

# 板坯连铸机结晶器国产化改造

王建春 杨海龙 尤善晓 赵海峰 陈彦博  
(邯钢钢铁集团有限责任公司 邯钢 056003)

**摘要** 为了提高邯钢三炼钢板坯的产量和质量,邯钢对板坯连铸机结晶器进行了国产化改造。改造的内容有结晶器铜板材质、厚度、镀层、水槽、水冷梁把合螺栓、喷淋水系统、倒锥度、角缝、水槽密封、过滤网的设计改造等。通过改造,达到了预期的目标,一次拉钢量达到了 8.3 万吨,结晶器经过简单调整后,铜板镀层一次拉钢量已达到 12 万吨,产品质量显著提高,满足了生产工艺使用要求。

**关键词** 结晶器 铜板 镀层 改造

**中图分类号** TF777.1 **文献标识码** B

## Transformation of Mould Local Conversion in Slab CCM

Wang Jianchun Yang Hailong You Shanxiao Zhao Haifeng Chen Yanbo  
(Handan Iron and Steel Co., Ltd.)

**ABSTRACT** The paper lasted the analyse for Transformation local conversion of mould in slab CCM, on Hangang the third steel mill. By means of thansform, the desired goal is achieved. The per time output has achieved 8.3 ten thousand ton after the mould is simply regulated. The per time output of plating film of copper has achieved 12 ten thousand ton. The product quality is notably raised. Thuse demand of production technology is met.

**KEYWORDS** Mould Copper Plating film Transformation

### 1 前言

为了提高三炼钢连铸的生产能力,邯钢从美国加州凯撒钢厂引进了一台板坯连铸机的部分设备,国内配套制造部分设备,并于 2000 年底建成投产。由于该连铸机结晶器属于 20 世纪 70 年代的产品,设备状况落后,生产水平低,产品质量差。为此,结合该机的设备状况,对结晶器进行了国产化改造,并且取得了成功,达到了相当理想的效果,为制造修复大型连铸机结晶器具有借鉴作用。

### 2 板坯连铸机结晶器国产化改造

板坯连铸机结晶器属于组合式结晶器,四块铜板与支撑板、框架把合,再用蜗轮、蜗杆丝杠、

将其夹紧,形成刚性整体。结晶器是连铸机的核心设备,对连铸坯的产量、质量等起着关键性的作用。板坯连铸机结晶器是高温负荷的热交换器,提高结晶器寿命有利于提高连铸机连烧炉数和作业率。

改造前后结晶器结构对比如表 1 所示。

#### 2.1 结晶器的作用

- 1) 在尽可能高的拉速下,保证出结晶器坯壳厚度,防止漏钢。
- 2) 保证铸坯周边厚度要均匀。
- 3) 促使铸坯进入零段及二段段。

钢水在结晶器中的凝固行为对铸坯表面质量和铸机的正常生产有重大影响。

表 1 结晶器改造前后结构对比

	改造前	改造后
重量 /kg	17342	18850
铜板厚度 /mm	19	35 45
铜板联结方式	焊接螺栓	内外丝把和螺栓
夹紧装置	蜗轮蜗杆丝杠	蜗轮蜗杆丝杠
水槽位置	支撑板面	支撑板上 铜板上
螺栓数量 /个	27 ×2(窄边) +180 ×2(宽边) =414	27 ×2(窄边) +180 ×2(宽边) =414 18 ×2(窄边) +126 ×2(宽边) =288
螺栓材质、规格、数量	不锈钢 M16窄边 27个面,宽边 180个面。	不锈钢 M16窄边 27个面,宽边 180个面。 M16×75, 8.8级窄边 18个面,宽面 126个面。
铜板尺寸 /mm	2082.8 ×914.4 ×19(宽边), 227 ×914.4 ×19(窄边)。	2082.8 ×914.4 ×35 ×45(宽边), 227 ×914.4 ×35 ×45(窄边), 228 ×914.4 ×35 ×45(窄边)。
铜板数量	宽面两块窄面两块。	宽面两块窄面两块。
生产断面 /mm	180 ~ 220 ×1212.85 ~ 2092.8(2000.25)	180 ~ 220 ×1212.25 ~ 2092.8(2000.25)
板坯厚度 /mm	180 ~ 220	180 ~ 220
板坯宽度 /mm	1200 ~ 2000	1200 ~ 2000

2.2 对结晶器的要求

1)为使钢水迅速凝固,结晶器壁应有良好的导热性和水冷条件。

2)为使凝固的初生坯壳与结晶器内壁不粘结,摩擦力小,在浇铸过程中,结晶器应作上下往复运动,并加润滑剂。

3)为使铸坯形状正确,避免因结晶器变形而影响拉坯,结晶器应有足够的刚性。

4)结晶器的结构要简单,重量要轻。

5)导热性要好,强度要高,高温下膨胀小,易于切削加工和表面处理。

2.3 改造前工艺上存在的主要问题

1)由于铜板较薄及铜板无水槽等,导致板坯厚度不均,中心分层,裂纹等质量问题,

2)设备事故(如水冷梁螺栓断裂,焊接螺栓的强度不够,导致螺栓在热变形中断裂等)导致拉钢非计划停浇。

3)由于设备的使用不方便,使拉钢准备时间延长等。

4)倒锥度达不到工艺使用要求。

为了彻底解决上述问题,进行了如下改造。

2.4 铜板的改造

在铜板的选择方面,通过对国内外相关的技术资料进行分析后,选择了改进的步骤和方向。

2.4.1 铜板的材质选择

铜板的材质由原来的 Cu - Ag(银铜)改为 Cu - Cr - Zr(铬锆铜)。

Cu - Ag再结晶温度 318 ~ 326 ,膨胀系数大,致使结晶器变形,加上铜板四周有螺栓把合,膨胀是非自由的,膨胀方向发生不规则变形,结晶器内壁直接与钢水接触,而另一面与冷却水接触,铜板内壁中产生很大的热应力。

Cu - Cr - Zr再结晶温度 480 ~ 510 ,导热系数小,抗变形优于银铜。

Cu - Ni - Co无论是抗变形,还是导热方面都更优于上述两种铜材,现已成为结晶器铜板的首选材质。

实际结合铜板的性能及成本等综合因素,最后,选择了 Cu - Cr - Zr材质。

2.4.2 铜板的厚度选择

铜板的厚度 2000年 12月从美国引进时是 19mm(12mm),2001年 1月改造时是 35mm(24mm),2001年 5月进一步改造是 45mm(30mm)。

括号内为变形加工后铜板的最薄尺寸,低于此值时则判废。

引进时 19mm厚的铜板变形较大,内腔尺寸很难保证,变形后上床加工铜板很快变薄报废了,铜板的利用率低,随后改用了 35mm厚的铜板,虽然变形比 19mm铜板好,但变形量也较大,宽边产生不规则的梯形变形,上口增长 20 ~ 30mm,下口变短 5 ~ 10mm,有的地方由于变形大,致使螺孔变形严重,无法修复,未达到使用期限就报废,窄边铜板宽度减小 1 ~ 3mm,必须镶上铜条,修复工作量大,使用次数减少。

为了进一步提高结晶器的使用寿命,为生产创造更有力的条件,又把铜板厚度改成 45mm,经过生产使用后,打开测量,长宽度方向变形在 1mm以内,经过简单修复,即可再次投入生产使用。

### 2.4.3 铜板镀层的选择

目前,铜板镀层的种类有:镍铁合金,镍铬合

金,镍钴合金。

以避免结晶器铜板产生星状裂纹。

防止铜渗入到板坯中,使板坯表面含铜量增加 3~5倍。

防止不锈钢、高碳、高合金钢的裂纹敏感性。

提高板坯质量,增强润滑性,避免粘钢。

硬度及耐磨性高。

表 2 几种镀层的特点

镍铁合金	镍铬合金	镍钴合金
<p>镍铁镀层的优点:</p> <p>镍镀层与铜结合较好,导热系数优于铬。镀层可较厚。</p> <p>强度高,硬度可在较大范围内调整。HV400~500。机械强度远高于镍层,高温强度稳定性好,适合高拉速 1.4~2m/min。</p> <p>高电位而耐腐蚀,低应力而不易剥落。</p> <p>镍铁镀层的缺点:</p> <p>硬度高,韧性差。</p> <p>铜板上口镀层易产生热裂纹,导致母材同时产生较深的微裂纹,切削量大,寿命不高。</p> <p>高温韧性差,镀层酥脆易剥落掉块及起包。</p> <p>镍层的缺点:</p> <p>硬度较低, HV200~220。耐磨性能差。</p>	<p>铬镀层的优点:</p> <p>硬度高,耐磨性好。</p> <p>铬镀层的缺点:</p> <p>热膨胀系数与铜差别很大。</p> <p>铬为: <math>0.7 \times 10^{-5}</math></p> <p>铜为: <math>1.68 \times 10^{-5}</math></p> <p>铬镀层在高温条件下易剥落。</p> <p>导热系数低,脆性大。</p> <p>镀层厚度只能在 0.1mm左右。</p>	<p>镍钴合金的特点:</p> <p>受热后表面陶瓷化,随着温度的上升,陶瓷化层逐渐增厚。</p> <p>加大了润滑性,避免钢水飞溅产生的粘结。</p> <p>软化温度高,在较高温度状态下仍能形成稳定的高硬度及耐磨表面层。</p> <p>摩擦系数较低,可减轻铜板与铸坯间颤动阻抗。</p> <p>镀层金属的硫化物比镍硫化物有更高的融解温度,不宜再结晶晶界析出。故铜板镀层不易产生热裂纹。</p> <p>与母材的结合力强,适用于铜板表面温度较高和缓冷却型结晶器铜板。</p> <p>热膨胀系数与铜接近。</p> <p>镍钴为: <math>1.4 \times 10^{-5}</math></p> <p>铜为: <math>1.68 \times 10^{-5}</math></p> <p>镀层在高温中使用,不易剥落。</p>

根据铜板镀层特点及成本等综合因素的考虑,实际镀层选用了镀镍铁层。镀镍铁层厚度由上 400mm处镀 0.2~1mm,下 500mm处镀 1.5~3mm镀层,中间逐步过渡,改造为镀层均匀 0.3~0.32mm(镀前厚度 45.02~46.18mm,镀后厚度 45.32~46.4mm,硬度 221~227HV,粗糙度 0.8)。均匀镀层可以两头掉头使用,提高铜板的利用率。几种镀层的特点如表 2所示。

### 2.4.4 铜板水槽的改造

从引进时的 19mm厚度铜板到第一次改造成 35mm厚的铜板,铜板均不带水槽,水槽位置在支撑板上,2001年 5月进一步改造后,水槽位置改在了铜板上。

改造后 45mm厚铜板水槽参数如下:

铜板窄边水槽深度 18mm,8条/块,水槽宽 5mm。

铜板窄边水槽深度 20mm,2条/块,水槽中心距 14.5mm。

铜板窄边水槽深度 21mm,2条/块。

铜板宽边水槽深度 18mm,91条/块,每组 9条槽,18mm深 7条,21mm深 2条。

铜板宽边水槽深度 21mm,26条/块。

19mm,35mm铜板:光铜板无水槽。

结晶器的冷却效果主要看冷却水的流量、流速与铜板的冷却面积,铜板厚度方向的距离对其影响较小,采用厚铜板(45mm)在背面开水槽。虽然水槽体积比在支撑板上开水槽小,但因为水槽窄,流速快,单位时间内的流量与原来相比变化不大,同时采用厚铜板开水槽,冷却面积增大,所以采用厚铜板形式比使用薄铜板冷却效果更好。

水槽位置示意图如图 1和图 2所示。

### 2.4.5 铜板把合结构的改造

原来 19mm铜板背面焊接螺栓,形成把合,存在的问题有:

- 1)铜板很容易变形,导致铜板变形报废。
- 2)焊接螺栓的强度不够,导致螺栓在热变形中断裂。

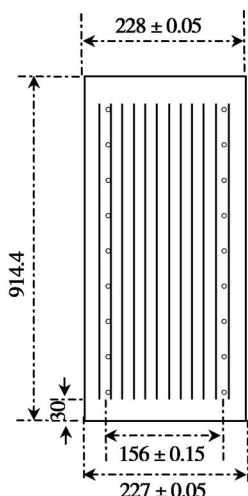


图 1 窄边铜板水槽位置示意图

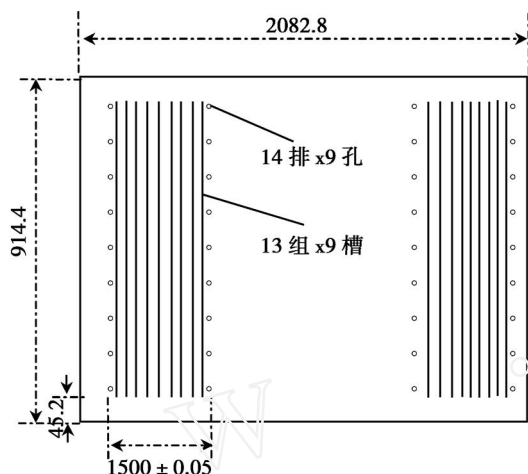


图 2 宽边铜板水槽位置示意图

3) 焊接难度大, 影响焊接质量。

如果采用在铜板上进行螺栓焊接形式, 需要购置螺栓焊机, 该机价格为 50 万元人民币,

而采用螺栓螺纹把合连接形式后, 就节省了电焊机费用, 而且螺栓连接的强度也很好。

改造后 (35mm, 45mm 厚铜板) 均采用内外攻丝把合结构, 把合的牢固程度给维修使用都带来很大方便。

第一次改造螺栓与铜板的固定由专门的内外丝螺母联接, 内外丝螺母先拧到铜板上, 然后用不锈钢螺栓拧到内外丝螺母上, 实现螺栓与铜板的固定。

第二次改造是在铜板背面加工出一定数量的大螺纹孔, 大小为 M24 × 1.5。

经过两次改进, 采用过双头螺栓, 内六角头螺栓, 垫片采用胶垫加尼龙垫, 试验过铜垫, 效果不好。

## 2.5 支承板的改造

水槽位置由支承板上 (19mm, 35mm 厚的铜板) 改到铜板上 (45mm 厚的铜板)。厚度变薄。

## 2.6 水冷梁把合螺栓的设计改造

2002 年 9 月—10 月, 水冷梁与 (自由侧, 固定侧) 支撑框架的把合螺栓断裂, 严重影响连铸的正常生产, 经分析, 怀疑是螺栓质量问题, 全部更换螺栓以后 (M36X410 的螺栓), 仍然断裂, 又经过现场使用及构造分析后, 确定是原设计存在重大缺陷, 决定在自由端两侧各增加一条螺栓, 通过这一改造后, 彻底解决了螺栓断裂的情况, 保证了连铸的正常生产。

## 2.7 喷淋水系统的设计改造

### 2.7.1 窄面喷淋水管路的设计改造

原结晶器窄面喷淋水管路的进水口是由人工现场接口, 由活节联接, 座好结晶器后, 由人工现场接水管。增加了准备时间, 一定程度上影响了拉钢的准备。改造以后, 窄面的喷淋水管路与水冷梁的宽面喷淋水管路联接, 只要用快速接头与宽面喷淋水系统金属软管联接, 给水即可实现窄面喷淋冷却, 达到了预期的效果。

### 2.7.2 金属软管的改进

原结晶器金属软管的联接均为螺纹联接, 现场发生事故后, 更换慢, 修复也耽误时间。改进后, 选用了快速接头, 更换时间非常快, 而且在金属软管的长度、弯曲的方向上也都进行了改进, 达到了使用方便, 省工省料的目的。

### 2.7.3 喷淋架及弯头等改造

喷淋架的喷头数量由原来的 17 个, 根据坯壳宽度的需要改成了 13 个, 采用不锈钢管, 弯头、放气阀、螺纹均按照国产化的标准进行了配套改造。

## 2.8 倒锥度的改造及控制

钢水进入结晶器, 冷却凝固, 生成坯壳, 进而收缩脱离铜壁, 形成气隙, 使传热减慢, 延缓了坯壳生成。为了减少气隙, 加速钢水的传热和坯壳生成, 通常将结晶器作成下口断面比上口断面小, 形成结晶器倒锥度。依钢种不同, 倒锥度是不一样的。倒锥度是十分重要的参数, 倒锥度过小, 可使坯壳过早脱离铜壁, 产生气隙, 降低冷却效果, 或使出结晶器的坯壳厚度不够, 产生拉漏

事故。倒锥度过大,容易导致坯壳与结晶器铜壁之间的挤压力过大,加速了铜板的磨损。对板坯结晶器一般要使宽面相互平行,窄面有倒锥度。结晶器倒锥度的改造如表 3 所示。19mm、35mm 厚度铜板采用过 A 种倒锥度,35mm、45mm 厚度铜板采用过 B 种倒锥度。

表 3 结晶器倒锥度的改造

项目 \ 种类	上口 /mm	下口 /mm	厚度 /mm
A 种	227 ±0.1	226 ±0.1	19、35
B 种	228 ±0.05	227 ±0.05	35、45

在连铸生产中,发现窄面经常滑动,造成板坯倒锥度及尺寸变动,由原来的上大下小变成上小下大。为此,研制了一套固定上蜗杆丝杠的固定装置,形式简单,达到了固定窄面及控制倒锥度的目的。

宽面出坯尺寸 1600mm,调整窄面尺寸形成倒锥度,窄面尺寸上口控制在 288mm,下口尺寸控制在调整蜗轮 227mm。

### 2.9 角缝的控制

在连铸生产中,对宽面铜板与窄面铜板角缝必须严格控制,角缝必须控制在 0.02mm 调整蜗轮蜗杆丝杠,按此标准进行控制检验。

### 2.10 水槽密封装置

针对水槽密封装置漏水问题,设计了一种新式密封垫装置,达到了相当好的效果。

### 2.11 过滤网的设计制作

由于水质杂质及锈蚀的问题,经常导致结晶器水槽内有大量的杂质存在,使结晶器冷却效果差,经常导致生产事故及质量事故的发生。为此,经过反复的试验,设计出了结晶器的过滤网,解决了由此导致的生产事故及质量事故。

## 3 总体装配检验

结晶器应进行总装及检验,要保证各部件运转正常无卡阻,

测定倒锥度,一般采用 15 点测定法。如图 3 所示。按照规定尺寸,调整宽面调整机构,达到需要的倒锥度。

总体装配有结晶器装配,结晶器外框架装配,足辊装配。

结晶器的单项工作完成后,还要进行总装。

总装工序有:

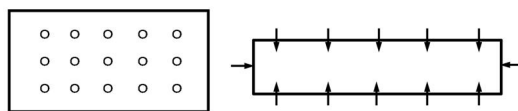


图 3 纵面及剖面测量点

润滑传动机构;密封胶条的装配。

单件打压试水 0.8 ~ 1MPa,整体打压试水 0.8 ~ 1MPa,打压时间 20 ~ 40min。

窄面足辊与窄面铜板,宽面足辊与宽面铜板在同一平面。



图 4 一次拉钢量统计情况

铜板缺陷深度 0.5mm,宽度 2mm。

原来加工铜板、水槽、支撑框架是分体加工,最后组装时有综合误差,后来采用分体粗加工,把合后整体精加工,消除了误差,达到了良好的效果。

## 4 结束语

经过对板坯连铸机结晶器改造后,一次拉钢量的情况如图 4 所示,一次拉钢量表示一台结晶器一次使用所拉钢的吨数。这里统计的是结晶器所达到的最高炉数。从 2000 年 12 月投产时,使用的是从美国引进的 19mm 厚的铜板,铜板无水槽,支撑板带水槽。一台结晶器使用寿命仅 2000t 左右,一周要更换 2 ~ 3 次,严重影响到连铸正常的生产,铜板变形量很大。2001 年 1 月份,改用了国产的 35mm 厚的铜板,铜板无水槽,支撑板带水槽。一台结晶器使用寿命约 8000 吨左右,一周要更换 1 ~ 2 次,仍然影响到连铸正常的生产,拉钢数量仍然不能达到要求的理想水平。2001 年 5 月份,进一步采用了国产的 45mm 厚的铜板,铜板带水槽,从统计结果看,2001 年 5 月份,一次拉钢量达到了 2.5 万 t,以后,一次拉钢量逐步提高,2003 年 1 月一次拉钢量达到了 8.3 万 t,结晶器经过简单调整修复后,铜板一次

(转 71 页)

响故障诊断智能化水平的三要素。根据故障存在的必要条件与充分条件,通过故障机理研究、专家咨询和故障案例的分析,本系统建立了适用于齿轮、轴承和风机的故障诊断知识库,包括故障库、征兆库、诊断规则库和对策库等,如图 4所示。在系统的应用过程中,根据经验的积累,通过知识库管理系统可以对知识库进行增加、删除、修改等操作,以保证诊断知识的不断丰富和完善。



图 4 诊断知识库管理系统

系统采用基于规则、模型和案例相结合的推理模式,运用正反向混合推理策略,能够在出现异常或依赖人工干预启动在线诊断,也可以通过输入特征数据进行离线诊断。目前,系统具有较强的征兆自动获取能力,能够自动诊断不平衡、不对中、螺栓松动、轴承间隙增大、齿轮磨损、点蚀、偏心、局部断齿、轴承内圈故障、轴承外圈故障和滚动体故障等。同时,系统还具有对话诊断、诊断结果的解释、故障处理建议、诊断结果存储、打印诊断报告和事故追忆等功能。

### 3.5 网络通讯

系统由数采箱、状态数据服务器及工程师站上位机组成,采用 TCP/IP、IPX/SPX、NetBEUI 通讯协议完成数据的传输,并支持远程诊断功能。

本系统可以从厂 MIS系统中获取数据,同时又可将本系统的数据打包发送给厂 MIS系统,实现数据共享和数据交换。

此外,系统还具有动平衡计算、滚动轴承寿命预测、屏幕图形和报表打印以及在线帮助等功能。

### 4 结语

武钢第二热轧厂振动在线监测和故障诊断系统于 2003年初投入使用,这是国内首次对大型热轧生产线的主要设备进行在线振动监测。两年多来,系统运行稳定,数据准确可靠。通过大量数据的分析,掌握了设备的当前状态,初步确定了不同轧制阶段故障报警值和报警逻辑,为保证设备安全运行提供了良好基础。本系统的设计较好地体现了轧钢机械振动故障诊断的特殊要求,提出了振动在线监测故障诊断的一些新方法,在轧钢机械振动监测领域具有较大的推广应用价值。

### 参考文献

[1] 梅宏斌. 滚动轴承振动监测与诊断. 北京:机械工业出版社, 1995  
 [2] 虞和济, 韩庆大, 李沈. 设备故障诊断工程. 北京:冶金工业出版社, 2001  
 [3] 周建男, 陈长征, 周劭惟. 轧钢机械滚动轴承. 北京:冶金工业出版社, 2001

(收稿日期: 2005 - 08 - 14)

(接 59页)

镀层拉钢量(表示结晶器一次镀层所拉钢的吨数,镀层不能在拉钢,镀层须加工后才能继续拉钢。)已达到了 12万 t,如板坯厚度不均,中心分层,裂纹等质量问题得到了很好地解决。满足了生产工艺使用要求。

### 参考文献

[1] 蔡开科, 潘毓淳, 赵家贵. 连续铸钢 500问. 北京:冶

金工业出版社, 1994

[2] 苏顺!, 连铸. 工字型异型坯结晶器铜板工作面电镀 Ni-Co合金工艺. 连铸, 2004(2) 19~22  
 [3] 方克明等. 连铸机结晶器铜板 Ni-Co合金镀层的探讨. 连铸, 2002(3) 14~15  
 [4] 陈彦博, 杨海龙, 赵海峰. 邯钢大板坯结晶器国产化改造的实践. 冶金设备, 2002(2)

(收稿日期: 2005 - 07 - 04)