

基于Profibus-DP的轧钢厂辊道变频传动控制系统

论述了整流回馈逆变和能耗制动变频两种变频传动控制系统在轧钢厂辊道传动的应用, 利用Profibus-DP现场总线控制网络将全线辊道有机集成起来, 不仅满足轧钢和热处理两大生产工艺不同的调速要求, 而且高效节能, 同时可以实现管控一体的智能化生产。

陈 钧/山钢集团济南钢铁集团有限公司



陈 钧/高级工程师

辊道作为轧钢生产企业重要的物料传输设备, 衔接加热炉、除鳞设施、粗轧机、精轧机、控冷和矫直机、冷床、剪切机、成品标号机、热处理以及入库等贯穿全线的工艺设备, 将物料从钢坯坯料入炉加热开始, 依次传输于沿线各工艺设备, 直到成品板材入库堆垛, 按照客户需求完成钢板的板材轧制和热处理两大工艺工序。辊道输送方式的优势是高效紧凑, 能够满足轧制工序的高速传输要求, 将诸多工艺设备有机地连接为一体, 而且能够方便地将故障设备解列于生产线, 以处理突发性隐患故障并及时归列, 不至于影响全线生产。正因如此, 轧钢企业的方案设计以尽可能地减少天车起重设备吊运和板车地面转运等非在线设备的使用作为评价标准之一。

关键词/Keywords

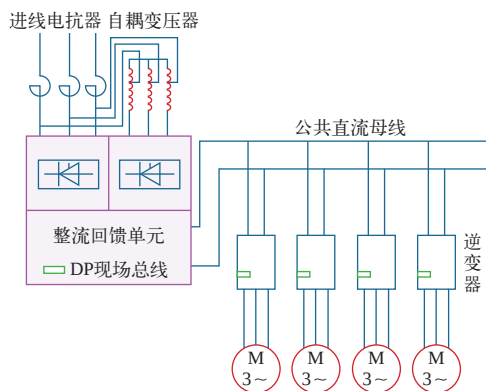
现场总线 ·
辊道 ·
变频 ·
HMI ·
轧钢 ·

辊道传动普遍采用交流变频调速方式, 具体考虑到工艺生产节奏、节能要求以及投资额度, 在高速传输、频繁起制动更换方向并且物料单重较大的加热轧制及控冷区域, 采用公共直流母线带多逆变装置驱动一组或多组辊道设备, 以整流回馈单元作为直流电源, 并将再生制动能量逆变回馈电网, 为满足工艺要求及降低电动机和线路负荷电流, 普

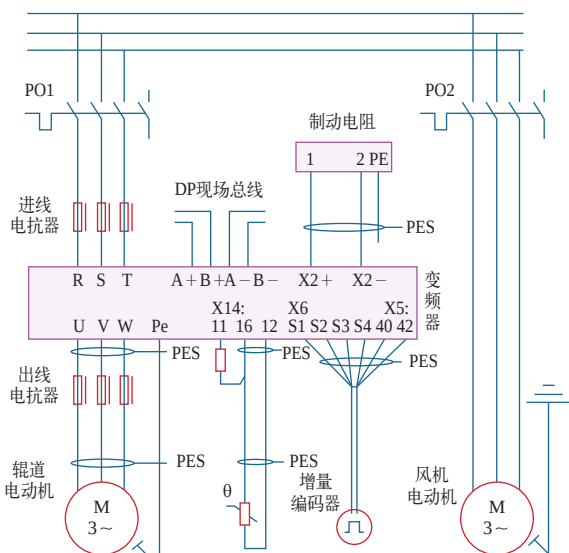
遍将电压等级提高到690 V, 绝缘性能等级提高一倍, 并采用绝缘轴承以解决 du/dt 问题的大容量专用变频电动机, 配以使用中压逆变器, 此类变频专用电动机外形尺寸远远大于相同容量的普通电动机; 在母板定尺剪切、成品检查及热处理等传输速度相对较慢且物料单重较小的区域, 考虑投资成本多采用带能耗电阻制动的交流输入低压变频器驱动单支或多支辊道。以上两种电气传动方式均能够有效解决变频传动的泵升电压问题, 满足板材的轧制工艺和热处理工艺对物料传输的调速要求, 其控制原理如图1所示。本文以基于Profibus-DP现场总线的交流输入变频器驱动辊道为例, 分析说明变频传动控制系统组成和常见问题的处理措施。

变频调速辊道传动系统组成

以控制传输要求准确度较高的成品钢板热处理线的辊道变频传动系统为例, 自动控制系统如图1b所示。电气



(a) 整流回馈单元—公共母线—逆变器辊道电动机控制系统



(b) 带能耗制动的辊道电动机变频传动控制原理

图1 轧钢厂辊道变频传动控制系统原理

主回路由断路器、进线电抗器、交—直—交变频器、出线电抗器、带屏蔽负荷电缆、辊道电动机和置于柜顶的制动电阻组成。炉底辊道电动机受高温辐射和辊道电动机长时间低速低频运行的影响特设专用冷却风机，由断路器控制上电运行，跳闸时界面报警，并且需要及时恢复。每台变频器与辊道电动机一对一传动控制，电动机设置同轴速度检测增量编码器，分辨率2048线，信号接入变频器端子，实现精准的位置控制。每台辊道电动机定子绕组内置温敏电阻，通过屏蔽电缆以电压信号接入变频器端子，为保证信号稳定可靠，电源侧与信号侧接有2.7 kΩ的短接电阻，实时检测电动机温度，根据电动机绝缘等级与允许温升在HMI界面设置超过105℃即报警停机。每台变频器通过DP通信适配器模块接入带屏蔽的DP电缆，DP电缆最多串联32台设备（包含信号中继器、DP耦合器和转换器），考虑到设备距离和信号线路干扰，DP模块带多台中继器或转换器，一台转换器一般最多串联27台变频器，需要注意的是，为避免邻近的变频器在收发DP信号时造成反射干扰，同段DP网络串接通信的DP电缆不宜太短，且DP连接器A、B压接良好，电缆屏蔽层和金属软线应良好接地。每段DP网络的末端在DP连接器上都要将终端电阻准确接入，并由开关设置，

否则将影响接入该段网络设备的稳定运行，严重者影响该段DP通信处理单元所串联的全部变频器和其他DP通信器件的稳定运行。

1. 变频器进线/出线电抗器的功能

进线/出线电抗器不仅在交-直-交变频器驱动模式中采用,而且在整流回馈单元-公共直流母线-多台逆变器的传动模式中也广泛采用,因其功能不可替代,在控制设备繁多、电网电源负荷多样复杂、波动较大及传动控制准确度和稳定性要求较高的场合尤其重要。

进线电抗器又叫电源协调电抗器，能够限制电网电压突变和操作过电压引起的电流冲击，减少整流单元产生的谐波电流对电网的污染，有效保护变频器，改善功率因数，能够抑制谐波电流。

出线电抗器主要作用是补偿长距离负荷线路寄生分布电容的影响,能够抑制变频器输出谐波,降低变频器噪声,有效地扩展变频器输出线路距离,对于控制柜距离辊道电动机较远的应用现场,出线电抗器不可或缺。实践证明出线电抗器能够扩展2倍以上负荷线路使用距离,具体的出线电抗器与允许输出非屏蔽电缆长度如下表所示。

表 输出滤波电抗器与允许导线长度

变频器功率/kW	额定电压/V	非屏蔽导线允许的最大长度/m	
		无输出电抗器	有输出电抗器
4	200~600	50	150
5.5	200~600	70	200
7.5	200~600	100	225
11	200~600	110	240
15	200~600	125	260
18.5	200~600	135	280
22	200~600	150	300
30~200	380~690	150	300

另外,在变频器的整流单元与逆变单元之间的直流环节串联接入直流电抗器,可提高变频传动系统功率因数,在单套大容量设备上应用较多。

2. 变频器出线负荷电缆

为避免变频器输出负电荷流中的高次谐波对邻近现场总线通信信号造成干扰,以及同路近距离或存在交叉敷设控制线路所导致线路耦合干扰,如电动机的温度检测信号线路和速度负反馈

增量编码器信号线路很难做到与负荷线路拉大距离或没有交叉,并且敷设线路较长。此时,变频器出线侧负荷电缆选用带屏蔽层电缆,并且良好正确地接地,能够有效降低干扰程度,提高系统稳定性。

3. 两种电动机控制方式的应用比较

整流回馈单元—公共直流母线—各辊道电动机逆变器的控制方式,辊道电动机在再生制动时能量通过公共直流母线被其他电动状态的辊道电动机所利用,没有电动状态的情况下可以由回馈单元反馈给电网,节能降耗。存在的问题是一旦发生电网掉电等异常时,若回馈单元正工作于逆变状态,将导致逆变失败。设备事故案例中有整流回馈单元数组快速熔断,甚至晶闸管烧坏的情况。采用IGBT的整流回馈单元价格昂贵,在电网稳定的地方多不考虑。

带制动单元制动电阻的能耗制动方式,技术成熟、稳定可靠,缺陷是不能利用再生制动能量。有的变频器需要输入制动电阻参数,否则运行中的变频器易受到损坏。

辊道Profibus—DP现场总线控制网络系统构成

Profibus—DP现场总线协议结构以ISO/OSI

参考模型由下至上简化为物理层、数据链路层和应用层三层,是现场总线应用最多的一种。它采用RS 485差分平衡传输方式,可抑制噪声,通过总线和主从控制的设计实现分布式自动化系统构造,控制网络系统稳定性受周边电磁干扰环境、所接入的现场设备数量及通信线路距离长度影响较大,故障状态表现不一。

以Profibus—DP现场总线连接变频器与PLC的辊道变频传动控制系统网络组态如图2所示。控制系统以西门子S7—400PLC主机CPU为核心,通过通信处理单元CP434模块连接现场数百台辊道变频器或逆变器、支持DP通信的检测器件、测量器件、主令控制器件和界面监控器件。通过PLC的通信处理单元和DP总线将各组或各支辊道变频器组网,全部热处理线入网辊道变频器总计为285台。由开关量输入输出模块采集辊道上间隔设置的钢板检测器件,以判断钢板的实时传输位置并适时启动或停止相应的辊道变频器,达到节能效果。钢板实时传输位置的检测,在冷床以前的轧制区域,由于钢坯坯料和轧制后母板温度都比较高,需设置热金属检测器进行检测。在冷却后的母板、后续剪切定尺及热处理工序,辊道上以一定间隔设置对射式光电开关(成品板材输送区段设置基于钢板表面漫反射的光电开关)的检测。检

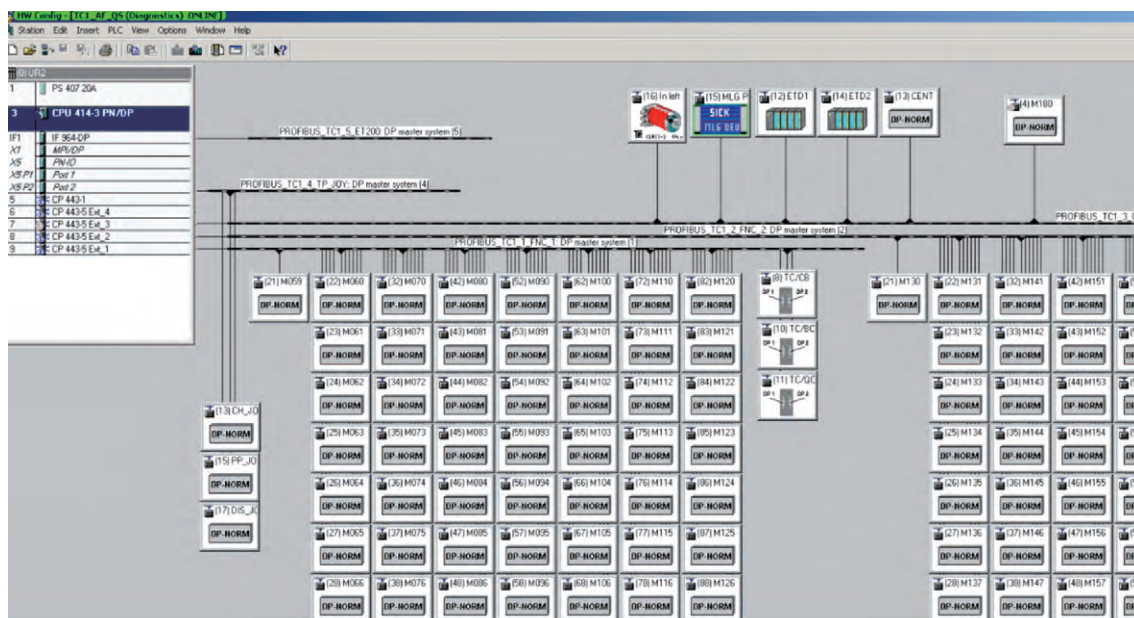


图2 基于Profibus—DP现场总线的辊道变频传动控制系统网络组态(部分)

测器件信号由PLC判断钢板在辊道上输送的具体位置,并且判断每支钢板的头部和尾部,基于此即可测算每支钢板的长度,也可通过接收来自生产管理信息的钢板信息检测出每支钢板长度信息,以此来实现钢板传输过程中头部将要到达的邻近一支/组辊道适时起动,钢板尾部刚刚离开的一支/组辊道及时停止运行,以节约电能消耗。为避免瓢曲钢板或信号干扰异常导致的钢板检测器件信号瞬间丢失,在PLC系统中以软件滤波或信号线路接地屏蔽的方式解决。

1. Profibus-DP现场总线的组网链接

Profibus-DP现场总线控制系统用符合RS 485标准的DP电缆和连接器组网连接。DP电缆为带屏蔽金属网和屏蔽金属箔的双绞铜线电缆,在设备连接器端屏蔽层应良好接地压接。对于远距离控制子站或检测器件,变频器/逆变器则通过光纤和光电信号转换器实现互联。其中,塑料光纤光纤适用于50 m内,玻璃纤维光纤适用于1 km内,超长距离的加装中继器,串联中继器最多不可超过4台。每段连接设备不超过32台,DP地址分别设置。每段网络末端设备的DP连接器终端电阻应良好接通在线,否则极易造成该段网络设备通信不稳,控制异常。

2. Profibus-DP现场总线的控制与数据

Profibus-DP现场总线不仅传输控制指令,还可将入网连接设备/器件的检测数据或者状态数据上传给PLC的CPU,以供计算分析,进一步参与决策控制,其中可以方便直观地采集设备工况状态数据并显示于主控室界面,便于操作工掌握设备和工艺情况。如辊道电动机变频器的运行电流、转速及电动机实时温度等数据都可以通过DP总线上传,经处理计算后,可以判断辊道电动机运行工况是否正常,另通过显示于HMI控制界面的辊道电动机的电流、转速和温度以及诸数据的棒状图,能够准确查找判断出故障电动机,通过分析原因,避免长期停转的事故损失。辊道电动机变频器通过Profibus-DP网络上传运行状态和采集数据的设置如图3所示。如运行频率、运行速度、实际速度(编码器检测值)、输出电压、输出电流和电动

机温度等实时参数均可由上位的PLC采集利用。

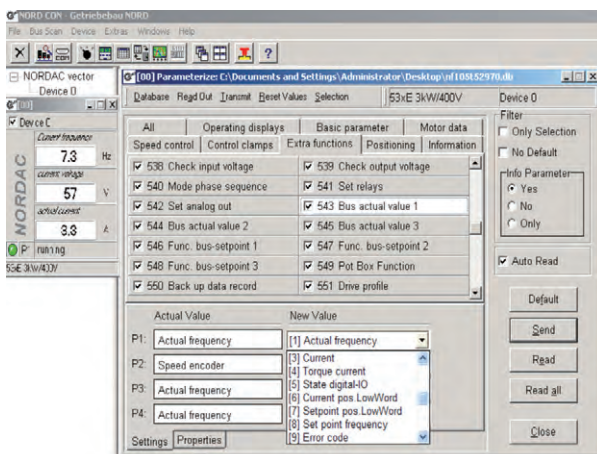


图3 运行中辊道变频器及其DP上传数据

轧钢厂物料传输辊道作为重要的轧钢生产配套设备,不仅担负着输送物料连接各工艺设备的任务,而且能够协调配合各工艺设备的传动控制要求。尤其在加热-除鳞-粗轧-测宽-精轧-测厚-快冷-矫直工艺流程的轧制环节,辊道输送物料需满足不同设备、不同工艺的送料要求。如粗、精轧机的轧制咬钢和抛钢,控冷设备不同规格、不同钢种及不同水量时的输送速度,成品钢材热处理时根据不同钢种、不同规格及不同热处理工艺等都要求物料输送辊道传输速度相应地予以配合。通过Profibus-DP现场总线结合PLC技术组成控制网络,既可采用单设的PLC控制系统,也可直接集成到各轧制工艺设备主体控制系统的PLC中,前者可通过DP总线与工艺设备主体控制系统PLC进行通信连接,实现联锁信息和工艺数据交互。作为上位机的控制系统服务器或HMI客户端,通过以太网接收来自生产管理系统EMA信息,结合钢板热检、冷检器件或者母板钢板喷号机所喷ID号码标志,与分设于传输线上的识码器实现对每支母板/钢板实时传输位置准确跟踪,从而实现工厂级生产过程控制自动化和生产调度数据信息相结合的管控一体化。每一支钢板产品都具有从原料到成品的实时数据信息追踪,并自动建立数据库导入到成品库存信息库中,直接面向客户,实现高效且贴近客户需求的柔性制造和成品质量追溯的质保体系。

基于WinCC的HMI界面信息

丰富的HMI界面故障警示信息是该控制系统的一大优势。监控整流回馈单元工作状态、辊道电动机温升、变频器供电主回路和风机电动机断路器状态是否异常,变频器运行数据和故障代码等纳入WinCC HMI界面信息监控,一旦出现异常,即刻显示于HMI界面信息行,便于及时分析处理故障。基于WinCC的辊道变频传动控制系统HMI监控界面如图4所示。

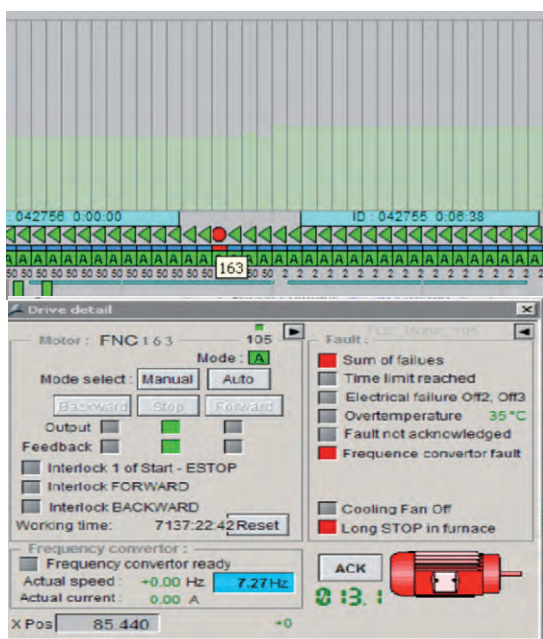


图4 基于WinCC的辊道变频HMI监控界面

基于Profibus-DP现场总线的变频器/逆变器驱动辊道电动机,再生制动能量由整流/回馈单元回馈电网,或由制动单元及制动电阻消耗掉。以此构成的轧钢厂辊道传动系统,不仅能够满足粗/精轧机咬钢和抛钢高速协调的工艺要求,以及热处理炉为保护炉内充氮无氧的微正压而设计的物料进出炉门瞬间高速传输要求(变频器输出频率高达100 Hz);而且在处于物料待命时,轧制线辊道能够快速停止,出于保护热处理炉炉内辊道受热均匀不变形的考虑,只运行于2 Hz的低频低速状态,控制系统均能实现。轧钢厂辊道变频传动控制系统不仅能够实现物料传输及其从钢坯到板材产成品的全线跟踪,而且能够配合轧制和热处理

各工艺设备对物料不同的传输速度要求,调速范围广,动态响应迅速,控制准确度优良。

结束语

从坯料、母板、半成品、成品到热处理处理的钢板生产全线辊道变频传动输送,不仅实现快速节能的物料传输和准确跟踪,使整条轧钢产线不同工艺设备之间高效衔接联动,还能够便捷地进行故障设备的解列处理与修复后快速归线,工艺事故(如轧废或性能不合等)损失大幅降低,使工厂级高效高速生产成为现实;而且对于产品性能、成分检验判定以及质量回溯亦具有重要意义,甚至能够给前面的钢种冶炼铸造工序提供可借鉴的具体数据,对于最终板材的质量或成分性能直接锁定钢水炉号,冶炼工技和操作人员可以参照修正相关冶炼工艺参数与操作。

参考文献

- [1] 万鲁愚. 新一代钢铁厂协同智能管控中心研究[J]. 冶金自动化, 2014, 38(4): 1-6.
- [2] 阮毅, 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 4版. 北京: 机械工业出版社, 2010: 76.
- [3] 陈钧. 几种基于PLC技术的实用控制程序设计[J]. 制造业自动化, 2008, 30(4): 99-102.
- [4] 马小亮. 变频调速典型控制系统(三)[J]. 电气传动, 2012, 42(3): 73-80.
- [5] 陈钧. 热处理钢板传输跟踪控制技术[J]. 金属热处理, 2014, 39(2): 140-145.
- [6] 何衍庆, 黄海燕, 黎冰. 集散控制系统原理及应用[M]. 3版. 北京: 化学工业出版社, 2009: 97.
- [7] 刘泽祥, 李媛. 现场总线技术[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2011: 112.
- [8] 潘永湘, 等. 过程控制与自动化仪表[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2011: 136.
- [9] 张燕宾. 变频器的内部控制电路(一)[J]. 电气时代, 2011(3): 76-81.
- [10] 陈钧. 基于PLC和变频传动的钢包喂线自控技术[J]. 电工技术, 2008(5): 51-53.

(收稿日期: 2015-02-10) EA