中厚板控制冷却基础自动化系统

牛文勇　王　君　李建平　刘　策　甄立冬　康宗涛　张殿华　王国栋

（东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室）

张其生　赵东林　赵胜国　陈建华　于洪喜

（首钢总公司）

摘　要　以首钢中厚板厂3500mm轧机改造项目中控冷系统为背景，说明了控制冷却基础自动化系统的组成和基础自动化系统控制策略，阐述了该控制冷却系统的基础自动化计算机系统组成、控制策略、控制方式和各种控制、监视功能的实现。

关键词　中厚板　自动化　控制冷却

以首钢中厚板厂3500mm轧机改造项目控制冷却系统为背景，说明了中厚板轧机控制冷却基础自动化系统的组成和基础自动化系统的控制策略，阐述了该控制冷却系统的基础自动化计算机系统组成、控制策略、控制方式和各种控制、监视功能的实现。

1　计算机控制系统组成

按照设计要求，控冷计算机系统控制集管阀门的相应时间不大于2s，相应时间差小于0.2s，钢板在冷却区内的线速度范围为0.2～2.5m/s，并能进行加、减速控制。因此，计算机系统必须有足够的响应时间、控制速度和数据处理、通信能力。

按照满足控制要求的标准，基础自动化计算机采用S7－400 PLC，另加4个ET200扩展机架，总I/O配置为：DI：128点，DO：96点，AI：40路，AO：32路，高速计数器：32路。基础自动化与过程计算机通过工业以太网通信，通过MPI接口与监控计算机通信，S7－400 PLC主机和ET200扩展通过PROFIBUS－DP现场总线通信。

2　控制策略和控制方式

控制冷却采用前馈控制方式。过程计算机根据原始数据、终轧结束时检测的温度数据等参数，按照控冷模型计算水冷区长度、水量纵向分布、上下水流量比和辊道速度，进而给出各个集管的开/关状态、水流量、支管入口水量和总水量设定等数据。基础自动化计算机控制现场各设备的动作和运行，完成控制冷却过程。

控制方式分手动、自动和半自动三种，三种控制方式的具体区别在于各控制量的设定和设备状态的控制，具体列于表1。

表1　不同控制方式下控制量和设备状态控制比较

控制方式	流量调节阀开度	遮蔽宽度	气动薄膜阀开/合	侧吹、侧喷	辊道速度	辊道运行
手　动	操作员	操作员	操作员	操作员	操作员	操作员
半自动	操作员	操作员	过程机	过程机	过程机	过程机
全自动	过程机	过程机	过程机	过程机	过程机	过程机

3　控冷区轧件跟踪

在冷却区内，没有热检等检测设备，因此，轧件的位置只能通过计算获得。在冷却区入口处，设有热金属检测器，根据热金属检测器检测的信号触发钢板头部位置计算，获得钢板头部的位置。如图1所示，设冷却区入口处热检的位置为0，钢板和辊道之间没有相对滑动，钢板进入冷却区时辊道线速度为v，加速度为a，那么钢板头部的位置就是：

$$p_{\text{plate}} = vt + \frac{1}{2}at^2$$

联系人：牛文勇，沈阳(110004)东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室

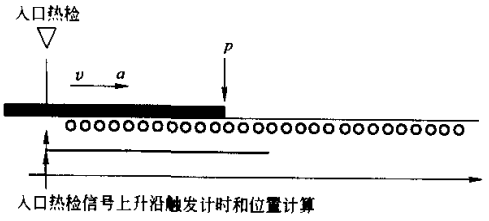

图1 钢板头部位置计算原理示意

4 微调水量控制

水量微调时，按照各个逻辑段的设定开口度调节阀门开度。考虑到执行机构和水流的时间延迟，阀门应当在逻辑段到达之前提前摆好开口度。当钢板到达预定位置时，以相应逻辑段的设定开口度作为调节阀的目标开口度对阀门开口进行调节。

如图2所示，假定某组微调集管距入口热检的距离为 L，需要在第 n 逻辑段头部距该组集管 Δp 远处开始喷水，换算成钢板头部的位置就是：

$$p_n = L - \Delta p + (n-1) \times C$$

式中，n 为逻辑段数，C 为逻辑段长度。即当 $p_{plate} \geqslant p_n$ 时，以第 n 个逻辑段的设定开口度作为调节阀的目标开口度对阀门开口进行调节。

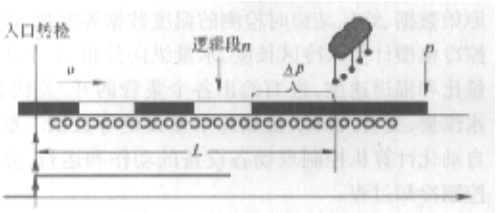

图2 微调水量控制位置计算示意

5 头尾低温控制

钢板头尾部温度较低，在控冷时应该使头尾部少喷水或不喷水，因此，头尾集管的开闭采用以下控制策略：前几组集管，与冷却辊道速度方向逆向开，顺向关。

根据终轧结果计算出钢板的长度 L 和头尾温度较低部分的长度（L_{head}和 L_{tail}），设前 m 组集管面各需要参与头部低温控制，L_m 为第 m 组集管距控冷区入口的距离，那么，

第 m 组集管应该在钢板头部位置 $p_{plate} \geqslant L_m - L_{head} + \Delta p$ 时开喷；

第 $m-1$ 组集管应在钢板头部位置 $p_{plate} \geqslant L_{m-1} - L_{head} + \Delta p$ 时开喷；

第 $m-2$ 组集管应在钢板头部位置 $p_{plate} \geqslant L_{m-2} - L_{head} + \Delta p$ 时开喷。

其他不需进行头部低温控制的集管的开启位置应是：

第 $m+1$ 组应该在 $p_{plate} \geqslant p_{m+1} - \Delta p$ 时开喷；

第 $m+2$ 组应该在 $p_{plate} \geqslant p_{m+2} - \Delta p$ 时开喷。

设前 m 组集管面各需要进行尾部低温控制，那么：

第1组集管应该在钢板头部位置 $p_{plate} \geqslant (p_1 - L_{tail} - \Delta p) + (L - L_{head})$ 时关闭；

第2组集管应该在钢板头部位置 $p_{plate} \geqslant (L_2 - L_{tail} - \Delta p) + (L - L_{head})$ 时关闭；

第 m 组集管应该在钢板头部位置 $p_{plate} \geqslant (L_m - L_{tail} - \Delta p) + (L - L_{head})$ 时关闭。

其他不需进行尾部低温控制的集管的关闭应是：

第 $m+1$ 组应该在 $p_{plate} \geqslant L_{m+1} + L$ 时关闭；

第 $m+2$ 组应该在 $p_{plate} \geqslant L_{m+2} + L$ 时关闭。

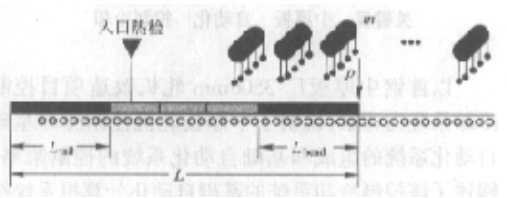

图3 头尾低温控制位置计算示意图

6 流量控制

控冷过程中，由于水箱水位的变化，水箱压力会有所变化，因此，采用每组1号、4号、7号流量计的反馈数据，计算这三点的水压，进而用插值法算出各点的水压，进而控制各个调节阀的开度，使流量稳定。根据流量方程 $Q = K \times A \times \sqrt{p}$，可以得到1号上、下集管处的水压：

$$p_{1,up} = \left(\frac{Q_{1up}}{KA_{1up}}\right)^2, \quad p_{1,down} = \left(\frac{Q_{1dn}}{KA_{1dn}}\right)^2$$，平均水压为：$p_1 = \dfrac{p_{1,up} + p_{1,down}}{2}$

同样方法可以得到7号、14号集管的水压 p_7 和 p_{14}，由此得到如下的压力插值图。根据插值图，可以计算出各个阀口的水压。由此计算各调节阀的开口，控制调节阀使流量稳定：$A_n = \dfrac{Q_n}{K\sqrt{p_n}}$。

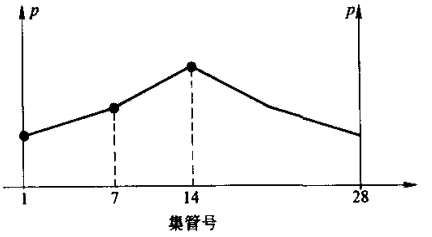

图4 用插值法算出各点的水压示意

1号、7号、14号集管的流量采用PI调节器进行闭环控制。

7 遮蔽宽度控制

遮蔽宽度的检测由高速计数器和脉冲编码完成。遮蔽宽度的调节由程序根据设定位置和实际位置偏差确定调宽电机的转向来完成，当位置偏差小于允许的最小偏差值(零偏差)时，调宽电机停止。

8 侧喷和侧吹控制

根据钢板位置和预先设定的侧喷和吹扫状态、时间等，在钢板到达预定位置时启动相应的侧喷和侧吹设备，并在设定时间或位置关闭侧喷和侧吹设备。

9 控冷过程监控

通过监控计算机的监视界面，操作员可以监视控冷系统的运行状态和各种数据，选择控制方式和设定手动、半自动方式下的各阀门的状态和开口等数据。监控界面用WinCC监控软件开发，可以显示、记录每组集管的流量数据和趋势，并对数据进行归档和打印。