

# 龙门刨床的性能优化与节能改造

南昌矿山机械有限公司

成果主要创造人：朱斌

成果参与创造人：卫强 马志军 潘新平 缪学亮

**摘要：**分析了龙门刨床的运动特点，利用 590 直流调速器、PLC 和变频技术对龙门刨床进行性能优化和数字自动化改造，以增强其使用功能，提高效率和精度，实现节能降耗。

**关键词：**龙门刨床 直流调速器 PLC 编码器 性能优化 节能 改造

## 一、前言

龙门刨床是制造业的主要装备之一，在工业生产中占有重要位置，起着重要作用。其加工性能只能进行刨削和磨削加工。电气控制系统包括：工作台主传动和进给机构时序控制两大部分。龙门刨床供电系统采用电动机—发电机供电方式，工作台的行程控制采用传统的继电器、行程开关控制方式。该控制方式存在着耗能、效率低、故障率高、接线复杂，不便于调整、检修困难的缺点，对该设备的正常使用带来很大的影响，有的甚至无法对要求较高的零件进行加工。

但是，目前仍有不少企业还在广泛使用这种传动控制，更新设备需要大量的资金，采购、安装周期较长。因此，我们对龙门刨床加工性能和产品加工工艺要求进行分析研究，在充分调查研究的基础上，设计制订一套低成本、高性能的改造方案应用于实践之中，可最大限度地发挥龙门刨床的加工能力，扩大龙门刨床的使用功能，提高设备的可靠性，降低生产加工成本，节约电能消耗，对改造老式龙门刨床具有非常大的实际意义。

随着数控技术、PLC、变频技术、光电编码技术的快速发展，为改造老式龙门刨床提供了有效的技术支持途径。因此，本文以 B2020A 型龙门刨床改造的实际成功效果为例，根据龙门刨床的使用性能和加工产品的工艺特点，采用 590 直流调速器、变频技术、铣削加工技术、光电编码技术对其传动系统、电气控制系统和加工方式进行改造。

## 二设备及新增部件介绍

### 1. 龙门刨床简介

龙门刨床是机械加工中的重要设备，在工业生产中占有重要地位。龙门刨床可进行粗加工和精加工水平面、垂直面、斜面及各种平面组合的轨道面。改造的这台龙门刨床型号为 B2020A，是南昌矿山机械有限厂于一九八四年十一月份购置安装，于一九八五年三月投入使用，由济南第二机床厂生产的大型机械加工设备。该设备从使用到改造的二十多年时间里，没有进行过大修、项修，机械磨损较大，经常出现主变速箱齿轮、机械离合器损坏，进给传动箱的超越离合器的失效，发电机、励磁机、电机扩大机、继电器、接触器、电阻器、行程开关故障频繁，经常出现停机待修，使得正常的生产秩序被打乱。

B2020A 龙门刨床属大型设备，为双立柱龙门刨床，具有刨削和磨削功能，可加工工件的最大长度为 6000mm，最大宽度为 2000mm，最大高度为 1600mm，最大承载加工工件为 20000kg；该设备工作台传动为发电机—电动机系统，辅助传动为三相交流电动机，供电电源电压为三相 380V，有 9 台交流电动机，总功率为 66.75KW，直流电机 4 台，工作台齿条上允许在最大拉力为 8000kg（运行速度为 10-20 米/分）；机床床身由两节组成，工作台面由一节组成，其行程速度可无级调整，切削行程速度：高速挡为 7-70 米/分，低整档为 3.5-35 米/分，返回行程速度：高速挡为 7-70 米/分，低速档为 3.5-35 米/分，工作台调整移动速度为 3 米/分，磨削时工作台移动速度为 1 米/分；刀架的运动可机动

和手动，垂直刀架进刀范围：水平分为两档：I 档为 0.2-3.35mm，II 档为 3.5-20mm，垂直刀架进刀范围：I 档为 0.15-1.3mm，II 档为 1.25-7.5mm；侧刀架进刀范围：垂直分为两档：I 档为 0.2-2mm，II 档为 2-11.5mm，垂直刀架快速移动范围为：垂直刀架水平为 1600mm/分，垂直为 600mm/分，侧刀架快速移动范围为：垂直 850mm/分；横梁的升降与夹紧具有自动联锁装置，升降速度为 440mm/分，床身导轨及主驱动齿轮箱为集中压力润滑，油泵流量为 6 升/分；机床的外形结构坚实，机床最大长度为 12800mm，机床最大宽度为 4800mm，机床最大高度为 4150mm，机床总重量为 45000kg。

### 2. PLC 的基本介绍

PLC 又称可编程控制器，是上世纪 70 年代在集成电路、计算机技术基础上发展起来的一种新型工业控制装置。由于它具有功能强、可靠性高、配置灵活，使用方便、体积小、重量轻、耗电省等优点，已广泛应用于自动化控制的各个领域。

PLC 与传统的继电器控制方式相比较，具有以下特点。

#### (1) 可靠性高，抗干扰能力强

在恶劣环境下，工业生产对控制设备的可靠性提出了很高的要求，PLC 专为工业控制而设计制造，而于在 PLC 设计、制造工艺方面采取了一系列措施，使 PLC 平均无故障时间长达几十万小时，远远超过传统继电器控制，例如日本三菱公司的 Fx 系列 PLC 的平均无故障运行时间可达 30 万小时，到目前为止，尚无一种自动化工业控制装置的可靠性达到和超过 PLC。

#### (2) 编程简单，易于掌握

梯形图编程方式，是 PLC 最常用的编程语言，它与继电器控制原理图相类似，具有直观、清晰、修改方便、易掌握等优点，即使未掌握专门计算机知识的人也能很快熟练掌握，深受现场工程技术人员的操作和欢迎。

#### (3) 组合灵活、使用方便

由于 PLC 采用标准化的通用模块结构，其 I/O 电路又采用了一系列抗干扰措施，因而用户无需进行二次开发，就能灵活方便地组合成各种规模、不同功能的控制系统，控制系统接线简单、工作量小，使用、维护都很方便。

#### (4) 功能强、通用性好

现代 PLC 运用了计算机、电子技术和集成工艺的最新技术，在硬件和软件两方面不断发展，使其具备很强的信息处理能力和输出控制能力，适应于各种控制需要的智能 I/O 功能模块不断涌现，既可控制单机、生产线，又可控制一个群、多条生产线；既可现场控制，又可远距离控制；既可控制简单系统，又可控制复杂系统，其控制规模和应用领域不断扩大。

编程语言的多样化，以软件取代硬件控制的可编程性使 PLC 成为工业控制中应用最广泛的一种通用标准化、系列化控制器，同一台 PLC 可适用于不同的控制对象或同一对象的不同控制要求。

#### (5) 开发周期短成功率高

大量的实践证明，采用以 PLC 为核心的控制方式具有开发周期短、风险小和成功高的优点，只要正确、合理地选用各种各样模块组成系统，无需大量硬件配置，PLC 采用软件控制方式，在机械硬件研究之前，就可对应用程序进行开发，可以通过模拟调试反复修改直至达到系统要求。

#### (6) 体积小、重量轻、功耗低

由于 PLC 采用了半导体集成电路，其体积小、重量轻、结构紧凑、功耗低，是理想的机电一体化控制器。

PLC 可广泛用于开关量逻辑控制、定时、计数控制、闭环过程控制、数据处理、数字控制，还可用于数字控制与联网控制以及各种特殊要求的控制。

### 3.590 直流调速器简介

欧陆 590 是英国欧陆集团专业生产的直流调速装置。该装置采用全控三相可控硅电路，具有自动频率范围宽，对相序没有要求，采用全数字控制方式进行调速控制，速度控制可用编码器进行反馈，调速范围大，可选 100: 1，稳定性好，调速精度高、操作方便、保护性能好，具有瞬间过流、磁场故障、电机超温、可控硅触发失效、零速检查、堵转保护，同时具有自诊断功能，便于维修。

### 4. 变频器简介

---

变频器是利用电力半导体器件（IGBT）的通断作用将工频电源变换成另一频率电源的电控制装置。即能改变施加于交流电动机的电源频率值和电压值的调速装置。

变频器可用于异步电动机的调速，能实现软起动、软停车、无级调速，并具有显著的节电效果，它具有过载、过压、欠压、短路等保护功能，具有各种预警，预报信息和状态信息及诊断功能，便于调试和监控。变频器可用于恒转矩、恒功率等各种负载。

#### 5、光电编码器简介

光电编码器是一种通过光电转换，将输出轴上的机械几何位移量转换成脉冲数字量的传感器，光电编码器由光栅盘和光电检测装置组成。光栅盘是在一定直径的圆板上等分地开通若干个长方形孔，由于光电编码盘与输出轴同轴转动，输出轴旋转时，光栅盘与输出轴同轴旋转，经发光二极管等电子元件组成的检测装置检测输出若干脉冲信号，通过计算机每秒光电编码器脉冲的个数就能反映当前电动机或负载的转速。

#### 6、铣头简介

铣头是用于铣削加工的机床附件，铣头是由铣头电动机带动变速箱，再将动力传动到铣头主轴，通过主轴上安装的铣刀或铣刀盘切削工件。在龙门刨的改造过程中，选用了一台龙门刨立铣头和一台侧铣头，功率为 7.5Kw,转速范围 80—500 转/分，8 级手动变档调速。

### 三、设备改造的目的和意义

设备陈旧老化、技术落后，不能满足加工需要，有两种途径进行解决。一种方法是更新，即用性能更好、技术更先进的新型设备替换原有设备，这种更新可以很快形成生产力，提高效率和产品质量，但重新购置一台新设备投资较大，安装周期较长。另一种办法就是改造，对设备役龄长、技术落后、能源浪费大的设备，通过利用现代新的技术成就和先进经验，从关键部结构和性能入手，改进现行设备的传动、控制方式，给旧设备装上新部件、新装置、新附件等技术措施，以改善现有设备的技术性能，使之达到或超过新设备的技术性能。

设备技术改造能充分利用设备原有的物质基础，结合加工产品的实际工艺需要，消除原有设备的技术落后陈旧的状态，通过有针对性的改造，可以实现投资少、效率高、速度快地改善设备的性能，提高企业装备水平和加工能力，实现装备的绿色再制造，达到节能增效的目的。对制造业的快速发展壮大具有重大的现实意义和深远的历史意义。

### 四、设备改造

#### （一）龙门刨床的基本结构

龙门刨床的结构比较复杂，其结构示意图如图 1 所示

刨床左右立柱 6 上托有可上下移动横梁 5，横梁上装有可在横梁上横向移动并垂直进给的左右两个垂直刀架 4，刀架上可装刨刀 8，左右两立柱上分别设有可上下的移动并横向进给的左侧刀架和右侧刀架 3，工作台 1 放在底座导轨 2 上，可作往复运动，7 为龙门刨床顶。

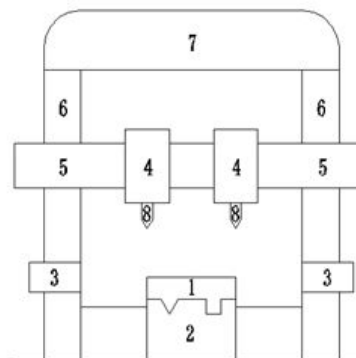


图 1 龙门刨床结构示意图

1-工作台 2-底座导轨 3-侧刀架 4-垂直刀架  
5-横梁 6-立柱 7-龙门顶 8-刨刀

#### （二）刨削、铣削对机床控制的要求

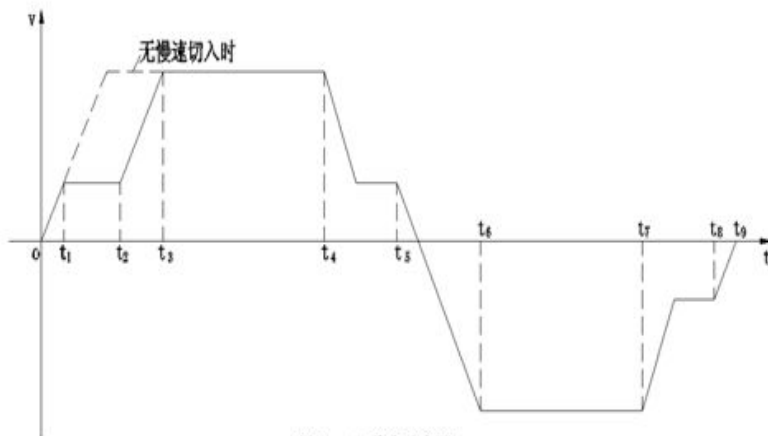


图2 工作台速度图

要求有较宽的调速范围，电气系统控制电路能保证机床可靠地自动工作，工作台能够按照需要实现自动往返循环，工作台速度调整无需停车，工作过程中具有步进、步退、前进、后退、减速、换向环节，工作台的运动规律详见工作台速度图，如图 2 所示。

图中 0-t<sub>1</sub> 为工作台前进起动阶段，t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub> 为刀具慢速切入阶段，t<sub>2</sub>-t<sub>3</sub> 为加速至稳定的工作速度阶段，t<sub>3</sub>-t<sub>4</sub> 为稳定工作速度阶段，t<sub>4</sub>-t<sub>5</sub> 为减速退出工件阶段，t<sub>5</sub>-t<sub>6</sub> 为制动刨后退起动阶段，t<sub>6</sub>-t<sub>7</sub> 为后退稳定速度阶段，t<sub>7</sub>-t<sub>8</sub> 为后退减速阶段，t<sub>8</sub>-t<sub>9</sub> 为后退制动阶段。采用减速环节是为了减小切入工件时对刀具的冲击，延长刀具使用寿命，要求刀具以较低的速度切入工件，然后再加速到规定的切削速度，在切出工件时减速器为了防止工件崩裂，保证工件边缘的平整，换向前减速是为了能减小反向时所需的制动转矩，减小反向时对传动机构的冲击和对电网冲击的影响，防止反向时越位。刀架铣削动力头能横向进给和快速移动，刨削、铣削、钻削、磨削深度为手动调整，各控制装置之间要有必要的联锁，横梁升降对工作台不能运动必须在横梁到位后，工作台才能运行。铣削加工工作台的速度比刨削、磨削加工的速度要慢，必须具有刨削、铣削加工时工作台的运行速度。

### （三）改造要求

设备改造前，对该设备进行了预检，根据预检结果、使用过程中存在的问题、产品加工工艺需要提出如下改造要求：

对 B2020A 龙门刨床进行机电综合修理改造。包括机械修理，增加立铣和侧铣功能，电气部分全面综合改造。在基本上不破坏原机床结构下，实现机床的功能最大扩展，使得改造后该设备具有刨削、铣削、磨削、钻孔功能，实现高效、节能、运行可靠、故障率低的综合目的。

### （四）改造内容

#### 1、机械修理

龙门刨床经修理后，达到机床原始精度，横梁的导轨平面度不超过 0.10mm，导轨的直线度不超过 0.10mm，导轨的垂直度不超过 0.05mm；其它经修理后精度要求参考龙门刨床出厂检测报告，保证刨削和铣削的加工精度和表面粗糙度 3.2。

修理内容如下：

- （1）对工作台、床身、立柱、刀架溜板、横梁等导轨配合面进行检查、调整；
- （2）对横梁、刀架溜板进行铲刮、配研；
- （3）对机械传动部分进行检查修复。包括丝杆螺母、齿轮、齿条、轴承、蜗轮、离合器等磨损配件进行修复，重新安装调整，磨损严重的需更换；
- （4）各处供油系统与油路的检查修复与调整，保证液压稳定可靠；
- （5）对床身、工作台、立柱、横梁安装精度进行调整；

(6) 维修调整后, 对工作台台面进行精刨。

## 2、机械部分改造

### (1) 工作台主动机构改造

工作台由一台 60KW、1000r/min 直流电动机拖动, 刨削进给速度为 3.5-35m/min、7-70m/min 无级变速, 为同时满足低速铣削的运动速度的要求, 拖动工作台的传动机构需进行必要的改造。

在直流电机尾端增加一线摆线针轮减速机和铣削拖动因变频器(配矢量变频器), 原直流电机与摆线针轮减速机构加装牙嵌式电磁离合器, 当使用原创削功能时, 牙嵌式电磁离合器使新增加的部分与原电机脱开; 当使用铣削功能时, 牙嵌式电磁离合器结合, 原电机轴仅作为传动轴传递动力。刨削进给保持原速度不变; 铣削进给速度为 20-405mm/min、40-810mm/min 无级调速。

在龙门刨床工作台进行低速改造的过程中, 选用此种方式低速改造龙刨床工作台进给传动具有以下优点:

1) 刨铣转换快速方便, 不用在刨铣两用减速箱上操作手柄而费工费力, 工作效率大大提高。由于刨削和工作台快移采用原 60KW 主电机提供动力, 要实现刨铣转换和铣削时的工作台快移, 只需操作在悬挂箱上刨铣转换开关进行切换即可快速实现;

2) 实现了工作台速度的无级调速;

3) 不破坏原机床机构, 保持原机床的完整性;

4) 经济实用, 其改造成本比更换刨铣两用减速箱成本低;

5) 能保证足够的拖动力矩。

### (2) 增加一立铣头和一侧铣头

两立铣头选用龙门铣专用铣头、手柄调速, 主要技术参数如下:

铣头功率: 7.5KW

套筒调整量: 140mm

锥孔直径:  $\phi 69.85$

内锥孔锥度: 7: 24

最大可装刀盘直径:  $\phi 300\text{mm}$

刀盘推荐直径:  $\phi 200\text{mm}$

速度范围: 80-500 转/分

变速挡位: 8 级

重量: 350kg

此铣头为 8 档机械变速, 与变频铣头相比, 输出力矩更加稳定可靠。立铣头配蜗轮螺杆旋转机构, 可进行  $\pm 30^\circ$  的旋转, 可加工斜面。铣头旋转单独控制, 并与进给机构起停联结, 即铣头不运转, 不允许起进给机构, 停机保证先停止进给工作台再停转铣头, 避免发生撞刀事故。

### (3) 增加立铣头的横铣机构

将控制立铣头的光杠与原机构脱开, 在横梁另一侧单独增加一套变频电机及其减速机构, 来拖动铣头作横向铣削, 进给速度为 56-560mm/min, 用变频器实现无级调速。横铣和工作台拖动用同一矢量变频器来控制, 由按钮站选择开关对工作台和横铣进行选择。

## 3、电气部分改造

(1) 保留原直流电机, 在进给变速箱的输出轴的另一端加装光电编码器, 实现对工作台直流电机的闭环控制; 取消原发电机组, 采用一台英国欧陆 380V 的 590 全数字直流调速装置驱动工作台 60KW 直流电机。设备的调速范围增大, 可达到 100: 1, 能保障切削力恒定、平稳、冲击小, 保证改造使该机床电控系统的功能达到同类新机床的要求。

原发电机组噪音大, 对电网容量要求高, 且空载电流达到 38-40 安, 在工作间隔(调整、装卸工件)时间, 这此电能白白浪费。改用新型数字调速系统后, 这个空载电流完全可以节省下来, 且工作间隔时间越长, 节电效果越明显, 另外加上交磁发电机能耗以及多台电机能量传递损耗等, 每年节能效果非常好, 同时也改善了工作环境, 减低了

噪声；

(2) 更换机床电气控制柜，进线采用三相变压器，相对电抗器能较大降低二次交流电压，极大地降低对晶闸管的冲击电流，延长直流调速器的使用寿命，电柜内的低压电气元件包括：断路器、交流接触器、辅助中间继电器采用天水 213 厂产品，显示仪表及熔断器采用正泰产品，按钮、转换开关、指示灯等选用施耐德公司产品；

(3) 逻辑部分采用三菱 FX2N 系列 PLC 控制，PLC 检测各按钮、限位开关、变频器等信号，按照程序去控制各接触器及相关执行元件；

(4) 增加工作台铣削进给和横铣进给用的变频电机各一台，增加矢量型变频器进行调速，调速范围可达 1: 20；

(5) 更换操作悬挂箱，悬挂箱布局合理，集刨、铣操作功能于一体，面板采用铝面板，同时更换相应的控制电缆。

(6) 更换电控柜刨机床的电缆；

(7) 在减速箱传动轴尾部加装光电编码器，通过高速计数实现对工作台的减速、换向；通过悬挂按钮站上的计数开始、计数结束实现工作台直流电极正反向脉冲计数，PLC 通过高速计数器自动计算前进减速、前进返后退、后退减速。后退返前进的脉冲数，工作区段可以自由设定。

(五) 控制功能介绍

1、快速进给：用作铣床进，工作台和立铣头、侧铣头设有快速移动，每个方向都设有极限限位。用作刨床时，刨刀架设有直横梁和立柱方向上的快速移动；

2、连续：用作铣床时，即工作台处于正常工作状态下的低速进给运动，当工作台碰刨左右极限时停止。用作刨床时，工作台作往返循环运动；

3、油泵：连锁相关设备，油泵不运行，不允许作进给动作，确保润滑正常，并且运行中油泵停机或压力不够时，工作台运行停止；

4、横梁夹紧放松：保留原机床夹紧放松方式不变，和横梁升降电机互锁，横梁松开才允许升降机构动作，横梁夹紧状态，不允许横梁升降，横梁在下降完成后有一个返升动作，在此过程中横梁夹紧不动作；

5、升降电机：横梁升降电机带动横梁和立铣头及刨刀架在垂直方向上下运动，并且横梁夹紧与各部分进给动作连锁，横梁动作中所有进给动作都不能进行；

6、悬挂按钮箱采用人性化的设计，元件的布局充分考虑到操作的方便性。

(六) 故障保护功能

完整的故障保护功能是系统和设备及人身安全的重要保障。主要保护功能如下：

直流调速装置过压、过流、短路保护；

直流调速装置缺相、超速、三相故障、过流、励磁等保护；

电源板故障保护；

装置超温保护；

油泵、液压系统故障保护；

铣削主轴停转保护；

各个方向进给超程保护；

进给与横梁升降动作的连锁保护；

停机连锁保护；

铣削与刨削互锁。

## 五、改造后的效果

使用 590 全数字直流调速装置和 PLC 控制设备，节能效果非常显著，改造周期短，因此，将先进的调速装置直接应用到刨床的调速系统中，是一种技术革新，可以带来较大的经济效益。

直接经济效益

原发电机组在多年生产、制造及用户使用中测定，其起动电流大，对电网容量要求高，负载电流高出正常电流

80-100 安，在工作间隔时间，这些电能白白浪费，改用新型数字调速系统后，工作间隔时间越长节电效果越明显。采用新型数字调整系统，可以省去由于多台电机之间电能传递而造成的效率损失，其数值为所需加工零件电能的 6-10%，按一般性加工时，每天省去的传动效率损耗约为 80 度，全年节电约为 24800 度。

改造后，提高了电气自动化程度，大大降低了机床的故障率和维修费用

由于采用了 PLC 控制，有效避免了一些故障点，再加上全数字直流调速装置变频器自身完备的电气控制特性，还增添了该系统的自动化程度，降低了故障率。

提高了工效，增强了设备功能

由于刨床增加了一个立铣头和一个侧铣头，加上与之配套的工作台铣削运行，使得该机床具有铣削加工能力，再将该刨头换成磨头，就具有磨削功能，在铣头上安装钻头、镗刀及钻柄，可进行钻削和镗削加工，再加上横梁上增加一个立铣头变频调速横向进给传动装置，使得该机床具有横铣功能。

改善了工作环境，降低了噪音

由于原发电机组为多电机拖动系统，多台电机长时间运行噪音大，而新型数字直流调速系统无旋转元件，不发声，噪音低。

提高了可靠性

电气控制柜内全部采用国内外标准合格的元器件，工作平衡、可靠、故障率低。

占地面积小

由于取消了电机一发电机组及电机扩大机，使得该机床的占地面积减小。

### 六、持续改进

由于在改造过程中，只对横梁进行了修复，没有更换加大的横梁，横梁的刚性强度要差一些，使得立铣头对工件进行切削时，切削量受到限制，切削超过 10mm 将产生横梁振动。若加大横梁，可以增加立铣头的切削量，使用效果会更好。

### 七、结束语

设备改造是一项系统工程，应在充分调查研究的基础上，结合生产加工工艺的需要，结合被改造机床自身的特点进行改造，我们先后对新余钢铁总、南昌通用机械厂、安徽华夏机床制造有限公司改造龙门刨床的情况进行调研，总结兄弟单位改造后的成功经验和存在的问题，吸取它们的成功经验，分析存在的问题，并加以改进，使得改造取得更好的效果。在设备改造过程中要具有严谨、求实、创新、务实的工作作风，处理好改造过程中的每一个细节，严把质量关。

好的方案，需要进行完善的实施，由于受自身改造能力的限制，我们采取寻找合作伙伴，由改造能力的单位进行改造实施。该设备改造费用为 23 万元，改造周期 20 天，由万洲电气集团改造完成。改造后投入正常使用 4 年间没有出现大的设备故障。

在论文写作其间，从论文的选题、资料收集、撰写论文，得到了改造单位工程技术人员和江西师范大学罗鹏老师的帮助和指导，在此我特向他们表示感谢。

#### 参考文献

欧陆 590 系列直流数字式调速器产品手册，英国欧陆公司，2009 年 1 月

FX 系列微型可编程控制器使用手册，日本三菱公司，2009 年 1 月

FX 编程手册，日本三菱公司，2009 年 1 月

G7 变频器使用说明书，日本安川公司，2009 年 1 月

B2020A 龙门刨床使用说明书，济南第二机床厂，1984 年 11 月

---