

知识产权声明：

1. 作者（若与其他作者共同合作完成作品，则作者已获得其他所有合作作者的授权发表此声明）在此声明所呈交作品系其独立或集体完成的作品。文中依法引用他人成果，并均已做出明确标注并得到许可。论文内容未包含法律意义上已属于他人而未被他人授权使用的任何形式的研究和创作成果。
2. 作者对投稿内容的真实性及思想观点负责，投稿作品由作者自负文责。
3. 作者保证作品不会侵犯第三人任何权利和利益，包括但不限于他人著作权、商业秘密。
4. 作者未曾将本作品提交于以往各届的西门子（中国）有限公司征集活动或其他公司的征集。
5. 作者认可征集的评价方式，同意将入围作品放在西门子CNC4YOU网站公示，教案类允许下载点赞。

基于 SINUMERIK 808D ADVANCED 的数控车床模拟主轴的调试项目

教案

陈荷燕

(南京工程学院, 江苏 南京 211167)

I、教学内容

一、知识方面

- 1、数控车床主轴驱动系统的组成
- 2、三相异步电机的调速原理
- 3、主轴的分段无极变速
- 4、SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统的模拟主轴功能
- 5、SINAMICS V20 变频器的模拟量输入控制
- 6、增量式编码器的结构和特点

二、能力方面

- 1、规范的、符合电气工艺的电路设计、安装接线能力
- 2、SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统的操作能力
- 3、SINAMICS V20 变频器的操作能力
- 4、PLC 控制程序的设计、监控操作能力
- 5、数控车床故障的分析判断和解决能力

三、情感态度与价值观

- 1、逐步培养分工协作、团队合作精神
- 2、逐步养成严谨求实的科学态度与探究精神

II、教学重点和难点

一、教学重点

基于 SINUMERIK 808D ADVANCED 的数控车床模拟主轴功能的设置和调试。

二、教学难点

SINAMICS V20 变频器的调试, 数控系统的调试, 模拟主轴给定命令值与实际输出值的匹配调试。

III、教学设计思路

在教学设计中，采用探究式、循序渐进的教学方式，在明确数控机床对主轴驱动要求的基础上，紧紧围绕数控机床模拟主轴的相关知识点和调试重点展开课程教学。

本课程以车间数控车床为载体，创设问题情境，力促学生加强对数控机床模拟主轴的理解、设置和调试。总体教学进程设计为：模拟主轴基础知识回顾——车间现场演示调试——获取主轴电机数据，主轴箱传动比，编码器参数，测量系统传动比——模拟主轴电气控制系统的安装接线——SINAMICS V20 变频器模拟量输入宏、变频器的各项具体操作方法——SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统主轴参数的含义和设置——模拟主轴的调试——授课总结。

IV、 教学准备

一、教学器材

数控车床机械本体 4 台，SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统 4 套，SINAMICS V20 变频器+三相交流异步电机 4 套，增量式编码器 4 个，SINAMICS V70 伺服驱动器+伺服电机 4 套，电气控制柜 4 个，工具、导线等材料若干。

二、教学资料

SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统整套参考手册，SINAMICS V20 变频器手册，SINAMICS V70 伺服驱动器操作说明手册，授课讲义一份（详细讲解模拟主轴的调试过程）放置在白板上，供讲课、与学生交流用）。

V、 教学过程

步骤	学习内容	教师活动	学生活动	设计意图
1	模拟主轴基础知识回顾	基于白板讲解： 数控机床主轴驱动系统的组成； 三相异步电机的调速原理； 主轴的分段无极变速； 模拟主轴的控制方法。	回顾数控机床主轴基础知识，思考模拟主轴的实现问题。	通过回顾基础知识，进一步夯实学生对数控机床主轴的认识，通过进一步的提问，激发学生探究如何实现模拟主轴问题的欲望，并由此引出教师在车间现场的演示调试。

2	车间现场演示调试	在 PLC 基本功能调试完成、进给轴顺利完成回参、模拟主轴接线正确和主轴参数、变频器参数设置无误的前提下, 在手动、MDA 方式下操作主轴正、反转和停止运行, 记录数控系统端的命令转速、方向与变频器显示的频率值、监控的模拟输入端 AI 与 OV 引脚端的电压值(或用万用表量测)、主轴旋转方向的对应关系。	至少记录 3 组教师演示的数据, 以备在第 7 步进行校验。	通过演示, 让学生们初步了解调试的基本操作步骤, 检验连线、参数设置是否正确的方法途径。
3	获取主轴电机数据, 主轴箱传动比, 编码器参数, 测量系统传动比	引导学生查看电机铭牌数据、主轴箱档位, 编码器铭牌, 编码器与主轴的连接形式。	记录主轴电机铭牌数据、主轴箱传动铭牌数据、档位操作杆位置, 计算主轴电机与主轴的传动比, 编码器与主轴直连。	此步开始进入模拟主轴的具体调试进程。为变频器参数、数控系统主轴参数设置作好原始数据的准备。
4	模拟主轴电气控制系统的安装接线	引导学生查手册, 理清数控系统与变频器的电气连接接口和 PLC I/O 信号, 编码器的机械安装及其信号电缆与数控系统的连接。	在编码器机械安装可靠的基础上, 按照正确电路连接数控系统、变频器、编码器之间的电缆, 以及 PLC I/O 电路。	让学生对模拟主轴电控系统有具体而统一的认识, 能规范地进行主轴电控系统的安装接线。
5	SINAMICS V20 变频器模拟量输入宏、变频器的操作	讲解变频器设置的几类参数: 电机数据、频率输入来源(设定值源), 运转控制信号来源(命令源)(宏的选择), 模拟量的标定。如有需要, 修改使用端子功能确定控制方式。	根据教师授课内容要点和变频器手册, 返回车间现场操作变频器, 设置好对应参数。	解决变频器操作、参数设置问题。

6	SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统主轴参数的含义和设置	讲解数控系统有关于主轴的参数及主轴参数生效的方法。	根据教师授课内容要点、数控系统手册和收集的现场数据,返回车间现场操作数控系统,设置好主轴参数。	解决数控系统主轴参数设置问题。
7	模拟主轴的调试	车间现场巡回查看学生调试情况,有问题及时解答并帮助解决问题。	根据第 2 步老师演示的调试步骤轮流在车间现场调试,遇到数据不吻合或其他故障问题时查阅手册、同学交流和询问老师。	检验学生对理论知识、实操方法和步骤的掌握程度。
8	授课总结	简要总结本课的主要内容,围绕本次授课主题提出若干思考题。	对本课的主要内容、遇到的问题进行回顾,完成思考题。	通过回顾与评价,梳理课堂达成的教学目标。

VI、思考题

- 1、三相交流异步电机有哪些调速方法?
- 2、采用变频主轴的机床采用齿轮箱有级变速的作用是什么?
- 3、调试车床的主轴编码器是什么类型的编码器?请绘制出编码器与 PPU X60 各芯的接线图。
- 4、SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统控制模拟主轴时速度设定值有哪几种?
- 5、数控车床采用模拟量控制变频器调速时,一般需要设置哪些参数?
- 6、如果主轴箱机械换档为 II 档,数控系统参数需要做哪些改变?
- 7、修改了模拟量输入的类型后,怎么调整模拟量输入的定标?
- 8、调试时如发现主轴旋转方向和命令方向不吻合、命令速度值和实际速度值不吻合,怎么处理?
- 9、请结合 PLC 主轴控制子程序,解释实现 MCP 主轴正转、反转、停止点动的控制过程。
- 10、请结合 PLC 主轴控制子程序,解释实现 MCP 主轴正转、反转、停止命令 M03、M04、M05 的控制过程。

VII、附录（教学内容详解）

一、三相交流异步电机的调速方法

三相交流异步电机的速度公式如下：

$$n = n_0(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s) \quad (1)$$

（磁极对数 p 、电源频率 f 、转差率 s ）

三相交流异步电动机同步转速与电机磁极数有关（ $f=50\text{Hz}$ ）：

2 极电机同步转速为 3000 转/分；

4 极电机同步转速为 1500 转/分；

6 极电机同步转速为 1000 转/分；

8 极电机同步转速为 750 转/分。

额定转速与电机转差率有关，转差率各厂家的产品有差异，一般在 4% 左右，比如本项目中使用的 4 极三相交流异步电机的额定转速为 1440 转/分。

由上述转速公式(1)可知，三相交流异步电机的调速方法有：变频调速方法、变极对数调速方法和改变转差率调速方法。本项目主轴转速主要采用变频调速方法，并辅以机械换挡，以满足机床切削加工工艺的要求。

二、数控车床主轴电机参数

车间参与调试的数控车床的主轴电机铭牌数据如下：

额定电压 $U_N=380\text{V}$

额定电流 $I_N=11\text{A}$

额定频率 $f_N=50\text{Hz}$

额定转速 $n_N=1440\text{r/min}$

额定功率 $P_N=4\text{kW}$

视在功率 $S=380 \times 11=4180\text{VA}$ ，所以功率因数为 95.7%



图1 主轴电机铭牌

三、数控车床模拟主轴的硬接线

本项目采用了西门子 SINAMICS V20 变频器，采用连接宏 Cn002，通过端子控制，采用 PNP 型接法，端子连接示意图参照变频器手册，如图 2 所示。

NPN 和 PNP 型控制均可通过相同的参数实现。用户可通过改变数字量输入公共端子的连接（接至 24V 或 0V）来改变控制模式。

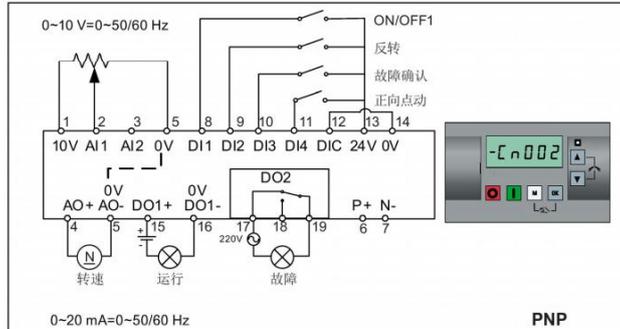


图 2 连接宏 Cn002 PNP 型端子连接示意图

车间数控车床电气控制柜中的变频器 V20 的硬接线连接如下图所示。



图 3 V20 变频器实物连接图

表 1 V20 变频器与 808D ADVANCED 连线说明

变频器引脚	导线颜色	接法
AI1	黄色	接 CNC 侧 X54 的 A0
0V (5 脚)	绿色	接 CNC 侧 X54 的 AGND
DI1	灰色	PLC 的 Q2.4 控制的 KA5 的常开触点 (CW)
DI2	灰色	PLC 的 Q2.5 控制的 KA6 的常开触点 (CCW)
DIC	蓝色	短接
0V (14 脚)	蓝色	
+24V	灰色	DI1、DI2 两个 KA 常开触点的公共端 (在 I/O 板上)

反馈主轴转速的增量式编码器与主轴直连，其信号电缆采用屏蔽电缆，连接至 CNC 侧的 X60 接口。

四、参数分析与设置

为了实现模拟主轴的调速方式，SINAMICS V20 变频器需要设置的参数主要包括：电机数据，频率输入来源（设定值源），运转控制信号来源（命令源），模拟信号的标定，即模拟电压值与频率值的对应，如 10V 对应的频率值（转速值）。数控系统 808D ADVANCED 需要设置模拟主轴的相关参数，如设定值输出类型、模拟量极性、变速比（减速箱和编码器）、编码器线数等。

（一）、SINAMICS V20 变频器参数设置

在确保变频器连线正常、静态测量无误、安全保护措施有效的情况下，可以按照上电顺序给变频器上电。采用变频器的快速调试实现电机数据、连接宏、常用参数的设置，在变频器操作熟练的情况下，也可以单独设置相关参数。另外，在设置参数前，先把用户访问等级的参数 P0003=3，专家权限，否则参数显示不全，参数设完后，参数 P0003 设为 0，以防以后在操作时对参数误操作。

1、电机数据

设置与主轴电机铭牌有关的参数（这也可以在连接宏设置之后单独设置），如表 2 所示。

表 2 电机数据有关的参数

参数	描述	设置值
P0003	访问等级	3
P0100	50Hz 频率选择	0
P0304	电机额定电压，输入的铭牌数据必须与电机接线（星形/三角形）一致	380
P0305	电机额定电流，输入的铭牌数据必须与电机接线（星形/三角形）一致	11
P0307	电机额定功率	4
P0308	电机额定功率因数，视在功率 $380V \times 11A = 4180$ ，所以功率因数 $P/S = 4000/4180 = 95.7\%$	0.957
P0309		内部自动计算
P0310	电机额定频率	50
P0311	电机额定转速	1440

2、速度给定信号和控制命令信号有关的参数

西门子变频器一般可以根据实际应用场景选择连接宏，当某个连接宏被选择后，会自动设置一些参数，如实际应用场景与所选连接宏定义的端子功能有差别，可以继续修改端子功能对应的参数值，以此与实际控制方式吻合。

本项目采用模拟量控制数控车床主轴的转速，通过开关量控制主轴的旋转方向。根据此应用场景，选择连接宏 Cn002，与之对应的连接宏参数自动设置，如表 3 所示。

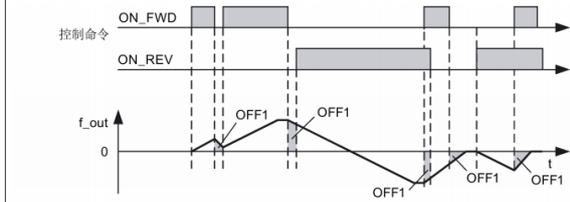
表 3 连接宏 Cn002 参数

参数	描述	工厂缺省值	Cn002 默认值	备注
P0700[0]	选择命令源	1	2	以端子为命令源
P1000[0]	选择频率	1	2	模拟量为速度设定值
P0701[0]	数字量输入 1 的功能	0	1	ON/OFF 命令
P0702[0]	数字量输入 2 的功能	0	12	反转
P0703[0]	数字量输入 3 的功能	9	9	故障确认
P0704[0]	数字量输入 4 的功能	15	10	正向点动
P0771[0]	CI: 模拟量输出	21	21	实际频率
P0731[0]	BI: 数字量输出 1 的功能	52.3	52.2	变频器正在运行
P0732[0]	BI: 数字量输出 2 的功能	52.7	52.3	变频器故障激活

查看变频器相应参数，已自动设置表 3 所列参数。

本项目中，控制主轴电机正反转的中间继电器 KA5 与 KA6 的线圈连接在 CNC 侧 X301 接口的 Q2.4 与 Q2.5，KA5 和 KA6 的常开触点的功能是控制主轴电机的正转/停和反转/停。由图 2 可见，连接宏 Cn002 数字量输入端 DI1 和 DI2 的功能与本项目定义的 KA5 与 KA6 的常开触点功能稍有差别，应继续修改参数 P0702 和 P0727 的值。与 CNC 侧连接有关的 V20 变频器数字量输入端子 DI1 和 DI2 功能参数设置修改值如表 4 所示。

表 4 修改的参数

参数	设置值	备注
P0700	2	
P1000	2	
P0701	1	DI1 ON/OFF1 (OFF1 是斜坡停车)
P0702	2	DI2 ON 反向/OFF1 (OFF1 是斜坡停车) (保持 P0702=12, P0727=0 时, 在机床上运行 M03S100 时, 主轴电机不运行)
P0727	1	使用端子确定控制方式。该参数允许对控制原理进行选择。控制原理具有排他性。(正向/反向) <ul style="list-style-type: none"> 2 线控制 使用 ON_FWD 和 ON_REV 作为永久信号 

3、模拟量输入定标有关的参数

参数 P0756 定义模拟量输入的类型，不同值对应不同模拟值范围，见表 5。

表 5 P0756 值与模拟量范围对应表

P0756 参数值	范围
0	单极性电压输入 (0~10V)
1	单极性电压输入带监控功能 (0~10V)
2	单极性电流输入 (0~20mA)
3	单极性电流输入带监控功能 (0~20mA)
4	双极性电压输入 (-10~10V)

用 P0756 修改了模拟量输入的类型后，变频器会自动调整模拟量输入的定标。定标的曲线由两个点 (P0757, P0758) 和 (P0759, P0760) 确定。如 P0756=4 时，定标特性曲线如图 4 所示。

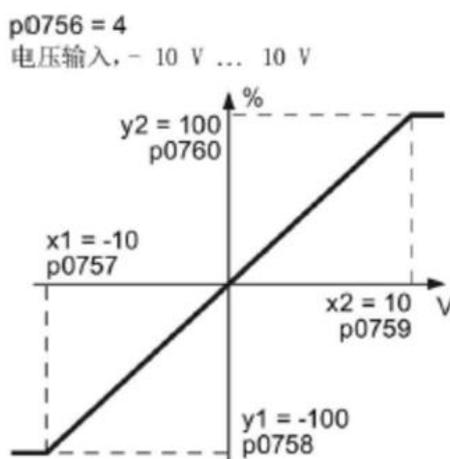


图 4 定标特性曲线

本项目中，速度给定模拟信号选用的是单极性电压输入 (0~10V)，所以模拟量输入定标有关的参数设置值如表 6 所示。

表 6 模拟量输入定标相关参数设置值

参数	描述	设置值	备注
P0756	模拟量输入类型	0	单极性电压输入 (0 至 10 V)
P0757	模拟量输入定标的 x1 值	0.00	
P0758	模拟量输入定标的 y1 值 [%]	0.00	
P0759	模拟量输入定标的 x2 值	10.00	
P0760	模拟量输入定标的 y2 值 [%]	100.00	
P0761	模拟量输入死区的宽度	0	防止反向
P2000	基准频率 [Hz]	50.00	

实际调速运行时可以查看参数 r0752 的值，即模拟量输入实际值 [V] 或 [mA]，或者用万用表量测 AI1 (2 脚) 和 OV (5 脚) 端。

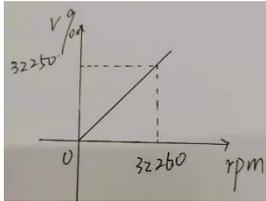
(二)、SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统参数设置

SINUMERIK 808D ADVANCED 中的模拟主轴可以采用介于-10V ~+10V 之间的模拟电压（CNC 的 X54 接口）作为主轴的速度给定信号，支持增量编码器(TTL 编码器)作为主轴测量系统的反馈单元，编码器测量信号反馈至 CNC 的 X60 接口。

本项目中，SINUMERIK 808D ADVANCED 通过介于 0V ~+10V 之间的模拟电压控制模拟主轴的速度；模拟主轴的起停和运行方向由中间继电器 KA5 和 KA6 的常开触点实现控制,KA5 和 KA6 的线圈连接至 X301 分布式输出接口的 Q2.4 和 Q2.5；增量式编码器线数为 1024，编码器与主轴直连。

CNC 侧有关于模拟主轴参数设置如表 7 所示。

表 7 SINUMERIK 808D ADVANCED 数控系统模拟主轴参数设置值

参数编号	设置值	描述
30130	1	设定值输出类型（设为 0 为仿真轴，可以屏蔽此轴）
30134	1	设定值极性（0 为双极性，1 为单极性 0~10V）
30240	2	实际值传感（实际位置值）编码器类型，0 不装编码器，2 增量型，4 为绝对值编码器
31020	1024	每转的编码器线数
31050	36	负载变速箱分母（如两齿啮合的例子：丝杠端齿数）
31060	50	负载变速箱分子（如两齿啮合的例子：电机端齿数）
32250	100	<p>%。模拟量驱动器上控制量的定标：在该机床数据中输入转速设定值（最大转速设定值的%值），在该设定值上电机达到机床数据 32260 \$MA_RATED_VELO[n] 中输入的额定转速。额定输出电压（如是单极性，10V)的百分比率 100</p> <p>只适用于模拟主轴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 输出电压/输出转速 MD32260 RATED_VELO (额定电机转速) MD32250 RATED_OUTVAL (额定输出电压)，即 CNC 输出 10V 模拟量时，对应主轴端的额定转速为 32260 的速度值 
32260	2000	主轴端额定转速（即电机端额定转速时，经过主轴箱后，主轴端的转速）
36200	3000	速率监控阈值
30200	1	编码器数量
31070	1	<p>测量变速箱分母（机床的主轴编码器与主轴轴端是直连的，所以编码器变速比为 1: 1）</p> <p>亦适用于编码器、伺服电机轴：</p> <p>MD31070 DRIVE_ENC_RATIO_DENOM (测量变速箱分母) MD31080 DRIVE_ENC_RATIO_NUMERA (测量变速箱分子)</p>

31080	1	测量变速箱分子
-------	---	---------

下面解释 31050, 31060, 32260 参数值的设置依据。

图 5 是车间数控车床主轴箱的铭牌，铭牌上的速度均为通过一定的调速档位，在主轴端输出的转速值。（该机床本体以前是普车，主轴电机为双速电机，转速可以通过改变绕组的接线方式，即变极式调速方式实现主轴的高、低速（H、L）。后来改造为数控车床后，主轴电机绕组接法固定（H 档，4 极电机），所以数控车床主轴转速需略过铭牌上的 L 档速度，即第 2 行和第 4 行。数控车床的主轴电机的同步转速 1500r/min，由于存在转差率，此车床的主轴电机额定转速为 1440r/min。主轴转速的调节采用齿轮变速与无级调速（变频调速）相结合的方式，即所谓分段无级变速的方式，既增大主轴低速时的出力（扭矩），又扩大了主轴的速度可调范围）



图 5 主轴箱铭牌



(a) 高档（机械方式）



(b) I 档（机械方式）

图 6 调试时机械调速档位

图 6 均通过机械方式调速，（a）选择主轴箱铭牌第一行的转速，（b）选择主轴箱铭牌最右侧 I 档的转速，所以主轴端输出转速值为 2000r/min。通过以上分析，参数 32260=2000（r/min）；传动比： $31060/31050=2000/1440=50/36$ 。

五、模拟主轴的调试

（一）、模拟主轴调试前序工作

在主轴调试之前，先盘下法兰盘，是否有阻力，以防主轴和电机之间滑档。开始调试后，要清楚如何停主轴，并请关好机床防护门。

调试数控车床时，正常上电后，首先装载 CNC 默认数据、PLC 程序；接着根据现场各种信号的硬接线地址调整 PLC 程序，调试基本功能至正确无误；然后进行机床进给轴配置，在确保进给轴调试正确（辅助功能有报警不影响调试），回参；最后就可以对主轴进行手动、MDA 运行方式、自动方式的调试。

SINUMERIK 808D ADVANCED 的 PLC 样例程序的主轴控制程序是结合伺服主轴编写的，其方向信号是由 NC 内部处理后送给伺服主轴驱动器的。对于采用变频器控制的模拟主轴，本项目中主轴运行方向的控制是由两个中间继电器 KA 实现的，这两个中间继电器连接在 CNC 的 X301 接口上，分配的地址为 Q2.4 和 Q2.5（正反转的方向在现场可以进行调整）。如图 7 所示。

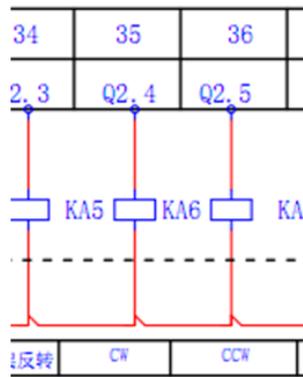


图 7 主轴方向控制电路 (X301 PLC 输出)

添加控制主轴正、反转、停止的 PLC 控制程序，如图 8 所示。

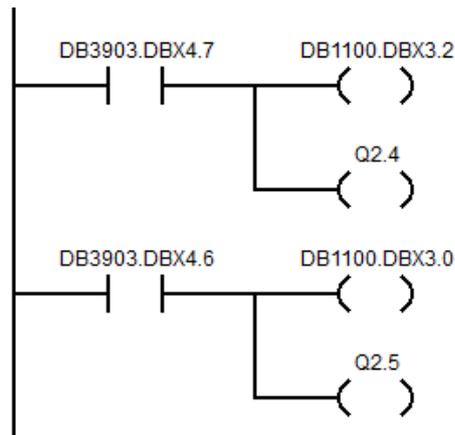


图 8 主轴正、反转、停止的 PLC 控制程序

在 PLC 的主轴子程序里，有制动延时时间，当发生 M03—M04 或 M04—M03 等命令信号改变的情况时，就会发生主轴制动，当制动延时时间到后才会去接收 MCP 或加工程序的转向命令，这样处理对机床机械、电气部件是必要的。

(二)、调试过程

手动 JOG 方式下：

按 MCP 上的主轴正、反、停止键，可以实现主轴的正反转和停止，主轴旋转时，按照 CNC 侧参数 32020=100 的 JOG 速度旋转，检查方向有无问题。

MDA 方式下：

编写简单的加工程序代码实现主轴的正、反转和停止控制，主轴停止可以通过 M05 或复位键实现，检查方向有无问题。

如主轴运行方向与控制命令不吻合，可以互换图 8 中 PLC 输出线圈地址，或者断电一段时间后更改电机绕组 U/V/W 相序接线，也可以更改 CNC 侧主轴移动方向参数 32100。

例：

主轴倍率开关 50%，进入加工操作界面，选择 MDA 方式，输入程序代码：

M03 S200 或 M05 或 M04 S200

调试时，操作界面中显示实际主轴转速为 100r/min 左右，符合倍率开关的设定，而且 100r/min 是额定转速 2000r/min 的 1/20。

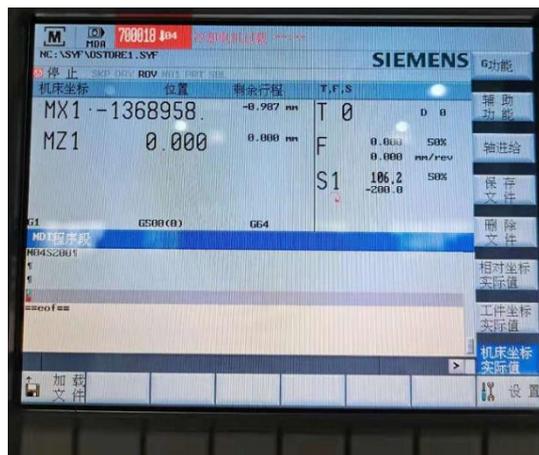


图 9 MDA 方式调试实例

查看变频器端的显示界面，显示频率为 2.5Hz，是 P2000 中设定 50Hz 的 1/20。



图 10 变频器调试频率显示

量测 AI1（2 脚）和 0V（5 脚）端之间的模拟主轴速度给定源电压（CNC 送给变频器）为 0.5V，是 10V 电压的 1/20，数据吻合。



图 11 万用表量测模拟电压值

P0756 如设为 1，则是单极性电压输入带监控功能（0 至 10 V），r0752 可以监控实际输入的模拟电压值。

当从上述 CNC 侧、变频器侧画面显示和量测数据一一吻合后，即可表明数控车床变频主轴各项连接、设置正确，调试成功。