

# 层流冷却在首钢迁钢 2160 热轧分厂的应用与研究

杨要兵, 张 晶, 王 伦

(首钢迁安钢铁有限责任公司 2160 热轧分厂, 河北 迁安 064404)

**摘要:**介绍了层流冷却系统的工艺设备以及控制思想。层流冷却系统在 2160 热轧分厂的生产过程中得到了充分的应用, 卷取温度控制精度非常高, 有利于提高产品的力学性能和表面质量, 为生产出高质量的产品打下了坚实的基础。

**关键词:**层流冷却; 卷取温度; 力学性能

## 0 引言

卷取温度是影响热轧带钢质量的重要因素之一, 卷取温度的控制精度直接影响到带钢的力学性能和微观组织。而热轧带钢的实际卷取温度是否能控制在要求的范围内, 则主要取决于对精轧机后带钢冷却系统的控制<sup>[1]</sup>, 因此精确地控制卷取温度对带钢获得理想的组织性能和力学性能具

有十分重要的意义<sup>[2]</sup>。首钢迁钢公司 2160 热轧分厂是 2006 年 12 月投产的, 是一条现代化程度非常高的热轧带卷生产线, 层流冷却控制系统在此得到了非常好的应用, 卷取温度控制精度非常高, 为以后生产出高质量的产品奠定了坚实的基础。

## 1 生产工艺布置

图 1 为层流冷却生产工艺布置。

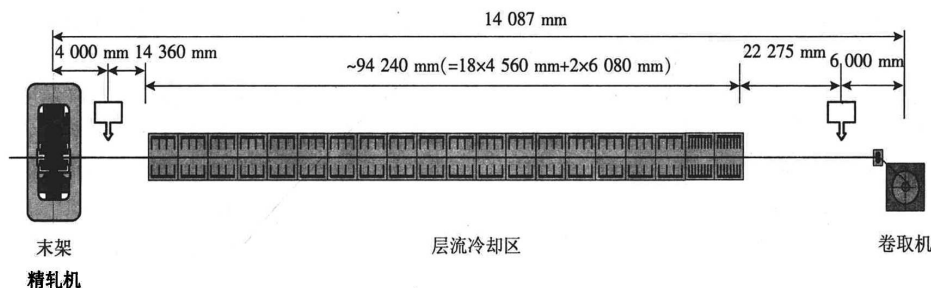


图 1 层流冷却生产工艺布置

### 1.1 冷却区及冷却分组

层流冷却包括精调区和修正区, 应用于带钢的上下表面。每个修正区的水量是精调区水量的一半, 每个区装有独立供水阀, 精调区水阀数量为 144 个, 修正区的水阀数量为 32 个。每个阀的实际状态都被显示。所有操作都可以在卷取区操作台通过屏幕或者键盘实现。

输出辊道上方由 4 个精调区 (每个区包含一根集管) 组成一组冷却水, 冷却设备可以翻转。下冷却区以同样方法分组 (但每个下冷却区, 精调区包含 3 根集管, 修正区包含 2 根集管), 精调区分

组数量为 18 组, 修正区分组数量为 2 组。

每个精调区包括 4 个上部集管和 4 个下部集管, 上下一共 144 组集管。每个修正区包括 8 个上部集管和 8 个下部集管, 一共 32 组集管。

在层流冷却的前边, 每个冷却段的后边有侧喷单元, 最后一段冷却段的后面有两个侧喷单元, 整个层流冷却区域共有 21 组侧喷。

### 1.2 操作模式

层流冷却分为两种模式, 即手动模式和自动模式, 手动模式由 LCC 控制 (层流冷却控制 1 级), 自动模式 (A-mode) 由 CSC 控制。

收稿日期: 2007-07-09

作者简介: 杨要兵 (1977-), 男, 河南襄城人, 工程师, 硕士, 主要从事板带轧制工艺的研究工作。

层流冷却系统所有的阀都具有打开和关闭延迟功能,个别阀需要提前打开(可调节)。当上部 and 底部的水同时打开时,底部的冷却水接触带钢要比上部提前一些。因此为使冷却效果一致,下部冷却水的打开与上部相比要延迟一段时间。

### 1.3 相关产品的冷却制度

前段主冷:适用于有抗拉强度级别要求的硬质钢产品以及 IF 钢。

后段主冷:适于要进一步加工的软质材料以及部分冷轧产品。

按组的稀疏冷却:适于具有中间温度(比如两个中间温度  $T_1$ 、 $T_2$ )以及对冷却速率有要求的产品、适于双相钢、C-Mn 钢、TRIP 钢及需要涂镀的产品。

按管的稀疏冷却:适于需要涂镀的产品。

两段冷却:适于较薄的硬质带钢。

根据带钢的需要,可在不同的操作模式下对冷却区域的集管进行调节,以达到不同材质带钢的冷却要求。

## 2 层流冷却的控制功能

### 2.1 预设定模型

由于层流冷却过程是一个非常复杂的时变过程,影响卷取温度的因素非常多,它的卷取温度控制与带钢材质、速度、厚度上的温度分布等众多因素密切相关<sup>[3]</sup>,因此在轧制过程中,对带钢信息的预测非常重要,对带钢信息的预测靠预设定模型来完成。预设定就是利用精轧机组提供的板带的信息数据,应用预设定模型对各控制量进行预计算,将计算值通过报文形式发送到一级基础自动化系统,由一级自动化执行。这样可以有效地消除整个控冷系统动作滞后的影响。预设定模型每隔一段时间启动 1 次,利用当前板带的下游机架执行,即相当于将板带沿长度方向分段控制,以消除板带长度方向的温度、厚度及速度的波动。

### 2.2 前馈控制

前馈控制主要应用于预设定和在线控制过程,可以有效地消除反馈控制的滞后性。根据带钢或带钢段的终轧温度速度、厚度的预设值或实测值和目标卷取温度,依据由每个钢种 CCT 曲线制定的特定冷却速度,在恒定流速和压力的条件下来确定集管开启组数,或者在固定的集管数开启条件下通过优化来确定各个集管的水的流量<sup>[4-5]</sup>。

精冷区的前馈控制:

$$\lambda(T_{Fi} - T_{ZA}) / (K \cdot T_N) \quad (1)$$

修正区的前馈控制:

$$\lambda(T_{Fi} - T_{ZA}) / T_N \quad (2)$$

式(1)和(2)中,  $T_{Fi}$  为实施反馈控制后,每间隔一段时间采样计算带钢的平均温度,℃;  $T_{ZA}$  为反馈前带钢终轧温度,℃;  $\lambda$  为前馈控制参数;  $K$  为冷却能力系数;  $T_N$  为精冷区能力。由以上两式可以确定精冷区和修正区的开启的集管组数。

### 2.3 反馈控制

反馈控制是通过比较实测的卷取温度和目标卷取温度来调整精冷区和修正区集管的开或关的,使得实测的卷取温度尽量向目标卷取温度靠近,从而保证同板温差处于目标控制范围内。

精冷区的反馈控制:

$$(T_{CM} - T_{CA}) / (K \cdot T_N) \quad (3)$$

修正区的前馈控制:

$$(T_{CM} - T_{CA}) / T_N \quad (4)$$

式(3)和(4)中,  $T_{CM}$  为实测卷取温度,℃;  $T_{CA}$  为目标卷取温度,℃。根据带钢的实测卷取温度和目标卷取温度的差值以及精冷区和修正区的冷却能力,计算出精冷区和修正区开启集管组数。

### 2.4 自适应模型

自适应控制是根据当前带钢卷取温度的实测值和计算值之间的偏差信号与可调系统的过程输出产生反馈作用,以修改控制器的参数,促使可调系统与设定模型相一致,使误差趋向零的控制。

自适应分为长期自学习和短期自学习,短期自学习一般指轧制同一批次的板坯,即同一规格、同一钢种的板坯。长期自学习是轧制变规格或变钢种的第 1 块板坯时,模型会搜寻以前轧制过与当前板坯最相似的板坯,从而计算出自适应学习系数。

## 3 层流冷却的应用效果

2006 年 12 月 23 日 2160 热轧分厂生产出第 1 块钢,经过几个月的调试,层流冷却模型日趋完善,控制精度得到了极大的提高,图 2 是 2007 年 5 月 12 日卷取温度控制偏差图,由图 2 可以看出卷取温度控制偏差全部落到  $\pm 8^\circ\text{C}$  以内,在  $\pm 5^\circ\text{C}$  以内的占 96.8%,卷取温度控制精度非常高,为以后轧制高质量的品种钢奠定了坚实的基础。目前首钢迁钢 2160 热轧分厂还处于调试生产阶段,随着调试的进行,层流冷却模型还会更加完善,控制精度肯定还会进一步提高。

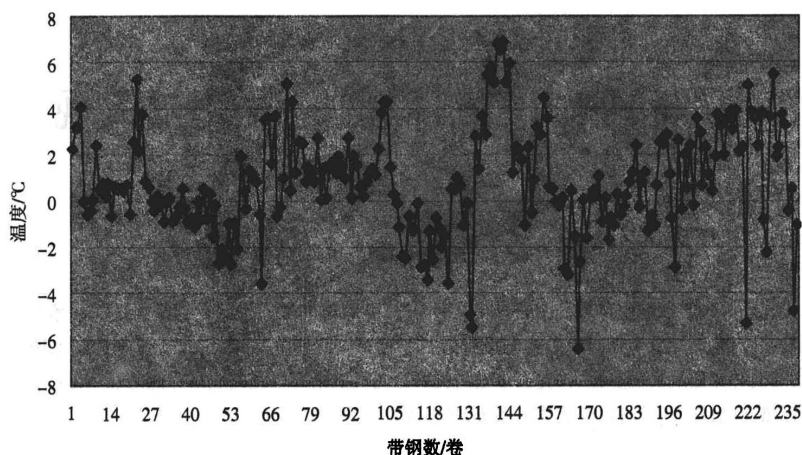


图2 卷取温度控制偏差

#### 4 结束语

(1) 西门子层流冷却模型在首钢迁钢公司 2160 热轧分厂得到了很好的应用, 控制精度非常高, 为轧制高质量的产品奠定了基础。

(2) 层流冷却的应用, 极大地提高了产品的力学性能, 减轻了带钢的带状组织, 使钢的抗拉强度、屈服强度提高, 而延伸率保持在一个较高的水平。

#### 参考文献:

[1] 汪祥能, 丁修堃. 现代带钢连轧机控制[M]. 沈阳: 东北

大学出版社, 1996.

[2] 马丽坤, 王 君, 王国栋. 热轧带钢层流冷却自适应控制系统[J]. 控制工程, 2005, 12(3): 228-230.

[3] Henrich L, Holz R, Knepe G. Physically based cooling model to meet growing demands in temperature and flexibility[J]. Ironmaking and Steelmaking, 1996, 23(1): 79-81.

[4] 柴天佑, 王笑波. RBF 神经网络在加速冷却控制系统中的应用[J]. 自动化学报, 2000, 26(2): 219-225.

[5] Biswas S K. Optimal temperature tracking for accelerated cooling process in hot rolling of steel[J]. Dynamics and Control, 1997(7): 327-340.

[编辑: 魏 方]