

国际先进水平成功实施之揭密二

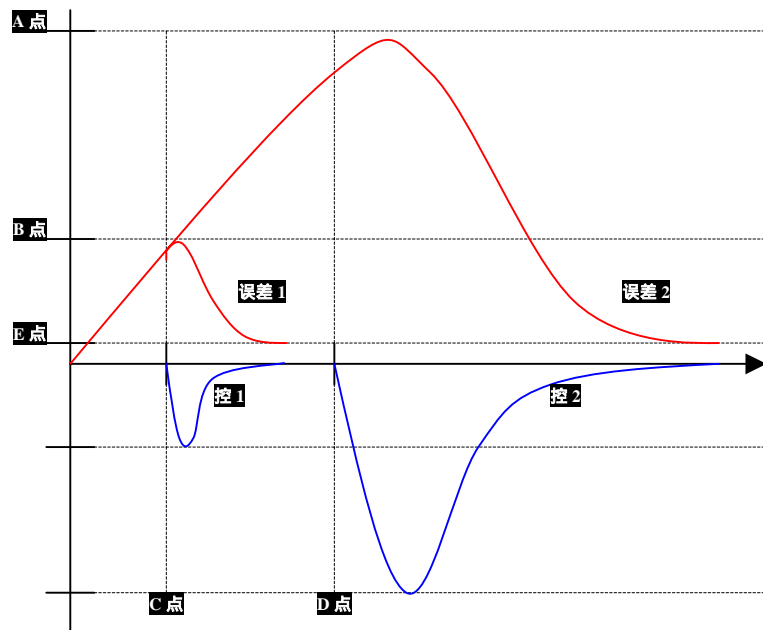
—— 数字式连铸机结晶器液面控制系统设计参考

1. 液面控制系统快速响应的重要性说明

下图显示了因扰动导致液面产生误差时系统的控制曲线。如箭头方向所示，X 轴上方的曲线表示系统误差的变化过程，而 X 轴以下的曲线表示控制系统进行调控时输出控制量的过程。

X 轴下方有两条曲线，分别起始于 C 点和 D 点，表示两种不同控制系统的调整过程。

“控 1”曲线比“控 2”曲线提前建立，表示“控 1”系统响应速度快于“控 2”系统。这在不同系统的技术资料中均有介绍，表现为“每秒控制次数”的差异。多数伺服系统每秒控制次数仅有 3 次，而亿美博公司提供的数字控制系统每秒钟可以控制 8-10 次。那么，不同的控制次数对控制结果会产生怎样的影响呢？让我们首先研究 X 轴以上的两条曲线“误差 1”和“误差 2”。



从 X 轴 Y 轴的交点（误差 0 点）引出的曲线，表示了系统因为扰动产生误差，并随即逐渐得到控制的过程。沿箭头所示方向，误差随时间推移逐渐变大，响应快速（如每秒钟控制 8-10 次）的控制系统在 C 点即开始输出控制量，使得误差达到最大值 B 点后便开始收敛；而响应相对较慢（如每秒钟控制 3 次）的控制系统，直至 D 点才开始输出，被控制系统的误差值达到 A 点后才开始好转。很明显，A 点的误差值远远大于 B 点，“控 1”系统完成误差调整所需时间也远远少于“控 2”系统。

由此我们得到一个答案：**相对慢速响应系统的控制结果而言，快速响应系统误差显著减小、收敛时间显著缩短。而这正是亿美博公司数字式液面控制系统能够使钢水液面稳定在 $\pm 1-2$ 毫米的关键所在。**一方面亿美博控制软件采用智能+模糊算法，计算速度远远快于其他（例如数学模型）算法；另一方面采用精确的开环控制代替了传统的位置闭环，简化了控制过程，从而使系

统可以实现每秒钟 8-10 次的高频控制，也为在各种困难条件下稳定、精确地进行连铸机结晶器液面控制提供了根本保证。数字式液面控制系统长期以来 ± 1 毫米的控制精度，令人信服地说明了这一点。

2. 电动缸精确定位的重要性说明

为了保证钢水液位在结晶器内能够长期稳定，必须保证塞棒机构能够获得微小位移和精确定位，因为水口开度是正常工作状态下控制液位的唯一调整环节。那么，为了达到 ± 1 毫米的液面精度，塞棒机构的微小位移量应该是多少呢？

因为无论响应多么迅速，闭环控制系统的滞后都是不可避免的（仅仅滞后量有差异），所以要将钢水液面稳定在 ± 1 毫米范围内，就必须在钢水液面实际波动小于 1 毫米时进行调节控制。采用涡流传感器（分辨率为 0.3 毫米），亿美博数控系统在液面误差超出 0.3 毫米的分辨率时即开始进行调节控制。假设在拉速为 3 米/分钟的方坯连铸机上，水口开启量为 10 毫米（不同水口内径和不同拉速，水口开启量稍有不同，10 毫米为重钢实际测量数值），我们很容易地推算出 0.3 mm 液面误差所对应的塞棒运动量：

1. 每秒钟连铸坯的运动速度

$$3 \text{ 米} / 60 \text{ 秒} = 50 \text{ 毫米/秒}$$

2. 进行 0.3 毫米液面误差调整时，塞棒机构运动的百分量

$$0.3 / (3 \text{ 米} / 60 \text{ 秒}) = 0.6\% \text{ 每秒}$$

0.3mm 的液面波动相当于 3 米/分拉速的 0.6%，则 0.3mm 液面波动的调节需要每秒钟改变 10 毫米塞棒开启量的 0.6%

3. 塞棒机构的运动距离

$$10 \text{ 毫米} \times 0.6\% = 0.06 \text{ 毫米}$$

由此可以清楚地看到，**要获得稳定的钢水液面，高精度的塞棒运动是至关重要的因素。**而为了获得精确的塞棒位置，作为控制塞棒机构的电动缸，必须比塞棒定位精度高出 0.5-1 个数量级可以满足要求。亿美博公司提供的数字电动缸定位精度为 0.01 毫米，正是为了满足这一需要的关键保证。

准确的计算、先进的控制软件和高精度的数字电动缸的配合，构成了全新的数字式结晶器液面控制系统。迄今为止，所有的数字式连铸机结晶器液面控制系统均获成功，且精度长期稳定在 $\pm 1-2$ 毫米，证明该系统是理论与实际相结合的最佳产物。

3. 电动系统运行速度合理选择的重要性

根据统计,采用塞棒进行液面控制,不论方坯还是板坯,水口开度多在 8-12 毫米(虽然方坯和板坯结晶器断面大小不同,但是因为各自使用的水口内径的不同,使得水口的开度基本相同)。

对应高拉速(3 米/分钟)方坯连铸机,如果出现最严重情况——拉矫机打滑(连铸坯停止运动),而塞棒保持位置不变,液面高度将以 50 毫米/秒的速度上涨,因此采用快速的方法关小或者关闭水口是必要的。那么,速度是否是越快越好呢?理论上如此,但是受到另外一个原因的制约,这便是前面提到的系统“每秒控制次数”。让我们来具体解释。

假定伺服电动缸的运动速度为 100 毫米/秒,当水口开度为 10 毫米时,系统 0.1 秒钟便可将水口全部关闭,显而易见,100 毫米/秒的运动速度在进行液面控制时是没有必要的。

亿美博数字控制系统进行高拉速方坯连铸机结晶器液面控制时,选用的是每秒钟运动速度为 25 毫米的数字电动缸。这种数字电动缸在原有 12.5 毫米/秒运动速度的基础上,提高了一倍速度,但是我们前面提到的电动缸精确定位能力却没有降低,因而我们前面提到的第二项内容中的指标依然可以得到保证。最为重要的是 12.5 毫米/秒的运动速度,是否可以保证当生产事故发生时,系统能够有效地避免或减少事故损失呢?

前面已经谈到,连铸机在 3 米/分钟拉速下出现拉矫机打滑时,液面高度将以 50 毫米/秒的速度上涨,但这样的上涨速度是在塞棒不进行控制的假设下产生的。如果塞棒在液面上涨时减小水口开度,则液面上涨速度必将减缓。同样在 1 秒钟的时间内,进行或不进行水口控制,导致的结晶器中钢液面上涨幅度约是 1:2 的差异。亿美博数字电动缸的推荐运动速度为 25 毫米/秒,当水口开度为 10 毫米时,仅仅 0.4 秒钟便可以将水口全部关闭,加上因为液面控制系统每秒钟控制 8 次,因而可能还有最大不超过 0.125 秒的滞后,全部时间相加也仅仅 0.525 秒钟。我们就用 0.6 秒钟进行计算,如果塞棒控制水口是匀速关闭运动的,假定水口流量线性比较好,那么进入结晶器中的钢水流量和液面上涨速度均将呈递减曲线并逐渐降为 0,此时流入结晶器的钢水量大约是自由流入的一半,钢水液面上涨量大约是: $50 \text{ 毫米} \times 0.6 / 2 = 15 \text{ 毫米}$ 。

钢水液面控制的液位通常设置为 60-100 毫米(距离上水口),即使出现最为严重的事故,钢水也仅仅上涨 15 毫米,绝不会造成任何生产事故和经济损失。

我们可以用走钢丝来对上述过程进行类比。人站在钢丝上,必须不断调整重心(平衡),如果较长时间不能进行调整,将失去重心而跌落,这种情况对应前面提到的第一项——“控制系统快速响应的重要性”;如果人在进行重心调整时,明明偏差 1 毫米,而每次调整的幅度都大于 1 毫米,那么调整了还不如不进行调整,因为越调节误差越大,这类似前面提到的第二项——“精确定位的重要性”;当人站在钢丝上进行重心调整时,如果调节过于猛烈(快速),则因人的反应能力有限,必将导致调整量不够准确或矫枉过正量太大,引起钢丝震荡,这就如同前面第三项提到的“系统运行速度合理选择的重要性”。所以我们可以得到结论,当人站在钢丝上时,只有用自

己可以掌握的最合理速度，迅速（快速响应）、准确（精确定位）地进行重心调整，才可以精确保持平衡。

亿美博科技有限公司正是注意到这个往往被人忽视的普遍道理，并将其推广应用到实际工业控制领域，才使得国防、能源、化工、冶金、航天等领域中的许多难题迎刃而解，使得我们提供的数字式连铸机结晶器液面控制系统的技术性能指标达到国际先进水平（国家冶金局鉴定），进而获得了国家经贸委颁发的“99年度国家级新产品证书”以及中国科技部无偿赠与的科技创新基金。