

重庆钢铁 6#连铸机智慧制造实践

何维祥¹, 杨文², 余杰¹, 彭德初², 任海¹, 张举旗¹, 卢熙¹

(1.重庆钢铁炼钢厂, 重庆 长寿 401220)

(2.湖南镭目科技有限公司, 湖南省 长沙市星沙工业园区 413000)

Intelligent Manufacturing Practice of No.6 Continuous Casting Machine of Chongqing Iron and Steel Co., Ltd.

He Weixiang¹, Yang Wen², Yu Jie¹, Peng Dechu², Ren Hai¹, Zhang Jvqi¹, Lu Xi¹

(1.steel plant of Chongqing Iron and Steel, Chongqing Changshou 401220)

(2.Hunan Ramon Technology Co., Ltd. Changsha Xingsha Industrial Park 413000)

1. 前言

重庆钢铁炼钢厂方坯生产线包括 KR 脱硫两座、80 吨转炉三座、吹氩站三座、LF 两座、六机六流连铸机（5#机、6#机、7#机）三台。

6#连铸机技改项目由重庆钢铁股份设计院和湖南镭目科技有限公司联合总包，是根据中国宝武对于智慧制造的要求，通过“少人化、集控化、一键化”，按照“四个一律”的目标（即“制造环节操作室一律集中、操作岗位一律机器人、运维一律远程、服务环节一律上线”）打造的极致高效、安全的智慧连铸机。

2. 6#连铸机基本参数

6#连铸机技改项目从合同签订，经历原铸机的拆除、土建改造、设备安装调试，到最终热试生产仅用 135 天，创造了国内新建连铸机的工期先进纪录，其主要参数见表 1。

表 1 6#连铸机主要参数

序号	项目	单位	参数
1	铸机弧形半径	m	10
2	连铸机流数	机-流	6-6
3	流间距	mm	1250
4	铸坯断面	mm ²	170×170
5	定尺长度	m	10~12
6	浇铸的主要钢种	/	螺纹钢等
7	拉速	m/min	2~3.5
8	二次冷却	/	全水冷却
9	极限周期	min	18
10	设计作业率	%	87
11	设计产能	万吨	155

3. 6#连铸机智慧制造实践

6#连铸机采用的主要智慧化关键技术包含：大包下渣检测、大包智能浇钢平台、智能加渣、自动开浇、电动缸非正弦振动（含在线振动诊断系统）、智能动态配水、激光定重定尺、机器人喷号、自动出坯、字符识别、智能二级系统、集控中心、设备智能运维和生产准时化系统等。

3.1. 操作室集中控制

6#连铸机集控中心将 6 号连铸机的大包操作、浇钢机器人操作、切割操作、出坯操作、精整操作等功能合并在一起；操作人员可同时进行浇钢区域、切割区域及精整区域的操作，实现全流程监控；该集控中心为浇钢、中控、切割、铸坯管理的工作融合奠定坚实基础。

集控中心包含展示区、集中控制区、操作台区、工作站区（具体布置见图 1），主要涵盖三大功能。

1) 生产组织调度一体化。实时掌握生产计划、生产实绩、质量、设备、能源等状况，实时监控连铸全工序生产状况，通过视频、语音、现场显示屏及时进行指令调度，全连铸工序信息传递畅通，当班计划、实绩、异常、报表形成闭环。

2) 设备控制集中化。关键设备状态、运行参数实时监控，远程操作，管理规范，便于整体安排设备运行或维护。

3) 运维远程化、智能化。在集控中心便可对机器人、切割装置、出坯设备等进行远程维护。根据设备状态、维护周期、保养记录，智能化提醒运维人员及时检修维护；利用大数据分析、人工智能等技术实时预警异常情况，通过现场大屏、语音、报警灯、视频等手段及时展示异常、处理异常。



图 1 集控中心实景

3.2. 多岗位机器人应用

3.2.1. 智能浇钢平台

6#机连铸机大包智能浇钢平台由自动装拆大包滑板油缸系统、浇钢侧机器人操作系统共两个部分组成。

1) 滑板油缸的装拆及介质管线的插拔机器人

在受钢侧布局一台工业机器人，通过在机器人前端夹具上安装视觉及激光设备，在目标位置上安装用于定位的标定板和基准板，可实现对油缸及介质管线安装位置的定位，确定目标位置后，机器人可将油缸及介质管线安装到位。具体情况见图 2。

关键技术一：采用新型设计的油缸替换现有人工油缸，方便机器人自动抓取。

关键技术二：采用专业设计的油缸座，方便油缸在固定位置的存放，利于机器人对油缸的定位，可实现机器人对油缸的抓取。

关键技术三：采用获得专利的自锁卡爪，可实现油缸对滑板机构连杆头的自动对接锁紧，稳定可靠地实现滑板机构的打开与关闭。



图 2 机器人拆装滑板油缸

2) 浇钢侧机器人拆装长水口

在浇钢侧布局一台重载机器人，通过安装水口需要的卡爪机构、定位球、工装夹具、激光定位系统、软件控制系统获取到目标位置，然后通过软件换算后发送给机器人，机器人通过专用夹具实现长水口的安装和拆除工作。具体情况见图 3、图 4。

关键技术一：对下水口采用专用设备采集定位点云数据，实现对下水口的定位和识别。

关键技术二：采用专利设计的长水口夹具，实现机器人对长水口的快速拆装。

关键技术三：根据现场定制的密封圈安装设备，实现长水口碗部密封圈的自动分离，可配合机器人快速安装密封圈。

关键技术四：长水口碗部清理机构可配合机器人实现长水口自动清理，清理后的效果可通过摄像头确认。



图 3 机器人安装长水口



图 4 机器人取长水口

3) 浇钢侧机器人测温取样

探头存放箱可自动进行测温、取样探头的分拣和推送工作，当需要测温或者取样时，机器人抓取相应测枪到探头存放箱自动安装相应的测温探头或者取样探头，自动到中间包指定位置进行测温或取样工作。测温时，当温度仪表显示测量值后机器人自动拔枪；取样时，探头停留在中间包钢水内 3-5 秒钟机器人自

动拔枪，然后自动切除取样器头部，机器人自动将废测温探头或者取样探头进行集中存放。具体情况见图5。

关键技术一：专利设计的探头箱可实现不同类型探头的自动存储和筛选，实现机器人测枪方便快捷地抓取探头，探头箱内可进行余料检测及报警。



图5 机器人测温取样

4) 浇钢侧机器人加中包覆盖剂

在现场第三层平台上布局一台小机器人进行中包覆盖剂的分拣，该过程通过专用的抓取机构配合线激光设备完成，线激光实现对凌乱覆盖剂料包的定位和识别，抓取机构实现对覆盖剂料包的抓取。中包覆盖剂抓取出来后投放到小料斗中，而后由二楼重载机器人抓取料斗，并将料斗中的中包覆盖剂倾倒入中间包相应孔位中。具体情况见图6、图7。

关键技术一：专利设计的夹爪机构，可实现料包的抓取，整个分拣过程无扬尘。



图6 分拣覆盖剂机器人



图7 机器人加覆盖剂

3.2.2. 机器人喷号和识别

6#机采用两套机器人自动喷号系统进行喷号标识。

传感器检测到钢坯到达信号后，机器人通过其前端喷涂机构内的位置监测传感器检测、判断钢坯端面实际位置，然后进行喷号。在机器人前方地面设置一端面清洗箱，每次喷号后，机器人自动清洗喷枪残留涂料，使涂料不凝结。具体情况见图8、图9。



图 8 机器人喷号



图 9 机器人喷号效果

同时，现场还配备了字符识别系统，该系统采用高清工业相机获取喷号字符图像，用于坯料跟踪和反馈喷号字符信息。本系统实现了连铸坯信息的自动识别和传递，杜绝了人工操作混炉号、混钢号事故的发生，为升级到无人铸坯管理奠定了基础。具体情况见图 10。

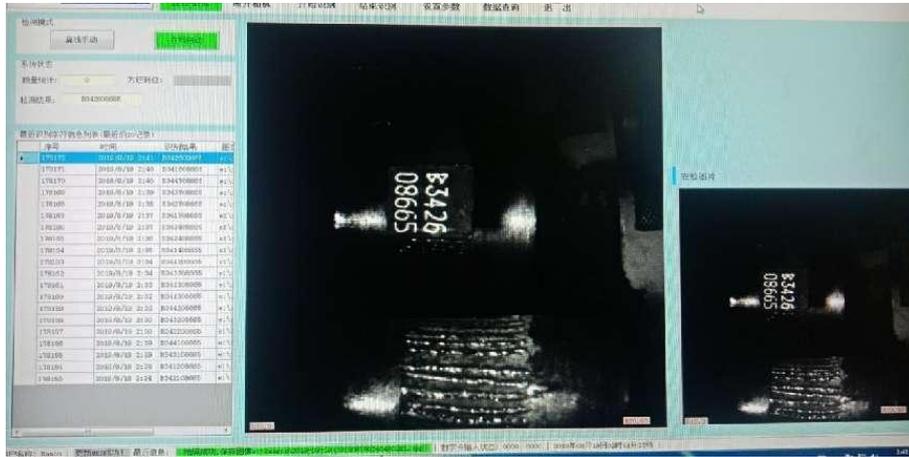


图 10 喷号识别界面

3.3. 远程运维

3.3.1. 大包下渣检测

6#机配置了电磁式大包下渣检测系统，该系统根据钢渣与钢水导电率的差异，利用电磁感应的原理检测出钢水中含渣量的变化，并以声光报警的形式提醒浇注操作工及时关闭大包滑动水口或直接发出大包水口关闭信号，以此减少钢渣随钢水流入中包的数量。系统框架见图 11。

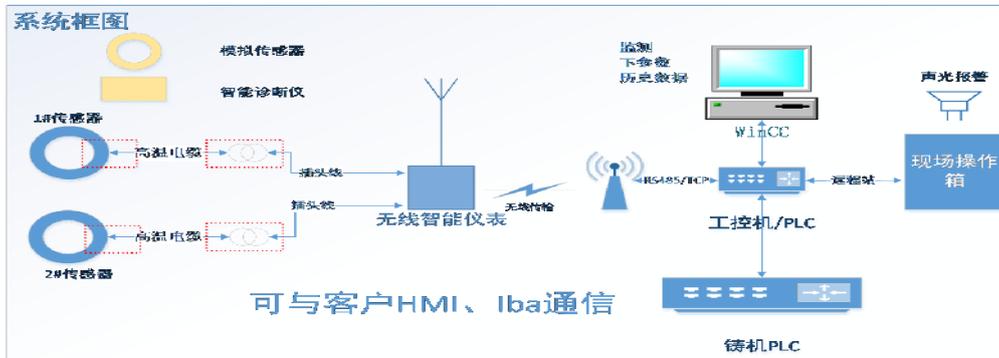


图 11 大包下渣检测系统框架图

3.3.2. 自动开浇

自动开浇系统采用铯源液位检测、拉速自动的控制方式。

自动开浇技术主要由液面检测部分和 PLC 控制部分组成，支撑连铸生产过程中的结晶器自动开浇和钢水液面自动控制功能。系统原理见图 12。

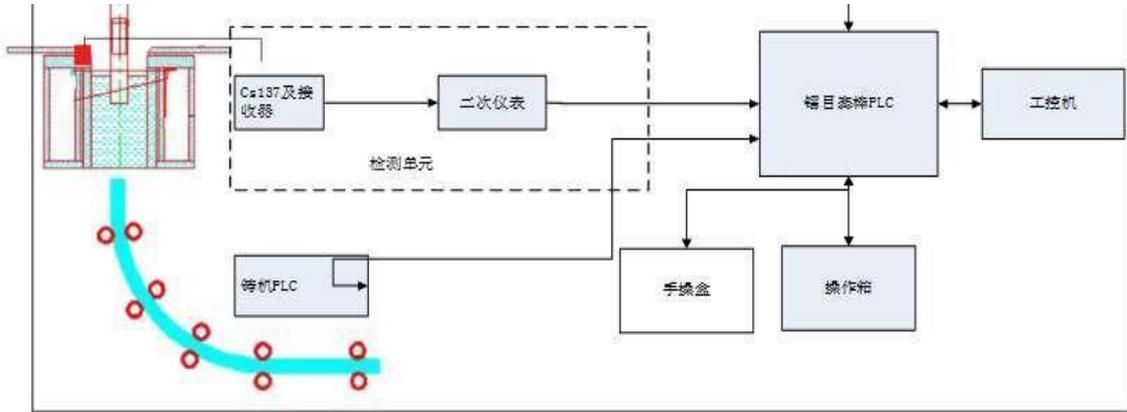


图 12 自动开浇系统原理图

在开浇过程中，当系统检测到钢水液面上升至某一设定值时，由 PLC 控制部分自动启动拉矫机，并自动调节拉速使钢水液面平稳上升到目标设定液位，实现全自动浇钢。系统逻辑见图 13。

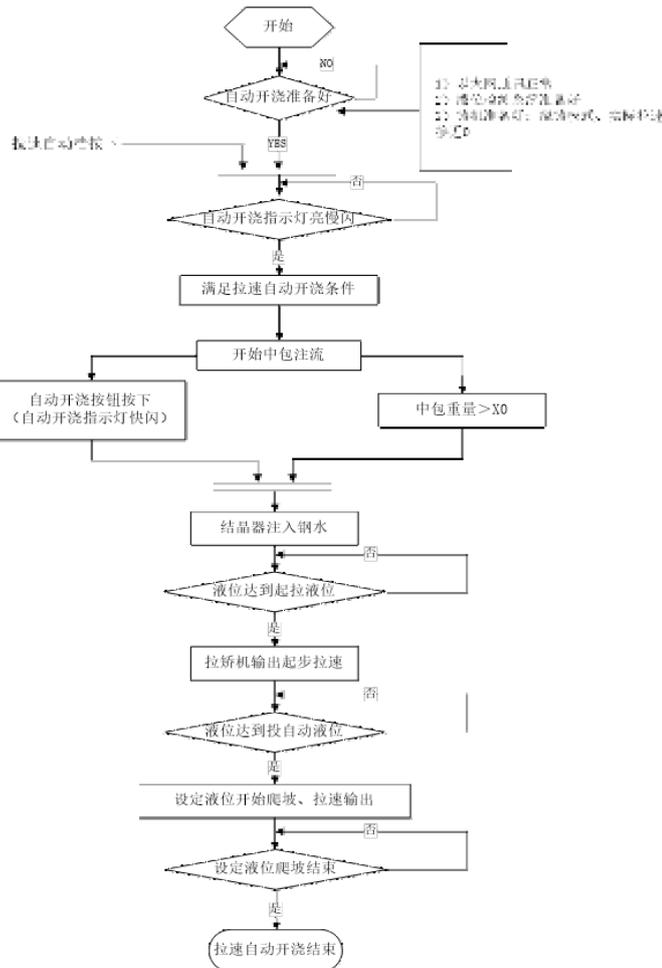


图 13 自动开浇系统逻辑图

3.3.3. 智能加渣

本系统在传统的基础上进行了智能化升级，大料斗设有破袋装置；系统具有自动吸渣功能，可直接从大料斗吸取保护渣到中间料斗，并对小料斗的渣量进行实时监控，根据小料斗的剩余渣量进行判断然后自动快速补渣，加入一定量后自动停止。该系统可进行循环往复的补渣动作，可以防止停浇后中间料斗剩余保护渣过多造成浪费。具体情况见图 14。

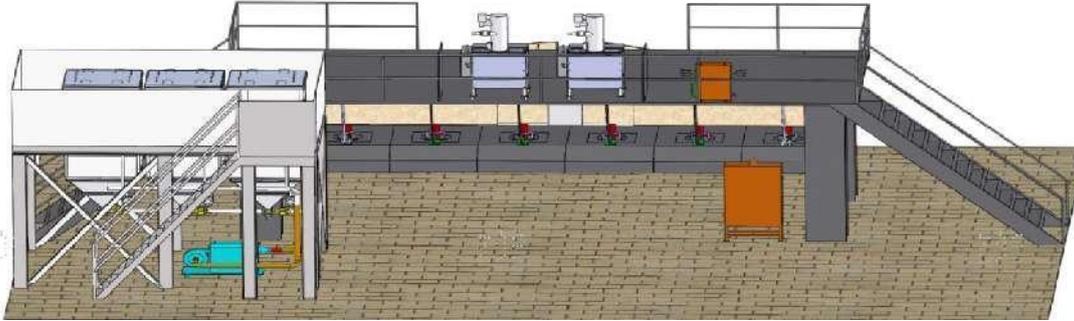


图 14 智能加渣三维效果图

3.3.4. 激光定重定尺

系统由激光器及其数据采集装置、称重装置、称重传感器及仪表、控制模块、运算中心、控制软件等部分组成。称重装置主要是由电液缸、龙门架、称重传感器及仪表、吊坯装置等组成。上线使用以来，目前现场的定尺精度达到 $\pm 10\text{mm}$ 。具体情况见图 15。



图 15 激光定重定尺三维效果图

3.3.5. 自动出坯

6#机整个出坯系统实现了无人自动出坯功能。系统通过工业相机检测铸坯在辊道位置，合理开启输送辊道，铸坯精确定位至喷号机前进行喷号。喷号完成后，铸坯自动输送至冷床或热送。出坯系统与连铸二级系统、喷号机系统、推钢机、移钢机等控制系统等进行通讯，现场应用效果良好。系统布局见图 16。

为保障自动出坯正常运行，采用了部分特色技术。

- 1) 定位装置采用非接触式检测方式，远离高温，稳定可靠。
- 2) 关键位置（翻钢位）采用冗余方式检测，提高设备稳定性。
- 3) 出坯过程数据记录、出坯流程可生成报表回溯。
- 4) 远程诊断功能，每天都可将系统故障信息、状态信息以及数据集中发送到服务器，根据信息及时给予正确处理，保证设备无故障运行。

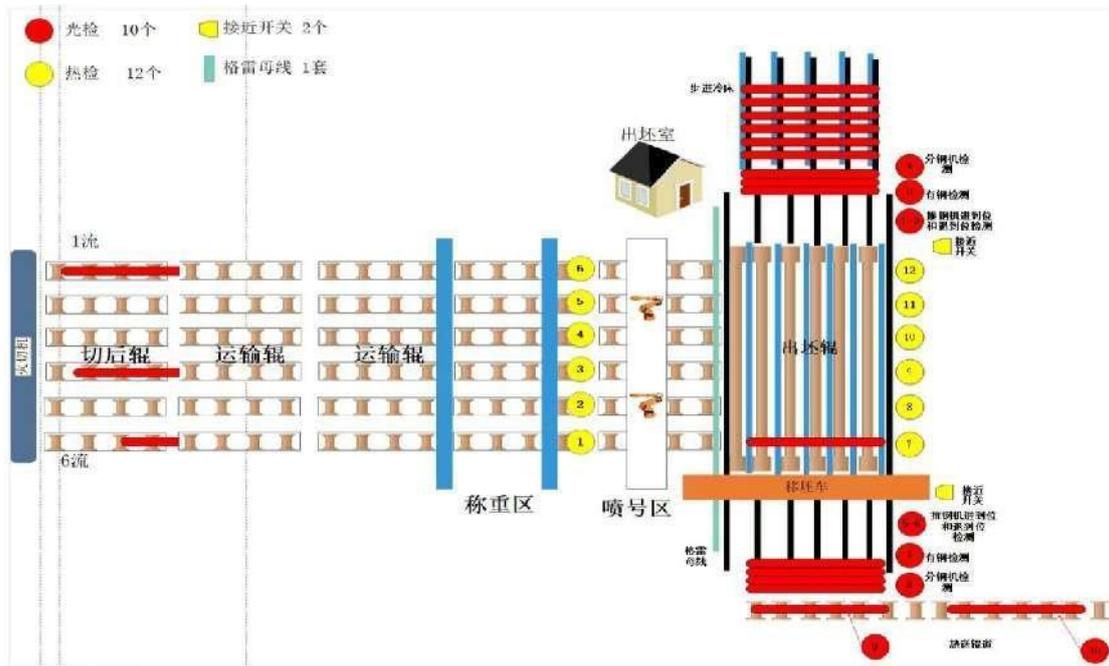


图 16 自动出坯系统布局图

3.3.6. 设备智能运维

系统上线后连铸机的设备运行状态信息及故障信息一目了然，通过信息报警推送能迅速找到解决问题的方法。打破了人、设备和数据的空间与物理界限，是基于大数据分析的可视化智能运维系统的应用，有效地解决了钢铁行业不能及时对设备进行有效维护的难题，实现了关键设备的全生命周期管理，提高了设备有效运维时间和效率，降低了设备运维成本，减少了现场人员维护量。具体情况见图 17。



图 17 设备智能运维系统界面图

3.4. 服务环节上线

3.4.1. 铸机智能二级

在 6#机上新增铸机智能二级系统。通过数据分析、管理优化工艺；通过切割优化减少短尺；通过实施统一的数据采集平台，实现数据的高效管理体系；通过自动化和系统整合构建高效的人力运行环境；通过基于数据的智能二级系统，提高生产作业效率及改善作业环境。

项目实施后目前已经实现了混坯计算、生产跟踪、异常坯跟踪、铸坯质量跟踪、铸坯质量判定、坯量计算、优化定尺和切割、火切机定尺设定、铸坯喷号录入等功能。完善了基础设施，实现了数据不落地，支撑了公司信息化。系统界面见图 18。



图 18 智能二级系统界面图

3.4.2. 生产准时化系统

重钢炼钢厂一、二系列在对工艺装配进行改造升级之后，系统产能大幅提升，铁-钢界面的管理前移，因此需要从生产组织管控角度进行全面提升，基于以下原因，在炼钢厂上线生产智能管控系统。

- 1) 由于炼钢厂生产品种规格非常多，品种规格之间生产节奏存在差异，直接导致在人工管控条件下，转炉、精炼、连铸节奏无法高效匹配，炼钢工序的生产很难达到高产、高效状态。
- 2) 铁水出铁节奏、配包模式、脱 S 节奏、炼钢节奏、铁水去向分配没有形成一套完整的管控模式，对

铁水库存、调配、运行缺乏有效管理手段。

3) 生产指挥一直依靠人工进行炉机生产计划下达, 缺乏系统化、模式化的炉机匹配系统, 经常出现生产节奏上的异常, 经常性出现由于调整不及时或者调整不当造成生产中断、过度降拉速生产造成质量和设备隐患。

4) 生产物流难于精准控制, 一直处于相互干扰与相互影响的状态, 经常性出现转炉等铁水、废钢, 浇铸跨钢水等行车吊运现象; 废钢、铁水、钢水、行车、台车的生产组织效率低下, 制约了转炉、精炼、连铸的快节奏生产。

5) 炼钢厂需要通过引进先进的生产管理技术, 建立炼钢准时化生产系统, 实现准时准点、精准控制, 从而全面提升炼钢的生产效率。

生产准时化系统上线后, 减少了对人的依赖, 缩小了操作人员之间的差异, 达到了操作标准化、管理规范, 使生产组织集中化、统一化、高效化, 提高了生产组织运行效率。系统界面见图 19。

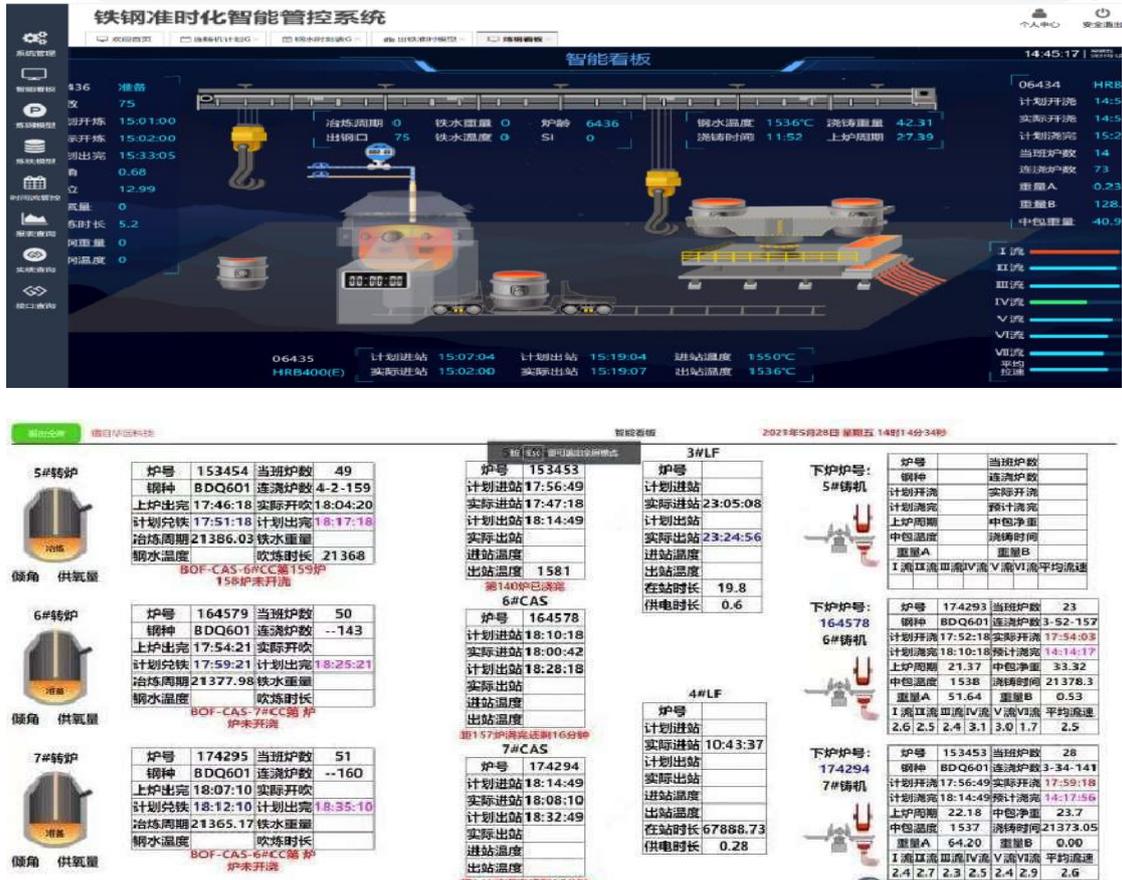


图 19 生产准时化系统界面图

4. 6#连铸机智慧制造应用效果

该铸机配套使用的自动装拆大包滑板油缸机器人由于设备影响的未投用率<7%、大包平台浇钢侧机器人由于设备影响的未投用率<3%、铸坯喷号机器人投用率>98%、自动开浇成功率>97%、智能加渣投用率>99%、激光定重定尺误差<±10mm、实现自动出坯人工干预率<5%、85%以上实现设备智能运维; 并在铸机智能二级、结晶器在线振动检测、生产准时化系统等方面有所突破。自投产以来, 6#连铸机本体已经具备年产量 155 万吨的生产能力, 智慧制造配套技术应用效果比较良好。

5. 结语

重钢 6#机投产以来，连铸机本体已经具备年产量 155 万吨的生产能力。同时，通过集控中心的建成和投入，铸机上各个区域的智慧制造项目先后投入运行，目前已经逐步实现了“四个一律”的目标，并初步实现了连铸全流程数据平台统一、软硬件统一和工艺模型标准化，为连铸质量控制植入“智慧大脑”，响应了钢企提质增效、信息管理、智能监控等方面需求。重钢 6#智慧连铸机技术的研发及应用，是重庆钢铁智能制造产业的里程碑，也是重庆钢铁产业走向少人化、智能化工厂的标志。