PQF 连轧管机自动化控制系统

吴凤英
(天津理工大学自动化学院，天津 300191)

摘 要：传统的无缝钢管连轧机为两辊式轧机，天津钢管公司 168 钢管厂于 2003 年新建世界第 1 套 PQF 三辊式无缝钢管连轧机。通过介绍先进的自动化控制技术在该钢管轧机中的应用，论述了 PQF 连轧管机的角度和速度同步控制技术，分析了 PQF 轧机中限动芯棒系统采用的位置控制和转矩匹配技术。介绍了实践应用效果，表明了该控制系统的先进可靠性和对提高生产效率和产品质量的效果。

关键词：ABB 控制系统；同步控制；位置控制；转矩匹配
中图分类号：TG333 **文献标识码**：A **文章编号**：0449-749X(2008)06-0089-04

Automation Control System of PQF Pipe Mill

WU Feng-ying
(Tianjin University of Technology, Tianjin 300191, China)

Abstract: The traditional seamless steel pipe rolling mill consists of two high stands. The first PQF mill with three high stands was built at 168 pipe mill plant of Tianjin Pipe Corporation in 2003. The advanced automation control system of PQF pipe mill is described. The synchronized control of angle and speed on PQF pipe mill is introduced. The principle of positioning control and torque balance technique adopted on this mill are also described. The effect of this control system is obvious in improvement of reliability, productivity and quality of products.

Key words: ABB control system; synchronized control; positioning control; torque balance

在无缝钢管的生产中，连轧管机是关键的金属变形机组。以前传统的连轧管机不论是浮动、半浮动还是限动形式，都是 2 辊式的，但随着人们对 2 辊轧管工艺认识的加深和生产实践的了解，发现 2 辊连轧管机存在轧制过程中因金属不均匀变形而产生的质量缺陷等问题。2003 年，天津钢管公司与德国西马克(SMS)公司合作建设了世界最先进第 1 套 3 辊式连轧管机，简称 PQF(Premium Quality Finishing)轧机，共有 5 个连轧机架，每个机架由 3 个轧辊组成孔型，孔型比传统的 2 辊式圆度好，相邻机架辊缝互错 60°角，有利于轧件的均匀变形和轧辊的均匀磨损，轧管时芯棒也是限动的、速度可控的。由于 3 辊孔型的半径差小于 2 辊，轧件变形更加均匀、平稳，使产品的壁厚精度和表面质量高，从而可以生产高合金不锈钢管等难轧品种。拥有该 PQF 三辊连轧管机的无缝钢管生产厂就是天津钢管公司 168 钢管厂，该轧机的自动化控制系统应用了世界著名电气公司 ABB 的 ADVANT-OCS 自动化控制技术，它把机械、液压及工艺与自动化控制有机的结合起来，以确保生产出高品质的钢管。PQF 连轧管机自动化控制系统的主要控制对象是：钢管连轧工艺生产过程中芯棒限动齿条机构、PQF 连轧管主机和脱管机等连轧区域主设备及芯棒循环等辅助设备。这套 ABB 自动化控制系统应用了多项先进的自动化控制技术和传动控制技术，本文论述了有创新的几项特色控制技术，包括 PQF 连轧管机的角度和速度同步控制技术以及限动芯棒系统的位置控制和转矩匹配技术等。

1 ABB 自动化控制系统简介

ABB 自动化控制系统是由基础自动化和传动控制系统 2 部分组成，其中基础自动化系统包括 HMI 操作员站和 PLC 可编程控制器，其系统组态简图如图 1 所示。

1.1 ABB 基础自动化系统

PQF 连轧管机基础自动化系统采用 ABB 公司 AC450-PLC 可编程控制器，它常用于大型工业生产的过程控制和生产监控操作。它通过 ABB 主控网络形成一个整体的 ABB 自动化控制系统。它是一模块化的系统，由标准硬件模块组成而且易于硬件组态扩容。AC450-PLC 可编程控制器能够具备许多功能，象逻辑和顺序控制包括高级 PID 和自适应

作者简介：吴凤英(1961-)，女，学士，高级工程师； E-mail: wufy8912@yahoo.com.cn； 修订日期：2007-12-14

万方数据

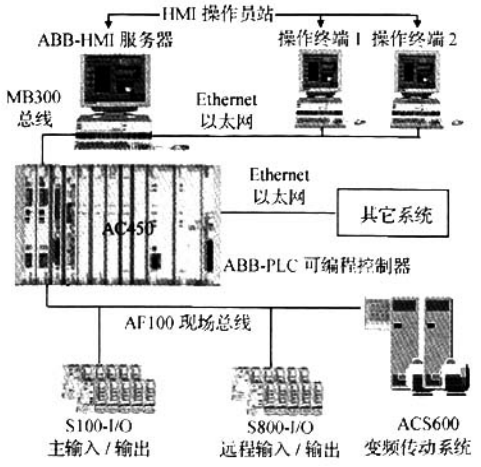


图 1 ABB 自动化控制系统组态简图

Fig. 1 Sketch of ABB automation control system

控制、定位控制等，对通讯接口模块选择有很大余地. 既可使用 S100 I/O 系列(主输入/输出模块直接连到主控制器)，还可通过 ABB 公司的 AF100 现场总线连接远程输入/输出模块(S800-I/O 系列模块)。AC450-PLC 控制器最大能处理 5700 输入/输出点，专用的 I/O 驱动模块通过 ABB 的 AF100 现场总线进行远程连接，连接 ACS600 变频传动系统、远程 I/O 等，CPU 板主要由高性能的摩托罗拉 32 位微处理器构成，能由一个或几个主板来创建理想功能的硬件配置(即多 CPU 控制系统)。PC 程序循环的执行有 3 个优先级别，循环时间选择 2 ms 到 32 s 由控制需求来设定，每个 PC 程序包括几个循环时间来执行控制功能块。

在 PQF 连轧管机基础自动化系统中采用了 4 个 CPU 进行多任务控制，其中 CPU1 主要控制限动齿条机构位置控制和转矩分配、芯棒循环区域顺序逻辑控制和辅助传动速度控制等；CPU2 主要控制连轧区换辊逻辑、调整逻辑、区域顺序控制、物料跟踪等；CPU3 主要控制连轧区主传动速度控制和轧辊液压伺服压下控制系统网络通讯等；CPU4 主要控制连轧区主传动位置同步控制和 HMI 操作员站的通讯等。

HMI 操作员站通过 MB300 总线连接 PLC 控制器，操作人员可直接对现场设备进行监控操作，主要功能有：①轧机系统的自动/手动的启停；②轧制工艺参数设定和实时监控；③事件与报警清单的显示与打印；④通讯网络诊断显示等。HMI 操作终端的主要画面有启动画面、设定画面、维护画面、事件画面和报警画面等。

该自动化控制系统的控制网络则是以 ABB 的专用 Ethernet 以太网(基于 TCP/IP 协议的工厂以太网)、MB300 总线、AF100 总线等 3 种总线联接的方式进行控制，以 3 种总线贯穿其中，连接 AC450、S800 I/O 以及传动系统的集成自动化控制系统，它具有以下几个特点：①可以将各自动化控制系统相互连接起来，而且还将自动化控制系统连接到 HMI 操作员站计算机；②能以高达 10 M/s 的速度实现网络通讯解决方案；③系统启动速度快、网络连接简化；④灵活性大，现有设备可以不受影响地随时扩展。

1.2 电气传动控制系统

PQF 连轧管机传动控制系统采用 ABB 公司先进的 ACS600 多传动交流变频传动控制系统，它由 1 台整流装置通过直流公共母线驱动多个变频逆变装置，实现了交流电机的高效率、高可靠性变频传动控制，是交流变频传动系统的理想产品。直接转矩控制(DTC)技术是 ABB 特有的交流变频传动控制专利，拥有优异的动态性能及过载能力，使用脉冲编码器作为反馈，静态精度可达 0.01%，动态精度可达 0.2%。DTC 具有卓越的抗干扰能力，在额定转矩阶跃给定条件下。电机的转矩响应时间小于 5 ms，变频传动装置可以做到任何启动或停止都是平滑、快速和无冲击的。

2 PQF 连轧管机角度和速度同步控制技术

在 PQF 连轧管机主电机传动控制中的 ACS600 变频传动系统，采用了 ABB 开发的高精度位置控制 APC 软件控制技术。由于 PQF 三辊连轧管机采用了单辊传动方式，即每 1 个轧辊都由 1 台单独电机驱动，该轧机中的每一机架的 3 个轧辊都由 3 台独立电机驱动，相应的减速机也是 3 台，这就比传统轧机对控制系统提出的要求更高。APC 软件控制技术引入到 3 辊同步控制中，使得 PQF 轧机每个机架的 3 辊同步控制精度指标达到：静态为 0.01%，动态为 0.2%；位置控制的同步精度(轧辊的角度)为：静态为 0.5°，动态为 3°。这相当于一个完整减速机驱动 3 个辊的控制精度。

PQF 连轧管机主传动 ACS600 变频控制系统与 PLC 控制系统结合起来实现每个机架的 3 台主电机的同步控制，每一机架的 3 台电机由 1 套

万方数据

ACS600 多传动变频器控制,包括 1 个进线整流单元、3 个逆变单元,它们通过 1 组直流母线连接,保证了 3 台电机整流电源部分的一致性。PQF 连轧管机 3 辊同步控制系统原理图见图 2[1]。

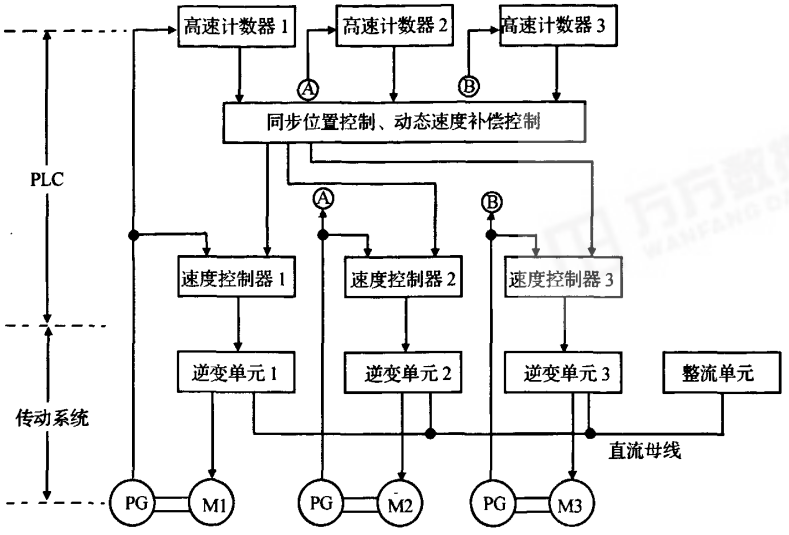


图 2　PQF 连轧机同一机架 3 辊同步控制系统原理图

Fig. 2　Synchronous control system of three rolls on same stand of PQF pipe mill

每台电机(M)均装有自己的脉冲编码器(PG),每台电机的脉冲编码器反馈的脉冲经 1 块胡伯纳(HUBNER)公司的脉冲分配板分别作为速度和位置(角度)反馈。每一机架有 1 个高速计数处理模块,专门控制 3 辊同步。PLC 自动化系统的高速计数器模板采集 3 台电机的位置和速度信号用于 3 辊同步位置控制和动态速度补偿控制。

3　PQF 连轧管机中限动芯棒系统的位置控制和转矩匹配技术

PQF 连轧管机组中最关键的辅助设备就是连轧机前台的芯棒限动齿条机构,也就是限动芯棒系统。由于该机构采用齿轮齿条机械结构,因此又称为芯棒限动齿条设备。在钢管轧制期间芯棒是限动的、速度是可控的,在整个轧制过程中芯棒速度是恒定不变的,从而确保钢管连轧后的壁厚精度。芯棒限动齿条设备由 4 台交流电机通过 4 个减速机带动齿轮啮合齿条来实现驱动齿条机构,其中每台电机额定功率为 310 kW,额定转速 611 r/min,最大弱磁速度 650 r/min,电气传动控制系统采用 1 组 ABB 公司的 ACS600 多传动变频调速控制系统,该传动系统主要是由 1 个整流单元和 4 个逆变单元组成。此外芯棒限动齿条设备还附带 4 个液压制动器,主要用于紧急制动,当发生事故急停或者严重故障时,制动器工作,使得设备受到保护,避免事故扩大化。

限动芯棒系统的速度控制原则是:首先芯棒限动机构在零位置锁紧芯棒后启动快速插入行程,之后钢管咬入开始轧钢,限动机构进入恒定的限动速度运行,当钢管尾部出连轧管机第 5 机架后,芯棒限动行程完成减速至零速停止,同时钢管进入脱管机并由脱管机将其与芯棒脱离,当钢管尾部从芯棒中脱出后约一秒钟解锁释放芯棒,之后限动芯棒系统反向启动执行最后的返回行程直至零位置停止,同时解锁后的芯棒被运输向前运行,通过脱管机并从脱管机出口的辊道上拨出,然后进入芯棒循环系统。限动芯棒系统的主要技术参数见表 1。

表 1　限动芯棒系统技术参数

Table 1　Technical parameters of retained mandrel system

电机速度/(r·min^{-1})	−650～+650
齿轮传输比	5.76
编码器/(脉冲·转$^{-1}$)	2048
总行程/mm	15483
限动齿条行程(插入+限动)/mm	12450
限动芯棒定位精度/mm	1
插入最大速度/(m·s^{-1})	2.2
插入最大行程/mm	4000
咬钢速度/(m·s^{-1})	0.6～1.3
限动速度/(m·s^{-1})	0.6～1.3
返回速度/(mm·s^{-1})	1874
加、减速率/(m·s^{-2})	3

万方数据

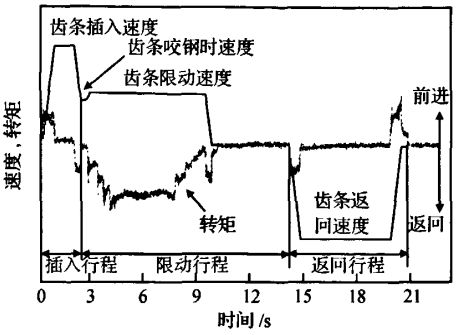


图 3 限动齿条运行速度/转矩曲线图

Fig. 3 Velocity and torque of retained rack

限动齿条运行周期分为 3 个阶段：①限动齿条高速插入行程；②轧制期间的限动行程；③轧制结束后限动齿条返回行程。其速度和转矩如图 3 所示。

从图 3 中可以看出，限动时电机处于第二象限为再生发电状态，不管转矩如何变化，控制系统将使芯棒限动齿条的变频器直流母线电压升高，整流部分反组桥工作，使得电能反馈电网，从而保证了恒定的限动速度。

在芯棒限动齿条运行各行程中，均采用了 ABB 公司独特的位置控制模式，该模式控制的思想是利用主电机的速度反馈脉冲编码器通过逆变器的微处理器计算出反馈位置值，与给定的运行位置值进行比较，经过计算，控制变频器最佳输出值。当给定位置值与反馈位置值比较的结果大于停车范围值时，则按设定的速度运行；而当其结果小于停车范围值时，则按计算的速度运行，逐渐减小速度设定值，电机速度成抛物线运行。这样，保证了所控制位置既按照要求速度运行，又达到了快速停车，同时得到了位置停车所要求的精度。

限动芯棒系统的 4 台电机均有独立的逆变器驱动，在它们之间负载转矩要求是均衡的，目的是为了避免在它们之间推拉受力而互成负载，影响限动齿条的稳定运行。为此采用了转矩匹配控制模式，其模式控制思想是分别从 4 台逆变器中进行转矩采样，求得其转矩平均值，然后进行计算，分别将计算结果进行转矩-速度变换，最后把此计算速度值叠加到原速度设定值来控制电机。

4 结语

(1) PQF 轧机自动化控制系统运行稳定，PQF 生产线电气设备故障率低于 1%，生产节奏高达每支管 24 s，为无缝钢管生产效率最高的限动芯棒连轧管机组，年产量在 2007 年已超过 60 万 t(原设计为 35 万 t/a)。

(2) 由于自控系统的控制精度高，使得产品质量高、成材率高。钢管壁厚精度始终保持在一个较高的水平，常规生产的截面精度可控制在±5%，整管壁厚精度可控制在±8%。基本上消除了裂孔和拉凹缺陷，有效地提高了成材率，每月成材率都高于 92%。

(3) 由于采用 3 辊轧制工艺，使机架的刚性更高、受力均匀、单辊受力减小，使轧制薄壁管和难变形钢的能力得到提高，已成功轧制不锈钢钢管和其它高合金钢管。

(4) PQF 三辊连轧管机完美的技术特性吸引了大量无缝钢管企业，世界上新建无缝钢管连轧机大多采用了此类型 3 辊式连轧管机，因此本文所述 PQF 轧机的自动化控制技术具有很好的推广意义，尤其是 PQF 连轧管机的角度和速度同步控制技术以及限动芯棒系统的位置控制和转矩匹配技术的应用，对 3 辊式连轧管机的控制技术起到了积极的推动作用。

参考文献：

[1] 刘宏安，李建湘. 连轧机单辊传动对电控系统的要求及实现方法[J]. 冶金自动化，2004，28(4)：56. (LIU Hong-an, LI Jian-xiang. Requirement of Electric Control System and Realization of Single-Roller Drive of Continuous Mill[J]. Metallurgical Industry Automation, 2004, 28(4):56.)

万方数据