

CNC-2150 立式龙门加工中心第四轴的改造

范芳洪¹, 楼向明²

(1. 湖南铁道职业技术学院 机电系, 湖南 株洲 412001; 2. 杭州娃哈哈集团有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要:为了解决三轴 CNC-2150 立式龙门加工中心实现四轴联动的问题,将在机床上增加第四轴的改造技术应用到数控机床功能扩展中。开展了系统配置的分析,建立了 A 轴电气控制与 PMC 控制程序之间的关系,提出了 A 轴 PMC 控制程序嵌入原系统程序的方法。进行了 A 轴精度检验和产品加工的试验。试验结果表明:A 轴的精度达到了行业标准,产品质量合格,机床实现了四轴联动。通过设置、调试 A 轴参数和控制程序,使 A 轴稳定可靠运行并可以和原机床一起四轴联动。

关键词:CNC-2150; 龙门式加工中心; 四轴联动; 改造; 控制程序; 行业标准

中图分类号:TH39;TG65

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)09-1068-05

Transformation of fourth axis of CNC-2150 vertical gantry machining center

FAN Fang-hong¹, LOU Xiang-ming²

(1. Machinery & Electric Department, Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou 412001, China; 2. Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problems of linkage of four axes on three-axis CNC-2150 vertical gantry machining center, modification techniques of added fourth axis on the machine were applied to functional expansion of CNC machine. The configuration of system was investigated. The relationship between electrical circuit of the A-axis and control program of PMC was established. The method of A-axis PMC program embedded system program was shown. The inspection of A-axis precision and product processing was accomplished. The experimental results show that the accuracy of A-axis meets the standards of industry, the quality of product is up to standard, and the linkage of four axes is achieved. By setting and commissioning the A axis parameters and control procedures, the operation of the A-axis is stable and reliable, and the A-axis and original machine axis are linkage.

Key words: CNC-2150; vertical gantry machining center; linkage of four axes; transformation; control program; industry standards

0 引 言

三轴联动的数控加工中心只能完成常规轮廓、孔的加工。如果需要加工曲线、曲面类比较复杂的零件,如叶轮、在圆柱面上铣曲线等,需要四轴联动加工,普通的三轴加工中心很难完成。如果购买四轴联动的加工中心,机床的性能提高了,但成本也随之增加。此时可以在原加工中心上增加一个第四轴(即 A 轴)来扩展机床的功能,并且成本投入比购新机床要少得多。

某公司的加工产品需要四轴联动,为了节约成本,

需要在一台 CNC-2150 立式龙门加工中心增加一个回转轴(即第四轴)。该机床数控系统型号为 FANUC 18i-MB,选用的回转台为 MRNC-320 型数控回转工作台,以水平方式安装在 X 轴的工作台面上。

本研究为解决三轴 CNC-2150 立式龙门加工中心实现四轴联动的问题,将在机床上增加第四轴的改造技术应用到数控机床功能扩展中。

1 硬件电路的连接

原机床有 3 个进给轴 X、Y、Z 轴,配置了一个双轴

伺服放大器和一个单轴伺服放大器,增加了一个回转轴需要增加一个单轴伺服放大器。回转工作台伺服电机的型号为:FANUC A06B-0247-B101,α22/3000i,额定功率4.0 kW,额定扭矩22 N·m,额定转速3 000 r/min。本研究根据伺服电机的规格选择伺服放大器:SVM1-80i,A06B-6114-H105,峰值电流为80 A。回转工作台松开与夹紧是通过一个气动两位五通电磁换向阀控制实现的。工作台内有3个行程开关,其中两个是用来检测工作台的松开与夹紧,另外一个为工作台回参考点减速检测开关。

该机床电控柜预留了伺服放大器的安装位置,把A轴伺服放大器用螺钉固定好,连接好直流母线,串行伺服总线(FSSB)、电机动力线、电机编码器反馈线等其他线。增加A轴后,该机床的硬件配置^[1]如图1所示。

A轴的伺服电气连接图如图2所示,A轴伺服放大器直流母线(P、N)连接到上一个伺服放大器(Y、Z轴伺服放大器)的直流母线P、N端口,CX2A连接到上一个伺服放大器的CX2B接口,负责放大器之间的信号传送,A轴伺服放大器串行伺服总线(FSSB)COP10B

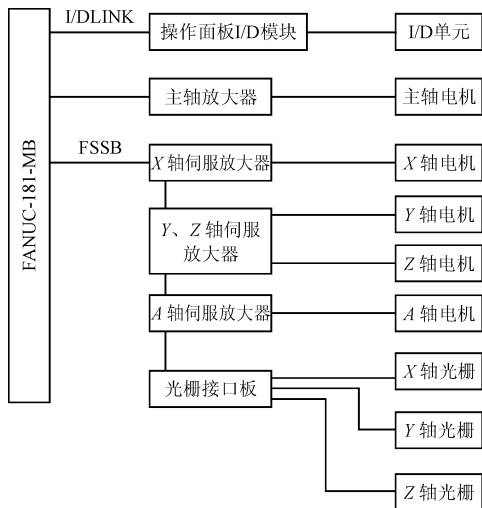
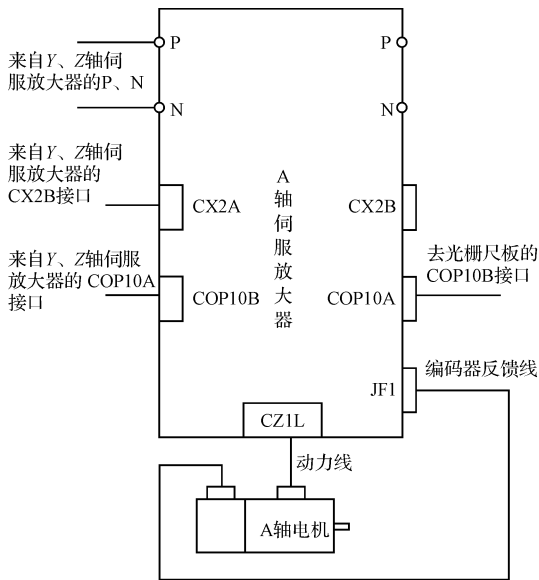
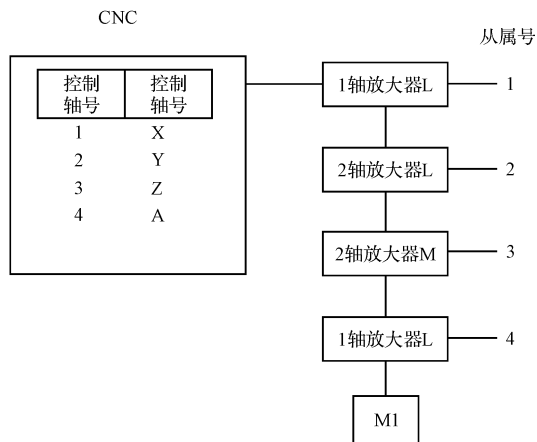


图1 机床硬件配置

连接到上一个伺服放大器的COP10A接口,COP10A连接到光栅接口板的COP10B接口,FSSB总线高速传送轴卡对各伺服放大器的控制信号以及各放大器的状态反馈信号,A轴采用半闭环控制,故A轴不外接圆光栅。CZ1L接口和JF1接口分别连接A轴伺服电机的三相动力线和编码器的反馈线。



(a) A轴伺服电气连接



(b) FSSB 伺服连接

图2 A轴伺服连接

2 开机调试

相关电路连接好经检查无误后,在急停状态下接通机床电源,并设置第四轴所需的参数。

(1) A轴所需系统参数的设置如表1所示。

几个重要系统参数的设置方法为:

P1827 参数,到位宽度^[2]。是指轴定位结束时,若

其位置偏差值在参数 P1827 设定的范围之内,则定位结束,执行下个程序段,若其值不在到位宽度之内,系统一直在等待达到该值,从而不能执行下个程序。到位宽度值不能设置太大也不能太小,设定值过大则系统的轮廓精度差,过小则系统达不到。设置时,先设成参数的缺省值(30),然后反复调试找到一个合适的值,使加工产品轮廓精度达到工艺要求,该机床中该参

数最终设定值为 20 μm 。

表 1 A 轴系统参数

参数号	参数值	
P9943#3	0→1	增加第四轴控制
P9900	3→4	NC 控制的总轴数
P9944#2	0→1	
P1010	3→4	NC 控制的轴数
P1020	A 轴:65	轴名称
P1022	A 轴:5	X 轴的平行轴
P1023	A 轴:4	A 轴的轴号
P1006#1、#0	A 轴:0、1	旋转轴 0°~360°
		旋转功能有效和,相对坐标每一转的移动量取整
P1008#0、#2	A 轴:1、1	
P1827	A 轴:20	到位宽度
P1828	A 轴:4 000	移动过程中最大允许位置偏差量
P1829	A 轴:500	停止过程中最大允许位置偏差量
P1420	A 轴:3 000	快速运行速度
A 轴:150	线性加减速时间常数	
P1423	A 轴:360	手动进给时的进给速度
P1425	A 轴:200	返回参考点的 FL 速度

P1620 参数,线性加减速时间常数。加减速时间常数大的轴响应慢,加减速时间常数小的轴响应快。这个参数要根据轴的负载、转动惯量和刚性来设置,伺服电机一旦选定,输出力矩就一定,负载大的、转动惯量大和刚性较差的系统加减速时间要适当大些,反之,设定值可以适当小些。设置时,先设成参数的缺省值(200),然后通过反复调试找到一个合适的值,使轴的响应比较快电机又不出现过流。该机床中该参数最终设定值为 150 ms。

(2) A 轴伺服初始化。

设置好 A 轴系统参数后,进行 A 轴伺服初始化。由于数字伺服控制是通过软件方式进行运算控制的,而控制软件是存储在伺服 ROM 中。通电时数控系统根据所设定的电机规格号和其他适配参数一齿轮传动比、检测倍乘比、电机方向等,加载所需的伺服数据到工作存储区(伺服 ROM 中写有各种规格的伺服控制数据),而初始化设定正是进行电机规格号和其他适配参数的设定。

设定方法如下:

①在紧急停止状态,接通电源;

②确认显示伺服设定调整画面的参数。SVS(#0)=1(显示伺服画面);

③按照下面顺序,显示伺服参数的设定画面。按[SYSTEM]键,再按翻页(扩展)键,找到软件键[SV-PRM];

④使用光标、翻页键,输入 A 轴初始设定必要的参数,初始化参数如表 2 所示。

表 2 A 轴伺服初始化

项目	A 轴	备注
初始设定	00000000	初始化完成后#1 自动变成 1
电机 ID 号	297	$\alpha 22/3 000i$
AMR	00000000	电流检测比设成 0
CMR	2	
F.FG 分子	1	减速比为 180: 1
F.FG 分母	500	
电机回转向	111 或 -111	根据需要设置
速度脉冲数	8 192	半闭环控制
位置脉冲数	12 500	半闭环控制
参考计数器	2 000	

设置好以上参数断电重新启动,A 轴伺服初始化完成。

部分参数设置说明:

①柔性齿轮比的计算^[3-5]:

$$\begin{aligned} \frac{\text{F.FG 分子}(\leq 32\ 767)}{\text{F.FG 分母}(\leq 32\ 767)} &= \frac{\text{电机每转所需的位置反馈脉冲}}{1\ 000\ 000} \\ &= \frac{(360/180) \times 1\ 000}{1\ 000\ 000} = \frac{1}{500} \end{aligned}$$

②参考计数器的设定主要用于栅格方式回原点,根据参考计数器的容量使电机转一转。所以,参考计数器设定错误后,会导致每次回零的位置会不一致,也即回零点不准。参考计数器容量设定值是指电机转一转所需的(位置反馈)脉冲数。

③速度脉冲数 (PRM2023)^[6],位置脉冲数 (PRM2024)在半闭环系统中是一个固定值 8 192/819,12 500/1 250,当初始位#0(PLC01)设置为 0 时:使用 PRM 2 023,2 024 的值,设置值为 8 192,12 500;当初始位#0(PLC01)设置为 1 时:在内部把 PRM 2 023,2 024 的值乘 10 倍,设置值为 819、1 250。

(3)FSSB 伺服总线^[7]的设置。

FSSB 总线是将 CNC、伺服放大器和分离型检测器接口单元彼此间通过光缆连接起来。这些放大器和脉冲模块就是所指的驱动部分。驱动号码(1,2,3,⋯,10)按照驱动分配以升序排列;越小的号码所指定的驱动离 CNC 越近。该机床 X、Y、Z 轴采用闭环控制 A 轴半闭环控制。增加 A 轴后,FSSB 伺服系统连接如图 2(b)所示。图中,M1 表示第一分离型检测器接口单元,用来连接 X、Y、Z 三轴光栅尺。

自动方式设置 FSSB 之前要把 P1902#0、#1 设置为 0,FSSB 设置完后 P1902#1 自动变成 1。

进入 FSSB 画面的方法:

①按功能键[SYSTEM],显示系统画面;

②按数次翻页键,直到出现 FSSB 菜单;

③按软键 FSSB;

④按软键 AMP 进入放大器设定画面,在放大器设定画面输入 A 轴的轴号 A3 - L:4,然后按 Setting 软键。按 AXIS 软键进入轴设定画面,在轴设定画面中,设定关于轴的信息,如分离型检测器接口单元的连接器和 CS 轮廓控制等设定。A 轴是半闭环也不是 CS 轮廓轴,在轴设定画面不要设置,但一定要按 Setting 软键,要不然不能完成 FSSB 设置。断电重新启动 FSSB 设置完成。

(4)A 轴输入输出电路的设计。

本研究根据系统所剩 I/O 资源,确定了 A 轴输入信号和控制换向电磁阀、A 轴回参考点指示灯输出信号等地址,A 轴相关的输入/输出电路如图 3 所示。

(5)A 轴的 PMC 程序设计和调试。

A 轴的控制流程图如图 4 所示,A 轴有分度指令时,Y3.5 有输出中间继电器 KA12 闭合,电磁铁 YV5 得电 A 轴松开,松开到位压下行程开关 SQ2(X7.1 变成 1)后,A 轴开始分度,如果电磁铁 YV5 得电 500 ms

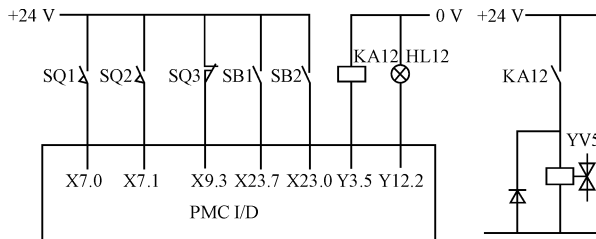


图 3 A 轴输入/输出电路

SQ1,SQ2—A 轴夹紧和松开到位检测行程开关,常开输入; SQ3—A 轴回零减速检测行程开关,常闭输入;X23.0,X23.7—A 轴手动运行的正、负方向键;KA12—中间继电器,其常开触点控制换向阀的电磁铁 YV5;HL12—A 轴回参考点指示灯

后没有检测到松开到位信号 SQ2,就会产生 A 轴没有松开的报警。当 A 轴分度达到目标位置时,Y3.5 没有输出电磁铁 YV5 断电 A 轴夹紧,夹紧后压下行程开关 SQ1(X7.2 变成 1),A 轴分度完成,如果电磁铁 YV5 断电 500 ms 后没有检测到锁紧信号 SQ1,会出现 A 主轴没有锁紧的报警。A 轴只有松开才能分度,M24、M25 分别是 A 轴夹紧和松开的 M 指令。

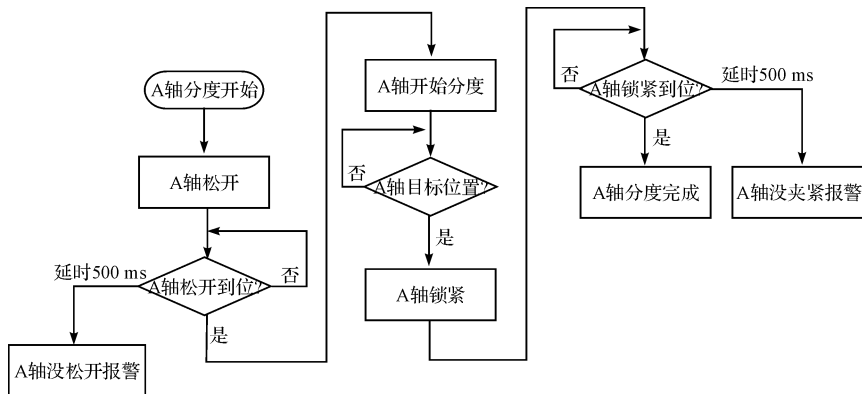


图 4 A 轴控制流程图

机床的 PMC 程序保存在系统的 F-ROM 中,A 轴 PMC 程序设计和调试是把编制好的 PMC 程序嵌入到机床原 PMC 程序中,经调试后,A 轴能正常运行并不影响机床其他功能。

A 轴 PMC 控制程序嵌入到机床原 PMC 程序的步骤和方法如下:

①通过系统 PMCI/O 画面,把机床原 PMC 程序备份到存储卡(M-CARD)卡上。

②M-CARD 格式 PMC 转换成梯形图格式 PMC。

通过存储卡备份的 PMC 程序称之为存储卡格式(M-CARD)的 PMC(后缀为.000.001 等)。其格式机器语言,不能由 FANUC PMC 编辑软件的 Ladder 3^[8](文件后缀为.LAD,梯形图格式)直接识别和读取并进行修改和编辑,所以必须进行格式转换。同样,由

Ladder 3 编辑好的 PMC 程序也必须通过格式转换,然后才能装载到 CNC 中。

格式转换的方法如下:

电脑上运行 LADDER III 软件,如图 5(a)所示,新建一个类型与备份的 M-CARD 格式的 PMC 程序类型相同的空文件。

如图 5(b)所示,选择文件菜单中的“导入”,软件会提示导入的源文件格式,如图 5(c)所示,选择 M-CARD 格式,执行下一步找到要进行转换的 M-CARD 格式文件,按照软件提示的默认操作一步一步执行,即可将 M-CARD 格式的 PMC 程序转换成 Ladder 3 直接识别的.LAD 格式文件,这样就可以在 Ladder 3 软件上进行修改和编辑操作了。

③在机床原 PMC 梯形图上增加 A 轴的 PMC 控制



图 5 M-CARD 格式的 PMC 转换梯形图格式的 PMC 梯形图。

④梯形图格式 PMC 转换 M-CARD 格式 PMC, 将其存储到 M-CARD, 通过 M-CARD 装载到 CNC 中。

选择在 Ladder 3 编制好的机床 PMC 梯形图程序^[9], 采用工具菜单中的编译功能将该程序编译成机器语言, 如图 6(a) 所示, 如果没有提示错误, 则编译成功, 如果提示有错误, 要退出修改后重新编译, 然后保存, 再选择文件菜单中的“导出”, 如图 6(b) 所示; 将 PMC 梯形图程序转成 M-CARD 格式如图 6(c) 所示, 存储到 M-CARD 上, 通过系统 PMC I/O 画面装载到 CNC 系统 F-ROM 中。通过以上操作就把 A 轴 PMC 程序成功嵌入到机床原 PMC 程序中, 可以利用 PMC 调试的方法对 A 轴进行调试。

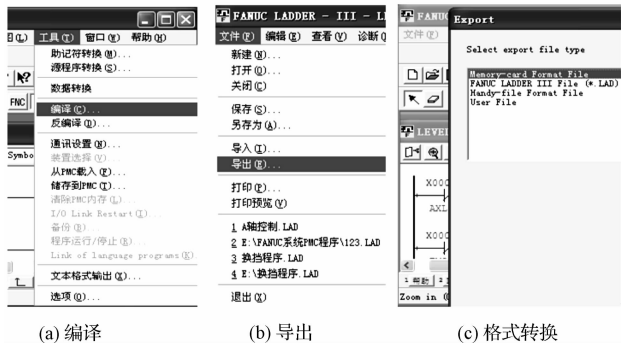


图 6 梯形图格式的 PMC 转换 M-CARD 格式的 PMC

(6) A 轴的关闭与开通。

生产加工中要移开 A 轴, 本研究设计了 A 轴忽略信号 F72.5(#4NG), 使用时要设置如下参数:

P7276 = 52, P7277 = 78, P7278 = 71。

#4NGOFF 设置方法: 如下按功能键 [OFFSET] → 按扩展软键 → PN 操作软键 → 翻页键找到 #4NG 画面 → 移动光标到 #4NGOFF。用断电保存继电器 K4.3 设置是否调用 A 轴 PMC 程序。

脱开 A 轴的方法: 设置 #4NG ON, K4.3 = 0, A 轴伺服参数 P2009#0 = 1, P2165 = 0 (记录好原值)。

开通 A 轴的方法: 设置 #4NG OFF, K4.3 = 1, A 轴参数 P2009#0 = 0, P2165 恢复原来的值即可。

3 结束语

为了减少轮廓误差^[10], A 轴的位置环增益要设成与其他三轴一致 (5 000), 本研究在现场经过反复的调试, A 轴运行平稳, 低速无爬行、高速无振动现象。用激光干涉仪检查 A 轴定位精度和重复定位精度^[11] 分别是 ±6" 和 5", 而行业标准分别是 ±8" 和 6", 设计精度达到了要求。增加 A 轴后, 机床可以实现四轴联动, 从而可以完成复杂曲面的加工, 增强了机床的功能, 扩展了机床的加工范围。机床改造后主要用来加工叶轮零件, 机床每天至少运行 16 h 以上, 没有任何故障, 性能稳定, 加工产品质量合格。本研究成功的改造经验对从事相关工作技术人员有着实际的指导意义和参考价值。

参考文献 (References):

- [1] Beijing-FANUC. FANUC0iC 数控系统功能说明书 [M]. Beijing-FANUC, 2003.
- [2] Beijing-FANUC. FANUC 0i 系统参数设置手册 [M]. Beijing-FANUC, 2004.
- [3] 李芳丽. CAK3675V 数控车床故障诊断与可靠性增长技术研究 [J]. 机械, 2012, 39(11): 71-76, 80.
- [4] 周炳文. 实用数控机床故障诊断及维修技术 500 例 [M]. 北京: 中国知识出版社, 2006.
- [5] 凌万春. 数控机床故障的诊断维修 [J]. 机电工程技术, 2012, 41(8): 226-228.
- [6] 朱自勤. 数控机床电气控制技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [7] 刘江. FANUC 0iC 数控系统 FSSB 总线的参数设定 [J]. 制造技术与机床, 2009(3): 157-159.
- [8] Beijing-FANUC. FANUC 系统 PMC 编程手册 [M]. Beijing-FANUC, 2001.
- [9] 刘建伟, 王卫英, 曾礼平. 高速数控加工复杂曲线的刀具轨迹计算方法 [J]. 轻工机械, 2012, 30(2): 79-81.
- [10] 孙涛, 刘强. 轮廓误差补偿方法研究 [J]. 机床与液压, 2010(5): 37-39.
- [11] 王建平. 数控机床定位精度与补偿 [J]. 机床与液压, 2011(4): 143-145.

[编辑: 张翔]