DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.09.018

五机五流直弧形宽扁坯连铸机的设计特点

陈　阳,周干水,裴国良,胡旭哲,万茂军,邹　旭,夏　秋
(中冶南方连铸技术工程有限责任公司,湖北 武汉 430073)

摘　要:为配合某钢厂实施产能置换以丰富产品结构,特新建了一台中国产多流直弧形宽扁坯连铸机,可同时五流生产 165/180×(450~750)小板坯。该铸机设计新颖,集常规双流板坯、多流矩形坯铸机特点于一身。采用同位异形钢包回转台、中间罐双控流模式、密排夹持段径向抽出、上下驱动牌坊式拉矫机、新型液压振动、L 型飞锤式去毛刺机、辊列优化、二冷动态配水等多项新技术,可为同类连铸机的建设提供参考和借鉴。两年的生产实践表明,该铸机生产维护操作日趋熟练,各项指标达到设计要求,经济性能优越,铸坯表面无缺陷、内部质量优良,实际生产效果令人满意。

关键词:直弧形;宽扁坯连铸机;液压振动;拉矫机;控流模式

中图分类号:TF341.6　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)09-0875-06

Design Feature of Domestic Five Strand Straight Arc Type Wide Flat Slab Continuous Caster

CHEN Yang, ZHOU Ganshui, PEI Guoliang, HU Xuzhe, WAN Maojun, ZOU Xu, XIA Qiu
(WISDRI CCTEC Engineering Co., Ltd., Wuhan 430073, China)

Abstract: In order to carry out capacity replacement in X Steel Plant to enrich product structure, a new domestic multi-flow straight arc wide flat billet continuous casting machine is built, which can produce 165/180×(450~750) mm small slab with 5-strand at the same time. The design of the casting machine was novel, which integrated the characteristics of conventional double-flow slab and multi-flow rectangular slab. The new technologies, such as same-position profile-shaped ladle rotary table, double control mode of intermediate tank, radial extraction of dense row clamping section, up-down driving brand type pulling-leveller, new hydraulic vibration, L-shape flying hammer deburring machine, roller line optimization and dynamic water distribution for secondary cooling, which could be used for reference for the construction of similar continuous casting machines. Two years of production practice show that the machine is becoming more and more skilled in production and maintenance operation, the indexes meet the design requirements, the economic performance is superior, the surface of the casting billet has no defects, the internal quality is excellent, and the actual production effect is satisfactory.

Key words: straight arc type; wide flat slab continuous caster; hydraulic oscillation; withdrawal and straightening unit; flow control pattern

小型板坯,也称窄板坯,通常指厚度 125~200 mm、宽度 500~900 mm 的板坯,是一种处于矩形坯与常规板坯之间的特殊坯型。与传统板坯相比,其厚度较薄,宽度较窄;与矩形坯相比,其宽度较大,宽厚比超过 2.0,通常将这种坯型称之为宽扁坯。该板坯的主要特点是单流小时产量低,其最终产品作为中宽带钢,广泛用于家电、焊管及建筑用材等行业。随着国民经济发展的需要,带钢使用范围越来越广,需求量越来越大,其生产逐步向淘汰窄带、发展中宽带方向发展,带钢生产所需的连铸坯型也由矩形坯转向了小型板坯,生产钢种开始涉及了优质碳素结构钢,质量要求越来越高。21 世纪以来,中国钢铁生产规模和生产技术取得了快速的发展,炼钢以转炉为主,呈现出炉容量大(120 t 及以上)、冶炼周期短(28~38 min),为了与大型转炉生产节奏相匹配,类似 150/165/180×(450~900) mm 左右小型板坯铸机所配置的流数越来越多。一方面传统双流板坯浇注断面、设备配置、工艺布局完全相同,已不能满足炉机匹配需求;另一方面传统全弧形矩形坯铸机不利于铸坯品质的提高,以生产窄带用铸坯为主。中冶南方连铸公司打破常规,创造性地设计出多流直弧型连续弯曲/矫直宽扁坯铸机,其设备结构形式新颖,既显著增加产能,又可降低钢厂的基建投资和后

收稿日期:2020-05-12

作者简介:陈　阳(1982-),湖北荆门人,博士研究生,高级工程师,主要从事连铸过程中数值模拟和铸坯质量控制研究方面的工作.电话:027-81628120,
E-mail:yangchen829@163.com

续生产的消耗，经济性能优越，可为某钢厂新建的850 mm中宽带轧机提供坯料以满足日益增长的市场需求。宽扁坯连铸机型的开发与应用，极大地满足我国转炉大型化、生产高效化、品种质量高端化的发展趋势。

1 五机五流宽扁坯连铸机工艺参数

表1为五机五流宽扁坯连铸机的主要技术参数。生产普通碳素结构钢(Q195、Q235)、优质碳素结构钢(08Al、20)、低合金钢(Q345)等。由中冶南方连铸(CCTEC)以EPC方式承建，负责连铸机的总体工艺、机械设备及三电系统的详细设计、制造供货、安装及调试工作。

表1 五机五流宽扁坯连铸机的主要技术参数
Tab.1 The main technical parameters of five strand wide flat slab continuous caster

项目	单位	参数
连铸机型式	-	直弧形连续弯曲连续矫直
连铸机台数×流数	台×流	1×5
基本垂直区高度	mm	2 460
连铸机基本半径	mm	9 000
铸机流间距	mm	2 300
连续弯曲区长度	mm	1 500
连续矫直区长度	mm	3 253.3
铸坯断面	mm	165/180×(450~750)
铸坯定尺	m	7~11
正常拉速	m/min	0.7~1.5
送引锭装速度	m/min	2.5(下装式)
准备时间	min	45
平均连浇炉数	炉/次	40
连铸机年有效作业率	%	90
合格铸坯年产量	104 t/a	200

2 五机五流宽扁坯连铸机的设计特点

该铸机的设备结构形式吸收了传统板坯与矩形坯铸机的优点，其主要区别在于工艺布局更加新颖、紧凑，既借鉴多流小方坯常用的整体T型中间罐与高低腿式中间罐车、矩形坯内外弧布置的液压振动单元、房式蒸汽密封室、牌坊式拉矫机等，又引用了传统小型板坯铸机常用的组合式结晶器、密排夹持段、更换导轨、飞锤式去毛刺机、捞钢机、推钢机与跺板台等共同组成了这台国产五机五流宽扁坯连铸机(如图1所示)。

该机型适用于厚度变化少、宽度小于950 mm的多流小板坯连铸，可实现板式结晶器在线停机调整宽度，其特点包括：①密排夹持段(包括弯曲段、扇形Ⅰ段、扇形Ⅱ段、扇形Ⅲ段等)采用固定收缩辊缝形式不带驱动不带油缸，安装到位后冷却水、气自动接通，厚度变化时离线更换，拉坯功能由布置在矫直区域的牌坊式拉矫机集中完成；②弯曲段、扇形Ⅰ段可从结晶器顶部吊装和抽出；扇形Ⅱ、Ⅲ段通过设置专门的更换导轨采取径向抽出与吊装，可缩短断面更换及弧线段设备检修时间以提高铸机作业率；③因流间距较小(1 600~2 500 mm)，特意将传统飞锤式去毛刺机的传动装置改为平行于铸流方向布置，整体呈现L型，可实现多流宽扁坯连续去除切割产生的毛刺；④小型板坯的宽厚比大，未凝固铸坯需要全部夹持以避免铸坯鼓肚，因而铸坯密排夹持必须在矫直点前结束，这就导致其最大设计拉速受到限制，以常用的165 mm厚度铸坯为例，单流产能仅30~40万t/流；要想提高拉速则必须要延长夹持段长度，因直弧形铸机垂直段长度增加有限，目前一般采用增大基本弧形半径的办法来解决，基本弧形半径每增加1 m，夹持段长度可增加约1.5 m，拉速可提高0.15 m/min，也就是扇形Ⅱ、Ⅲ段的数量配置越多，拉速越高，铸机产量越大(详见表2)。

2.1 辊列优化

因辊列设计是板坯连铸机总体设计的核心[1]，其优劣直接影响到铸坯的质量，已成为衡量连铸机

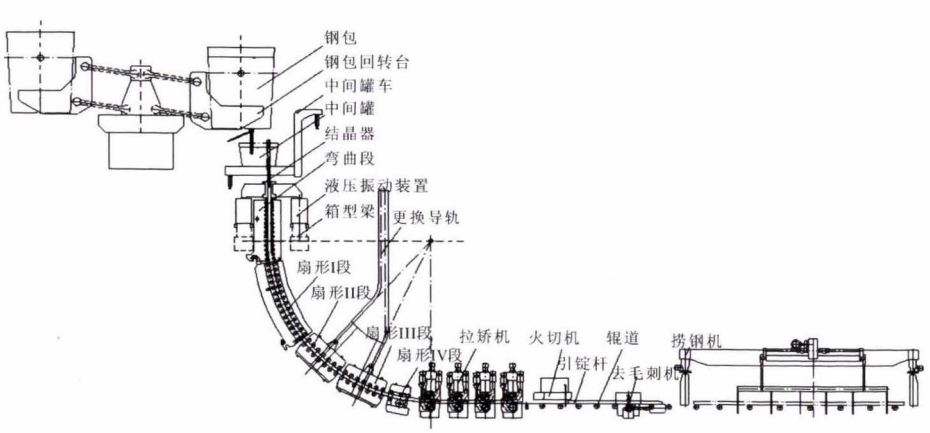


图1 五机五流宽扁坯连铸机结构示意图
Fig.1 The machine structure schematic diagram of five strand wide flat slab continuous caster

表 2 165 mm 厚度宽扁坯不同弧形半径下的铸机最大拉速
Tab.2 Maximum casting speed under different arc radius of flat slab 165 mm thick

铸机基本弧形半径 /m	6	8	9	10
最大可设计拉速 /m·min^{-1}	1.0	1.25	1.4	1.55

设计水平高低的重要标志之一。而直弧形连铸机作为现代化板坯连铸机的主要机型，能够减少钢液中的夹杂物在内弧侧的富集、钢板易于加工修复、更适宜于生产高质量钢种等主要特点，近年来在板坯连铸生产领域已逐步取代了弧形连铸机[2]，其辊列主要由一次冷却的结晶器和二次冷却的夹持导向辊组成，可划分为垂直区（含结晶器）、弯曲区、圆弧区、矫直区和水平区[3]。

采用现代连铸理论开发研制出宽扁坯连铸机辊列辅助设计程序，可采用连续弯曲 / 矫直或光滑弯曲 / 矫直及小辊径密排辊技术来进行辊列布置，自动绘制出辊列几何形状，并对铸机总角度、坯壳内凝固界面处的总变形率、鼓肚量、辊子强度、辊子变形量、上辊抽出间隙以及拉坯阻力等进行核算并修正辊列[4]。当拉速为 1.2 m/min，采用中等冷却强度浇铸 180 mm×750 mm 铸坯时应变与鼓肚量分布如图 2 所示：在辊子对中良好（错位量 <0.5 mm）的情况下，铸坯凝固界面处的合成应变最大为 0.367 9%，最大鼓肚量为 0.405 mm，完全可以满足产品大纲的要求，确保铸坯质量。

该铸机采用 43 对小辊径密排的铸流导向辊如图 3 所示，基本弧形半径 9 000 mm，冶金长度为

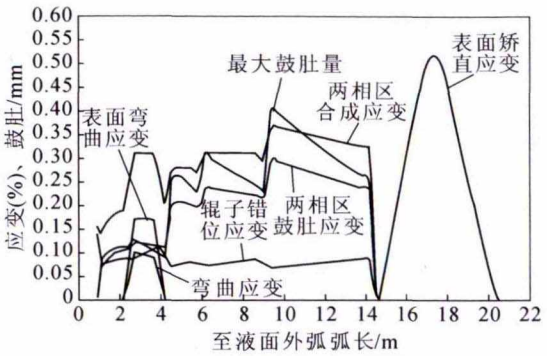


图 2 铸坯应变与鼓肚量分布图
Fig.2 The distribution of slab strain and bulging

21 913 mm，垂直高度为 12 252 mm，导向段内外弧全程夹持，侧面设导向装置，所有宽度通用。

该铸机采用组合式可离线手动调宽结晶器，主要由铜板、背板、支撑框架、内外弧水箱、夹紧机构、调宽机构、足辊、冷却水配管及润滑配管等组成[5]，在确保铸坯质量的前提下，降低生产成本。结晶器放置在振动台上，通过定位装置进行精确定位。结晶器下口设有宽面足辊 1 对，窄面足辊 2 对，用于支撑导向来自结晶器的铸坯与引锭杆。

密排夹持段的设计结合了传统矩形坯与板坯扇形段的结构特点，可分为：1 个弯曲段含 14 对分节辊子，由上下两个框架通过螺纹拉杆连接，离线更换拉杆中间的定距块来实现厚度调整。扇形 I 段含 14 对辊子、扇形 II 段、扇形III段各含 7 对辊子（整体辊），外弧辊全部位于整体框架上，内弧辊事先固定在分组活动框架上，每组活动框架通过螺纹拉杆与

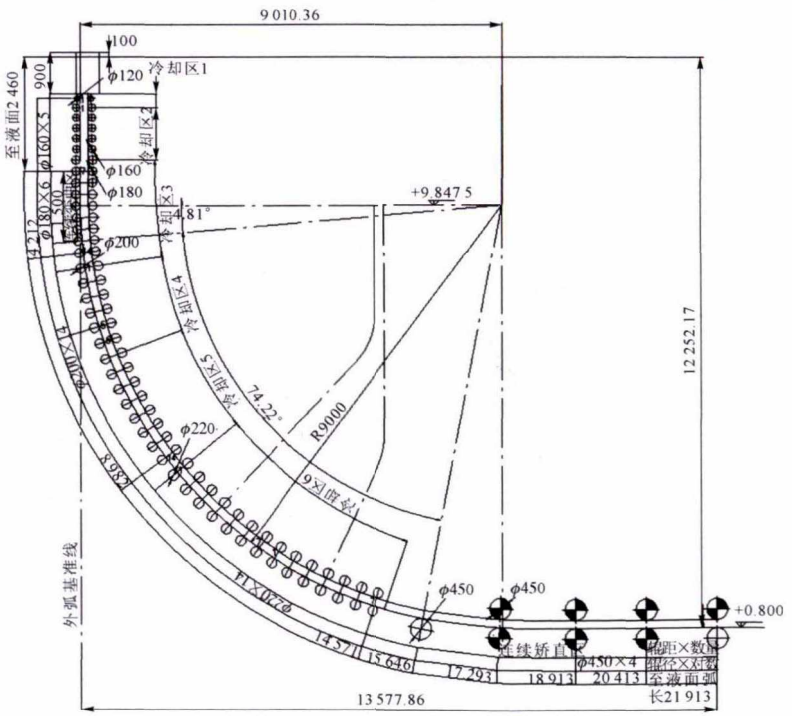


图 3 连铸机辊列布置图
Fig.3 The roller arrangement of continuous caster

外弧框架连接，铸坯厚度可离线调整。该机型由于减小辊距而降低了铸坯的鼓肚变形量，并且随着冶金长度的增加而逐步加大辊径，既提高了辊子的刚度，也减少了由于辊子挠度增加而引起的铸坯附加变形，有利于提高铸坯质量。

2.2 中间罐双控流模式

由于铸机流数增加导致常规板坯所用矩形中间罐过于狭长、其内流场不佳，特采用多流方坯常用的整体超长 T 型中间罐，工作时液面 ~900 mm、容量 57 t，溢流时液面 ~950 mm、容量 60 t。如图 4 所示，中包采用双控流模式：一是塞棒控流模式：采用塞棒+快换机构+浸入式下水口等实现恒拉速保护浇注；二是快换控流模式：采用定径水口 + 快换机构+浸入式下水口等实现恒液面保护浇注。一般采用塞棒控流模式开浇生产约 16 h 后转为快换控流模式，也可根据钢种需要自由选择控流模式，尽量降低生产成本，提高经济效益。

另外中间罐底部安装的水口快换机构可与水口吹氩技术配合使用。在浇注过程中，不断流、不提升中间罐的情况下，多次快速更换浸入式水口，以提高连浇炉数，降低耐材消耗。事故状态下还可采用盲块快速封堵中间罐上水口，以确保二次开浇。

2.3 同位异形钢包回转台特点

钢包回转台是连铸机浇铸设备的重要组成部分，它可将位于受包位置的满载钢包回转 180°后至浇铸位置，打开滑动水口将钢液注入中间罐内，同时将浇完钢液的空包回转 180°至受包位置，准备运走。它是连铸机中重量最大、载荷最重的单体设备。因此对于回转台要从结构、传动及工艺布置等多方面进行综合考虑才能设计出既经济又安全且性能良好的产品。

钢厂需按照国家产业政策进行减量置换以实现转炉转型升级，其蝶形升降式钢包回转台既要满足前期 60 t 小钢包还要满足远期 120 t 大钢包的生产所需。两种钢包外形、滑动水口位置差异太大，特创造性设计出同位异形钢包回转台：与土建基础相关的底座与基础框架全部按照承载 120 t 钢包能力制作；叉臂及转台（回转支撑以上部分）按照大小钢包区别设计，为保证钢包落入中间罐内冲击点唯一，则小钢包需要横向偏心 335 mm 放置在叉臂上，即 60 t 钢包回转台叉臂非对称制作，并增设连杆防止倾翻，120 t 钢包回转台叉臂则对称制作，详见图 5。

2.4 液压振动技术

液压振动是采用全板簧连接与导向、利用液压缸的往复运动来实现结晶器振动的一项新技术，广泛用于板坯连铸机，近年来逐步向方坯、异形坯、圆坯市场推广。

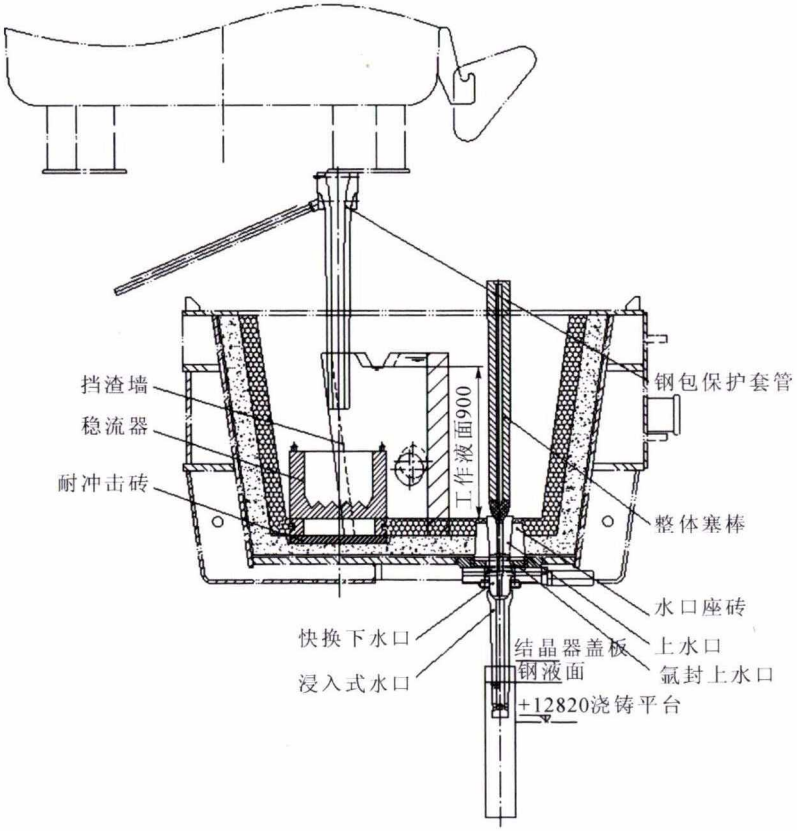


图 4 中间罐内衬示意图

Fig.4 The schematic diagram of tundish lining

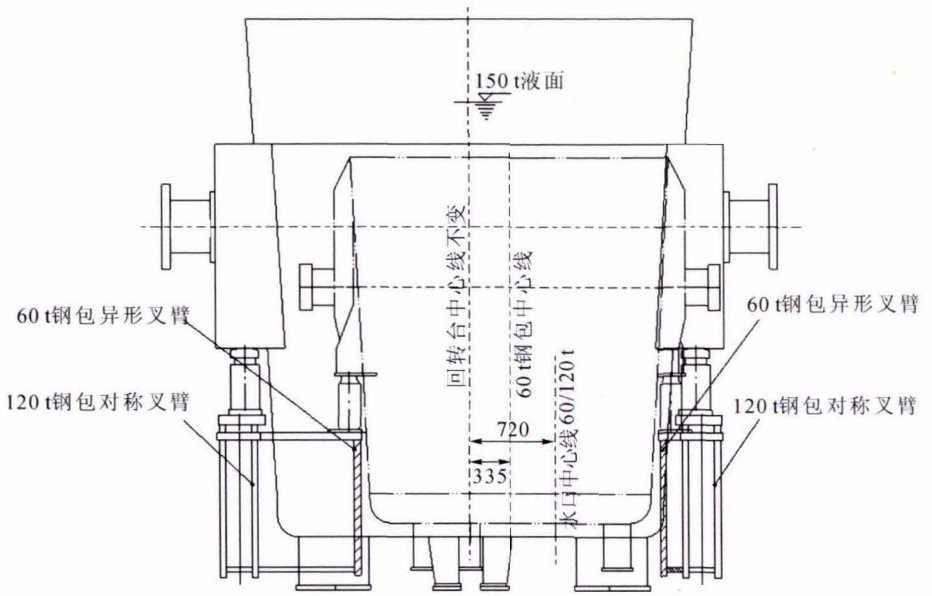


图 5 同位异形钢包回转台示意图

Fig.5 The schematic diagram of same-position special-shaped ladle turret

常规双流板坯连铸机液压振动装置由布置在左右侧的两个振动单元组成，每流振动基座与二冷室混凝土墙上的实心方钢支架相连。而五机五流宽扁坯流间距仅 2 300 mm、中间铸流两侧并无混凝土墙作为振动装置的支撑，特创造性地借鉴矩形坯布置特点将液压振动单元通过支撑结构布置于内外弧方向（如图 6 所示），由内弧、外弧独立的液压缸进行驱动，最终第 1~5 流振动装置的所有载荷均传导至混凝土墙上，安全可靠。由于内外弧油缸的运动行程一样，板簧角度一样，设备组成简化，可以实现非正弦振动，能减小振痕深度，提高铸坯表面质量，显著减少粘结性漏钢事故的发生。

2.5　上下驱动牌坊式拉矫机特点

因流间距所限，多流宽扁坯铸机中间的第 2~4 流无法采用传统板坯铸机传动装置布置方式：即电机与减速机安装在二冷室混凝土墙外，通过联轴器直接与扇形段驱动辊相接。特创造性地将矩形坯牌坊式拉矫机进行改进：压下辊与支撑辊均采用交流电机驱动、全数字矢量 / 力矩型变频装置供电，并装有编码器用于速度反馈、引锭杆和铸坯跟踪、定尺切割等。该上下驱动牌坊式拉矫机主要由钢结构框架、压下辊、支撑辊、压下油缸、上 / 下驱动电机、上 / 下驱动联轴器、上 / 下驱动减速器、上 / 下驱动防扭支撑、升降架等部分组成（如图 7 所示），采用 4 个上下驱动牌坊式拉矫机可显著提高总拉坯力至 900 kN，以克服结晶器、鼓肚、辊子旋转、矫直等拉坯阻力之和约 250 kN，避免“窝”坯。

2.6　二冷动态配水技术

由中冶南方连铸自主开发的三维动态配水系统，能真实反应铸坯几何形状，根据结晶器、二冷区喷嘴位置、二冷回路分布及辊列布置等实际情况建立三维、非定常温度场，计算出不同工况下的铸坯凝固情况，得出不同钢种在不同拉速下的强、中、弱冷水表[6]。区别于当下流行的以水表为基础的单元寿命法动态配水，该系统是真实的目标温度控制动态配水，当拉速波动时可动态调节二冷各回路水量，保证铸坯温度在拉坯方向上符合预定的目标温度；在热换中包、换水口等非稳态情况下，保持铸坯表面温

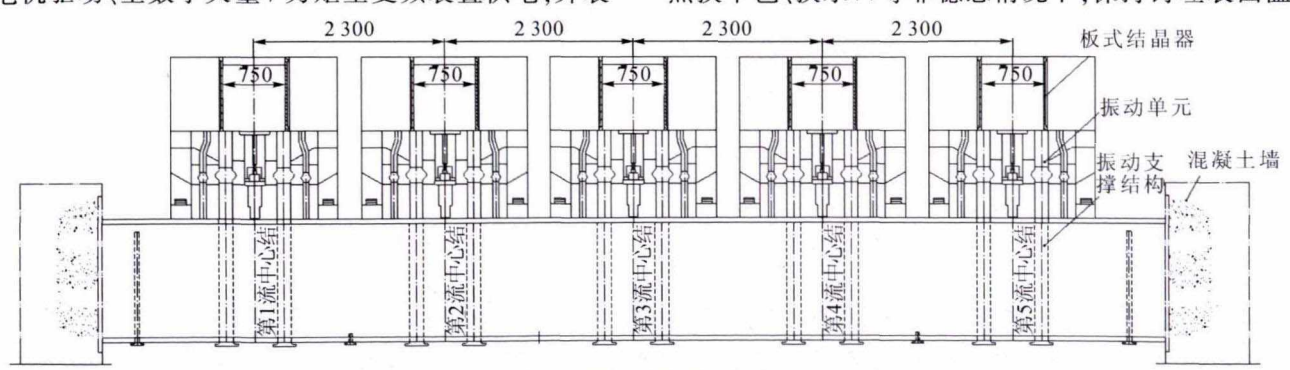


图 6 液压振动装置布置图

Fig.6 The arrangement diagram of hydraulic oscillation

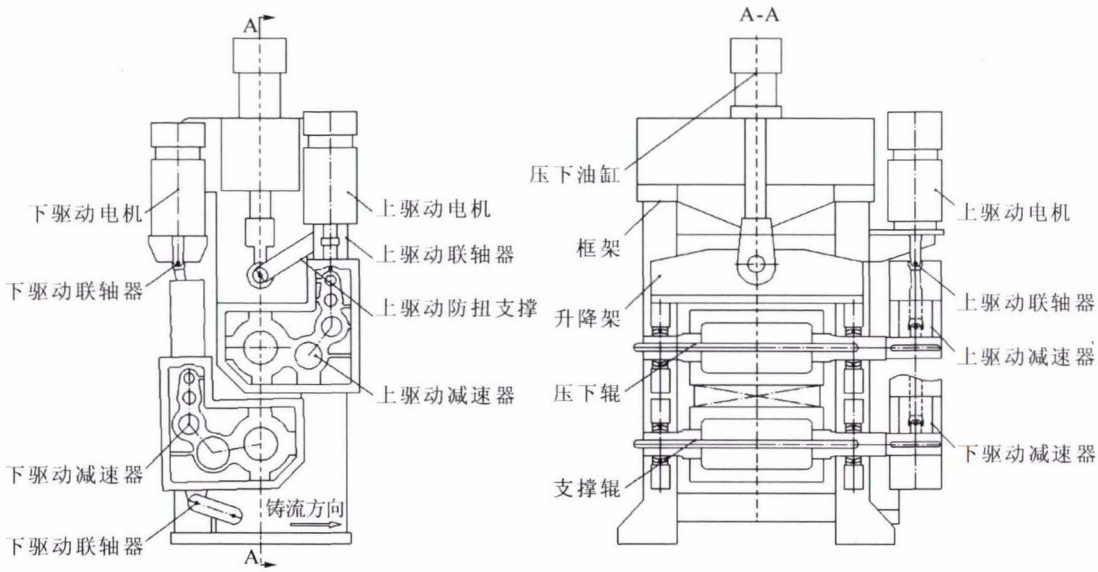


图 7 拉矫机传动装置布置图

Fig.7 The arrangement diagram of withdrawal and straightening unit drive

度均匀、波动小，从而降低铸坯表面的热应力，确保铸坯在理想的温度下连续弯曲、矫直，再加上选择合适的自动反冲洗喷嘴，能更好地提升铸坯质量。

3 生产实践

2017 年 12 月 09 日连续拉出五流 180 mm×505 mm 小板坯（浇注钢种为 Q235-B，定尺 9 m、拉速 1.1 m/min、连浇 20 炉），标志着中国产五机五流直弧形宽扁坯连铸机一次性热负荷试车成功。随后即投入正常生产 180×545、180×585、180×625、180×695、180×730 等断面，涵盖 Q195、Q195L、Q235B 等钢种，中间罐可连浇 50 h，铸坯依次通过捞钢机、十字转盘、提升机、热送辊道等，可实现全自动热送至后续衔接的中宽带钢车间，最大拉速 1.4 m/min，日产量可达 7 000 t。该铸机各项指标完全达到设计要求，功能齐备，自动化程度高，铸坯表面无缺陷、内部质量优良，实际生产效果令人满意。

4 结语

（1）该五机五流直弧形宽扁坯连铸机的竣工投产可与 850 mm 中宽带轧机相匹配，既契合了市场需求，又可提供更多高品质的带钢，大大降低钢厂的基建投资和后续生产的消耗，经济性能优越，极大地满足中国转炉大型化、生产高效化、品种质量高端化的发展趋势，可为同类连铸机的建设提供了参考和借鉴。

（2）该铸机设计新颖，集常规双流板坯、多流矩形坯铸机特点于一身，需在生产实践中不断吸收掌握同位异形钢包回转台、中间罐双控流模式、密排夹持段径向抽出、上下驱动牌坊式拉矫机、新型液压振动、L 型飞锤式去毛刺机、辊列优化、二冷动态配水等多项新技术。

（3）近两年的生产实践表明，该铸机生产维护操作日趋熟练，浇注 180 mm×730 mm 断面时平均拉速 1 m/min，中间罐可连浇 50 h，日产量可达 7 000 t，铸坯表面无缺陷、内部质量优良。

参考文献：

[1] 刘明延，李平. 宽扁坯连铸机设计与计算[M]. 北京：机械工业出版社，1990.

[2] 杨拉道，雷华，曾晶，等. 直弧形连铸机辊列设计中基本概念的最新阐述[J]. 重型机械，2006(5)：4-6.

[3] 肖海江，谭希华，靳瑞祥. 直弧形宽扁坯连铸机辊列设计计算[J]. 机械工程师，2011(9)：158-160.

[4] 陈阳，谢长川，宁曙光，等. 国产首台双流不同断面板坯连铸机的设计特点[J]. 铸造技术，2014，35(1)：167-171.

[5] 韩志伟，冯科，王勇，等. 结晶器铜板冷却结构的优化设计[J]. 铸造技术，2007，28(6)：856-858.

[6] 刘伟涛，白居冰，钱亮，等. 二冷动态配水在莱钢板坯连铸中的应用[J]. 铸造技术，2008，29(12)：1652-1654.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2020 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号：52-64　国外发行号：M855　国内定价：25 元/本　海外定价：25 美元/本