

·工艺技术·

# 首钢二炼钢厂板坯连铸机弯曲段与矫直段的改造

师 磊 李梦伟 文红云 刘立文 陈 韵  
(中达连铸技术国家工程研究中心有限责任公司)

**摘要** 介绍首钢二炼钢厂板坯连铸机改造的概况,阐述单点矫直、康卡斯特连续矫直和连续矫直修正曲线的特点。优化设计多点连续弯曲和矫直辊列,实现光滑连接,更有利于保证铸坯质量。

## Modification on bending and unbending section of slab caster at No.2 Steelmaking Plant, Shougang

SHI Lei LI Mengwei WEN Hongyun LIU Liwen CHEN Ren  
(Zhongda National Engineering & Research Center for Continuous Casting Technology Co., Ltd.)

**Abstract** This paper introduces the modification on continuous slab caster at No.2 Steelmaking Plant of Shoudu Iron and Steel Group Co.. It also describes the concept and features of single point unbending, Concast continuous unbending and the curve of continuous unbending. The radius sharp change of bending and unbending curves and base curve have been avoided and the smooth connection has been also obtained through optimization of multi-point continuous bending and unbending roller arrangement. And also the slab quality has been ensured. The modification of bending and unbending segments and its effect are described.

### 1 概述

首钢第二炼钢厂双流板坯连铸机是1989年国外二手设备,全弧机型、单点矫直,二冷区导辊为整体辊,辊径和辊间距大,拉速低、铸坯质量差。铸机主要参数如下。

机型 全弧型,铸机半径12m;

矫直方式 单点矫直;

铸坯断面 220mm×1400mm, 200mm×1540mm;

流数 2流,流间距6m;

冶金长度 27.8m;

设计能力 60~70万t/a。

该铸机自投产以来产量仅为设计能力的50%~60%,铸坯质量很不稳定。为此,决定对铸机进行改造,要求改造后铸机整体水平达到同类铸机的先进水平,使产品适合更新换代。

### 2 铸机机型选择

直弧型和全弧型是板坯连铸生产中采用最广泛的机型。直弧型连铸机有利于钢液中夹杂物上浮,

对减少夹杂物在铸坯内弧侧富集较为有利,且结晶器铜板易于组装、调整和检测。全弧型连铸机铸坯在高温下无弯曲变形,有利于减少铸坯由此而产生裂纹的机会;但全弧型单点矫直连铸机,在矫直点铸坯产生的一次矫直应变较大,变形速率较高,铸坯表面和凝固前沿容易产生裂纹,直接导致铸坯的质量缺陷。相比之下,直弧型更适用于高拉速条件下的连铸生产,经多方案对比,最终确定将铸机机型由全弧型改造为直弧型。采用连续弯曲、矫直技术保证铸坯表面和内部质量。

### 3 单点矫直与连续矫直比较

铸机原采用单点矫直时铸坯上某点的应变 $\epsilon_d$ 为:

$$\epsilon_d = \delta / R_0 \quad (1)$$

式中  $R_0$ —铸机基本弧半径;

$\delta$ —该点到铸坯中心线距离。

由公式(1)知单点矫直时凝固前沿的应变随液芯率的减小(坯壳厚度增大)而减小,但反比于铸机基本弧半径。为了使铸坯凝固前沿的应变 $< 0.5\%$ ,

防止出现矫直裂纹,应降低铸机拉速以得到较小的 $\delta$ 值,并加大铸机半径。其后果是降低了生产率,增加了设备高度和重量。因此,传统单点矫直型铸机只能适应低拉速浇注,且铸坯容易产生内裂,甚至在振痕处产生表面横裂纹,影响铸坯质量和金属收得率。

随着拉速的提高,铸坯带液芯矫直成为必然,对工艺设备提出更严格的要求,因而产生了连续矫直理论。该理论借助材料力学方法,将小变形的铸坯简化为曲率连续变化的等截面梁,并在假设 $y' \approx 0$ 、 $S_0 \approx L_0$ 的条件下得到三次曲线方程:

$$y = x^3 / 6R_0 L_0 \quad (2)$$

式中  $S_0$ —矫直区弧线长度;

$L_0$ —矫直区水平长度。

公式(2)即康卡斯特连续矫直曲线。由于公式推导时有两个假设条件( $y' \approx 0, S_0 \approx L_0$ ),使曲线在矫直区与基本弧交界处的曲率有突变,而且矫直区越长,由假设条件引起的曲率突变就越大。为此作者在文献[1]中给出连续矫直曲线的修正方程式(公式3),并利用有限元软件进行分析和验证,保证曲线设计的合理性。公式(3)如下:

$$y = x^3 / 6R_0 L_0 \beta \quad (3)$$

其中 $\beta$ 为与矫直区长度有关的修正系数,其余同公式(2)。修正方程式取消了公式(2)的两个几何假设条件,避免矫直区与基本弧间的曲率突变,从而保证铸坯曲率均匀光滑地减小到零,变形速率保持在较低水平,更有利保证铸坯质量。

按照康卡斯特连续矫直理论,在连续矫直区内铸坯处于纯弯曲状态,在恒定矫直力矩作用下,铸坯按理想通道自身进行对中,利用“浮动辊”来限制铸坯鼓肚变形。在首钢改造实践中,为了简化设备,有利于设备维护,避免浮动辊结构本身和维修的复杂性,采用固定辊结构,所有辊均严格按照修正曲线进行排列,本文称之为多点连续(弯曲)矫直方法。

#### 4 辊列改造

##### 1) 辊列改造措施

为了充分发挥直弧型连铸机自身的优点,克服其不足,根据原铸机在生产中存在的问题和改造所要求的技术指标,对铸机辊列重新进行优化设计。采用多点连续弯曲、矫直及密排分节辊技术缩短原来大辊径辊对铸坯的支撑间距,同时又减少了辊的中心挠度;降低铸坯表面和凝固前沿的应变速率,避免高温铸坯产生弯曲矫直裂纹。采用扇形段分段布置方式来提高检修效率、降低劳动强度、缩短检修时

间、提高扇形段对弧精度,保证高拉速下铸坯的表面和内部质量。

##### 2) 辊列设计参数

根据上述矫直原理,结合生产实践,分别对铸机的弯曲段和矫直段进行辊列优化设计,使铸坯由出结晶器的直线段多点连续弯曲到基本弧半径,经过6个扇形段,进入矫直区多点连续矫直为水平。辊列设计条件及主要参数如下。

垂直段长度 2.73m;

弧形半径 9.5m;

铸坯断面 150~250mm × 1200~1800mm;

拉速 0.7~1.8m/min(工作),2.2m/min(最大);

冶金长度 31m;

坯壳内合成应变 < 0.35;

辊子中心应力 < 300kg/cm<sup>2</sup>;

辊子中心挠度 < 0.5mm;

辊列 由长900mm结晶器、3对足辊及106对导辊组成;

辊型式 分节辊;

辊列分段 3对足辊、1个弯曲段、6个扇形段、2个矫直段,5个水平段;

多点连续弯曲 顶弯区间为7~17号辊;

多点连续矫直 矫直区间为62~73号辊。

#### 5 弯曲段辊组

##### 1) 设备说明

根据设计要求,弯曲段位于结晶器与扇形段I之间,依照多点连续弯曲曲线把铸坯从垂直顶弯成弧形。在热坯凝固过程中,弯曲段起支撑、导向、输送作用,还用于引锭杆的导向和传送。为了支撑热坯,弯曲段的内、外弧框架上装带有两个中间支撑的三分节自由辊。

弯曲段的内、外框架通过四条拉杆连在一起,用垫板调节厚度,所有导辊都与中心干油润滑站连接。弯曲段装入振动装置支座后,二冷水和设备冷却水通过联接板自动接通,干油润滑系统同时自动接通。

振动装置支座上支撑板的设计、扇形段对中和检测时的调整,使弯曲段的位置以及与相邻扇形段的过渡与理论计算值一致。

##### 2) 设备主要构成

(1) 内外弧框架 两框架是焊接件,由拉杆连接,为使内弧相对于外弧有一个确切位置,上部的长螺杆设计成导向螺栓。

(2) 自由辊及轴承  $\phi 150\text{mm}$  的导辊分成三节,

辊套由滚柱轴承支撑,安装在一根固定轴上。轴承通过挡圈、定距环、轴套、轴座用螺母固定。

(3) 拉杆及弹簧 四条拉杆连接内、外弧框架。

(4) 垫块。

(5) 罩子 弯曲段的热敏感部件即润滑系统、厚度调整装置和内、外弧框架交叉梁都被罩子盖住。

(6) 机械配管。

### 3) 主要技术参数

辊数 15 对,辊距 约 180mm;

辊尺寸  $\phi 150 \times 1905\text{mm}$ ;

辊型式 带中间支撑的三分节辊;

轴材质 45 号钢;

辊套材质 35 号钢;

润滑 干油集中润滑;

辊冷却 二冷水外冷。

## 6 矫直段(7,8 段)辊组

### 1) 设备说明

矫直扇形段位于由标准弧向水平段过渡的矫直段上,支撑铸坯,并依照多点连续矫直曲线把铸坯从弧形矫直为水平。

### 2) 设备构成

包括扇形段上框架,夹辊和轴承(驱动辊和从动辊),连杆和液压夹紧装置,驱动辊的液压压下装置,厚度调整垫块,各种机械配管和自动连接装置等。

### 3) 设备主要技术参数

矫直扇形段共 2 段,每段 7 对分节辊,主要技术参数见表 1。

表 1 矫直扇形段主要技术参数

夹辊配置	从动辊	驱动辊
辊/每段对数	6	1
辊尺寸/mm	$\phi 300 \times 1900$	$\phi 300 \times 1900$
辊型	二段分节辊	三段分节辊,带通轴
辊冷却	辊及轴承通水冷却	通轴及轴承通水冷却
润滑	集中油脂润滑	
轴材质	42CrMo4	

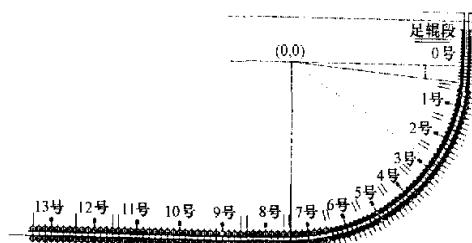


图 1 改造后辊列布置图

## 7 铸机改造后主要技术参数

改造后辊列如图 1 所示。铸机改造前后主要设备及技术参数对比情况见表 2。

表 2 铸机改造前后主要设备及技术参数比较

项目	改造后	改造前
机型	直结晶器弧型	全弧型
基本半径/m	9.5	12
结晶器/mm	直结晶器,长 900	弧形,长 850
导辊		
辊列	小辊径、密排分节辊	大辊径、单辊
组装更换方式	扇形段整体吊装(0~13 段)	单对辊吊装
辊型	从动辊双分节,驱动辊三分节(0 段全部三分节)	整体
辊长/mm	1900(0 段 1905)	2200
辊径/mm	$\phi 100 \sim 300$	$\phi 155 \sim 480$
辊距/mm	130~330	175~540
矫直	多点连续弯曲连续矫直	单点
冶金长度/m	$\sim 31.5$	$\sim 27$
浇注钢种	普碳、低合金、压力容器、船板、锅炉、深冲钢	普碳, 16Mn
浇注断面/mm	厚 150, 180, 220, 250; 宽 1200, 1400, 1600, 1800	厚 220 宽 1400, 1540
定尺/m	4.88~9, 1.7~2.7	4.5~10.3
工作拉速/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	0.6~2.0	0.6~0.8
最大拉速/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	2.2	1.2
浇注时间/min/炉	40	60~65

## 8 改造实践及结论

根据首钢二炼钢厂现有条件,将原全弧型铸机改造为直弧型,优化设计了多点连续弯曲和连续矫直曲线,避免弯矫曲线和基本弧连接处出现的曲率突变,实现理论光滑连接。辊列采用小辊径密排分节辊技术和多点连续弯曲和矫直技术,从设计原理和设备角度最大限度地发挥了直弧机型的优点,并尽量减小不利因素的影响。改造工程于 2003 年 1 月 4 日一次通过热负荷试车。经改造后解决了原铸机工艺及设备存在的设计问题,工作拉速提高约 50%,扩大了品种规格,铸坯质量合格率提高,结晶器铜板和二冷导向辊的消耗降低。改造后铸机整体水平为国内同类铸机先进水平,为产品更新换代、生产高质量的铸坯打下良好基础。

## 参 考 文 献

- 刘立文,等.连铸板坯矫直过程有限元分析.连铸,2001,(6):1~3.
- 李宪奎,史寰兴,康卡斯特连续矫直曲线的改进.机械工程学报,1996,32(2):106~110.
- M. Wolf, A. Stilli. 连铸技术的最新进展.中国金属学会连铸钢学会,1988.