

## 700mm 热轧带钢高压水除鳞系统的设计

王志民<sup>①</sup> 马起先

(营口流体设备制造(集团)有限公司 辽宁营口 115004)

**摘要** 较详细地介绍了热轧窄带钢项目高压水除鳞系统的工作原理;喷嘴打击力计算;设备选型配置及应用。高压水除鳞系统通过近十几年来国内各大冶金热轧窄带钢厂和型材、棒材、线材、管材厂等鞍钢、首钢几十家实践,提高了产品质量,经济效果显著,替代了进口设备。该系统及设备典型应用,有着广泛的推广价值,可供广大冶金行业的专业技术人员及相关人员参考和使用。

**关键词** 高压水除鳞 气动喷射阀 自清洗过滤器 变频调速

## Design of High Pressure Water Descaling System for 700mm Hot Rolled Strip

Wang Zhimin Ma Qixian

(Yingkou Fluid Equipment Manufacture (Group) Co., Ltd., Liaoning 115004)

**ABSTRACT** This paper introduces the principle of high pressure water descaling system for hot - rolled narrow strip steel. The computing of nozzle high - pressure water jet force, configures of equipment type selection and application. Through nearly 10 years major domestic hot - rolled narrow strip steel plant and profiles, rods, wire, pipe factory, Anshan Iron and Steel Co., Shougang etc. of years practice, and improved product quality, economic results are obvious, replace the imported equipment . The application of high - pressure water descaling system and device , has a broad scope of the promotional value of the metallurgical industry for the general professional and technical staff and related personnel for reference and use.

**KEYWORDS** High-pressure water descaling Pneumatic injection valve Self-cleaning filter Frequency conversion drive

### 1 概述

高压水除鳞的原理是利用高压水的急冷,氧化铁皮与钢坯体产生温差,使表面基体材料和氧化铁皮层冷却收缩率不同产生的剪切力,水渗入基体材料和氧化铁皮之间,产生的蒸汽爆炸等诸多综合力的作用下,使氧化铁皮迅速脱离基体,同时高压水按设定方向冲走铁皮。为了提高钢材质量,在轧线上安装一套高压水除鳞系统是非常重要的。

热轧氧化铁皮的产生:钢坯在高温下,表面与空气中的氧发生反应,生成氧化物。在氧化物中,氧化亚铁具有最低的氧含量,并且处于氧化物层的最内层,即最接近铁的一层。当温度低于570℃时,氧化亚铁处于不稳定的状态,

氧化亚铁在氧化铁皮中的含量随着钢坯表面温度的增加而增加,当钢的温度超过700℃时,氧化亚铁在氧化铁皮中的含量大约有95%。氧化亚铁与氧化铁皮中的其他相比,熔点较低,一般在1370℃~1425℃就可以熔化。氧化亚铁层的熔化往往加速氧化铁皮的生成速率,增大向晶界的渗透,从而引起钢材表面的质量问题,同时增加了能源消耗,降低了钢的屈服强度。

公司开发研制了新型的除鳞设备,主要采取的措施是,进一步优化除鳞机喷嘴到钢坯表面的距离和角度,以达到更好的除鳞效果。选用的新型高压小流量喷嘴,具有使用水量小,打击力大;钢坯表面温降小的特点。在消化吸收国外先进技术的基础上,研发设计了各种新型除

<sup>①</sup> 作者简介:王志民,1958年出生,毕业于大连职工大学,大专,工程师,发表论文一篇,获省级发明三等奖一次,国家实用新型专利两项;特别是1996年至今13年间,进行的冶金热轧钢厂高压水除鳞系统的设计是“国家级火炬计划项目”

鳞机,除鳞效果提高,设备使用寿命延长。

因钢坯材质的不同,所生成的氧化铁皮的厚度、附着力也不同;因此,所需除鳞的打击力也不同。

## 2 除鳞系统所提供的打击力与喷嘴参数成函数关系

$$\text{公式: } H = \rho \cdot Q \cdot C_v \cdot V$$

计算范例:除鳞喷嘴在15MPa压力,喷射距离300mm下的冲击力计算:

$$Q = 111 \text{ L/min} = 1.85 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = C \sqrt{2gh} = 0.85 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 1530} = 147.2 \text{ m/s}$$

将  $Q$  与  $V$  所得数值代入上述公式。

$$H = 1000 \times 1.85 \times 10^{-3} \times 0.95 \times 147.2$$

$$= 258.7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 258.7 \text{ N}$$

将上述所得的冲击力除以喷射横截面面积可得每单位面积的冲击力。

式中  $H$ —冲击力;

$\rho$ —密度 = 1000kg/m<sup>3</sup>;

$Q$ —流速 m<sup>3</sup>/s;

$V$ —喷嘴喷射后所得流速 m/s;

$C_v$ —大气中的流速减速系数,距离200mm; $C_v = 1$ ;距离300mm; $C_v = 0.95$ ;距离500mm; $C_v = 0.85$ ;

$C$ —流量系数 = 0.85;

$g$ —重力加速度 = 9.8m<sup>2</sup>/s;

$h$ —压力水头压力为1MPa时,喷头距钢板距离102mm;

$H'$ —喷头旋转轴与钢板间距离。

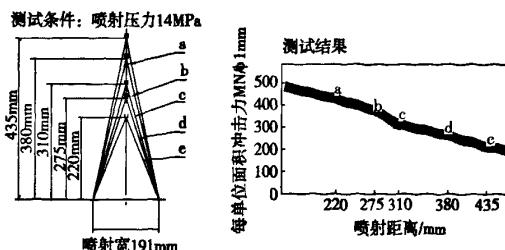
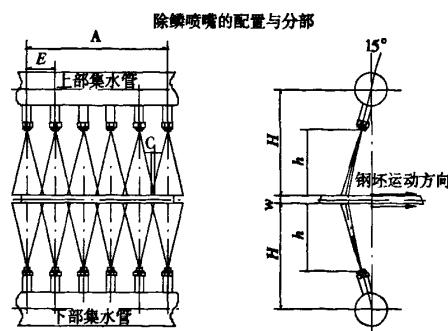


图1 不同喷射角度和冲击压力下的冲击力变化

## 3 热轧带钢常用的基本技术参数

### 3.1 工艺参数及坯料参数

#### 3.1.1 坯料规格

出炉坯料: 160 × 600 × 7000 120 × 360 × 7000mm

精轧坯料: 25 × (560 ~ 600) × (17500 ~ 35000) mm

#### 3.1.2 除鳞速度

出炉辊道速度: 1.5 ~ 2.0m/s

粗轧机速度: 1.5 ~ 2.0m/s

精轧机速度: 1.2 ~ 2.4m/s

#### 3.1.3 钢种

普碳钢、优质碳素结构钢、低合金钢和硅钢等。

#### 3.1.4 轧制节奏

30 ~ 60 根/小时

#### 3.1.5 公辅设施

供电: 低压动力电源: 380V/220V ± 10% 频率 50Hz ± 1%, 三相四线制中性点接地系统。控制电源: AC 220V; DC 24V; 电磁阀工作电源: DC 24V。

供水: 压力: ≥ 0.15MPa; 流量: 30m<sup>3</sup>/h; 水质: 浊环水或净环; 水温 < 35°C。

压缩空气: 压力: 0.4 ~ 0.6MPa; 流量: 280L/min。

#### 3.1.6 出炉温度

1100°C ~ 1200°C

## 4 除鳞点设置及工艺技术参数

### 4.1 除鳞点设置

#### 4.1.1 除鳞箱(初除鳞)HSB

除鳞箱设置在加热炉至粗轧机之间辊道上,用于清除坯料上下表面在加热炉加热过程中产生的炉生氧化铁皮。设计一套除鳞环,分别满足小于160mm厚度坯料和560 ~ 620mm宽坯料的除鳞。

配置喷嘴型号: 644. 687. 27; 数量 2x8 套。

#### 4.1.2 粗轧机(中除鳞)RSB

除鳞集管设置在粗轧机立辊入口处,用于清除坯料上下表面在除鳞箱至粗轧机输送过程中产生的二次氧化铁皮。

配置喷嘴型号: 644. 688. 27; 数量 2x9 套;

#### 4.1.3 精轧机(精除鳞)FSB

除鳞集管设置在精轧机立辊入口处,用于清除坯料上下表面在粗轧机至精轧机输送过程中产生的再生二次氧化铁皮。

配置喷嘴型号: 644. 688. 27; 数量 2x9 套;

除鳞系统喷嘴总数: 52 套。

#### 4.1.4 除鳞点工艺技术参数

除鳞点工艺技术参数如表1所示。

## 5 除鳞系统设备组成及原理

### 5.1 设备组成

由一套高位水箱装置;六套高压卧式三柱塞泵组及自润滑系统装置;四台气动喷射阀组;两台手动闸阀,粗、



$$72\% = 195 \text{ kW} \text{ 取 } 200 \text{ kW}$$

式中  $Q$ —流量  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$P$ —压力  $\text{MPa}$ ;

$\eta$ —效率 72%。

选用变频电机型号:YTSP-315M1-4

额定功率:200kW; 额定电压:AC380V; 额定转速:1480r/min。

变频范围:0~50Hz, 恒转矩; 50~100Hz 恒功率。

除鳞泵技术参数:

选用泵型号:3D3B-SZ350/23 流量:  $Q = 350 \text{ L/min}$  (max);

压力:  $P = 23 \text{ MPa}$  (max) 配用电机功率:  $N = 200 \text{ kW}$  (变频电机)

除鳞泵自润滑系统: 自润滑系统组成: 自润滑系统由齿轮油泵、本体油箱、管路、冷却器组成。

自润滑工作原理: 除鳞泵电机直接驱动齿轮油泵, 向柱塞泵曲轴箱输送润滑油, 从而实现具有一定压力的自润滑系统。

主要技术参数: 流量:  $Q = 61 \text{ L/min}$ ; 压力:  $P = 0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$ ;

工作介质: 柴油机油 (GB11122~1997);

当环境温度 5~40°C 时用 15W/40CD (夏季)。

当环境温度 5~15°C 时用 10W/30CD (冬季)。

#### 5.4 高位水箱装置

该装置由水箱、磁翻板液位计、DN150 电动给水蝶阀、DN150 手动截止阀、过滤装置及放水阀、空气滤清器组成。

水箱容量:  $25 \text{ m}^3$ ; 安装高度 > 3m。

#### 5.5 除鳞装置

除鳞装置: 该装置由本体、除鳞环、喷嘴、挡水链和便于拆装进口配套法兰、进出口导卫装置、高压胶管总成等组成。数量: 三套。

#### 5.6 过滤装置

本系统共设置粗、中、精三道自动反冲洗水过滤器, 用以保证供水精度 <  $200 \mu\text{m}$ 。

#### 6 高压水除鳞管路流速计算

管径的确定主要取决于流量和流速, 而不同工况的介质应选取不同的流速。流速的提高会增加流体的阻力损失, 在除鳞系统中因管路布局比较复杂, 所以流体阻力损失的计算比较困难; 根据实测和使用经验其压力损失一般在 0.5MPa ~ 1.5MPa 之间。为了防止管路产生冲击腐蚀、磨损、振动和噪音, 一般液态介质流速不应超过  $2 \text{ m/s}$ 。水及粘度相近的液体管路, 压力在  $20 \text{ MPa} \sim 30 \text{ MPa}$  之间, 其介质流速在  $2 \sim 3.5 \text{ m/s}$  范围内。

流速计算公式为:  $V = 4Q/\pi d^2$

式中  $V$ —流速 ( $\text{m/s}$ );

$Q$ —流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$d$ —管径 ( $\text{m}$ )。

#### 7 高压管路的壁厚计算与选择

按照钢管的公称通径、材质和工况的使用条件(包括: 工作压力、工作温度、外加载荷、水的杂质对管壁的冲击、介质的腐蚀性)等因素, 确定钢管的标号。一般选取 GB/T8163-2000 材质为 20 优质碳素结构钢, 在常温下温度  $\leq 150^\circ\text{C}$ , 取  $[\delta] = 130 \text{ MPa}$

其壁厚计算公式为:  $S = PD/2[\delta]\Psi + C$

式中  $S$ —钢管壁厚;

$P$ —管内介质压力  $\text{MPa}$ ;

$D$ —管子外径  $\text{mm}$ ;

$\delta$ —工作温度下的管材许用应力  $\text{MPa}$ ;

$\Psi$ —钢管纵向焊缝系数, 对无缝钢管取  $\Psi = 1$ ;

$C$ —管壁厚度附加值  $\text{mm}$ ,  $C = C_1 + C_2 + C_3$ ;

$C_1$ —无缝钢管制造的偏差值: 对无缝钢管的厚度允许的偏差。

外径  $\leq 159$ , 壁厚  $3.5 \sim 20$ , 普通精度级  $+12.5\%$  ~  $15\%$ ;

外径  $\geq 159$ , 壁厚  $= 20$ , 高精密级  $\pm 12.5\%$ ;

普通精度级  $\pm 12.5\%$ ; 高精密级  $\pm 10\%$ 。

$C_2$ —腐蚀裕度: 用于微腐蚀性的钢管 取  $C_2 = 1.5$

$C_3$ —螺纹深度附加值(螺纹连接时考虑)。

$$S = PD/2[\delta]\Psi + C$$

$$= 21 \times 1.05 \times 89/2 \times 130 \times 1 + C$$

$$= 7.55 \text{ mm} + C \text{ 初定壁厚 } 9 \text{ mm}$$

$$\text{则 } C = C_1 + C_2 = 10 \times 0.125 + 1.5 = 2.75 \text{ 所以 } S = 9 + 2.75 = 11.75 \text{ 取 } 12$$

$$D = \text{钢管外径 } \Phi 89 \times 12 \quad P = \text{系统的最大工作压力} \\ \times 1.05 = 21 \times 1.05 \text{ MPa}$$

$$\text{GB8163/T-2008, 20 无缝钢管常温下许用压力 } [\delta] = 130 \text{ MPa}$$

#### 8 除鳞系统电控设计

除鳞系统电控设计是依据机械设备配置及轧钢工艺要求进行的。轧钢工艺要求: 轧制不同的钢种, 要求不同的除鳞压力。这就要求电控系统能够针对不同钢种调解相应压力, 已达到最佳除鳞效果。而电控系统是通过变频调速来实现除鳞系统的压力调解。

##### 8.1 变频调速原理

变频调速是通过改变供给异步电动机电源的频率, 来改变电机的转速, 从而改变机械负载转速。电机转速公式:

$$n = 60f(1-s)/p$$

式中  $f$ —电源频率;

$s$ —转差率;

$p$ —极对数。

由公式可知,只要改变供给电机的电源频率就能改变电机转速,

达到调速的目的,进而达到调解除鳞系统压力目的。

如果除鳞喷嘴的流量、数量已确定,则:除鳞压力  $P$  (喷嘴压力)正比于电机转速  $n$ ,即: $P \propto k \times n$  式中: $k$  是比例常数。

下面是某项目除鳞箱 HSB 除鳞点,变频器输入频率与除鳞系统压力关系数据:

$f_1 = 30\text{Hz}$  时,  $P_1 = 14\text{MPa}$ ;  $f_2 = 35\text{Hz}$  时,  $P_2 = 16\text{MPa}$ ;  
 $f_3 = 40\text{Hz}$  时,  $P_3 = 18\text{MPa}$ ;  $f_4 = 45\text{Hz}$  时,  $P_4 = 20\text{MPa}$ ;  
 $f_5 = 50\text{Hz}$  时,  $P_5 = 22\text{MPa}$ 。

## 8.2 变频器控制方式

除鳞系统应用的变频器控制方式是:V/f 控制方式。

变频器的 V/f 控制是在改变供给电动机电源频率的同时改变电动机的电压,使电动机的磁通保持恒定。

V/f 控制方式的典型电压 - 频率曲线如图 4 所示。对应的电动机理想转矩 - 转速特性曲线见图 5。

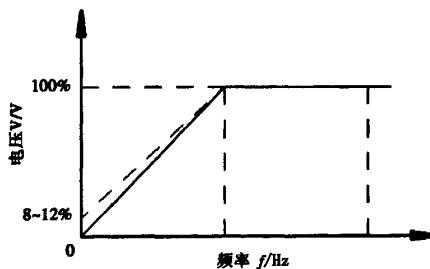


图 4 V/f 控制典型电压 - 频率曲线

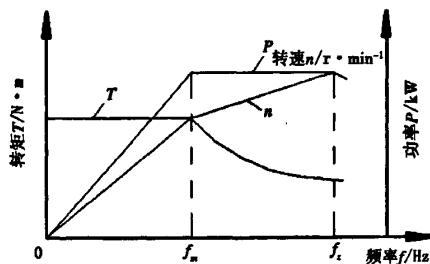


图 5 电动机理想转矩 - 转速特性曲线

当变频器输出频率在额定频率(50Hz)以下时,变频器输出电压随频率正比变化,(即  $V/f = \text{常数}$ ),此时电动机转矩保持不变,称为恒转矩调速段。

当输出频率等于额定频率时,输出电压达到额定电压。

当输出频率大于额定频率时,输出电压维持额定电压不变。此时电动机的输出功率保持不变,称为恒功率调速段。

高压水除鳞系统的变频调速是在额定频率以下调

速,故称为恒转矩调速。由  $V/f$  电压 - 频率曲线及转矩 - 转速特性曲线可知:在额定频率以下调速,在满足除鳞系统压力的条件下,变频器输出频率越低,其输出电压越低,进而电机消耗功率越低。因此,变频调速具有较好的节能效果,应广泛推广使用。

## 8.3 电控设备配置

1)受电柜:1 台,用于除鳞系统受电及配电。

2)PLC 控制柜:1 台(配置 Siemens S7 300 PLC)。

它是电气设备的控制中心。用于除鳞系统所有电气设备的控制、监视、报警等。

3)变频器柜:3 台

(配置 Siemens MM440 或 Schneider ATV61 变频器)。

每台变频器给两台泵电机供电。其中:一台工作,一台备用。

变频器通过“切换”的方式选择一台泵电机工作,并根据轧制工艺要求设定“相应频率”,进而产生所需的“除鳞压力”。

4)高位水箱控制箱:1 台(配置 Siemens ET200M I/O 站)。

高位水箱是除鳞泵的供水源。控制箱用于电动给水阀“自动”“开阀/关阀”控制及水位信号检测。

5)泵站控制箱:1 台(配置 Siemens ET200M I/O 站)。

用于泵站机旁操作,除鳞压力、压缩空气压力、泵体温度检测。

6)HMI 触摸屏:1 台(Siemens MP277)用于所有电气设备及仪表元件的正常状态、故障状态显示。也可以在触摸屏上直接操作“启动/停止”电机。

7)除鳞操作台:1 台。安装在轧线操作室内。用于“手动/自动”控制除鳞,泵工作状态监视。为了节省操作空间,常用的做法是:取消操作台,将除鳞操作台上的几个电气元件安装在轧线操作台上。

除鳞阀控制:电控设置两种操作方式,即“手动/自动”。选择开关置“手动”时,可直接控制除鳞,“手动”方式主要用于实验调试。当选择“自动”时,由轧线 HMD 自动控制除鳞。

8)通讯系统:

设计成两个通讯系统:

除鳞系统内部设计成 Profibus DP 系统。PLC 控制柜作为主站,变频器柜、高位水箱控制箱、泵站控制箱等作为从站,从站将采集到的除鳞压力信号、压缩空气信号、泵体温度信号、喷射阀位置信号、水箱水位信号等,集中传输给控制柜 PLC,经编程处理后,实现除鳞系统自动控制。

除鳞系统与轧线之间设计成 EtherNet 系统。用于“数据交换”及信号“联锁”。

(转 56 页)

## 2 电渣冶金应用

1) 电渣冶金具有以下优越性:

(1) 性能优越性: 电渣产品金属纯净, 组织致密, 成分均匀, 表面光洁。产品使用性能优异。如 GCr15 电渣钢制成轴承寿命是电炉钢轴承的 3.35 倍。

(2) 生产灵活性: 电渣冶金不仅可生产圆锭、方锭、扁锭, 而且能生产圆管、椭圆管、偏心管、方形管及异形铸件, 实现毛坯精化。所熔铸的异形铸件从几克重的金属假牙到 150t 的水泥回转窑炉圈。

(3) 工艺稳定性: 质量与性能的再现性高。可将电炉母炉号为一批抽检。

(4) 经济合理性: 设备简单、操作方便、生产费用低于真空电弧重熔, 金属成材率高, 对超级合金、高合金及大钢锭而言, 提高成材率, 其效益足以抵消生产成本。

(5) 过程可控性: 过程控制参数较少, 目标参数易达到, 便于自动化。对产品微量化学成分、夹杂物的形态及性质、晶粒尺寸、结晶方向、显微偏析、碳化物颗粒度及结构等都能予以控制。

2) 这些优点促使电渣冶金这一技术迅速推广应用。工具钢、结构钢、低合金钢和中合金钢、高强度钢、高合金不锈钢和耐热钢, 铁、镍和镍钴基合金, 铜及其合金, 电工钢及合金, 基于金属间化合物的高活性钢和合金都能进行电渣熔炼。

电渣法在特种冶金领域的进一步发展产生了电渣熔铸。在许多情况下, 电渣熔铸可取代金属的液态模锻, 并可得到具有最佳形状和高质量的锻件。此外, 要求电渣熔铸要达到金属质量, 如无缺陷、高的物理和机械性能、高纯度(有害杂质和非金属夹杂物低)等都能在电渣熔铸中达到。电渣熔铸的特点是有价合金元素的收得率高和完全消除了试生产阶段的报废。

在重型机器制造业中, 电渣熔铸用来生产冷压和热压模的钢坯、大型钢包的耳轴和耳轴承板、冷热轧辊、轧辊辊套、回转炉、曲轴、冶金工具, 也用来生产铸焊高压气缸, 尤其是用电渣熔炼法将支管直接熔接在容器铸件上。用电渣熔炼法技术可使熔焊的支管与容器表面之间达到光滑过渡, 无须另外进行机械处理。

电渣重熔的产品涉及到原子能、宇航、船舶、电力、石油化工以及重型机械等行业。异型件有各种各样的形状和尺寸, 其最大重量达几百吨, 最小的只有几十克。如巨型发电机转子轴、船舶柴油机大型曲轴、各种高压容器、

大型圆环件、各种类型的轧辊、动力管道的阀体、三通管、透平涡轮盘、厚壁中空管、核电站压水堆的主回路管道(直管、弯管)、石油裂化炉管(圆、椭圆及 U 型管)、齿轮毛坯、各种模具(包括冲压模具)和几十克的假牙。

电渣冶金也存在着局限性, 如熔炼和凝固速度偏低、自耗电极氧化、熔渣吸气以及活泼金属的氧化等。如何发挥电渣冶金技术的优越性, 改善和消除其局限性, 一直是电渣冶金技术发展的主要课题。最近电渣冶金技术又有了新的突破, 相继开发了导电结晶器、快速电渣重熔、洁净金属喷射成形及可控气氛电渣冶金等技术<sup>[5]</sup>。这些技术的出现, 使电渣冶金再一次显示出了强大的生命力以及宽广的应用前景。

## 3 结语

在炉外精炼技术飞速发展的今天, 电渣冶金在许多方面仍具有较大的竞争力, 如电渣重熔中型及大型锻件、电渣重熔空心锭和电渣熔铸异形铸件均占有重要地位。特别是在优质工模具钢、不锈钢及其它特殊钢生产领域, 电渣冶金占有绝对优势。此外, 电渣冶金在有色金属的冶炼方面也将得到越来越多的应用<sup>[6]</sup>。

现代工业生产需要的优质合金钢及特种合金数量日益增多, 对金属材料质量和性能要求不断提高, 毛坯的重量和体积不断增加, 从而为电渣冶金提供了广阔的发展空间, 新技术的不断出现也将推动电渣冶金的应用越来越广泛。

## 参考文献

- [1] B. E. Paton, B. I. Medovar, V. E. Paton. New Method of Electric Casting of Ingots. Bulletin of Technical Information, 1956, Issue 1:3~9
- [2] B. E. Paton, B. I. Medovar, Yu. V. Latash. Electroslag Remelting of Steels and Alloys in Copper Water-cooled Mould. Avtomaticheskaya Svarka. 1958(11):5~15
- [3] 李正邦. 电渣冶金原理及应用. 北京: 冶金工业出版社, 1996
- [4] 张家雯, 郭培民, 李正邦. 电渣重熔体系电毛细振荡的研究. 钢铁, 2000(5):23~25
- [5] 陈希春, 冯涤, 傅杰, 周德光. 电渣冶金的最新进展. 钢铁研究学报, 2003(2):62~67
- [6] 李正邦. 21 世纪电渣冶金的新进展. 特殊钢, 2004(9): 1~5

(收稿日期: 2010-01-06)

(接 142 页)

## 9 结语

高压水除鳞系统是国家级火炬计划项目, 通过近十几年来国内各大冶金 700 热轧带钢厂或型材、棒材、线材、

管材厂等鞍钢、首钢几十家实践, 提高了产品质量, 取得了较好的经济效益, 可替代进口设备; 该高压水除鳞系统的设计及设备应用, 有着广泛的推广实用价值。

(收稿日期: 2010-02-10)