流值极其重要。此外，还需注意在圆弧磨削时上半圆弧与下半圆弧的区别。机器人的工作运行轨迹有多种编程方法，本文介绍的只是其中一种，仅供大家参考。

图10　程序二维码

参考文献：

[1] 三菱电机株式会社. 工业机器人CR750/CR751控制器操作说明书[E]. 三菱电机株式会社，2013.

[2] 三菱电机株式会社. RT ToolBox2 / RT ToolBox2 mini操作说明书[E]. 三菱电机株式会社，2013.

MW（收稿日期：20160921）

专家点评

本文所介绍的内容是工业机器人的一种应用，即在数控加工过程中的应用，是数控机床与工业机器人的集成，虽然现在应用得还不太多，主要应用于本文提到的研磨抛光，但也可以应用于去毛刺、雕刻等。

本文通过介绍三菱机器人在研磨抛光项目中的应用，重点介绍了各程序的编制。不仅对工业机器人与数控机床的集成提供了方法，对工业机器人的其他用处，如与雕刻机的集成，也提供了借鉴。