

「传动控制」

# 6RA80多传动控制系统在无缝钢管热连轧生产线的应用

文/天津电气科学研究院有限公司 刘 奇 吴 迪 梁素芬 穆太青 李庆元

6RA80系统及天津电气科学研究院有限公司 ZX系列产品在无缝钢管热连轧生产线上的应用，通过对某生产线连轧工艺等的描述，介绍了其特点和应用。并针对生产线最具特色的多传动主从控制芯棒限动机组，结合对比上一代6RA70控制系统，对最新一代控制系统6RA80的调试与逻辑保护进行详细的阐述。

钢管是一种经济钢材，是钢铁工业中的一项重要产品，是各种机械和建筑结构上的重要材料，大的方面，包括石油钻采、冶炼和输送；小的方面，包括化工、建筑；生活应用上更是广泛：飞机、汽车、锅炉、医疗器械、家具和自行车等等；而在国防应用上，像核能、火箭、导弹和航天工业等，钢管都扮演着重要角色。由此可见，在国防工业、科学技术和经济建设中，钢管占据着不可替代的地位，甚至被称为工业“血管”。

作为钢铁产品的重要组成部分，根据其制造工艺及所用管坯外形不同，分为无缝钢管（圆坯）和焊接钢管（板、带坯）两大类，而无缝钢管又分为热轧（挤压）无缝钢管和冷拔（轧）无缝钢管两种，在此，我们介绍的是热轧无缝钢管。本文以某公司 $\phi 89$  mm热轧无缝钢管热轧生产线电气及其自动化系统为例，来介绍其控制和应用。

## 无缝钢管生产线简介

热轧（挤压无缝钢管）的生产工艺流程主要包括：圆管坯→加热→穿孔→三辊斜轧、连轧或挤压→脱管一定径（或减径）→冷却→坯管→矫

直→水压试验（或探伤）→标记→进库。其中穿孔、轧管和定减径是热轧无缝钢管生产主要变形工序。

### 1. 穿孔

将实心的管坯变为空心的毛管，就是初步定型，将轧件断面定为圆环状，由穿孔机实现。穿孔分为恒速轧制和变速轧制，变速轧制出的毛管管型更好，控制方面也更为复杂。

对穿孔工艺的要求是：首先要保证穿出的毛管壁厚均匀，圆度误差小，几何尺寸精度高；其次是毛管的内外表面要相对光滑，不得有结疤、折叠、裂纹等缺陷；第三，为了使毛管的终轧温度能满足轧管机的要求，穿孔速度和轧制周期（包括毛管横移和拨料）都要满足后续轧管机组的生产节奏。

### 2. 轧管

荒管的概念，简单的说就是厚壁的毛管经过轧管机组轧制出壁厚接近成品的薄壁管子；荒管的壁厚值是根据后续的工序减径量和经验公式确定的。

对于此轧管工序（毛管变荒管），最重要的是荒管一定要具有较高的壁厚均匀度；其次是保

证荒管的内外表面质量。

限动芯棒就是轧制时芯棒以限定速度控制运行。轧管时，芯棒是限动运行，速度由限动齿条控制；芯棒的给入速度要控制在咬入速度和轧出速度之间。轧制钢管过程中，为了管壁厚度均匀，芯棒速度要保持恒定，而对于不同规格管子，芯棒的速度也有所不同。轧管完成后，限动

齿条拉住芯棒，用脱管机带动荒管向前移动，从而将芯棒脱出，芯棒脱出完毕，由限动齿条高速拉回，送离轧机，退出轧线，经过冷却、石墨润滑等工序，准备下一次轧制。芯棒数量由轧制节奏决定，此套机组，轧制节奏在30 s一个周期，经过计算，6至7根芯棒即可满足要求。连轧机组的主要部件的工艺布置图如图1所示。

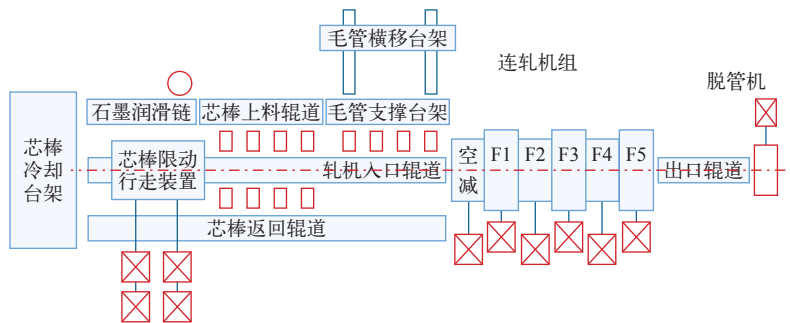


图1 工艺布置简图

### 3. 定减径（包括张减）

钢管直径由大变小，称为定径；通过定（减）径机来实现。

对定减径工艺的要求是：首先在一定的总减径率和较小的单机架减径率条件下来达到定径目的；第二，将一种规格管坯生产出多种规格（各种管径）成品管；第三，对钢管的外表面进行再加工，提高外表面质量。

## 电气传动控制系统

为了节约生产线电气经济成本，又要保证系统可靠性，在该无缝钢管生产线的三个区域所有主动传动部分采用直流电动机，调速系统全部采用由天津电气科学研究院有限公司生产的ZX系列直流调速产品。

### 1. 6RA80全数字控制装置简介

ZX系列直流传动控制系统全部采用西门子公司6RA80全数字控制装置，可实现单象限、四象限运行，基速以上自动弱磁调速。速度检测元件选用增量式脉冲编码器，以提高速度的控制精度。全数字控制系统中，采用带有调节角预控的电流调节回路，提高了系统的动态性能。逻辑无环流切换死时最短为2~3 ms。采用数字触发脉冲的形成与控制，脉冲对称度好。全数字控制还包括EMF计算及磁场特性测试等，并可实现电流环和速度环的自动优化。该系统具有80余种故障

自诊断功能，系统参数不受温度、时间变化的影响，因而具有调试方便，参数易于量化和保存等诸多优点。通信方面，采用Profibus-DP的方式与上一级自动化实现通信，在网上实现速度设定以及速度、电压、电流实际值的采集。装置有过电压、过电流、超速、失磁等保护。

### 2. 6RA80控制系统的调试与应用

#### (1) 调试工具

6RA80的调试工具有SCOUT和STARTER，通过PC adapter USB A2与计算机连接。这里我们选用经济又方便的STARTER来调试。目前STARTER的最新版本是4.5，4.5版本的STARTER的方便之处在于不用卸载之前旧版本的STARTER，安装时会自动卸载。省去了手动卸载旧版本甚至重做系统的麻烦。

6RA80直流调速装置与PC连接的方式最方便的是通过Profibus口进行连接。不过由于占用了Profibus端口，影响了与上一级自动化的通信，所以DP头要选择带有编程口的型号，一个网段用一个即可。上一代的6RA70的串口连接在6RA80里仍有保留，不过串口改成了端子式，对于多传动系统，由于要针对每个装置分别调试，使用起来非常不方便。

#### (2) 调试与应用

6RA80直流调速器是上一代6RA70产品的升级，调试方式和6RA70也是大同小异。不过两者最大不同在于Siemens上一代直流调速器6RA70

系列装置的模拟量输出端子12/13专用于外接示波器。现场调试过程中，可把示波器接在这两个端子上，通过读取电枢电流波形判断直流侧是否缺波头。而新一代的6RA80装置，硬件设计上没有这个专用功能的端子，其他方式读到的也只是电流有效值而非实时波形。事实上，6RA80系列把这一功能改进到调试工具里，工程师无需使用示波器就可以看到电枢电流和电枢电压的波形。通过参数r52952.0提供了电动机电枢电流检测的扫描值，它们不是有效值而是直接来自于电流反馈，通过STARTER的trace功能可看到这些信号的波形。值得一提的是在小电流观测电流一个周期6个波头时，由于ZX系列产品硬件（双互感器）限制，在trace功能的设置需要要做一下更改：

Meas.value acquisition: Isochronous recording-time-limited trace

Factor: 1

Trace cycle clock: 0.25ms

Duration: 682

拍到的电流波形如图3所示。

如果用Meas.value acquisition: Isochronous recording - endless trace，扫描周期最小只有2 ms，是拍不出准确的电流波头的，见图2。

## 芯棒限动机组电气保护方案

现代无缝钢管生产中有着多项领先技术，限动芯棒连轧管机技术尤为突出。它集中体现了无缝钢管生产的连续性、高效率、机械化及工业自动化发展趋势。也代表了一个国家钢铁、钢管生产的技术水平，是一个国家钢铁企业，科技水平集中体现的一个重要方面。因此芯棒限动机组的电气保护也尤为重要。

限动芯棒齿条由4套相互独立的传动电动机经过4套同样独立的变速箱，再通过4个传动轴连接4个传动齿轮刚性咬合在一起的。因此4台电动机要保持转速一致。但是如果4台电动机同时采用速度环控制，在运行过程中每台电动机的转矩无法保证一致，从而造成磨齿现象甚至会造

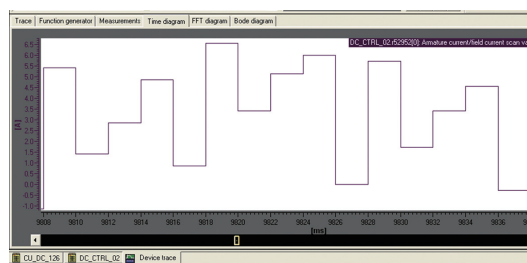


图2 电枢电流一周（20 ms）波形

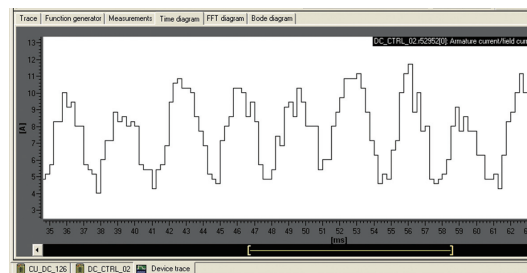


图3 电枢电流一周（20 ms）内的6个波头

成齿条抖动。为了避免这一现象，我们采用一个速度环，三个转矩环的一主三从控制方式。1号电动机控制装置作为主系统，速度环控制，接收电动机编码器信号作为速度实际值反馈信号；控制2号、3号、4号电动机的装置作为从系统，接收来自主电动机的转矩给定值，实现转矩环控制，跟随主电动机的转矩转动。

4台做一主三从的装置之间的数据通信采用最为可靠的USS协议设备点对点通信，环形对接，保证信号的高速传输。单线图见4。

整套连轧系统是一个无急停OFF2（即无自由停车）系统，从芯棒限动到连轧F5机架在异常状态必须保证同时快速停车OFF3（即反制动停

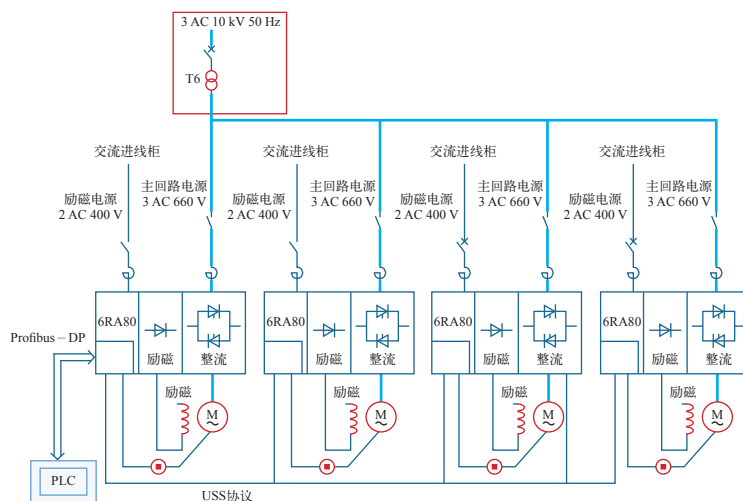


图4 多传动限动单线图

车)。如果自由停车,将会造成机械撞击或者拉断钢管,损坏轧辊,会严重影响生产,造成重大经济损失,所以急停功能在该系统中一定要被禁止。

对于芯棒限动一主三从系统,不仅要接收来自PLC的快停信号(并非装置故障导致需要快停的情况),还要在装置之间进行限制保护。当系统中任意一套或几套装置出现故障,造成使能禁止时,其他的装置不足以保证生产的顺利进行甚至会造成齿条飞车撞击,此时其他装置需要自动

切入OFF3快停状态,以减小损失。

在限动齿条快速停车时,4个装置同时OFF3时,也会造成4个齿轮相互咬齿较劲的情况,所以OFF3也要做主从逻辑。利用6RA80系统的USS协议通信和自由功能块搭建保护逻辑(见图5),如下:

1) 装置无故障快停, PLC只发送主装置快停信号OFF3,从1、从2、从3不接收PLC快停信号,跟随主转矩制动。

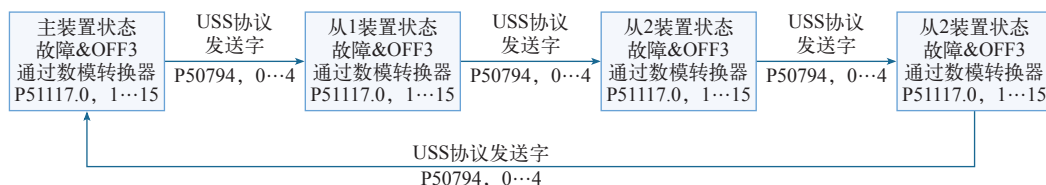


图5 一主三从保护逻辑示意图

2) 主装置故障,从1接收主装置故障信号、从2接收从1 OFF3信号、从3接收从2 OFF3信号,同时进入OFF3快停状态。

3) 从1装置故障,同样从2接收从1故障信号、从3接收从2 OFF3信号、主装置接收从3 OFF3信号,同时进入OFF3状态(因为主装置的转矩无法通过从1传至从2、从3)。

4) 从2装置故障,从3接收从2故障信号、主装置接收从3 OFF3信号,同时进入OFF3状态,从1跟随主装置转矩主从快停。

5) 从3装置故障,主装置接收从3故障信号,进入OFF3状态,从1、从2跟随主装置的转矩主从快停。

一般情况下,这种无急停系统的主从控制任意一个装置报故障,其他装置要同时进入快停OFF3,但是,为了更好地保护重量高达2.5 t的限动齿条,尽量降低咬齿对机械的损伤,在主装置的下流装置没有故障时,不要进入OFF3,要跟随主装置的转矩进行主从控制。以从2故障为例,参见逻辑示意图,如图6所示。

至于多装置故障,原则和上面是一样的,只要从装置能接收到主装置的转矩,就跟随转矩快停,如果接收不到,那就各自快停,以最大限度地减小损失。以上快停逻辑比“任何一个或几个装置报故障直接同时进入OFF3快停状态”的逻辑方式更优化、更严谨,能更好地保护电动机及机械齿条。

以上的逻辑保护在此项目调试过程中起到了

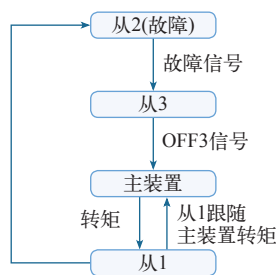


图6 保护逻辑示意图

重要作用,实现了限动齿条零撞车。得到了用户的高度赞赏。

## 结束语

较交流系统控制,直流调速系统最大的优势在于节省了大量经济成本,直流控制原理相对简单明了。同时,直流电动机起动和调速性能好,调速范围广平滑,过载能力较强,受电磁干扰影响小,满足穿孔,限动齿条等机组的工艺要求;直流电动机的转矩比较大,非常适合限动齿条这种重量大,起制动响应快的机组;直流系统维修比较便宜,又节省了维护成本。

该无缝钢管生产线调试试车完成后,投入使用生产以来,电控设备运行良好,钢管光滑均匀,外径极差0.5 mm,壁厚极差0.5 mm,限动齿条零撞车,得到用户的一致好评,成功完成生产线设计的产量和质量的业务要求,达到预期的控制效果。EA

(收稿日期:2017.10.30)

(编辑:白文亭)