

中厚板层流冷却基础自动化应用软件设计

牛文勇，王君，李建平，胡加洪，王国栋

(东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室，辽宁 沈阳 110004)

摘要：介绍了首钢总公司3500mm中厚板轧机层流冷却基础自动化系统的任务和应用软件的主要功能，说明了层流冷却基础自动化系统应用软件各种控制功能的设计思想和程序实现。

关键词：层流冷却；控制冷却；基础自动化；应用软件

中图分类号：TG335. 52 ; TP311. 52 文献标识码：A 文章编号：1003-9996(2005)05-0041-05

Application of software design in basic automation system for laminar cooling of Plate Plant of Shougang Group Corp.

NIU Wen-yong, WANG Jun, LI Jian-ping, HU Jia-hong, WANG Guo-dong

(The State Key Lab. of Rolling & Automation of Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract : The mission and brief function of application software of basic automation system of controlled cooling for 3500mm plate mill in Shougang is introduced. Based on this, the designing idea and realization of program of each function in the basic automation system of the laminar cooling is given.

Key words : laminar cooling ; controlled cooling ; basic automation ; application software

首钢总公司中厚板厂轧后控制冷却设备为28组高密度直集管层流冷却系统，安装在距轧机中心线42m处。采用通过式冷却方式。控制系统采用以S7-400PLC为核心的基础自动化系统和以PC Sever为核心的过程计算机系统，并使用工业以太网和PROFIBUS-DP现场总线组成

二级计算机系统，实现了对钢板位置的准确跟踪、对冷却速度的精确控制和控冷模型的在线修正。

1 控制冷却系统及基础自动化系统的任务

1.1 轧机-控冷区主要设备布置

首钢中厚板厂控冷区主要设备布置见图1。

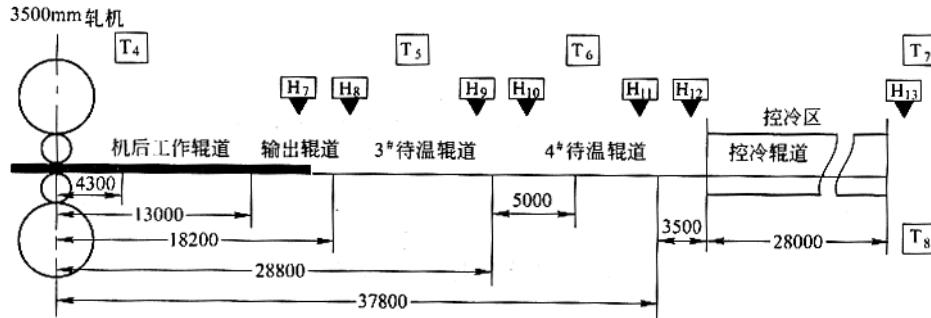


图1 首钢中厚板厂轧机-控冷区主要设备布置

如图1所示，在冷前辊道（机后工作辊道、输出辊道、3#待温辊道、4#待温辊道）安装了

测温仪T₄~T₆和热金属检测器H₇~H₁₁，在控冷区入口（距第1组水幕2m）安装了热金属检

收稿日期：2005-01-26

基金项目：国家重大技术装备研制项目（ZZ0113A010202）

作者简介：牛文勇（1967-），男（汉族），甘肃泾州人，高级工程师，博士。

测器 H_{12} ，出口安装了检测器 H_{13} 和测量钢板上、下表面温度的测温仪 T_7 、 T_8 。在控冷区内，28 组集管按 1m 间距依次排开，在第 1 组集管前，第 7、第 22 和第 28 组集管后各安装了 1 组侧喷装置，在第 4 组侧喷装置后 1m 处安装了空气吹扫装置。这一区间内检测的数据和信号发送给轧机过程机和控冷过程机，用于对轧件的跟踪。

1.2 控制冷却系统

在冷却过程中，由于冷却水降落、表面传热、内部热传导等产生较大的滞后。另外，冷却区长度较短，而冷却出口测温仪与冷却区末端有一定距离，调节阀执行机构的响应速度也较慢，因此，温度控制主要采用前馈控制方法，即在钢板未进入冷却区前，按照调节阀的流量—开口曲线预先设定阀门的开口度，在钢板进入控冷区后根据钢板头部和尾部的位置依次打开或关闭气动薄膜阀，实现冷却水和钢板位置的配合。在控制

各组集管阀门的同时，控制供水系统的供水速度，使高位水箱水位保持相对稳定，以保证调节阀进水侧水压的稳定，从而保证冷却水流量的控制精度。整个控制冷却过程中可控制的参数有集管开闭数目、集管水量、集管分布、上下水量比、边部遮蔽量、钢板通过冷却区的速度等。

轧后控制冷却系统如图 2 所示，根据控制冷却方式（手动、半自动、自动）的不同，基础自动化 PLC 选择不同来源的设定值。在手动和半自动控制方式，集管开闭数量、各组集管冷却水流量、上下水量比、遮蔽宽度和冷却辊道运行速度、加速度等设定值均由操作员在 HMI（人机界面）设定；在自动方式，这些设定值都由控冷过程计算机根据钢板的 PDI 数据和终轧数据（厚度、宽度、长度、温度等）设定。PLC 根据设定值控制相应的执行机构，完成控制冷却任务。

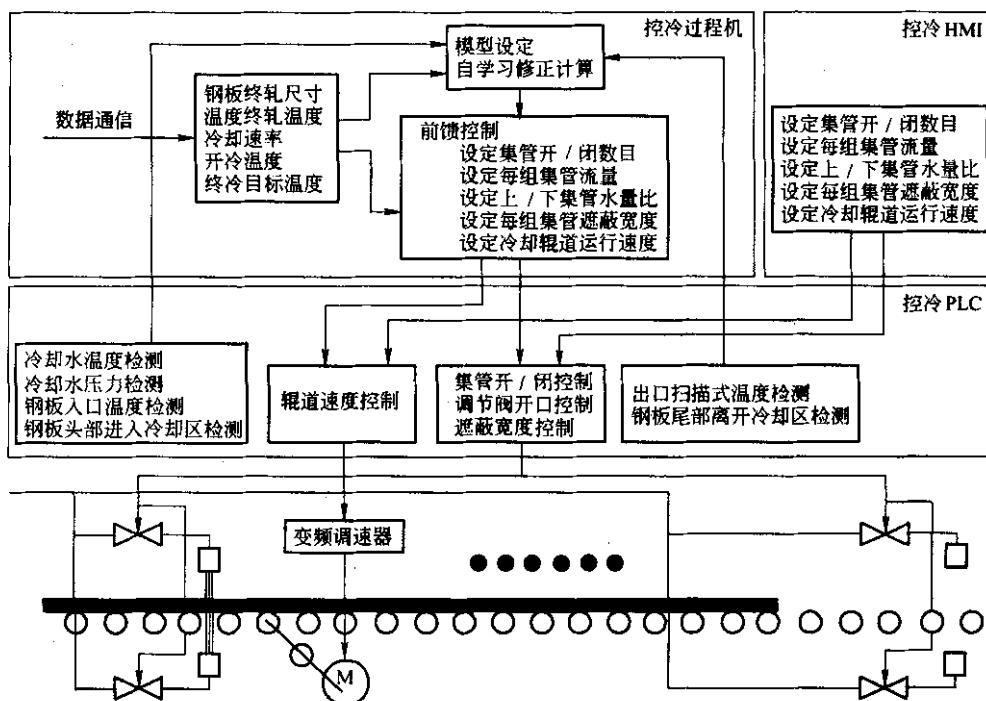


图 2 首钢中厚板轧机控制冷却系统

1.3 基础自动化系统的任务

基础自动化系统的任务是与过程计算机系统配合，完成以下功能：

(1) 对钢板入、出口温度和返红温度，环境温度、冷却水温度，调节阀开口、流量，遮蔽宽度和辊道速度等过程数据进行采集和处理，并将相应数据发送给控冷过程机和 MHI 服务器等；

(2) 在钢板末道次抛钢后获得对机后工作辊道、输出辊道、3# 和 4# 待温辊道的控制权，使钢板在到达控冷区入口时降至要求的速度；

(3) 根据控冷区入口和出口热检的信号，对钢板在控冷区内的位置进行跟踪，根据钢板的位置变化对集管的开/闭进行动态控制；

(4) 根据规程设定的流量值调节阀门的开口

度，保证钢板上下表面冷却均匀；

(5) 控制冷却区辊道运行速度，并调整加速度以消除钢板的头尾温度梯度；

(6) 调节遮蔽宽度，保证钢板横向冷却均匀。

2 控冷基础自动化各种控制功能的实现

2.1 轧机末道次抛钢后冷前辊道降速控制

根据控冷工艺要求，钢板应匀速经过冷前测温仪 T_6 ，以便等距离采集钢板温度和匀速进入控冷区；另外，如果冷前辊道的速度、控冷辊道的速度高，会造成钢板表面划伤或偏转。因此，钢板在到达 T_6 前应匀减速到控冷辊道设定速度。对于钢板减速过程，要求其在冷前辊道上运行时间尽量短，且不得阻碍后续钢板正常轧制。

钢板末道次抛钢且 H_7 热检信号为高电平后，控冷 PLC 取得冷前辊道控制权，钢板尾部离开 H_9 热检后放弃机后工作辊道和输出辊道控制权，钢板尾部离开 H_{11} 热检后放弃 3# 待温辊道控制权，钢板尾部离开 H_{12} 后放弃 4# 待温辊道控制权。控冷 PLC 取得辊道控制权后辊道的速度以控冷 PLC 的设定为基准，控冷 PLC 放弃辊道控制权后冷前辊道的速度以轧机 SIMADYN-D 系统设定为基准。

设辊道系统的加速度为 a ，抛钢辊道速度为 v_0 ，冷却速度为 v_c ，则辊道减速过程中钢板走过的距离 S 应为：

$$S = \frac{v_c^2 - v_0^2}{2a} \quad (1)$$

钢板抛钢后先以抛钢速度运行，待钢板头部距 T_6 距离为 S 时开始降速，这样钢板头部到达 T_6 时运行速度为控冷辊道设定速度。实际控制中，程序跟踪钢板头部位置，如果头部距 T_6 距离小于某一数值，冷前辊道立即开始降速，保证钢板匀速（设定的冷却辊道速度）进入冷却区。

2.2 控冷区内钢板位置跟踪与集管开闭控制

轧后钢板进入冷却区后，必须对钢板位置精确跟踪，并根据位置跟踪情况对钢板的头尾低温段进行水量控制、集管喷水控制、水量微调前馈控制、冷却区辊道加速控制等以控制钢板的温度梯度，并且可以节约用水量。钢板在控冷区内的加速度由控冷过程机根据钢板进入控冷区的速度、冷却速率和钢板材质、终轧数据等设定。

(1) 冷却区钢板跟踪

由于控冷区内并无检测设备，控冷区内轧件

的位置只能通过计算获得。设冷却区入口热检 H_{12} 的位置为 0，则钢板头部的位置为：

$$P_{\text{head}} = v_c t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (2)$$

式中， v_c 为钢板初始线速度； t 为钢板头部通过入口热检时开始计时的时间； a 为冷却辊道加速度。

同理，可计算出钢板尾部距离冷前热检的距离 P_{tail} 。另外，过程机根据终轧结果和温度检测结果计算出钢板头部和尾部需要进行低温控制的长度 L_{head} 和 L_{tail} 。

(2) 集管喷水控制

轧后钢板的头部和尾部温度较低，在控制冷却时应使头尾部少喷水或不喷水，因此，集管的开闭采用以下控制策略：前几组集管延时开、提前关。另外，由于从气动薄膜阀打开到冷却水到达钢板表面有一定的时间延迟，因此气动薄膜阀打开时应考虑一个位置提前量 ΔP 。

设前 m 组集管需进行头部低温控制，则：

① 第 m 组集管应该在钢板头部位置 $P_{\text{head}} \geq P_m + L_{\text{head}} - \Delta P$ 时开喷；

② 第 $m-1$ 组集管应在钢板头部位置 $P_{\text{head}} \geq P_{m-1} + L_{\text{head}} - \Delta P$ 时开喷；

③ 第 $m-2$ 组集管应在钢板头部位置 $P_{\text{head}} \geq P_{m-2} + L_{\text{head}} - \Delta P$ 时开喷。

P_m 为第 m 组集管距控冷区入口的距离。

其他不需进行头部低温控制的集管开启条件应是：

① 第 $m+1$ 组应该在 $P_{\text{head}} \geq P_{m+1} - \Delta P$ 时开喷；

② 第 $m+2$ 组应该在 $P_{\text{head}} \geq P_{m+2} - \Delta P$ 时开喷。

设前 n 组集管需进行尾部低温控制，设 L 为钢板长度，则：

① 第 n 组集管应该在钢板头部位置 $P_{\text{head}} \geq (P_n - L_{\text{tail}} - \Delta P) + L$ 时关闭；

② 第 $n-1$ 组集管应该在钢板头部位置 $P_{\text{head}} \geq (P_{n-1} - L_{\text{tail}} - \Delta P) + L$ 时关闭；

③ 第 $n-2$ 组集管应该在钢板头部位置 $P_{\text{head}} \geq (P_{n-2} - L_{\text{tail}} - \Delta P) + L$ 时关闭。

其他不需进行尾部低温控制的集管关闭条件应是：

① 第 $n+1$ 组应该在 $P_{\text{head}} \geq P_{n+1} + L - \Delta P$

时关闭；

②第 $n+2$ 组应该在 $P_{\text{head}} \geq P_{n+2} + L - \Delta P$ 时关闭。

头尾低温控制如图 3 所示。

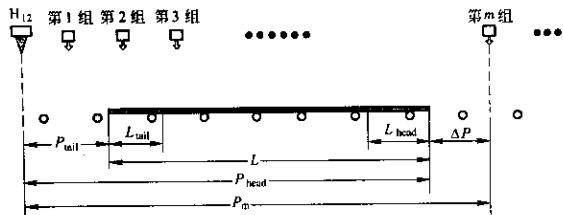


图 3 头尾低温控制示意图

2.3 集管冷却水流量控制

由于流量调节阀是由电动执行机构驱动，电动执行机构本身是一个位置控制系统，因此，每组集管的冷却水流量是通过调节流量调节阀的开口度（即阀门位置）来间接控制的，并非直接的流量闭环控制。由于电动调节阀的执行速度较慢，所以调节阀的开口度是在钢板到来之前摆好的。基础自动化 PLC 根据控冷过程机或 HMI 的流量设定值，按照每个流量调节阀的开口度—流量曲线设定好阀的开口度，当气动薄膜阀打开时，调节阀的冷却水流量即为设定流量。

在实际使用中发现，流量调节阀的开口度—流量曲线存在磁滞特性，即在流量调节过程中调节阀的开口度从小到大和从大到小变化时开口度—流量曲线并不重合，这对调节精度产生了很大影响，最大可达 $10\text{m}^3/\text{h}$ 。为此，采用流量调节阀单向调节策略，即当集管流量设定值减小时，先把调节阀开口度调到零点（小于正常调节范围的某一位置，并不是阀门零开口度位置），再增加到目标开口度，从而实现了流量单向调节，消除了磁滞特性带来的影响。

针对钢板纵向温度波动，相应调节水流量来进行前馈控制，称之为水量微调控制。由于调节阀的动作速度较慢，不能满足快速响应要求，因此，水量微调控制采用微调集管开闭策略。

微调集管是安装在冷却区中、后部流量较小的集管，根据冷前测温仪 T_6 对钢板纵向等距离地温度采样，确定水量微调逻辑段，过程机计算出参与相应逻辑段的水量微调集管数目。假定微调集管距入口热检的距离为 P_0 ，需要在逻辑段头部距集管 ΔP 远处开始喷水，换算成钢板头部的位置，¹ 方数据。

$$P_n = P_0 - \Delta P + (n-1) \cdot C \quad (3)$$

式中， n 为逻辑段数； C 为逻辑段长度。

当水量微调时，按照各个逻辑段是否需要开启微调集管和对逻辑段的位置跟踪进行微调集管开闭控制。

2.4 集管遮蔽宽度控制

遮蔽宽度也是影响温度控制精度的重要因素之一，控制冷却过程计算机根据钢板的终轧数据和其他跟踪数据设定每组集管的遮蔽宽度，PLC 程序根据遮蔽宽度设定数据和实际数据（通过安装在遮蔽宽度调节机构的增量编码器测量）控制遮板控制电机的正向或反向运行，当实际遮蔽宽度与设定遮蔽宽度值的偏差小于设定的误差范围时停止，完成遮蔽宽度调节过程。

2.5 控制程序结构

控制冷却 PLC 的程序采用结构化程序设计方法，各种程序块（FC）按功能不同分别在循环执行组织块（OB1）、定时中断组织块（OB35、OB36）中调用。控制程序结构如图 4 所示。

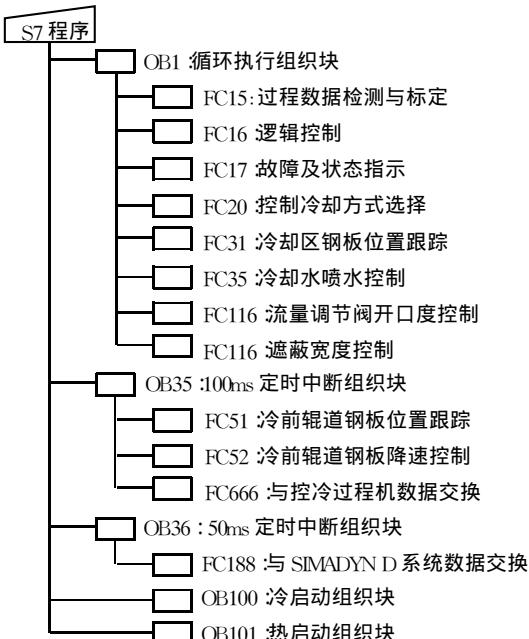


图 4 PLC 程序结构

3 控制冷却系统运行情况

本套控制冷却系统自 2003 年 1 月投入使用以来，控冷系统的控制精度等方面全面达到或超过预定指标，冷却温度的控制精度达到 $\pm 20^\circ\text{C}$ 的占 90%；对厚 10mm 的钢板，冷却速度可达 $30^\circ\text{C}/\text{s}$ ，厚 20mm 钢板，冷却速度可达 $20^\circ\text{C}/\text{s}$ 。

两种类型活套的张力控制模型

曾昭胜

(武汉钢铁股份有限公司热轧厂, 湖北 武汉 430083)

摘要:介绍了带钢热连轧过程中电动活套和液压活套各自的张力控制模型, 前者以电机电流作为控制对象, 后者以液压缸压力作为控制对象。

关键词:活套; 张力控制; 热连轧

中图分类号: TG334.9 文献标识码: A 文章编号: 1003-9996(2005)05-0045-02

Tension control models of two kinds of looper

ZENG Zhao-sheng

(Hot Strip Plant, Wuhan Iron & Steel Co., Ltd., Wuhan 430083, China)

Abstract: The tension control models of electric looper and hydraulic looper during hot strip rolling were introduced. The difference of the two kinds of looper is the control object, the former is electric current of motor but the later is the pressure of hydraulic cylinder as the control object.

Key words: looper; tension control; hot continuous rolling

1 前言

带钢热连轧生产中的活套有电动和液压2种, 电动活套采用低惯量快速直流电机驱动, 从起套到升至工作角约需0.5s, 到建立给定的小张力则共需约1s; 而液压活套惯量更小, 快速性和追随性更优, 从起套到建张的时间远小于1s, 因此, 液压活套的应用越来越广泛。

2 活套控制原理

不论是电动的还是液压的活套机构, 其张力控制系统都应具有2个基本性能: 一是按工艺要求设定活套机构的带钢张力和带钢重力, 从而设

定活套的工作转矩; 二是使带钢保持给定的张力不变, 也就是使带钢张力不受活套辊摆动方向、摆动速度及摆动角度的影响。

活套机构是个可转动装置, 如图1所示, 其处于平衡状态时, 受2个方向的力作用: 沿带钢方向的张力 T 和垂直向下的重力 W , 并分别形成活套机构的张力转矩 M_T 和重力转矩 M_W , 而两者的合成转矩 M 则是活套张力控制系统设定值的基础。活套的张力 T 和重力 W 是根据工艺要求设定的, 张力转矩 M_T 和重力转矩 M_W 则与活套的位置(角度)有关。

利用本套冷却系统对超级钢等新钢种进行了控轧控冷实验。结果表明, 该系统的冷却能力和控制精度均满足工艺要求, 对轧件的组织性能控制和新钢种的开发发挥了重要作用^[2]。

参考文献:

[1] 牛文勇. 中厚板控制冷却基础自动化系统 [A]. 提高钢材

的市场竞争力——2002年全国轧钢生产技术会议暨中国金属学会第七届轧钢年会论文集 [C]. 北京: 中国金属学会, 2002. 595-597.

[2] “十五”国家重大技术装备研制项目“首钢3500mm轧机核心轧制技术和关键设备研制”专题验收材料 (技术报告) [R]. 沈阳: 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 2004.

收稿日期: 2005-06-20

作者简介: 曾昭胜 (1955-), 男 (汉族), 湖北武汉人, 工程师。