

1900 mm 双流板坯连铸机 工艺配置设计与实践

Design and Practice of Technical Configuration for 1900-mm Slab Twin-strand CCM

供稿|方云楚 / FANG Yunchu

内 容 导 读

以河钢集团唐钢新区项目 1900 mm 双流板坯连铸机为例，对连铸系统的机型选择、工艺流程设计、主要工艺参数、技术特点、关键设备配置等方面进行了总结性叙述，并介绍了连铸系统相关的生产操作过程，通过合理的工艺流程设计和设备配置选择，连铸系统得以智能、高效、稳定、安全、环保地进行生产，助力 2050 热轧产线研发出电池壳钢、工业纯铁、车轮钢和双抗管线钢等新产品，2023 年 2050 热轧高潜能、高创效产品比例达 37.60%。

随着冶金工业技术的不断进步，连铸工序作为炼钢和轧钢连接中一道重要的工艺流程，发展突飞猛进^[1]。20 世纪 70 年代，连铸技术的发展进入高速增长期，通过国外先进技术和设备的引进与学习吸收，推动我国连铸技术快速发展，逐渐形成具有节能环保、质量优良、成本合理、工艺成熟和品种开发潜力的连铸技术^[2-3]。河钢集团唐钢新区是河北省钢铁企业转型升级、结构调整的示范工程，项目以“绿色化、智能化、品牌化”为建设目标，通过对全流程进行解析与集成，科学匹配工序单元，采用最先进的流程界面技术，实现钢厂“动态有序”、“协同连续”的精准设计^[4]。根据市场导向确定产品定位，将一期项目主要产品确定为热轧板卷，全力打造中国第一大家电用钢、第二大汽车用钢供应商，中国核电、海洋工程、建筑桥梁用钢领军企业。为协调

炼钢和轧钢工序生产，在炼钢连铸车间新建 2 台 1900 mm 双流板坯连铸机，并将数字化信息流贯穿于钢铁生产全流程，实现信息化系统与物理系统融合设计。

连铸机产品方案

2 台 1900 mm 双流板坯连铸机为 2050 mm 热轧生产线提供合格铸坯。主要生产碳素结构钢、优质碳素结构钢、汽车结构用钢、高耐候结构钢及集装箱板、高层建筑结构用钢、管线钢、锅炉及压力容器用钢、桥梁用结构钢、船体用结构钢等。产品大纲见表 1。1900 mm 双流板坯连铸机产品规格：铸坯宽度：900~1900 mm；铸坯厚度：230、250 mm；切割定尺：9000~11000 mm、4500~5300 mm。

连铸系统现场情况见图 1、图 2。

作者单位：唐钢国际工程技术股份有限公司，河北 唐山 063000

表 1 2050 热连轧产品大纲

产品用途	钢种	代表钢号	比例/%
冷轧原料卷	深冲及超深冲带卷（含IF）	SPCC~SPCE	28
	结构用钢	Q195~Q345	23
	340~590 MPa级高强度	HSS-CQ、HSS-DQ、HSS-DDQ	10
	590 MPa以上级高强度	HSS-BH、HSS-DP、HSS-TRIP	5
热轧商品卷	碳素结构钢	Q195~Q275	6
	优质碳素结构钢	08、08A1、10~40	6
	汽车结构用钢	SPFH490、SPFH540、SPFH590、DP600、DP800、FB450、FB600、FB800、MP800MP1000、MS1200	6
	高耐候结构钢及集装箱板	Q295GNHL、Q345GNH、Q345GNHL、Q295GNHQ345GNHJ、Q245NHYJ	5
	高层建筑结构用钢	Q235GJ、Q345GJ	3
	管线钢	X24~X100	3
	锅炉及压力容器用钢	16MnG、20MnG、20G	2
	桥梁用结构钢	Q235q、Q420q	3



图 1 连铸机主操作平台现场



图 2 连铸机生产现场情况

连铸机机型的选择

机型

板坯连铸技术发展至今，机型设计逐渐趋于成熟，目前世界上应用最多的机型为直弧型连续弯曲连续矫直连铸机。近几年我国投产的直弧型板坯连铸机，运行状况良好，为热轧厂提供各类高品质合格铸坯，铸坯的硫印评级和无清理比例较高，具备铸坯直接热装热送的条件^[2]。直弧型板坯连铸机夹杂物上浮条件好，有利于消除或减少夹杂物向内弧侧富集，且结晶器为铜板制作，维修简单方便，维护成本低^[5-6]。

连铸机的基本弧半径

在拉坯过程中，连铸机的基本弧半径，直接影响板坯铸坯的变形率，这也是铸坯质量的决定性影响因素。近年来采用连续弯曲连续矫直机型的连铸机，适当减小铸机基本弧半径，使钢水静压力降低，进而有效控制铸坯的变形率。与传统的连铸机相比，虽然基本弧半径有所降低，但是铸坯的变形率依然控制在合理的范围。对于铸坯厚度 ≤ 250 mm的板坯连铸，直弧型连铸机一般选用 9~10 m 的基本弧半径^[7]。

随着连铸技术向着高质量、智能化、高拉速的方向不断发展，连铸机确定半径时还应考虑连铸机留有进一步提高拉速的潜力，但过高的拉速又易使铸坯的中心疏松、中心缩孔及中心偏析的等级升

高。为此需要综合各方面影响因素进行确定，根据产品大纲要求，综合冶金长度按照平均 35 m 设计；本项目基本弧半径设计时，综合满足低拉速状态下矫直区变形量要求，以及满足高拉速下铸坯生产顺利进行，释放连铸潜力；再结合矫直区设计和轻压下设

计，最终选用基本弧半径 9.5 m 的连续弯曲连续矫直直弧型连铸机。

连铸生产工艺流程

连铸工艺流程见图 3。



图 3 连铸工艺流程图

钢水准备

转炉出钢后，按照浇注要求的化学成份、气体含量、温度等，对钢水进行 LF-RH 精炼处理。精炼后装有合格钢水的钢包由炼钢车间铸造起重机吊运至连铸机钢包回转台。回转台将钢包回转至中间罐

上方后，打开钢包滑动水口，为中间罐注入钢水。当中间罐内钢水深度达到浇注要求高度后，即可开始浇注。

连铸机浇注前的准备

中间罐修砌后由干燥站进行干燥，完成后再由

浇铸跨起重机吊运至连铸平台的中间罐车上，在烘烤位进行在线烘烤，烘烤时间约 90 min，烘烤温度 1100℃。此外，中间罐水口也同时进行烘烤，水口烘烤装置的烘烤温度 1100℃。

引锭杆由浇注平台上的引锭杆小车，就位并送入结晶器，再向浇注方向运行使引锭头在结晶器内处于合适位置。用石棉绳塞紧结晶器固定引锭头，填装废钢屑，最后向结晶器铜板涂抹润滑油。

接通结晶器冷却水、二冷水、压缩空气、设备冷却水、液压、润滑等系统，使各系统处于正常工作状态。确保火焰切割机用天然气、氧气等能源介质系统处于正常状态。各操作台、控制箱显示电气系统正常^[8]。

浇注操作

钢水由钢包注入中间罐，当中间罐内液面高度达到工作液位的一半时，即可打开塞棒，使钢水在浸入式水口的导流下，平稳的注入结晶器。

当结晶器内钢水液面上升到拉坯位置后，启动“浇注”，按照预定的起步拉速，扇形段驱动辊开始进行拉坯。与此同时，结晶器振动装置、二冷喷淋水、设备冷却水、二冷室排蒸汽风机、结晶器排烟风机自动开始工作^[8]。

在冷却作用下，结晶器内钢水外层形成坯壳，内层带有液芯的铸坯，在引锭杆的牵引下离开结晶器下口，经过足辊、弯曲段、弧形段往下移动，同时进行气雾冷却^[8]。

在矫直段对弧形的铸坯进行矫直，然后送入水平段。铸坯离开水平扇形段后脱离引锭杆，引锭杆卷扬装置将引锭杆送回浇注平台上的引锭杆小车，为下一连浇炉次做准备。

铸坯在与引锭杆分离后，在辊道的驱动下按照拉速进入火焰切割机，火切切割机切掉长约 400 mm 的切头，切头部分经溜槽落入下部的切头、切尾收集箱内。完成切头后的铸坯按照定尺进行切割，合格定尺的铸坯通过去毛刺机去掉切口处的毛刺，毛刺通过毛刺收集小车，滑入毛刺收集箱。处理后的铸坯在喷号辊道进行喷号标记。

出坯及堆存

通过铸坯横移装置，把两套连铸机各流的铸坯

收集输送到热送辊道上，由热送辊道将直接热送的铸坯送往轧钢车间。

需要表面火焰清理的铸坯，通过铸坯横移装置，运送至火焰清理辊道，进行 4 面火焰清理，清理完的铸坯，可通过手动清理装置，实现在线检测及手动清理，也可下线堆存冷却后，再进行检测及清理。

对于一些容器钢和高合金钢需要缓冷的，可通过吊车吊至缓冷坑进行缓冷。需冷却堆存后进行精整的铸坯由车间的铸坯夹钳起重机将垛板台上的铸坯吊运下线，进行处理；根据轧钢工序的需要，再由铸坯夹钳起重机吊至卸垛台，铸坯由卸垛台送回热送辊道，转运到轧钢车间加热炉，也可以经过跨车运至热轧车间。

连铸机主要技术参数

1[#]、2[#]板坯连铸机主要设备配置及参数见表 2。

表 2 连铸机主要设备配置及参数

序号	项目	参数
1	连铸机机型	直结晶器，连续弯曲、连续矫直弧形板坯连铸机
2	连铸机台数×流数	2×2
3	连铸机基本半径	9.5 m
4	流间距	6.5 m
5	浇铸断面	厚度：230、250 mm，宽度：900~1900 mm
6	定尺长度	9000~11000 mm，4500~5300 mm（少量）
7	铸机冶金长度	~35.0 m
8	铸机速度范围	0.1~2.5 m/min
9	回转台形式	蝶型
10	中间罐车形式	门式
11	结晶器振动装置	液压振动
12	二冷水控制	二冷动态控制
13	引锭杆装入方式	下装
14	切割方式	在线火焰切割
15	在线去毛刺	锤击或刮刀式
16	铸坯喷号方式	在线侧面喷号
17	出坯方式	横移车+辊道热送（为主）+推钢机/垛板台
18	出坯辊面标高	+0.8 m
19	浇注平台标高	约+13.4 m

根据产品大纲要求，结合设计和现场经验，确定冶金长度 35 m，基本弧半径 9.5 m；再按照矫直区

设计，最终按照结晶器液面距第一对拉矫辊处的有效弧线长度，确定设备拉速范围 0.1~2.5 m/min；根据轧钢下游工序的原料要求以及铸坯下线吊装计算，确定铸坯定尺范围和辊道间距，并配置横移车、推钢机和垛板台；回转台、中间包车等大型设备选用成熟可靠的设备形式；配备电磁搅拌、结晶器液压振动和二冷动态控制系统为铸坯质量保驾护航。

连铸机主要技术特点

为提高铸坯的表面和内部质量，保证生产无缺陷铸坯，提高连铸生产率、可靠性和热利用率，实现板坯高温热送、节能环保及综合利用^[9]，板坯连铸机设计选型采用了多项先进技术，见表 3。

表 3 连铸采用的先进技术及实现的功能

序号	技术名称	提高质量	提高生产率和可靠性	板坯热送	节能环保
1	蝶型钢包回转台、带升降、旋转、称量、吹氩等功能	√	√		
2	钢包下渣检测技术	√			
3	加堰大容量、深液面中间罐冶金技术	√			
4	中间罐称重与液位自动控制	√			
5	中间罐连续测温技术	√	√		
6	浸入式水口快换技术		√		
7	钢水全程无氧化保护浇注	√			
8	结晶器液面自动检测和塞棒自动控制技术	√	√		
9	结晶器专家系统（漏钢预警）		√		
10	结晶器液压振动技术	√			
11	结晶器自动调宽技术	√	√	√	
12	结晶器自动加保护渣技术	√	√		
13	辊式电磁搅拌	√			
14	直弧型连续弯曲连续矫直机型	√			
15	大弧形半径、小辊径密排分节辊辊列技术	√			
16	高强度和高刚度铸流导向段设计技术	√			
17	二冷气雾冷却动态控制	√		√	
18	扇形段远程自动调辊缝	√	√		√
19	动态轻压下	√	√		
20	主机设备整体快速更换技术		√		
21	铸坯去毛刺、喷号技术	√	√	√	
22	辊缝测量仪和结晶器锥度仪		√		
23	最佳长度切割计算和控制	√	√		
24	计算机质量判定	√	√	√	
25	计算机铸坯跟踪及管理技术		√		
26	连铸机热送热装技术		√	√	√

连铸机关键设备

连铸系统主要设备包括钢包回转台、中间罐、中间罐车、结晶器、扇形段、切割区、引锭系统、去毛刺、喷号机、铸坯横移以及后部辊道等组成，工艺布置示意图见图 4。连铸设备配置上按照生产安全顺畅、铸坯质量优质化、操作水平自动化智能化

进行设计，其中结晶器、二冷动态控制、扇形段、矫直段以及铸坯火焰清理是保障铸坯质量的关键手段。

结晶器

结晶器是整个连铸系统的核心，合理的结晶器设计能使连铸顺利进行，铸坯质量得到有效保障。

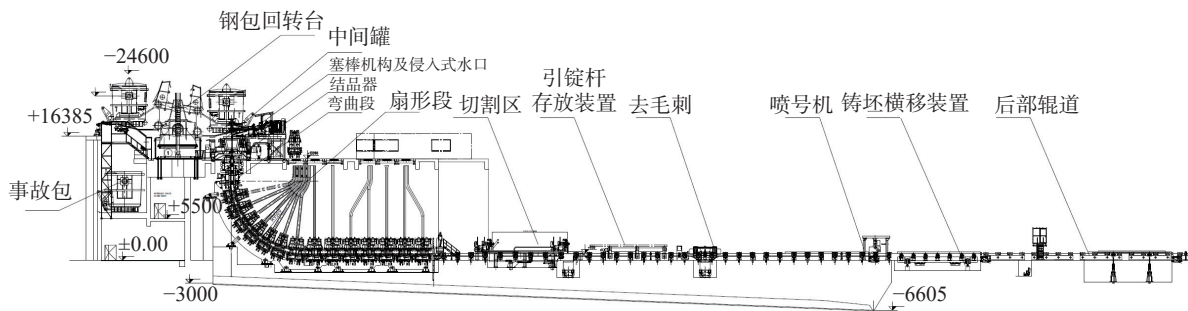


图4 连铸系统工艺立面布置示意图

连铸系统选用直结晶器在线自动调宽形式，使用宽900~1900 mm，厚230 mm和250 mm铸坯浇注。由液压缸进行宽度调节，足辊通过外部二次冷却水冷却。

结晶器配套设有结晶器罩，用于保护结晶器，避免结晶器溢出钢水以及中间罐车开动期间流出钢水损坏结晶器。同时配套设有自动加保护渣装置，以机械和电气相结合的自动加渣模式替代人工加渣。

配套设置结晶器振动装置，通过采用先进成熟的液压振动形式，防止坯壳粘在铜板上，并改善保护渣润滑性，实现结晶器按照正弦曲线、非正弦曲线及其它波形进行振动，具备任何时间任意选择调整振幅和振频的功能，在浇注过程中，根据拉速、钢种等因素，自动调节振幅和振频。

弯曲段、扇形段

弯曲段配有辊式电磁搅拌装置，其线圈固定在弧形扇形段的辊子内，当扇形段放置到底座上时，通过两个自动连接装置，电源和水可自动接通。辊式电磁搅拌装置可在扇形段辊间形成电磁场，当钢水与磁场产生相对运动时，产生电磁力，对钢水进行搅拌，电磁力的大小和方向可通过调节电流的大小和方向来实现。电磁搅拌装置的应用改善了坯壳内钢水流场，避免内部钢水冲击坯壳和卷渣等不利因素。

弯曲段后扇形区分为弧形段（1~6段）、矫直段（7、8段）、水平段（9~13段）。弧形段每流6段，矫直段每流2段，水平段每流5段。每段均由7对辊子组成，辊子长2000 mm。

弧形段对弯曲段与矫直段之间的铸坯进行支撑，并引导铸坯在恒定的9.5 m弧形半径上向下运动。弧形段由底部和顶部框架组成，由连杆端部的液压缸夹在一起。夹持液压缸装在支撑件上，可以

进行不平衡运动。分节辊子减小辊径，缩小了辊间距，同时保证辊子有足够的强度，以减少辊子的变形，从而生产出内部及表面质量最好的板坯。使用夹持液压缸控制辊缝打开，通过夹持液压缸的位置传感器，按照动态软压下控制要求对扇形段开口度进行自动调节。弧形段冷却用水及压缩空气可自动连接。1~6弧形段除喷嘴布置不同外，其他均相同，可实现互换。

矫直段对铸坯进行支撑，并将按恒定弧形半径运动的铸坯依据矫直曲线矫直成水平运动。使用夹持液压缸控制辊缝打开，通过夹持液压缸的位置传感器，按照动态软压下控制要求对扇形段开口度进行自动调节。矫直段结构与弧形段相似。

铸坯在水平段的引导和支承下继续前进，实现铸坯完全凝固。使用夹持液压缸控制辊缝打开，通过夹持液压缸的位置传感器，按照动态软压下控制要求对扇形段开口度进行自动调节。所有水平段相同，可互换。结构与矫直段相似。

火焰清理系统

两台连铸机共用火焰清理系统。铸坯火焰清理分为在线和离线，铸坯通过横移装置或者上料台运至火焰清理入口辊道进行对中，再由火焰清理装置对铸坯的2个表面进行清理。铸坯定位完成后，烧嘴自动点火并靠近、预热，预热一定时间后，铸坯通过夹送辊以设定的速度向前运行，进行火焰清理时，清理速度和设定的铸坯表面清理厚度有关系，最大单面清理厚度达4.5 mm。当铸坯完成2个表面的清理后通过高压除磷装置去除铸坯表面的氧化铁皮，铸坯通过横移装置横移至翻坯机进行翻坯，然后通过输送辊道和横移装置再一次进入火焰清理入口辊道进行对中，并进行另外2个表面的火焰清

理，清理完的铸坯可通过下料台架进行下线操作。铸坯通过火焰清理后可下线堆存或者在人工清理台架进行检测和清理。从而改善铸坯表面质量，为后续轧钢工序开发优质产品提供原料保障。

自动化控制系统

铸机引进普瑞特公司先进的机械设备及控制理念，配置了一级和二级专家系统、产品质量检测系统。L1 为基础级控制系统，用于生产设备的运行检测，L2 为过程计算机控制系统，用于车间信息管理和设备数字模拟控制。

基础级 L1 过程控制系统面向生产过程，主要包括：在线检测生产数据、数据处理运算、存储、显示、管理、控制输出、报表打印等。操作人员可以对过程参数进行修改和设定，并能够通过人机接口对设备运行状态进行控制。通过通信网络实现连铸机各系统之间的数据交换，通过 HMI 操作站完成操作监视^[10]。完成的控制功能如下：钢包回转台旋转及加盖控制，中间罐车行走控制，液压系统控制，蒸汽排出装置控制，结晶器液压振动控制，钢包及中间罐称量、测温控制，拉矫机控制，后部辊道区控制，铸坯跟踪、长度测量，二冷区冷却水、结晶器冷却水、设备冷却水的检测及控制，动态二冷模型控制^[11]。

为了在保证产品质量的前提下，降低生产成本、提高生产效率，连铸系统配套设置了过程控制计算机系统（L2）。过程控制系统主要功能为区域物料跟踪、模型设置计算和数据收集，可以确保产品质量和产量，实现有序生产。连铸过程控制系统处理从钢包到达大包回转台，直至钢坯切割结束，板坯热送或下线过程中的浇铸处理信息，具体包括：炉次计划管理、炉次计划数据处理、连铸生产跟踪、炉次跟踪、铸流跟踪、铸坯跟踪、炉次序列跟踪、设备控制管理、技术数据管理、操作指导、成分化验信息处理、质量控制模型、切割优化模型、以及报表和通讯。连铸过程控制系统的实施达到管理有序，优化质量，指导生产的目的。

生产实践

1900 mm 双流板坯连铸机投产后，结晶器阶

段，浇注钢水在保护渣覆盖润滑作用下，经结晶器铜板冷却形成坯壳；利用结晶器电磁搅拌，减小夹杂物进入，同时均匀钢水流场，减少对坯壳的冲击；通过完成自学习的自动化控制，精准控制铜板冷却水量，实现坯壳厚度可控；采用液压振动，防止坯壳与铜板粘连，同时便于保护渣下落。

进入弯曲段、扇形段后。二冷区通过控制辊缝，以控制铸坯厚度；控制辊距，避免鼓肚；通过二冷水动态控制，控制液芯位置，按照生产钢种进行结晶。在矫直段动态轻压下、末端电磁搅拌作用下，避免偏析元素聚合，形成弥散型偏析，从而达到细化晶粒、改善铸坯质量的目的。采用铸坯火焰清理和高压水除磷，改善铸坯表面质量，为轧钢创造条件，现场生产的铸坯照片见图 5，铸坯低倍照片见图 6。



图 5 现场生产的铸坯照片

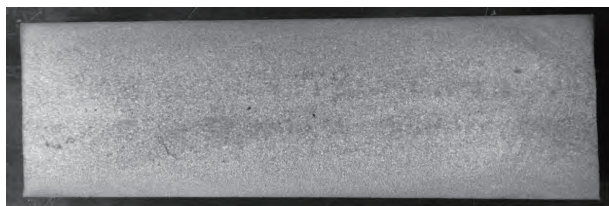


图 6 铸坯低倍照片

在良好铸坯质量的保障下，2050 热轧产线研发电池壳钢、工业纯铁、车轮钢和双抗管线钢等新产品，多品种实现“从 0 到 1”的突破，管线钢、车轮钢、焊瓶钢和高强结构钢等品种实现系列化。其中焊瓶钢完成最高级别产品的生产和应用，管线钢在成功开发 X80 级别产品。经产品结构的不断优化，2023 年 2050 热轧高潜能、高创效产品比例达

37.60%。

结束语

1900 mm 双流板坯连铸机系统工艺设计和设备选型遵循“成熟、可靠、先进、高效、智能、绿色、环保”的原则，根据项目总体规划要求，按照产品方案，在技术方案、设备装配水平等各方面贯彻新一代钢厂的科学设计理念。该系统凭借着强大的装备及控制水平，专业化的管理，很好的衔接起炼钢和轧钢工序，为板材产品的高质量、低成本生产创造有利条件，同时也为同类钢厂的设计选型提供经验。

参考文献

- [1] 魏民, 张家泉. 连续铸钢与钢坯热塑性. 金属世界, 2022(2): 55
- [2] 李宏伟, 李秀景, 董继亮, 等. 卷取温度对热冲压成型钢组织及性能的影响. 河北冶金, 2020(5): 62
- [3] 路伟, 王岳飞. 环保新常态下非对称烟道的单风机生产探索与研究. 金属世界, 2024(2): 82

- [4] 王新东, 李铁, 张弛, 等. 河钢唐钢新区数字化绿色智能工厂的设计与实施. 河北冶金, 2021(7): 1
- [5] 李川. 板坯连铸自动控制系统设计与实现 [学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2013
- [6] 王忠亮. 包钢取向硅钢 (CGO) 热轧钢带的研制与开发 [学位论文]. 内蒙古: 内蒙古科技大学, 2019
- [7] 宫已占. 冶金项目风险管理的技术手段研究 [学位论文]. 天津: 天津大学, 2007
- [8] 王利民. 热轧超薄带钢 ESP 无头轧制技术发展和应用. 冶金设备, 2014(S1): 60
- [9] 张福明, 崔幸超, 张德国. 新一代炼钢厂功能优化与集成//第八届 (2011) 中国钢铁年会. 北京, 2011
- [10] 路学. 新型自动化浇钢车的设计与开发 [学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 2018
- [11] 赵蕊. 板坯连铸机自动化系统的设计 [学位论文]. 唐山: 华北理工大学, 2017

作者简介: 方云楚 (1990—), 男, 河北省唐山市人, 硕士, 工程师, 炼钢工艺设计师。主要研究方向: 钢铁冶金。通信地址: 河北省唐山市路北区荣华西道 599 号唐钢国际工程技术股份有限公司; E-mail: yunfeng285@163.com。