

冷轧磨辊间全自动无人装载机的实现方法

文 | 宝信软件股份有限公司智能装备事业本部 刘志

摘 要：本文介绍了西门子 SIMATIC S7-400 PLC、S7-300 PLC、SIMATIC S120、MICROMASTER 420 和 SMC20 等自动化产品在国内第一套冷轧磨辊间全自动无人装载机系统中的应用，从硬件的组态以及软件实现的方法等方面叙述了系统对关键功能的实现方法。

关键词：全自动无人装载机；S120；自动磨辊间；同步控制

一、项目简介

钢厂冷轧磨辊间主要承担各轧机的工作辊/中间辊表面磨削和毛化等任务，其最重要的设备是工作辊/中间辊磨床和电火花打毛机床（EDT）。

为了满足磨辊间对高质量、高产量、高效益和低能耗的总体要求，减小轧辊在装卸时对磨床的撞击，提高轧辊磨削精度、降低磨床的故障率，一般在磨辊车间配备轧辊自动装载装置。

上海宝信软件股份有限公司智能装备事业本部自主研发的轧辊全自动无人装载机全自动实现了磨辊间轧辊上下磨床的工作，实现了工作区的自动化和无人化、设备操作自动运行控制，建立了全自动的安全的工作环境，提高设备的利用率，减轻了人员的劳动强度。轧辊全自动无人装载机采用五轴伺服定位系统，自动吊运重量最大达 10t 的轧辊时其定位精度达到 $\pm 2\text{mm}$ ，大大减小了轧辊在装卸时对磨床的撞击，提高了磨辊的精度和质量。

本项目是在宝钢湛江 2030 及 1550 冷轧磨辊间，每个磨辊间选用 1 套（两台）磨辊间全自动无人装载装置，负责磨辊间内 4 台轧辊磨床及 1 台电火花打毛机床的自动装、卸轧

辊（工作辊、中间辊）的工作。

二、工艺介绍

在磨辊车间规划出磨床安放区间，各机床的前方设有二个单层轧辊支架为轧辊磨削等待缓冲辊架，一个为“待磨缓存辊架”、一个为“磨完缓存辊架”。操作工通过车间行车将待磨削的轧辊（工作辊、中间辊）吊入待磨缓存放区。全自动无人装载机根据磨辊间管理系统（RSMS）下发的生产计划自动由将待磨缓存放区内的轧辊（或“待磨缓存辊架”）吊入机床的工作位置上，由机床自行完成磨削任务，当轧辊磨削完成后，由全自动无人装载机将机床上的轧辊自动卸下吊入成品辊存放区的辊架上（或“磨完缓存辊架”）。轧辊进出自动区域的吊运由操作工通过车间行车完成，轧辊在自动区域内的吊运由全自动无人装载机全自动完成。

三、控制系统构成

全自动无人装载机的控制系统包含地面主控系统和车载控制系统两部分，分别描述如下。

1、地面主控系统

地面主控系统,如图1所示,采用CPU414-2DP的CPU,在主机架上同时集成了I/O模块和CP443-1模块等。

CP443-1负责同RSMS系统建立Ethernet-Connection,接收及发送地面系统设备相关的生产数据,同时负责和HMI服务器进行通讯链接。由于磨辊间的磨床、EDT及全自动无人装载机都是独立的DP网络,相互之间的通讯速率及站地址也不尽相同,设备间跨越的距离也较远,因此我们采用西门子的DP/DP Coupler模块来实现地面主控系统与各个地面系统设备之间的控制信号和状态信号的数据信息的传递。

由地面主控系统STEP 7 HW配置图,如图2所示,系统通过西门子ET-200M子站的形式与地面各类辊架、安全门和防护区信号进行数据传递。由于整个地面自动化区域的

范围较广,ET-200M的子站数量较多,因此我们选用有源背板总线,这样可支持模板热拔插而不会导致CPU停机。

2、车载控制系统

每套全自动轧辊装卸系统包含2台全自动无人装载机,每台全自动无人装载机都有自己独立的车载控制系统。常规状态下两台无人装载机在各自划分的区域中完成轧辊自动装卸任务(两划分区中间有一段重叠区间);当其中一台故障或检修时,另一台能覆盖整个封闭区域的轧辊自动装卸任务。

由于全自动无人装载机要求做到轧辊在磨床装卸时轻起轻放,杜绝磨床因轧辊的撞击而损坏精度,因此装载机定位精度要求非常高,达到定位精度小于 $\pm 2\text{mm}$,为此车载

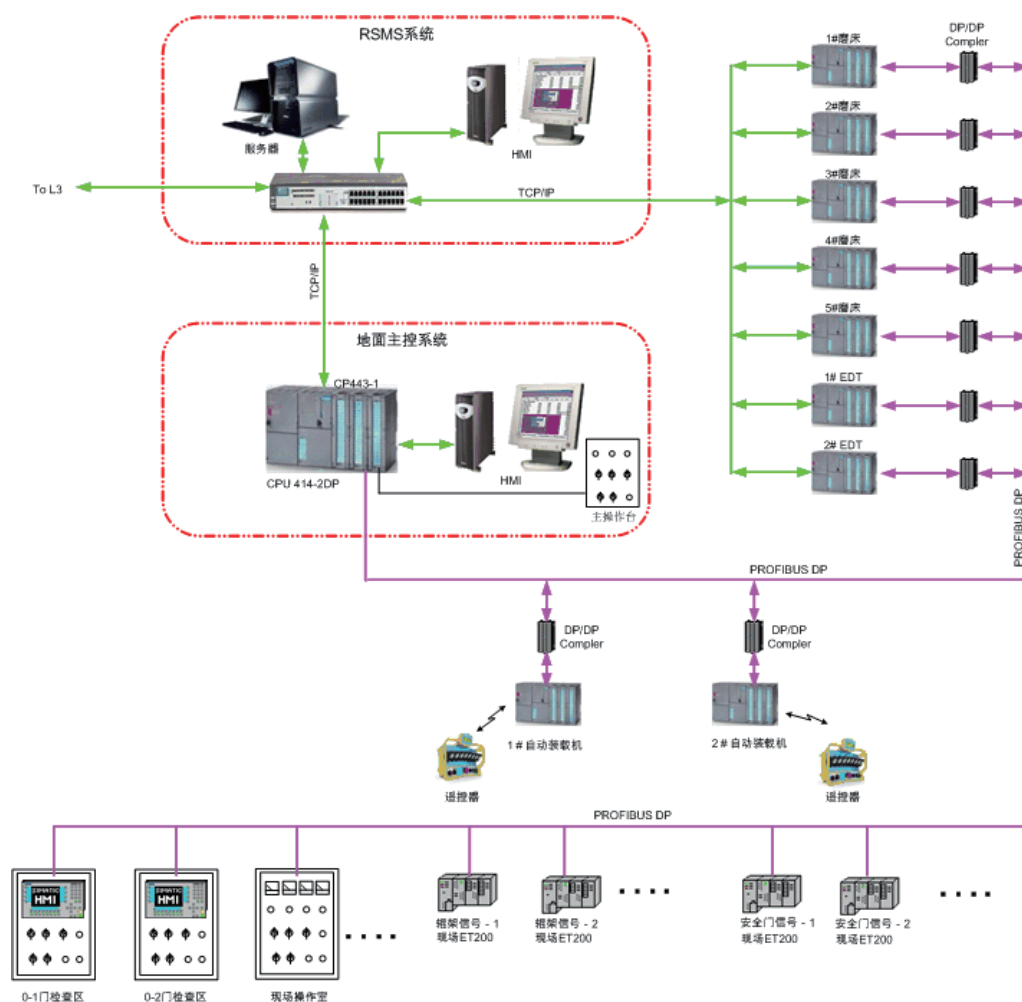


图1 地面主控系统配置图

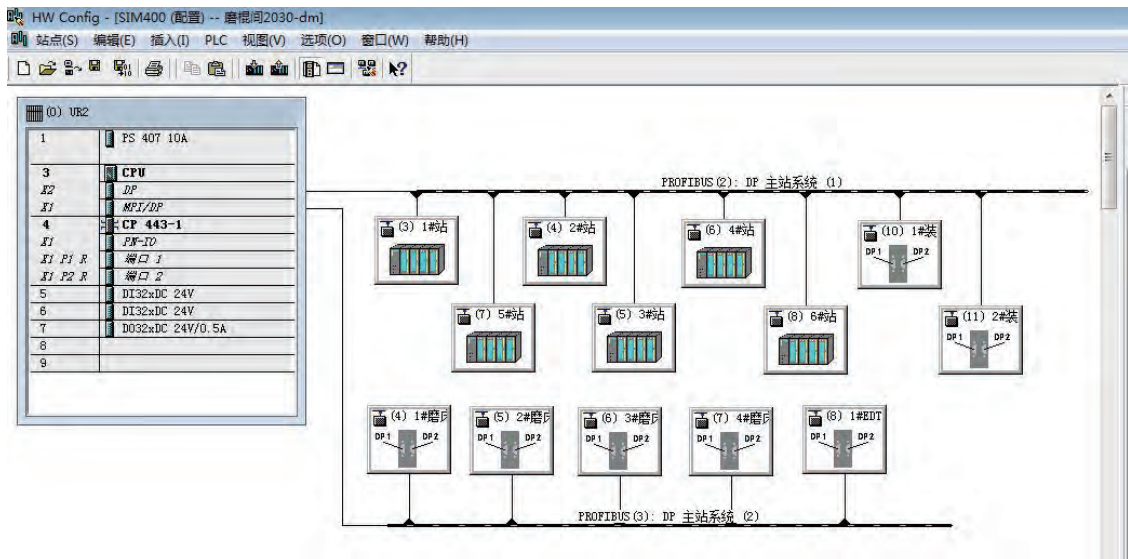


图 2 地面主控系统 STEP 7 HW 配置图

控制系统的传动部分我们采用了 SIEMENS SINAMICS 五轴伺服定位控制系统，伺服驱动和电机选择了西门子 S120 书本型模块和 1FK7 系列伺服电机。采用 SINAMICS 驱动系统，在电气上保证了同步和定位的精度，可满足梁上大运车和地面大运车的双电机同步运行要求。同时考虑到系统对位置精度的要求，我们在自带编码器的 1FK7 系列伺服电机的外部配置了绝对值编码器，通过西门子 SMC20 编码器信号转换模块直接把外置绝对值编码器接入西门子 S120 驱动系统。

车载控制系统，如图 3 所示，采用 CPU315-2DP 的 CPU，在主机架上同时集成了 I/O 模块和 SM331 模拟量输入

模块等。车载控制系统的子站采用了西门子的 ET-200S，它分布在全自动无人装载机的调宽机构的端子盒里面，这样大大节省布线。同时 ET-200S 相对于地面主控系统使用的 ET-200M、ET-200S 更加经济和灵活，在满足同样性能的同时也节省了更多的空间。

全自动无人装载机的吊具采用回旋式自锁型夹钳，由 2 台西门子 MM420 采用端子控制驱动涡轮蜗杆传动副。

由于装载设备是无人全自动运行，为了监视吊具锁紧机构及吊运状态，在两侧的定滑轮支座上装有称重仪压力传感器，我们使用西门子 SM331 模拟量输入模块来动态测量两

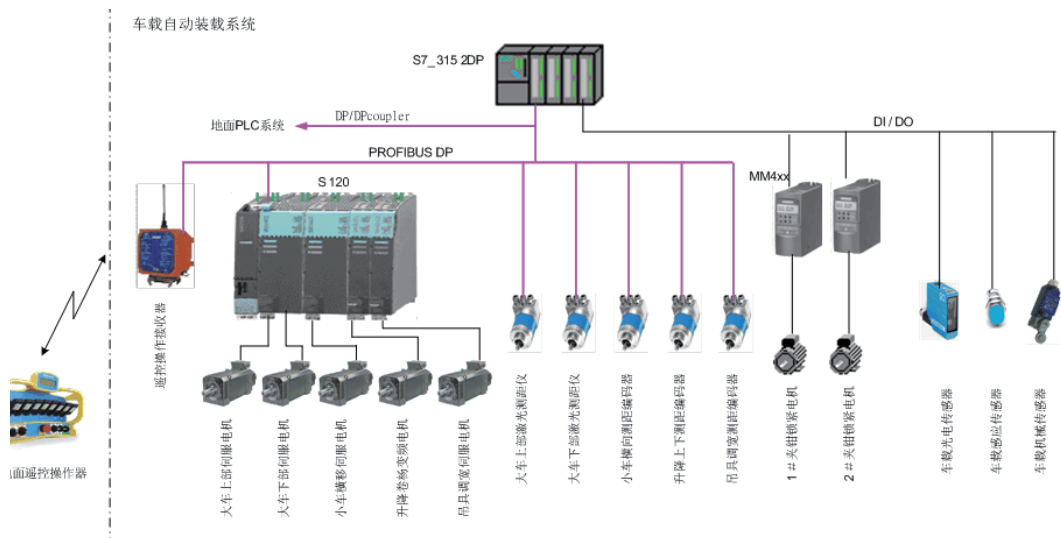


图 3 车载控制系统配置图

根钢丝绳的受力状况,当两端钢丝绳受力偏差大于设定阈值或测定力小于设定值时,升降机构停止运行,并声光报警。同时我们在 ET-200S 上使用了 6ES7 134-4FB01-0AB0 2AI 模拟量输入模块来读取装在吊具夹钳两端的 SICK DT50 测量的轧辊距离数据,当轧辊两端的距离偏差大于设定阈值或测定距离小于设定值时,升降机构停止运行,并报警告知轧辊倾斜。

由车载控制系统 STEP 7 HW 配置图,如图 4 所示,系统通过组态西门子 Profibus 总线的方式与 SICK 公司的激光测距仪 DL100 进行通讯。

大车位置测量采用测距长度为 300m 两个 DL100 激光测距仪,可以避免齿轮齿条传动副带来的故障率,减少分散驱动控制的大车运行机构可能发生的上下两车的运行位置超差问题。同时大车运行机构的上下两侧均由各自的伺服电机同步驱动,推动大车前后运动,采用电机后部的磁盘式抱闸进行驻车制动,减速机采用西门子减速机。大车上下电机采用主从关系进行运行控制,大车地面伺服电机作为主动轴总是恒定速度运行,大车梁上伺服电机从动轴总是在跟随在后,在运行过程中根据大车上下位置差值进行转速补偿。

(1) 差值小于 (+/-2mm) 时,设定值不作补偿。

(2) 差值大于 (+/-2mm) 并小于 (+/-10mm) 时,对梁上大车设定值进行补偿。

(3) 差值大于 (+/-10mm) 时,报警(停机)并将设定值清零。

转速补偿控制程序示例如图 5 所示。

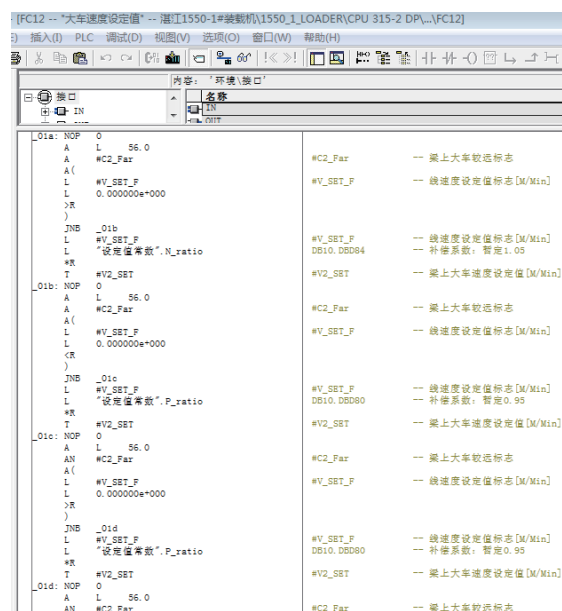


图 5 大车同步控制转速补偿控制程序示例图

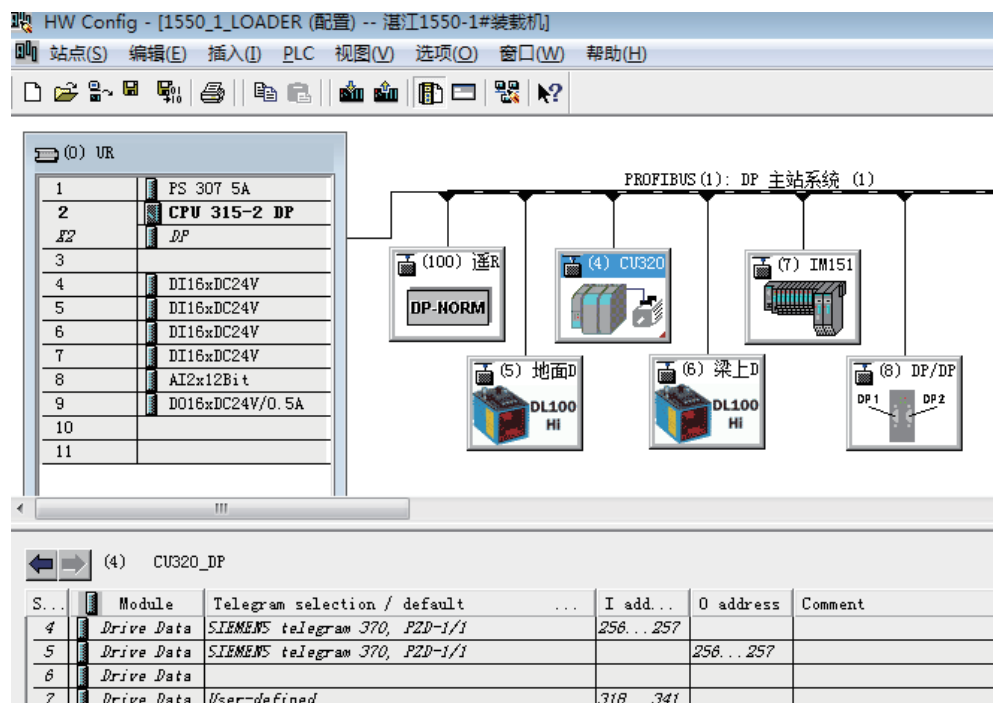


图 4 车载控制系统 STEP 7 HW 配置图

四、控制系统完成的功能

1、地面主控系统完成的功能

- (1) 地面各类辊架、安全门、各防护分区信号 (DI) 监控。
- (2) 地面各安全门指示灯信号 (DO) 监控。
- (3) 与四台磨床和一台电火花毛化设备的联锁信号交换。
- (4) 主控 HMI 上各类状态显示输出。
- (5) 主控 HMI 上各类控制命令和轧辊数据接收。
- (6) 1 # 及 2# 装载机各类设备状态接收。
- (7) 1 # 及 2# 装载机各类运行命令输出。
- (8) 1 # 及 2# 装载机各轴定位距离命令输出。

由磨床与 Loader 通讯 DB 块示例图, 如图 6 所示, 系统通过 DP/DP Coupler 进行交换的数据, 这些数据包括了二者之间的连锁信号及状态信号等。

2、车载控制系统完成的功能

- (1) 向地面主控 PLC 发送车载各设备状态。
- (2) 接收地面主控 PLC 发送的运行命令及定位距离命令。

(3) 车载各安全门、防撞、限位 (DI) 信号监控及 (DO) 输出。

(4) 大车、小车、升降、调宽位置实际值采集及定位控制。

(5) 采集车载各变频、伺服设备的状态和控制它们的运行。

(6) 无线手动遥控控制。

(7) 设备的自动步控制。

在大车、小车、升降和调宽位置实际值采集及定位控制的 S120 系统调试时候, 我们发现当速度环点动时运行状态很好, 但位置环运行时出现速度不稳现象, 可以通过对位置环的 K_p (P2538) 进行调整, 通常减小 K_p 值, 速度会趋于稳定但同时相应变慢 (带来速度上升和下降的斜率时间加长); 反之加大 K_p 值, 速度易波动, 是因为相应变快 (带来速度上升和下降的斜率时间缩短), 因此位置环的 K_p (P2538) 该值很重要, 需要根据不同的负载和工况进行调整。调整在 Technology → Position control → Position controller 画面中, 如图 7~11 所示。

(1) $K_p: 3.0$ $T_n 72ms$ 。

LAD/STL/FBD - [DB21 -- "Grinder1_Master" -- 20170921地面\SIM400\CPU\...\DB21]

文件(F) 编辑(E) 插入(I) PLC 调试(D) 视图(V) 选项(O) 窗口(W) 帮助(H)

	Grinder_to_Master	STRUCT		=1表示上下磨床必要条件
+40.0	Xaxis_in_pos	BOOL	FALSE	磨床X轴已到安全位置 =1
+0.0	Zaxis_in_pos	BOOL	FALSE	磨床Z轴已到安全位置=1
+0.1	Vaxis_in_pos	BOOL	FALSE	磨床V轴已到安全位置=1
+0.2	SoftLanding_FT_in_pos	BOOL	FALSE	尾架侧软着陆到位=1
+0.3	SoftLanding_HD_in_pos	BOOL	FALSE	头架侧软着陆到位=1
+0.4	Footstock_in_pos	BOOL	FALSE	尾架已到安全位置=1
+0.5	Neck_FT_side_in_pos	BOOL	FALSE	尾架侧托架已到安全位置=1
+0.6	Neck_HD_side_in_pos	BOOL	FALSE	头架侧托架已到安全位置=1
+0.7	HD_in_pos	BOOL	FALSE	头架侧套筒已到安全位置=1
+1.0	FTQuill_in_pos	BOOL	FALSE	尾架侧套筒已到安全位置=1
+1.1	HDQuill_in_pos	BOOL	FALSE	头架侧套筒已到安全位置=1
+1.2	FTTilter_in_pos	BOOL	FALSE	尾架侧调整机构已到安全位置
+1.3	HDTilter_in_pos	BOOL	FALSE	头架侧调整机构已到安全位置
+1.4	Roll_not_in_toler	BOOL	FALSE	轧辊不在允许偏差范围内
+1.5	Pads_in_pos	BOOL	FALSE	托瓦已到安全位置
+1.6	Reset	BOOL	FALSE	复位 取消请求
+1.7	Unload_req	BOOL	FALSE	磨床请求吊走轧辊
+2.0	Roll_on_grinder	BOOL	FALSE	轧辊已在磨床上
+2.1	Horn_required	BOOL	FALSE	声光报警器on
+2.2	Acknowledge_neck_start	BOOL	FALSE	托架自动调整确认
+2.3	Grinder_out_of_service	BOOL	FALSE	磨床不再loader服务范围内=1
+2.4	Grinder_in_automatic	BOOL	FALSE	磨床处于全自动模式=1
+2.5	JobCrain_park	BOOL	FALSE	悬臂吊

图 6 磨床与 Loader 通讯 DB 块示例图

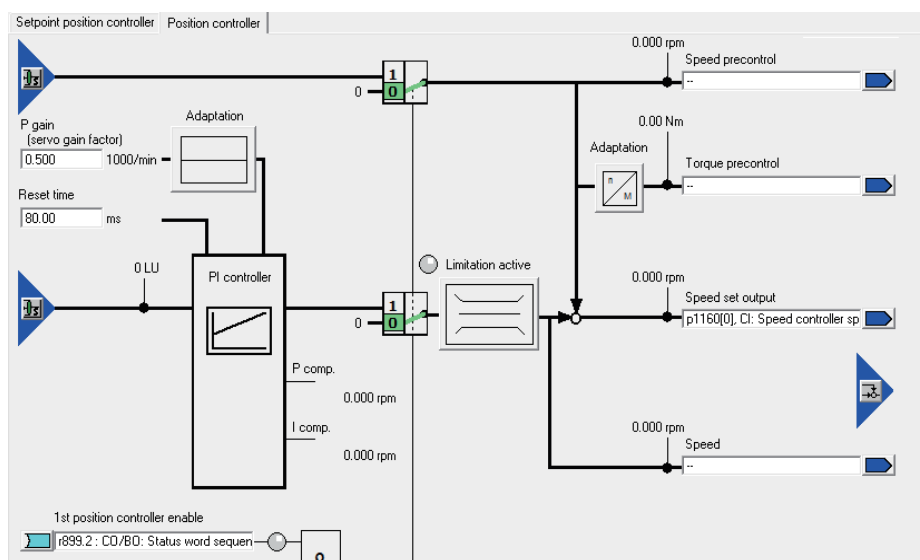


图 7 S120 系统参数调整示例图

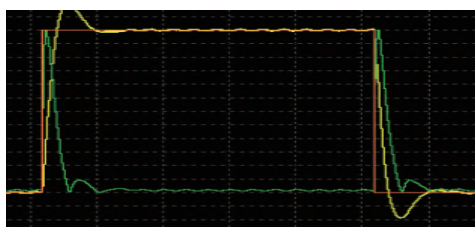
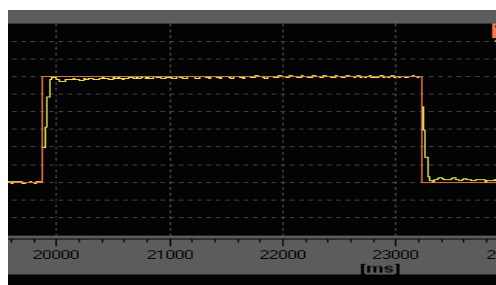
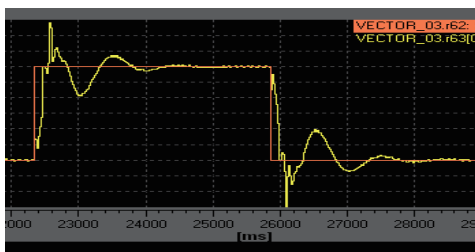
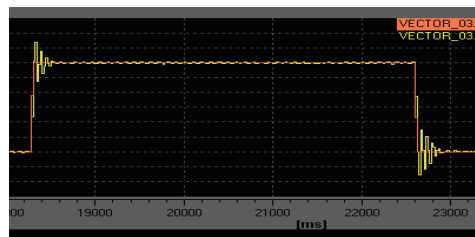


图 8 速度环优化良好的动态曲线

图 11 K_p 不变, 加大 T_n 后的动态曲线, 响应变慢且无超调(2) $K_p:0.3$ T_n 72ms。图 9 T_n 不变, 减小 K_p 后的动态曲线, 响应变慢(3) $K_p:15.0$ T_n 72ms。图 10 T_n 不变, 加大 K_p 后的动态曲线, 出现振荡(4) $K_p:3.0$ T_n 720ms。

大车、小车、升降和调宽等伺服系统在调试时候需要不断观察和记录运行曲线, 不同机构对驱动系统的运行曲线的要求也不尽相同, 调试过程中记录的运行曲线, 如图 12 所示。

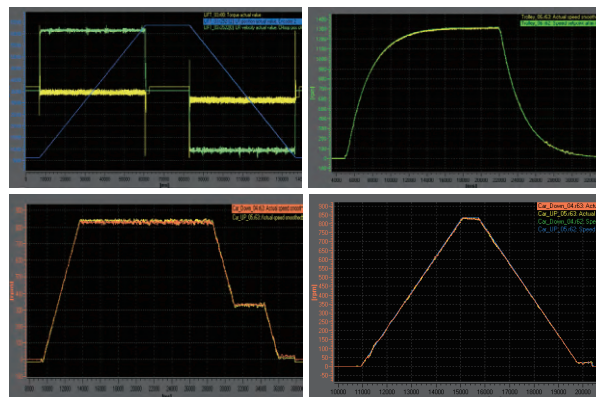


图 12 S120 调试运行记录曲线示意图

3、HMI 系统完成的功能

冷轧磨辊间地面 HMI 系统的主要任务就是与磨辊间地面主控系统一起配合对磨辊间库区进行监控和管理,编程语言采用目前在工业智能制造领域使用较多的微软 C# 编写。冷轧磨辊间地面 HMI 系统具备部分 MES 系统的功能,涉及的范围为:

- (1) 监控磨辊间相关设备状态。
- (2) 编制操作人员发送的指令。
- (3) 记录和显示当前系统故障。
- (4) 管理系统参数。

(5) 自动步显示。

(6) Loader 工作模式切换。

冷轧磨辊间地面 HMI 系统的总体功能层次图,如图 13 所示。

冷轧磨辊间地面 HMI 系统的主画面示意图,如图 14 所示。

冷轧磨辊间地面 HMI 系统控制中根据库区信息规划自动生成吊运指令功能示例,如图 15 所示。

冷轧磨辊间地面系统的库区规划的目标函数的约束条件涉及工艺约束及设备约束等,如轧辊堆放涉及的辊种、直

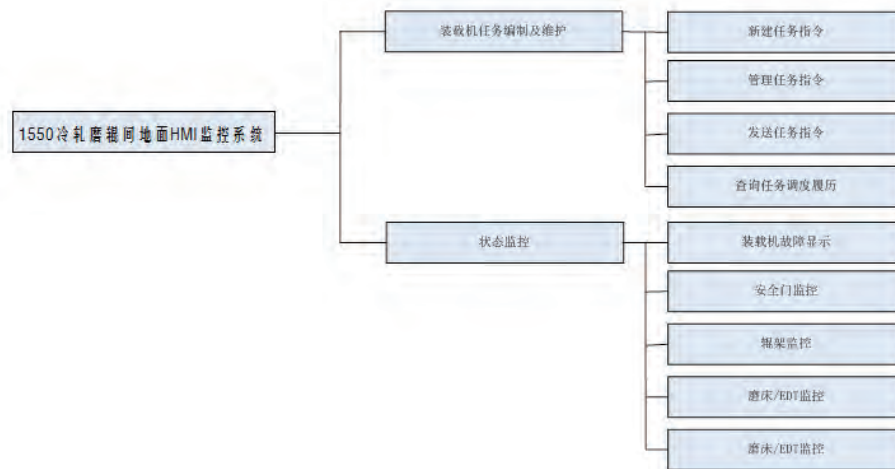


图 13 HMI 系统总体功能层次图



图 14 HMI 系统主画面示意图

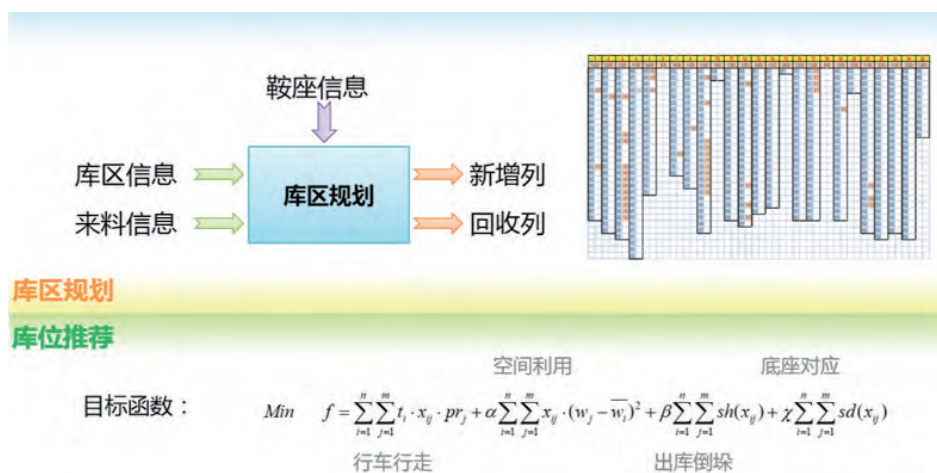


图 15 轧辊鞍座库区自动规划示意图



图 16 全自动无人装载机设备总图

径和重量等,目前系统已经支持的全自动吊运轧辊类型包括 1550 酸扎中间辊 ZBZI、1550 酸扎工作辊 ZBZW、1550 连退工作辊 ZBPW、1550 连退中间辊 ZBPI、1550 镀锌工作辊 ZBGW、2030 镀锌工作辊 AGW、2030 酸扎工作辊 AZW、2030 连退中间辊 API 和 2030 连退工作辊 APW,共 9 种。设备约束主要指不同厂家的磨床(特别是可以磨削支撑辊的万能磨床)或 EDT 等设备,这些设备由于工作方式及设备尺寸的不同会对 Auto Loader 在吊运和轧辊鞍座规划产生一定的设备约束。

五、结论

项目于 2016 年 11 月上线运行,系统运行良好稳定,设备总图,如图 16 所示。国内第一套具有自主知识产权的冷轧 2030 磨辊间全自动无人装载机在宝钢湛江的顺利应用,引起了国内业界的高度关注。2017 年 6 月冷轧 1550 磨辊

间全自动无人装载机也顺利投入使用。采用不同类型的自动化驱动及控制产品,在项目集成的过程中,我们搭建了一个可靠强壮的软硬件系统。

参考文献

- [1] Automation System S7-400 CPU Specifications Reference Manual
- [2] SINAMICS S120 驱动功能手册