

圆坯连铸机控制策略

徐章云

(武汉钢铁工程技术集团 自动化公司, 湖北 武汉 4320080)

摘要: 结合攀成钢圆坯连铸机实例, 介绍了现代圆坯连铸机的组成与工艺流程, 并详细阐述了圆坯连铸机控制系统的构成、主要控制策略和具体实现方法, 特别是现代连铸机的精确跟踪与模式控制在圆坯连铸机中的应用以及在软压下控制技术方面的创新。

关键词: 圆坯连铸机; 跟踪; 软压下; 微提升

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)06-0083-04

The Control Method of Round Billet Caster

Xu Zhangyun

(Automation Company, Wisco Engineering and Technoty Group CO. LTD, Wuhan 430080, China)

Abstract: In view of some examples of the round billet caster of Panchenggang, its composition, technological process as well as the structure of control system, modern strategy and concrete realization method are introduced in detail. Then it gives much emphasis on the application of accurate track and mode control in round billet caster as well as the innovation in the aspect of technique controlling under the soft reduction.

Key words: round Billet caster (RBC); track; soft reduction; tiny upgrade

随着市场对高质钢管需求的日益增加, 现代化圆坯连铸机建设得到了钢铁企业的高度重视。一个现代化的圆坯铸机、精准的铸机控制系统及先进的控制策略是保证高效率生产各种优质钢铁管材的重要保证。

1 圆坯连铸机的组成与工艺流程^[1-3]

与板坯和方坯连铸机类似, 圆坯连铸机也由大包转台、中包车、结晶器、拉矫机、出坯辊道、火焰切割机及冷床等部件组成。

以攀成钢圆坯连铸机为例, 该铸机虽是20世纪80年代初期产品, 90年代初以二手设备的方式购回国内改造, 并于2007年再次改造, 但其工艺流程仍具备短流程圆坯连铸机的典型特征: 一机四流(预留一流), 一个大包转台可承载2个80 t大包, 2台约25 t中包车交替使用, 7种规格(200、220、280、310、350、388、430)的结晶器增配液位检测、弧弯半径约12 m, 6架上驱动拉矫机中4架为交流变频驱动, 2架无动力、出

坯系统由切前辊、摆动辊和3组出坯辊道组成, 且均为常规动力驱动(无调速), 移钢机和冷床由变频器驱动。设计年生产能力60万t, 其具体工艺流程简图参见图1(由武钢设计院图纸《WGS27008施备18-1》改编)。

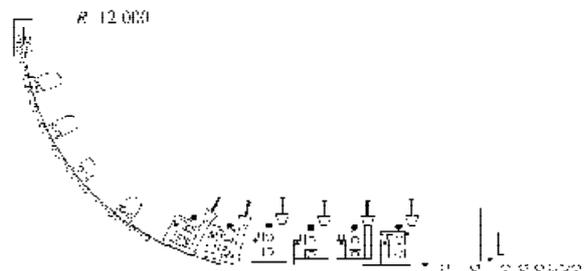


图1 圆坯连铸机工艺流程示意图

Fig. 1 The RBC technics process sketch

2 控制系统的构成

现代连铸机的控制系统虽因各用户的需求不同而有所区别, 但其系统结构基本相同。圆坯连铸机控制

收稿日期: 2007-07-11

作者简介: 徐章云(1950-), 男, 湖北天门人, 武汉钢铁工程技术集团自动化公司高级工程师, 主要从事钢铁企业大中型控制系统的设计和应用研究。

系统结构,如图2所示。

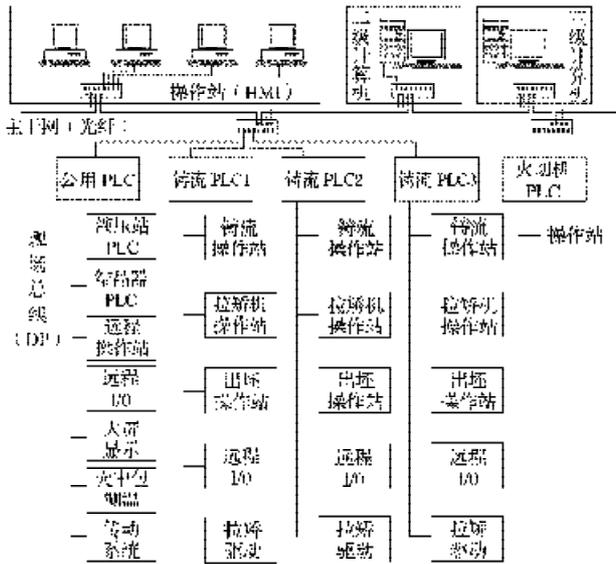


图2 圆坯连铸机控制系统结构示意图

Fig. 2 The RBC Control system structure sketch

图2所示结构有以下特点:

1) 系统完全基于网络结构。由光纤构成的主干网采用冗余环形结构,可连接全厂一、二、三级控制系统,构成了一个完整的控制、管理信息平台^[4],可使系统更可靠;多层次网络分层结构不仅满足了信息分类控制的要求,且最大限度地满足了一级控制系统对实时响应的要求,同时也防止信息“拥堵”现象的产生,可有效缩短建设工期并减少运行维护成本。

2) 完全功能模块化的硬件结构。该结构在某子系统硬件故障或子系统网络之间故障时,仍可保证其他子系统正常运行。这种单一化的控制使得系统更明了,控制更为精细和简单,也可避免多任务控制中对资源的分配所带来的麻烦。除连铸机公用系统外,其他各流均有完全相同的控制对象和控制功能,因此编制程序时可实现标准化编程,既节约了人力资源,又使得所写程序更具可扩展性及可推广性。

3) 按工艺组成来构成控制系统。在攀成钢圆坯连铸机项目中,根据这一原则,将系统划分成公用系统、铸机系统及其他辅助系统(如火切机系统、结晶器液位控制系统等)。公用系统控制所有液压站、浇铸平台上的设备;铸机系统控制所有与拉矫机相关的设备。

4) 所有传动系统均通过现场总线,与各自的系统构成一级网络,完全实现数字化控制。这使得系统更为简单,并使得控制更加精准。

5) 人机接口(HMI)通过光纤连接在各个二级网络上,它既有分工又互为备用,最大限度地保证了系统的安全性。

6) 二级计算机用来收集各系统主要工艺数据,以满足相关模型需要和浇铸生产管理。

7) 三级计算机将全厂各控制系统联系在一起,构成一个现代化信息管理平台,以执行全厂作业调度、控制系统之间的信息交换等任务。

3 主要控制策略

现代圆坯连铸机的控制策略,因装备水平不同而有较大差异。综合各类连铸机的控制经验,影响铸坯质量的主要因素是结晶器振动控制、二冷水控制、跟踪控制和压下控制。

3.1 结晶器振动控制

攀成钢圆坯连铸机采用早期的机械四连杆式振动器,是振动幅度为10 mm、振动频率为0~260次/min的正弦波。因此,控制好振动器的振动频率是该控制策略的核心。一般情形下,振动频率与拉矫速度有如下关系式:

$$F_{osc} = f(K, v, h),$$

式中: F_{osc} 为振动频率(单位:次/min);

v 为拉矫速度(单位:m/min);

h 为振动幅度,通常取10 mm;

K 为振动系数。

3.2 跟踪控制系统

铸流跟踪是圆坯连铸机控制系统中最为关键的控制策略。攀成钢圆坯连铸机控制系统同样引入了“引锭杆跟踪”、“铸流跟踪”和“清机跟踪”理念。

为提高跟踪精度和保证跟踪的可靠性,在短流程圆坯连铸机中,充分利用4个驱动辊的编码器和驱动辊电机的转速,建立一套互为参照的跟踪系统。且可把任一驱动辊的编码器当作跟踪源使用。跟踪源可人为指定也可根据铸机的工作模式需要自动指定。为保证跟踪源的可靠性,当所读的跟踪值在某个时间内无变化或变频器故障时,所指定跟踪源将会自动“浮动”,顺序为: $DC_n \rightarrow DC_{n+1} \rightarrow DC_{n+2} \rightarrow \dots \rightarrow DC_n$, DC_n 为编码器号。

跟踪系统中,编码器的输出值经变频器处理后,输出单位时间电机转动圈数 R ($R = (R_n - R_{n+1}) / (t_0 - t_1)$),同时还输出一个每分钟电机转动圈数 N (rpm)。这虽简化了复杂的脉冲数量计算及烦琐的溢出判断,但同时带来了累计误差。为保证综合积累误差不大于5%及控制系统实时性要求,采用编码器值作为基本计数依据,并予以简单数学处理:在 $R = (R_n - R_{n+1}) / (t_0 - t_1)$ 中,令 $t_0 - t_1 = 1s$,即: $R = (R_n - R_{n+1}) \text{rpm/s}$ 。实际应用中,取平

均转动圈数作为单位时间计数值, $R = \sum_{i=1}^n R_i / n$, 式中 n 的

取值要适当,太大会影响数据的实时性,太小会造成采样值波动过大,从而误差偏大。为保证跟踪精度,系统采用多重精度校正的办法,通过 V_{sp} (设定速度的单位为:m/min)、 R 和 N 间的误差比较实现。

跟踪值的计算取决于跟踪原点，它是跟踪系统中的“0”点参照。攀成钢圆坯连铸机跟踪系统中，使用结晶器“标准液面”作为跟踪“原点”，这使得跟踪过程中的各“事件产生点”的值更容易计算和控制。

3.3 压下控制系统

在连铸机控制系统中，拉矫辊的升降控制是较重要的一环，它将直接影响铸坯质量和安全稳定的浇铸过程。图3是圆坯连铸机和板坯连铸机对热坯施压示意图。

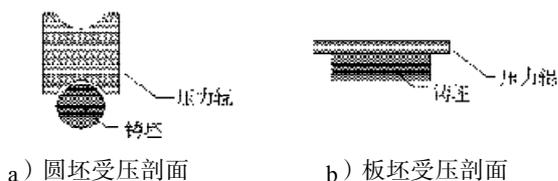


图3 圆坯和板坯压下示意图

Fig. 3 The round and slab screwdown sketch

在圆坯连铸机中，压力辊的内弧半径是为满足最大圆坯半径而设计的，而板坯连铸机压力辊是为满足铸坯最大宽度设计的，因此，同样压力下，圆坯因规格不同而造成单位面积上的压强不同，而板坯的压强变化不大。从理论上来说，如果压力控制不当，圆坯更易变形或造成浇铸事故，规格较小时易被压成椭圆形，规格较大时易被压成双凸形。

圆坯连铸机中，大于100 kg的压力为重压，50~100 kg为中压，均为硬压力。而小于50 kg的为轻压，小于20 kg的压力要实施软压力控制。图4为圆坯连铸机压力辊液压控制回路图（由武钢设计院图纸《WGS27008施备18-x》改编），拉矫辊升降动作取决于跟踪系统发出的“跟踪事件”及操作人员的干预命令。

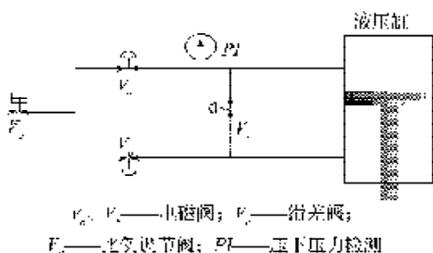


图4 圆坯连铸机压下辊液压控制示意图

Fig. 4 The control sketch of RBC's screwdown roller

无论何种连铸机，压力辊只在穿引锭杆和压热坯（浇铸或清机）两情形下实施压下动作。在穿引锭杆时采用重压或硬压以确保引锭杆能在任何部位均保持稳定（不打滑）和灵活运动（正向或反向移动）。以攀成钢圆坯连铸机引锭杆为例，引锭杆全长约23 m，引锭杆头到引锭杆之间的过渡段约3 200 mm，要使其保持稳定和灵活运动的压力应在140~160 kg范围内，且至少有2个拉矫辊同时施加压力。在压热坯时，一般用轻压，压力在5~50 kg内调整，各拉矫辊的压力分配根

据不同铸坯规格按铸流方向逐步增加。

在控制策略中，压热坯控制方法至关重要，采用适当的控制理论和控制手段极为关键。为叙述方便，定义如下： P 为压力； P_d 为油缸向下压力； P_u 为油缸向上压力； dp_1 为设定压力与实际压力差，且 $dp_1=SP-PV$ ； dp_2 为油缸上下压力差且 $dp_2=P_d-P_u$ ； dt 为调节时间差。显然，在图4所示的油路控制中有：

压力调节 压力调节用于对 V_d 实施调节控制，

$P = k * dp + I * \int_{t_0}^{t_n} dp$ ，式中的 k 和 I 分别为比例和积分系数， t_0 和 t_n 为积分时间。由于调节对象是比例阀，若调节速度过快，压力会频繁波动，过慢则会在压热坯压力转换时不能及时响应，因此选择合适的比例积分系数及积分时间是保持压力稳定调节的关键。

轻压下 轻压下来对热坯施加压力。图4所示油路中，当 $dp_2 \rightarrow 0$ 时，油缸可有两种状态：a)当 V_a 和 V_b 关闭或 V_d 关闭时，油缸可在任何位置停留；b)当 V_a 或 V_b 有一个打开时，油缸以设备自重的重力下降，被压物体理论上只受压下设备重力的压力。利用该特性，如果保持 $V_a=1$ ，控制使得 $dp_2/dt \rightarrow 0 \downarrow$ ，则可实现轻压下；如控制能使得 $dp_2/dt \rightarrow 0$ ，则可实现软压下。实际控制中，如果 PI 处压力太大而又得不到有效泄压的话，仍会对热坯造成有害的压痕，这就必须对式(1)实行边界控制。在实际控制中，当条件满足时，使用“黄金分割法”对 dt 进行分割，不断“尝试”让 $dp_2/dt \rightarrow 0$ ，从而实现软压下控制。

微提升 微提升是轻压下的另一种极端形式，由圆坯连铸机压下装置远比板坯连铸机压下装置简单造成。微提升的控制原理与轻压下类似，即当 $V_b=1$ ， $dp_2 \rightarrow 0 \uparrow$ 时，可使油缸保持“上升态势”向下压下。在圆坯连铸机中，有两种情形用到微提升：a)开浇时的微提升控制。如前所述，圆坯连铸机的引锭杆头部有一过渡段，该段呈链状“倒楔”，开浇过程中，为使“倒楔”顺利通过拉矫辊，常规的控制办法是适时将拉矫辊提升，让其通过后再压下。但要让过渡段通过，必然有二个拉矫辊在某个时间内同时处于“抬起”状态，在这阶段，如果有机机械或其它意外原因造成引锭杆隆起则会酿成热坯滑脱事故。反之，如果只保持一个拉矫辊抬起，则会存在过渡段被压断的可能。为避免这些情形发生，在避让引锭杆头时采用了“微提升”控制。b)热坯微提升控制。在浇铸期间，有些规格的铸坯要求的压力非常小(5~15 kg)，由于油路原因，要通过调节 v_d 来达到这一指标是不可能的，但如果给压下一个微小的反作用力则可满足这一要求。

3.4 二冷水控制

二冷水系统控制是保证铸坯质量的重要环节^[5]。圆坯连铸机采用了与其它连铸机相同的控制策略，即

一级机水表加二级机动态水表控制。由于在浇铸模式发生变化或浇铸速度发生反复变化时，容易造成变化段与段之间的冷却效果不均匀现象，因此控制系统对二冷水采取实时而稳定的控制是控制策略中的重点。在水表选择上，采用一级机水表优先二级机水表的控制策略。

3.5 模式控制

模式控制把连铸机的浇铸过程分成“维护模式”、“穿引锭杆模式”、“准备浇铸模式”、“浇铸模式”、“清机模式”等过程。笔者将这些控制模式引入圆坯连铸机控制系统，收到了极好的效果。模式控制最显著的特点是操作人员面对这样一个新系统，几乎无需培训就能上岗操作，且能很快领会其中的控制理念，并能把它们灵活用于操作过程一些突发事件的处理中。

3.6 出坯系统

短流程圆坯连铸机的出坯系统相对简单，可视其装备水平取舍某些控制功能。又由于每流间的间距小，检测元件很难长期发挥正常作用，在保证可靠性的前提下，不一定要使其完全自动出坯。但作为公用系统的移钢机，则务必实现自动精确定位和移钢才能满足圆坯连铸机浇铸节奏要求。在攀成钢圆坯连铸机的移钢机控制策略中，采用了定位开关和编码器双重定位系统，并采用定位模型控制移钢机的移动，其模型结构见图5。

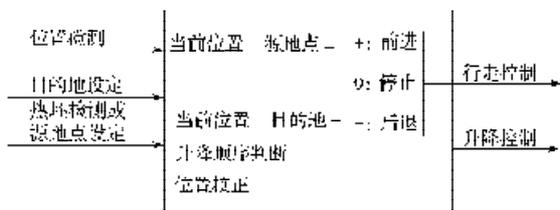


图5 移钢机行走控制模型结构图

Fig. 5 The traveler's control model sketch

按此模型控制移钢机可使控制程序更简单，并能实现路径优化判断，最佳加减速控制可最大限度提高移钢机工作效率。

4 结语

在总结国内外各类铸机控制系统优缺点的基础上，将本文所述的一些连铸机控制策略用于攀成钢圆坯连铸机，取得了良好效果，并得到了用户对此控制策略的肯定。随着圆坯连铸机工艺、设备的不断优化和发展，以及控制系统性能的高速提高，更新、更精准和更优化的铸机控制技术也将层出不穷，笔者将密切关注这些技术的发展，不断提高和完善已有控制技术，为我国钢铁技术的发展作出应有的贡献。

参考文献:

- [1] 吴耀光, 龚志翔, 张建平, 等. 圆坯连铸工艺优化试验研究[J]. 钢铁, 2008, 43(8): 31-34.
- [2] 蔡开科, 程士富. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- [3] 史宸兴, 余志祥, 叶枫. 实用连铸冶金技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998.
- [4] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [5] 沈建中. 浅析圆坯连铸机二冷水改造的可行性[J]. 山东冶金, 2008, 30(3): 18-19.

(责任编辑: 廖友媛)