基于S7－300PLC技术的抛丸机控制系统

抛丸机控制系统采用西门子S7－300PLC和Profibus－DP现场总线技术，由控制服务器、HMI操控端、变频传动输送辊道和抛丸机本体检测执行器件和设备组成，实现钢板信息接收及其规格参数实时检测、抛板速度和磨料剂量调节控制、钢丸磨料洁净清理、钢丸磨料在线风洗分离循环利用、抛丸机整体安全监控以及工艺数据自动存档等功能。经过实践证明设备性能优良，且自动高效安全。

陈　钧/山东济钢合金材料科技有限公司

陈　钧/高级工程师

关键词/Keywords

抛丸·

磨料剂量·

钢板·

PLC变量表·

0　引言

抛丸机广泛应用于热处理、探伤、铸造、防腐、金属加工和高纯度配方冶金等领域，其功能是对金属材料或构件进行表面洁净处理，去除表面锈迹等金属氧化物和其他杂物，以便开展后道工序。工作原理是：抛头高速旋转的叶轮将钢砂丸粒高速抛射到被抛物件表面，击打磨削掉表面杂物。自动化连续生产式钢板抛丸机即是大多数轧钢厂和热处理生产厂所必备的基础设备。

1　钢板抛丸机设备组成及其功能

自动化连续生产式钢板抛丸机由输入辊道、本体设备和输出辊道组成，本体设备内部同样由辊道传输，全部辊道交流变频传动。抛丸机本体设备具体包括入口测宽测厚光栅、辊道及其上下两列布置的抛头、钢丸流量控制磁封阀并布料器、上侧刮辊刷辊及其升降装置、钢丸风洗循环利用及上下料仓并斗式提升机、除尘系统及灰屑杂物倾卸装置和加丸口等。在抛丸机入口检测区，设置钢板测宽、测厚光栅，所检测数值由控制系统采集判断，测宽光栅数据用于适量地起动布置于钢板传输辊道上下两面的抛头对数，以适合钢板宽度，避免漏抛和空抛耗能耗料的发生。测厚光栅对行进中的钢板实时厚度检测，钢板传输速度通过第一辊同轴增量编码器检测，据此两项数据可计算判断钢板的瓢曲度和遗留异物情况。抛板作业时，钢板的传输移动速度和抛丸钢砂流量配合是关键。而保证抛丸抛投强度的另一关键参数是丸料抛投初速度。由于采用4极高速电动机，在电动机（37 kW）丫－△起动完成后正常工作期间是保持不变的。抛丸作业完成后，钢板上表面落满钢丸以及被磨削击打掉的氧化铁皮碎屑，对其进行干净彻底的清理，是自动化连续生产式钢板抛丸机的重要功能。为保障钢丸磨料循环使用和确保抛丸作业效果，钢丸磨料的重力风洗分离系统发挥着不可替代作用。

2　钢板抛丸机控制系统构成

钢板抛丸机控制系统由电气室、主控室和本机控制端三部分构成。

可编程逻辑控制器（PLC）控制系统CPU模块主机设置在电气控制室，采集各分体设备供电回路的断路器分合闸状态；通过CP通信模块与输入输出辊道变频器、机旁控制柜ET200S PLC子站和主控室ET200PLC子站通信；通过模拟量输入模块就近采集各个抛头电动机的实际负载电流数值，抛头电动机负载线路以75 A/4～20 mA电流互感器先行信号转换，可避免模拟信号长距离传输易

受干扰问题。PLC控制系统设备组成通信链接组态如图1所示。钢板测厚光栅、各辊道变频器、操作台和本机PLC控制子站均以各自地址集成进入Profibus－DP控制网络，从而进行信息传输。机旁控制柜主要承担机内28支辊道电动机变频传动控制，以及分布于机体各处的测宽测厚光栅、入口第一辊道上的测速增量编码器、10套抛头流量磁封阀控制器、刮板刮辊与刷辊升降位移编码器及上下限位、超高超低限位、各料仓料位检测超声波接近开关和10套检修舱门安全锁闭压力开关等控制信号采集。主控室设有操作台、HMI操作界面和WinCC二级服务器，实现抛丸机送电开机，停机断电；和手动、自动、维护操作模式转换及其各自的相关设备参数人工修改设置。控制系统能够通过工厂MES信息系统，接收所要处理钢板的钢种规格等各种生产信息参数，机内所设测厚测宽光栅检测数据与之对照，差异较大者，系统予以报警显示，并提示给操作工。

抛丸机控制系统控制功能主要有：①以相匹配的钢板移动运输速度和抛丸剂量完成完美的钢板表面清理；②抛丸后，能够及时地清理钢板表面积落的钢丸，以及表面附着、遗落的灰屑；③钢丸风机重力清洗循环再利用；④整机开机起动安全条件状态和运行作业过程中安全状态的自动实时监控。上述诸功能是连续式自动化钢板抛丸机所必需具备的。

2.1 抛丸剂量调节的设备构成及其功能实现

抛丸机抛头钢丸剂量的调节配合不同厚度不同表面氧化、污化情况的钢板及其移动传输速度，对于抛丸处理的效果至关重要。钢板移动传输由变频传动辊道实现速度平滑可调，抛投钢丸又分为两方面：一方面为确保钢丸击打磨削钢板表面的研磨效果，保证抛射速度和力度，抛头电动机采用4极37 kW高速电动机，工作运行转速不变；另一方面设置磁封阀于抛头钢丸进料管道上，进行钢丸流量调节。具体的抛丸机抛头钢丸剂量调节控制原理如图2所示。抛头钢丸管道上的磁封阀来自PLC控制系统输出开关量模块使能信号和模拟量模块4～20 mA调节控制，调节进入抛头钢丸磨料的流量大小，而抛头电动机负载大小变化由其运行电流反映出来，因此，在抛头电动机电源电缆设置75 A/4～20 mA电流互感器检测抛头电动机负载大小，亦即抛头钢丸磨料的剂量大小，该磨料剂量实际值由抛丸机上位控制HMI主界

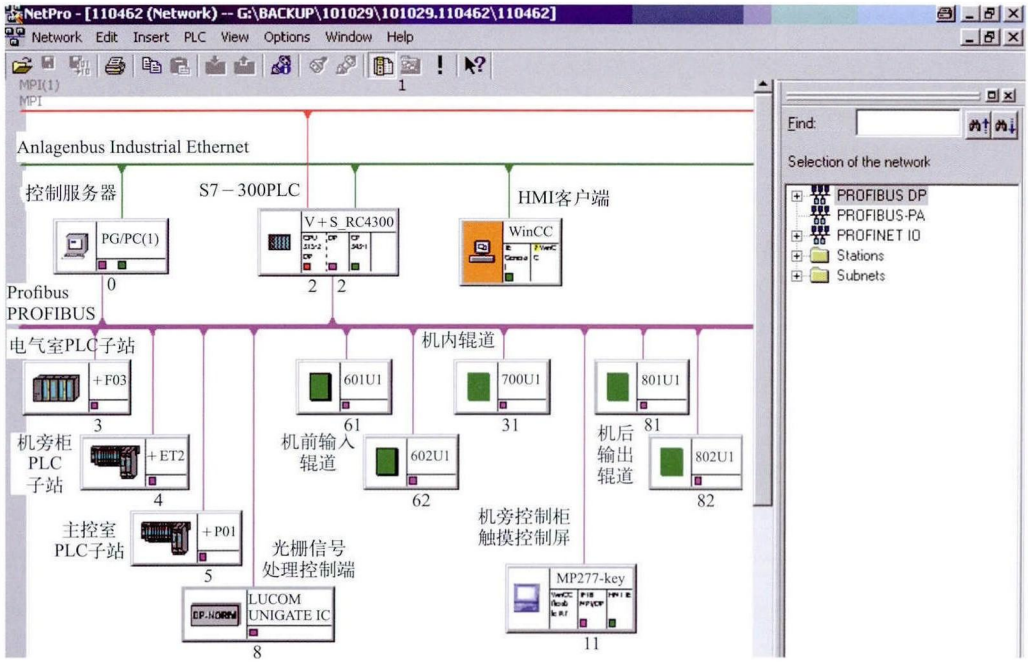

图1 抛丸机控制系统设备组态

面给出显示，并可视抛板效果人工设定修正，形成闭环的钢丸磨料PID控制。需要注意的是，这里虽然设定、调节的是抛头电动机的负载大小，实际是电动机运行电流大小在变化，界面上数值单位也是安培，但真正执行器件却是通过磁封阀调节控制磨料流量来实现抛丸剂量控制。抛头电动机若直接采用变频传动，虽能实现磨料剂量调节控制，同时抛投力度亦会随之变化，抛丸处理效果难以保障。

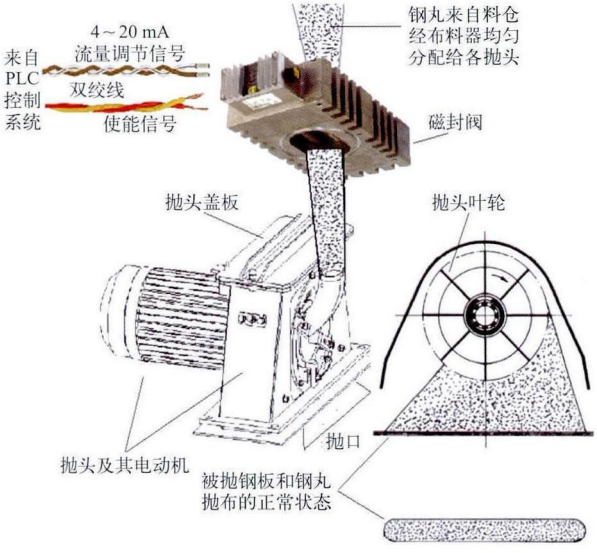

图2 抛头磨料剂量控制原理示意图

钢丸磨料由上下料仓经过布料器均匀送至各个抛头进料管，再由磁封阀实现钢丸流量0～480 kg/min/抛头的配合钢板移动速度的自动控制钢丸剂量调节，钢丸被抛头叶轮以85 m/s的速度抛射到钢板上，并进行击打磨削，钢板表面的氧化层及其他污物和附着物被击碎脱落，经过后序的清理，便于发现钢板轧制缺陷和热处理及防腐探伤等工艺加工。抛头的钢丸流量大小是由PLC控制系统通过调用经过调试确定的钢板移动速度与之相匹配的丸料剂量给出的，也可在手动模式下由上位机操作界面HMI人工设定。磁封阀由PLC控制系统给出4～20 mA调节信号和使能信号后，相应的钢丸流经磁封阀进入抛头，抛头电动机负载相应变化，在抛头电动机电气控制柜内设置电机负载电流75 A/4～20 mA电流互感器，全部10台抛头电动机负载电流检测接入PLC模拟量模块，经过设备调试确定的计算转换数值，即表示抛丸作业钢丸磨料的实时剂量，由HMI界面显示给操作工，同时可以进行人工修正。合适的钢板传输速度、合理的抛投剂量和抛投面的叠合，是钢板洁净抛丸处理功能的实现基础。

2.2 钢丸磨料清理设备构成及其功能实现

钢板完美洁净的抛丸处理，除了必须对钢板全覆盖的有强度保证的磨料抛投之外，随后还必须有彻底的磨料清理功能，二者不可或缺。行进中的钢板在抛丸室内进行抛投后，除了少许钢丸磨料“迸溅”落到下料口外，大量地堆积在钢板上表面，就是钢板下表面由于摩擦产生的微弱磁性亦有些微丸料碎屑吸附（成为辊底式热处理炉辊道结瘤的原料之一）。为此，钢板进入清理室后，在上表面设有两套可自动升降的丸料清理设备——刮辊和刷辊，以实现贴合不同厚度甚至一定瓢曲度以内钢板的钢丸磨料清理。

刮辊由预刮板和中间两分的螺旋输送机、蜗轮蜗杆升降大速比减速机、接触器正反转控制电机、行程反馈增量编码器和超高超低限位构成。预刮板和中间螺旋输送机同由升降螺杆传动，预刮板高度经调整后保持不变，以低于螺旋输送机下沿2 mm为宜。预刮板先行将钢板上表面的沉积丸料平整，以利于紧随其后的中间两分螺旋输送机将丸料向钢板两边输送，自然落入下料口，螺旋输送机的旋转电动机由内置专用电动机传动，转向调试确定后不能改变。为最大限度地清理洁净丸料，该套刮辊贴近钢板的距离以不大于4 mm为宜。距离过大，丸料经刮辊削除得少，则剩余的丸料超出刷辊的清扫能力，导致抛丸机出板积丸。刮辊实时高度自动控制系统参照由抛丸机入口的测厚光栅实测数据和上位HMI设定的高度误差量计算给出，并实时控制。刮辊刷辊钢丸磨料清理设备升降控制如图3所示。如果测厚光栅检测到钢板上表面出现凸出异物，高度和宽度持续一定时间，控制系统认为威胁到刮辊刷辊设备的安全，则迅速报警并停机。因此，要保证抛丸机输入辊道上的钢板不能有砖块、木头和草捆等异物。同理，待

抛钢板的瓢曲度最大不能超过10 mm/m，否则极易损坏抛丸机，测厚光栅在检测计算钢板实际瓢曲度超限后，亦会报警停机。由于刮辊升降采用了大减速比的蜗轮蜗杆减速机、同步的升降位置反馈增量编码器以及升降行程上/下限限位、超限限位，升降控制由PLC控制系统给出信号控制正反转接触器，而不采用变频调速，实践证明满足要求且安全可靠。

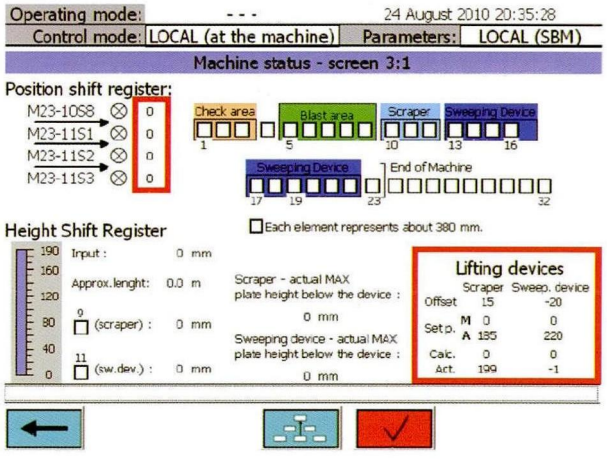

图3　钢板检测和钢丸磨料清理设备升降控制数据

刷辊及其升降设备构成和控制与刮辊相同。刷辊由中间两分螺旋输送机和前后两组带刷毛的辊道组成，同步升降，刷毛可定期一次性更换。经过调试和参考应用经验，为确保丸料清理效果和刷毛合理损耗，刷毛以横折贴合到钢板表面的长度不超过20 mm为宜，其高度控制同样由控制系统参照钢板测厚光栅的实时数据和上位机HMI设定的偏移量计算给出。不同的是，刮辊升降高度上位机HMI设定的偏移量一经设备调试确定，便不再变动，而刷辊的上位机HMI设定的偏移量要随着抛丸处理工作量，即刷毛的实际损耗定期进行调整设定，直至刷毛损耗到低限（受刷辊前设置的螺旋输送机最低下沿及2 mm安全裕量限制），整体报废更换。

在钢丸清理室末端，即抛丸机出口前还安装有压缩空气管路及喷嘴，控制系统根据每只钢板的传输速度，适时自动地起动压缩空气管路电磁阀，将钢板上可能附着或遗落的些许丸粒吹扫干净。钢板下表面则有嵌置在辊道间的旋转小刷辊贴近扫除粘附着的丸粒碎屑。

2.3　丸料重力风洗循环系统

抛丸磨料钢丸在连续循环使用的过程中，与钢板磨削导致丸粒破损消耗不可避免，因此需要根据料仓料位指示（安装有磨料料仓料位的检测器件近距离感应电容性接近开关，给出料位高低限信号到控制系统。受丸料循环使用中摩擦产生的微弱磁性影响，隔一段时间会有些许丸料吸附其上，导致料位检测误报，需要定期检查擦拭）从加料口补充丸料。磨削使用过程中产生的破损丸粒、灰屑以及钢板表面被去除的氧化物碎屑，掺杂在磨料丸粒中会严重影响后续抛丸效果，都需要经过重力风洗系统分离出去，由除尘系统的卸灰通道排出可用作烧结、球团工序原料，完好的钢丸丸料则再次进入抛投料仓循环使用。丸料重力风洗循环系统是生产连续式自动化抛丸机的必备功能。

2.4　抛丸机安全监控功能

抛丸机采用基于安全继电器的安全链电路监测判断设备开机起动条件以及设备运行过程中的安全条件监控；通过PLC控制系统进行设备开机顺序逻辑控制，配以众多的报警报错警示信息；安全电路和PLC控制系统共同作用确保设备开机自检，运行过程安全实时监控，保障设备操作、检修人员人身安全和设备自身的安全运行。

抛丸机高速抛射钢丸丸粒，击打磨削运动是钢板表面抛丸洁净处理的需要。同时它不仅是设备操检人员人身安全的潜在威胁，而且对设备本身亦存在破坏可能。因此，开机起动条件的检测判断和运行使用过程中的安全监控，对于人员、设备安全以及高效运行至关重要。

3　二级自动化控制信息

抛丸机控制系统在钢板入口头部识别检测开始，以一定的传输速度经过检测区、抛丸区和清理区，直至离开抛丸机出口，其实时位置跟踪和相应抛头、刮辊和刷辊等设备的动作便一一显示在HMI主界面，如图4所示。图中与抛丸机实际机

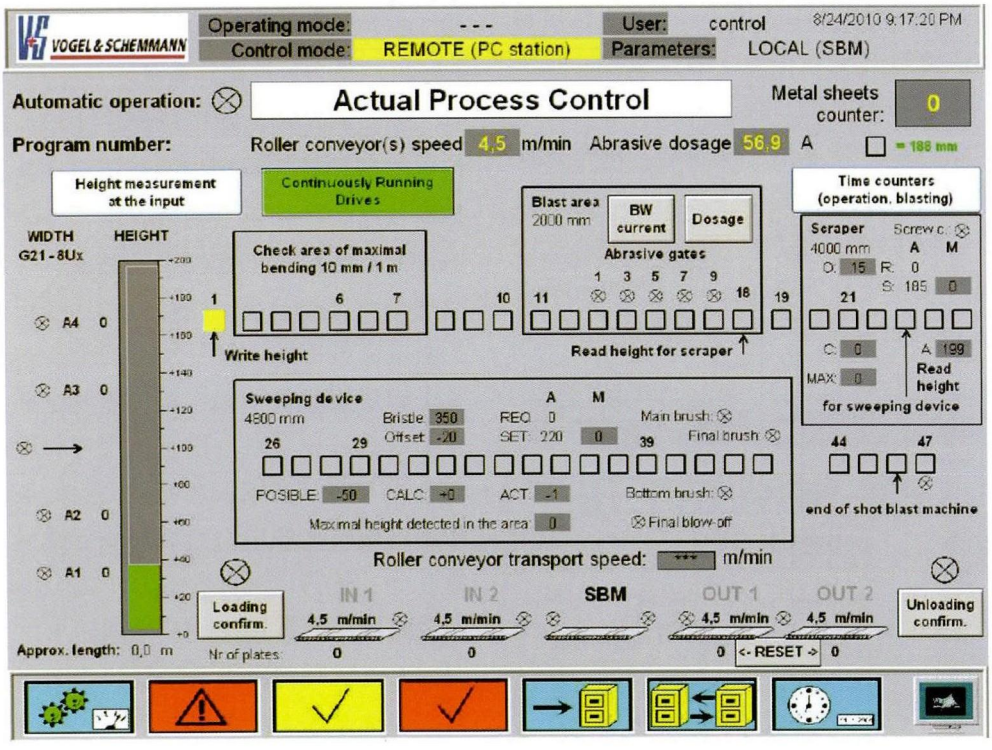

图4 钢板抛丸处理自动跟踪控制HNI主界面

内传输距离的47个位置监测点方框，加亮显示黄色的表示钢板头部行进到该位置，直到该支钢板尾部离开，才恢复显灰。而每只钢板的传输位置实时变化相应地显示在HMI界面上，直至其尾部离开抛丸机。控制系统采集测厚光栅检测的厚度数据，在钢板头部被测厚光栅捕捉到后，即写入数组并通过指针指令功能取用，可以通过PLC变量表监控观察，同时以棒状图形式在HMI界面实时显示传输行进中不同纵向长度位置的钢板厚度数值，该厚度数值参照一定长度（亦即一定传输延时）来判断钢板瓢曲度是否异常，同时钢板上表面若遗留有砖块、草捆和短木等异物突起亦能有效检测，并停机报警指示。刮辊和刷辊的升降控制都是随着每只钢板上表面不同标高而实时升降控制进行高度位置调节，以满足在允许的钢板瓢曲度范围内且设备安全允许极限下贴近钢板，实现钢板抛丸处理后磨料钢丸的彻底清理。在每只钢板尾部到达总第46支辊道后，该钢板的厚度数值、瓢曲度平均值、抛丸处理传输速度以及抛丸磨料剂量数值等抛丸工艺参数数据连同二级传来的该钢板编码身份信息和钢种及规格参数等数据一同打包存档，以备查询。同时，抛丸机控制主界面钢板抛丸处理累计加一，产量自动统计。

抛丸机控制系统二级服务器通过工业以太网接收来自厂级生产制造执行系统生产计划订单，识别每支钢板身份标志信息（包括钢板钢种成分、规格参数及工艺处理要求等），当自动写入待处理数据库、抛丸作业时，自动将钢板尺寸规格参数与设备入口测宽测厚检测器件的实测数据进行比对，发现异常即报错指示给操作工，正常范围内即以实测数据控制抛丸设备运行，具体是以抛丸机入口第一支辊道右侧有效面为零点，横向视测宽数据启用抛头数量，以磨料抛投面完全覆盖钢板为止；纵向通过设置于第一辊道的增量编码器检测并计算跟踪每支钢板的机内传输移动情况；每支钢板实测宽度厚度和实时处理机内传输移动位置都显示在HMI界面上，给操作人员以明确信息，抛丸作业完成，每支钢板的信息自动存档，便于以后查询。抛丸机二级自动化控制信息数据交换流程如图5所示。

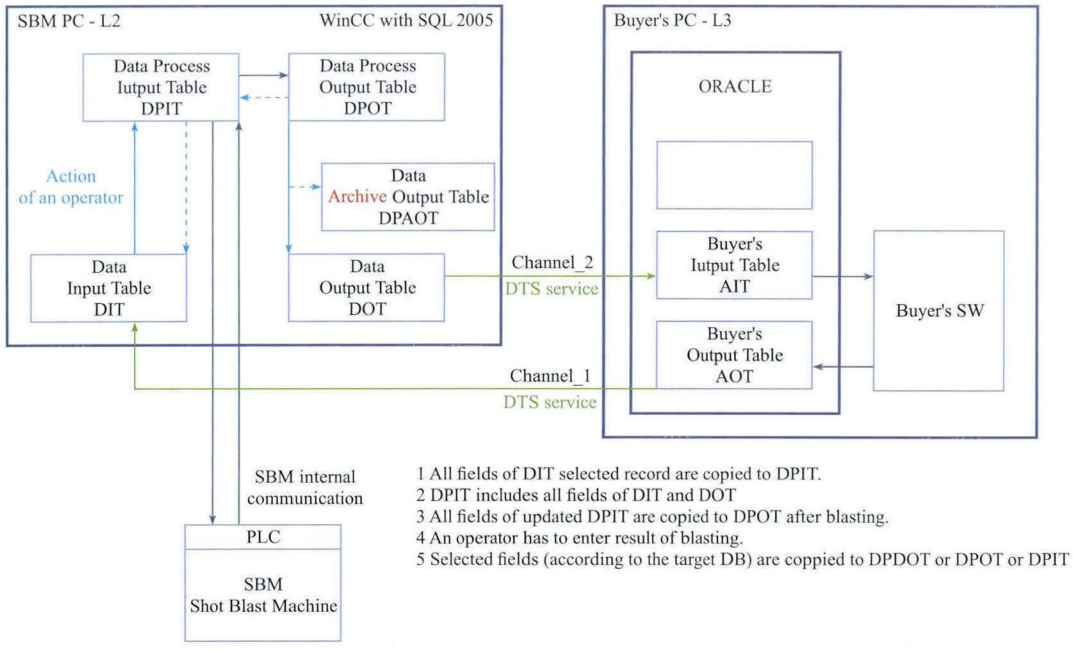

图5 抛丸机过程数据交换流程示意图

4 结束语

抛丸机控制系统以基于S7－300PLC技术和Profibus－DP现场总线的主从站与二级服务器构成，实现钢板信息自动采集和实时检测，进行洁净表面抛丸处理并彻底地磨料清理，完成钢板成批次连续式自动高效安全的抛板作业，效益显著。

参考文献

[1] 梁诗，杨彬，岳大为．Profibus现场总线控制系统的开发与设计 [M]．2版．北京：国防工业出版社，2013．

[2] 姜建芳．西门子WinCC 组态软件工程应用技术 [M]．北京：机械工业出版社，2015．

[3] 郭其一，黄世译，薛吉，等．现场总线与工业以太网应用 [M]．北京：科学出版社，2016．

[4] 马小亮．变频调速典型控制系统 (四) [J]．电气传动，2012，42 (4)：56-64．

[5] 张燕宾．变频器应用中的几个问题 [J]．变频器世界，2015 (10)：84-87．

[6] 陈钧．基于Profibus-DP的轧钢厂辊道变频传动控制系统 [J]．电气应用，2015，(34) 12：65-69．

[7] 陈钧．钢板抛丸机安全策略电气设计与应用 [J]．电工技术，2017 (4)：3-6．

[8] 陈钧．高炉粒化渣渣浆泵PID液位自动控制技术 [J]．电工技术，2014 (10)：50-52．

（收稿日期：2017－03－03）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告