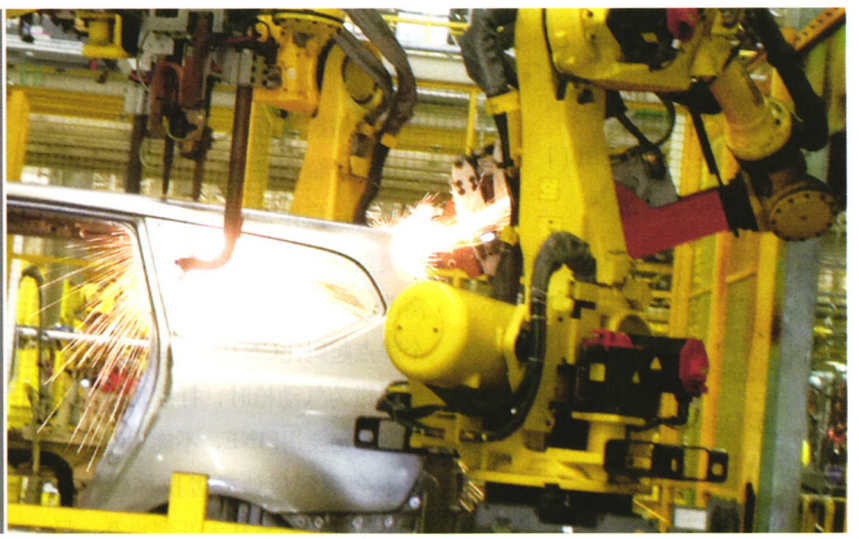
车身线点焊机器人轨迹优化

□ 上汽通用五菱汽车股份有限公司技术中心 / 覃 鑫 周江奇 郑宏良

本文对FANUC机器人打点时的CNT值和轨迹过渡点的进行分析，建立基于商用车的仿真环境，编辑不同的程序对车身顶盖后端过孔焊轨迹进行对比分析，研究点焊机器人如何示教才能获得时间最短的轨迹，从而通过对轨迹的优化与控制提高车身焊装生产线效率和产品质量。



随着车身制造技术的发展，机器人作为一种自动化设备已经广泛地应用到了车身焊装线上。机器人在作业空间要完成给定的任务，其末端执行器的运动必须按一定的轨迹进行。随着车身线对机器人作业精度和工作效率要求的不断提高，准确地说就是要求机器人在作业时既要保证轨迹的最优，又要保证作业时间的最短。 本文对车身线点焊机器人示教技术的研究以最优时间作为性能指标，并在满足各种约束的条件下进行机器人轨迹优化，旨在研究点焊机器人在制造过程中如何获得时间最短的轨迹，从而通过对轨迹的优化与控制提高车身焊装生产线效率和产品质量。

运动指令介绍

FANUC机器人凭借其性价比高的优势被国内日系、美系和国产厂家广泛应用。本文主要以FANUC机器人为研究对象。FANUC机器人的运动指令的结构如图1所示，由运动类型、运动数据类型、速度单元、终止类型和附加运动语句五部分组成。

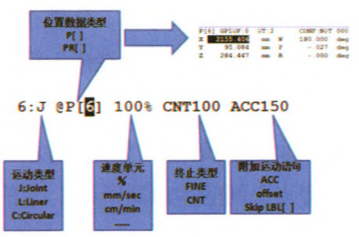


图1 机器人运动指令

（1）运动类型。

Joint（关节运动）：工具在两个指定的点之间任意运动。

Linear（直线运动）：工具在两个指定的点之间沿直线运动。

Circular（圆弧运动）：工具在三个指定的点之间沿圆弧运动。

（2）位置数据类型。

P[ ]：一般位置。

PR[ ]：位置寄存器。

（3）速度单位。

速度单位随运动类型改变。如表1所示。

表1 速度单位

序号	速度范围
1	1%～100%
2	1～2 000mm/s
3	1～12 000cm/min
4	0.1～4 724.0in/min
5	1～520deg/s

（4）终止类型(见图2)

FINE

CNT(CNT0=FINE)

（5）附加运动语句。

腕关节运动：W/JNT

加速倍率：ACC

转跳标记：SKIP LBL[ ]

偏移：OFFSET

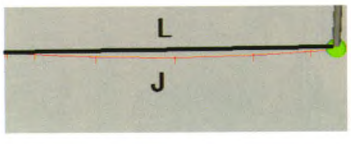


图2 L和J运动类型的区别

节拍优化

通过应用分析证明，在机器人点焊过程的所有节拍中，耗时最多、浮动最大的是机器人的走位轨迹。对机器人的轨迹进行优化，是最快捷、最高效的优化节拍方式。现场对机器人节拍优化所采用的常用方法是：设置打点时的CNT值和轨迹过渡点相结合。特殊情况，也有采用信号控制和设备提速的方法。

1. 打点时的CNT值

打点时的CNT值，无论大小都能够准确达到打点位置。值的大小主要体现在，焊钳是到达打点位置之前关闭，还是到达打点位置之后才关闭。如图3所示，随着CNT值的逐渐增大，焊钳的闭合动作在进入该焊点后完成的越少，越多的打开动作在来往该焊点的路上完成。虽然CNT值越大，耗时越少。但是有时CNT值过大时，焊钳未达到焊点就碰到工件了，从而造成工件擦刮和焊钳拉坏。

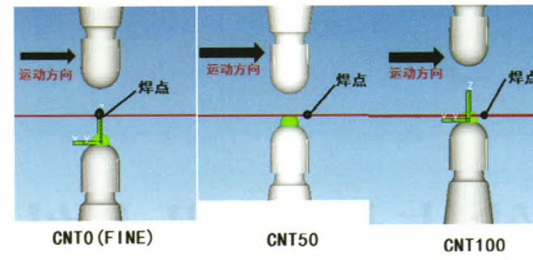


图3 不同打点时的CNT值的状态

对于伺服焊钳，当电极帽到工件还有一段距离时，并不是要将终止类型设为FINE或CNT0，为了提高节拍一般用CNT50左右，这样一个焊点起码比CNT0节约0.4s以上。当焊钳为气动枪时，打点轨迹终止类型一定要用FINE，不能用CNT，否则会刮到板件或者拉坏焊枪。如果气动枪需要从大开到小开，尽量不要在过渡轨迹中实现，在焊点位置处实现比较安全，也比较节省时间，除非是板件干涉必须在过渡轨迹中小开，这时的示教要十分小心。

2. 轨迹过渡点

在点焊编程时，语句运动类型一般不使用J（Joint），因为J是机器人自己计算出来姿势最舒适的路线，通常情况下这个路线有两个特点：一、轨迹很长，二、轨迹不可预知，难以控制，容易造成干涉。机器人运动速度固定，L运动类型两点之间线段最短，如图2所示，若是焊点之间的运动类型为J，它的运动路径是弧线，比运动类型为L的直线路径要长，两点之间的运动类型选L是比选J时的节拍要短。

车身点焊过程中，焊钳常常需要长距离移动和翻转采用来完成作业内容，从而机器人很容易产生轴限位。当两焊点距离较远时，如果之间采用1个L语句直接到达，就很容易产生轴限位，不能使用运动类型J的情况，就要在两点之间设置过渡点，引导机器人能够在非限位情况下走到目的点。值得注意的是，加了过渡点以后，即使这些点与起始点、终止点在一条直线上，这两个焊点之间的节拍也不一定比直接用J走弧线的节拍短。因为设过渡点会略微加长节拍，当两个焊点之间的距离较短时，走弧线所延长的节拍可能还没加过渡点所延长的节拍多，这时用运动类型为J的指令反而比用L的过渡点指令节拍要短。

3. 其他方法

在节拍非常紧张的情况下，调试工程师还会用CNT数值提前给设备发信号和语句后加ACC的方法加速。用CNT数值提前发信号及同时运动的方法会带来设备碰撞的风险，附加运动语句ACC提高机器人速度，会急剧减少机器人伺服电动机的寿命，尤其是J2、J3轴的电动机寿命。因此，这两种方法一般情况下不建议使用。

节拍优化试验

1. 试验环境

白车身结构的多样性，决定了存在不同位置的焊点，这给制造带来了很大困难，特别是无法目测的过孔焊接。如图4所示，该位置的过孔焊点，处于高位且操作人员无法目测焊点位置，所以很难准确地焊接。从人机工程和产品质量考虑，采用机器人焊接。这样的位置，要得到一条时间短、耗能低的轨迹，对工程师的机器人示教技术要求很高。

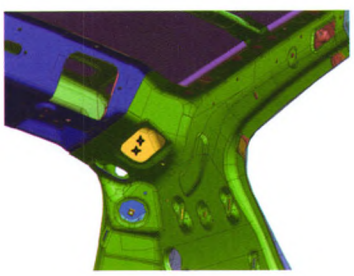


图4 顶盖过孔焊点

针对过孔焊示教技术的研究，基于roboguide仿真环境，建立N400的过孔焊机器人工作环境。如图5所示，环境中设置一台焊接机器人，并配置一把通常焊接垂直面焊点的C型焊钳。采用调整示教轨迹的打点时得CNT值和增减过渡点数量，在满足非干涉的情况下，选择最佳节拍。

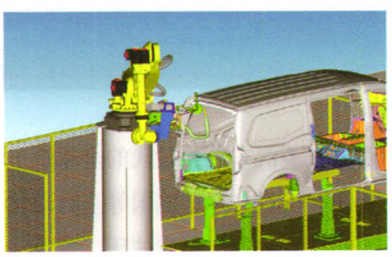


图5 过孔焊试验环境

编辑离线程序时，轨迹要求平滑且机器人的各轴不能产生限位，为了减少轨迹时间过渡点尽量设置在过程点中。如图6所示，编辑的过孔焊点进出枪轨迹，需要满足进枪和出枪在相同的位置，且机器人焊钳翻转角度最小，与车身和周边设备没有干涉。

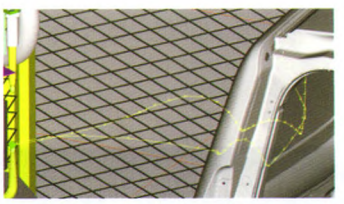


图6 机器人进出枪轨迹

2. 试验分析

运动类型L和J的选择，由于该位置需要焊钳翻转，采用L运动类型容易发生轴限位，需要增加过渡点才能避免。虽然L运动类型路径短，但是节拍会比采用J运动类型慢。因此，本试验只对不同打点时的CNT值、从HOME点到焊点过渡点数量进行分析。编辑4组程序如表2所示，最佳的路径是采用打点时的CNT值为50。采用CNT值为100时，由于路径过于平滑容易发生干涉，因此需要增加过渡点，对于现场来说增加了调试工作量。然后FINE由于是精确定位，路径存在停顿，节拍影响最大。

表2 不同运动形式的机器人轨迹时间对比

序号	打点时的CNT值	从HOME点到焊点过渡点数	节拍/s
1	CNT100	6	11.01
2	CNT50	4	10.51
3	CNT20	4	11.87
4	FINE	3	12.64

结语

车身线点焊机器人示教技术的研究，就是分析在满足机器人动力学和运动学约束的前提下，如何得到一条优化的轨迹使得点焊机器人在整个作业中运动时间最短和能量消耗最低。除了上述的分析，我们还应该注意以下几个问题：

（1）根据零件情况灵活打点时的CNT值和选择运动类型。

（2）观察各轴的状态，合理分配引导点各轴的值，过渡点越少越好。

（3）过渡点尽量设置在起点与终点的连线上。

（4）为了保护管线，机器人J6轴的限位改为−180°～180°。

（5）注意机器人与周边设备的干涉。AME

覃鑫

硕士，工程师，主要研究方向：汽车车身结构工艺性分析、工艺策划、数字化车身焊装线开发与仿真、离线调试技术和先进车身焊装技术研发。