

炼钢厂连铸大方坯定重装置的研发与应用

石家庄钢铁有限责任公司 张连军

1. 引言

在钢铁企业原燃料涨价，产成品销售竞争激烈的形势下，只有在企业内部不断通过技术创新和技术进步，挖潜降耗。满足不同用户对不同定尺材的需求，才能最大限度的获得经济效益，使企业有长足的发展。

炼钢连铸工艺是近十年来我国冶金企业大力发展的一项先进的铸造技术，要将已铸成型的连续不间断的钢坯进行定长在线切割是连铸生产的最后一道必不可少的工艺过程，其设备也是目前技术较为成熟的切割设备。众所周知，在连铸过程中由于结晶器的磨损、钢水合金成分和拉速的变化等各种原因，在同一流的不同时间段拉铸的同样长度的铸坯其所称的重量却是不尽相同的，并且存在比较大的差异。这个差异的存在使铸坯在进行下道轧制工艺时，由于不能对原材料进行定重控制，只能采用定尺供应坯料，造成坯料重量误差大，因而直接影响到轧钢厂负公差轧制以及其产品的成材率和定尺率。轧钢厂成材率和定尺率是考核轧线的一个重要生产考核技术指标。由于连铸坯长度是按定尺长度进行切割，在轧线轧制时必然出现多余的切尾，尤其对于大规格棒材造成的浪费直接影响轧制的成材率，为了减少浪费，提高钢坯的成材率和定尺率，以获得尽可能高的经济效益，只有实行定重定尺智能切割，以达到提高坯料重量精度满足轧制时定尺要求的目的。

2. 定重切割控制原理

我们知道钢坯重量 W 与钢坯的密度 μ 、截面 S 和长度 L 有关。

$$W = \mu \times S \times L$$

假设 W_0 是上一根切割的钢坯重量， W_1 是紧跟着 W_0 后切割的第二根钢坯重量。

$$\text{即} \quad W_0 = \mu_0 \times S_0 \times L_0 \quad W_1 = \mu_1 \times S_1 \times L_1$$

因在连铸机这样特定的设备和拉速变化率不大的前提下，由于结晶器的腔截面磨损很小以及在短时间内钢水成分等参数的波动相对不大，所以紧跟着切割的两支钢坯密度和截面可以假定是不变的为常数，即

$$k = \mu_0 \times S_0 = \mu_1 \times S_1$$

那么下一根与上一根的钢坯重量变化：

$$\Delta W = W_1 - W_0 = (\mu_1 \times S_1 \times L_1) - (\mu_0 \times S_0 \times L_0) = k (L_1 - L_0)$$

从式中可知 ΔW 与长度有关，即调整钢坯 L 的长度可控制钢坯 W 的重量。实际的情况也如此，当同一连铸流的紧跟着切割的两根钢坯，在同样长度的前提下进行称重时，它们的重量几乎是相同

的。

当按已知 L_0 长度的上一根钢坯切割后进行称重得到 W_0 ，我们根据 $W_0 = \mu_0 \times S_0 \times L_0 = k \times L_0$ 得到与密度和截面有关的 $k = W_0 / L_0$

知道了 $k = W_0 / L_0$ 和根据下一根与上一根钢坯的 k 值近似不变的定理，可以得到与 L_1 成正比关系的第二根所需要预定重量的 W_1 ：

$$W_1 = k \times L_1 = W_0 / L_0 \times L_1$$

由上式中可知当 k 值已知时 W_1 与 L_1 成正比例关系。只要能精确控制 L_1 的长度就能精确切割出预先设定重量的钢坯，即达到了进行定重切割钢坯的目的。

根据上述建立的数学模型可知定重控制过程如下：首先根据理论重量估算后得到的长度进行第一根钢坯的定长切割，然后再将已知长度的第一根钢坯去进行在线称重以得到实际重量，最后按得到的第一根钢坯实际重量得出 k 值进行待切割的第二根预定重量钢坯的长度进行修正。比如，得到的实际重量比估算理论重量来得重，那就重新调整第二根钢坯的切割长度让它再短些；反之，得到的实际重量比估算的理论重量来得轻，那就重新调整第二根钢坯的切割长度让它再长些。由重量来控制长度的过程是一个闭环反馈的控制过程。在这个控制过程中，定尺系统通过红外摄像机远距离采集运动钢坯的图像信息，采用图像处理技术，在线识别热钢坯的长度，同时利用称重装置对所获钢坯重量进行闭环反馈，利用计算机对图像、重量信息进行模式设定程序处理，实现定尺定重智能切割的目的。控制过程如图 1 所示：

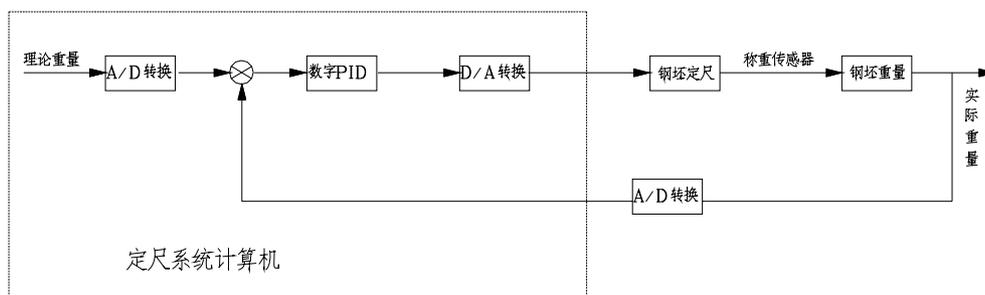


图 1 控制过程方框图

目前在线钢坯切割机的红外摄像检测精度为 0~5mm，系统切割精度为 0~15mm。对于截面为 120×120mm²钢坯来说当切割误差最大 15mm 时，折算成重量为 1.69kg（按密度 7.85/m³计算）。当定尺长度为 9m 时钢坯重量为 1017.36kg，那对应于折算成重量误差为 1.69kg/1017.36kg=0.166%。由此可见只要称重系统误差控制在 0.1% 以内，就能保证钢坯定重切割的系统精度在 0.2% 以内。

3. 钢坯在线称重方法

3.1 存在问题

- ① 在连铸坯称重场合存在高温(800℃左右)辐射、对秤架、传感器及提升装置的热传导和水蒸

气等影响。

- ② 秤架的动态升降带来传感器机械稳定性和重复性影响。
- ③ 前后吊框提升机构的同步问题。
- ④ 需采用高精度称重测量和控制技术。

3.2 采取的方法

为了实现对连铸方坯的热态在线称重，采用的方法有：

① 整体辊道称重法：将四只或六只称重传感器组成单台面或双台面秤架，在秤架上安装整套辊道传送机构，此法称重稳定性较好，但投资较大，存在秤台自重远大于被称的方坯，而使称重精度有所损失。一般估计要称 1t 左右的方坯，秤架及辊道传递机构的自重有 4t 左右。同时，还存在因电机位置偏载产生运转时的振动。其次，在紧挨着 5 流或多流的连铸方坯生产线上存在组秤空间有限和潮湿、难以安装、调整及维护等问题。

② 托辊升降式称重法。此法有国内成功的是对连铸大方坯的称重装置。对方坯称重时，在传送辊道间采用液压升降执行机构，将被称物和秤架共同托起，让传送辊道与被称物分离或者将传送辊道降低使被称物搁到秤架上。目的是利用升降机构来将被称物与辊道传送机构分离，这样减小了秤的自重及传送辊道机构对秤体的振动影响。这两种升降机构中，小吨位称重的用前者较多。如对盘圆钢的出厂称重时，将整套秤体和被称物由升降机构托起进行称重。因后者由于被称物吨位较大，对秤体升降机构设计存在困难，就采取传送的辊道机构进行升降。当下降时，辊道与被称物分离，被称物往下移动，正好安放在秤架上。此法的优点是称重传感器、秤体是静止不动的，这样有利于提高秤的精度。但同样对于紧挨着其他几流连铸热态方坯生产线上，由于空间等问题对设计和生产秤架及升降机构存在着很大的难度，也同样存在传感器及被称物的底下有潮湿、闷热和维护困难等问题。

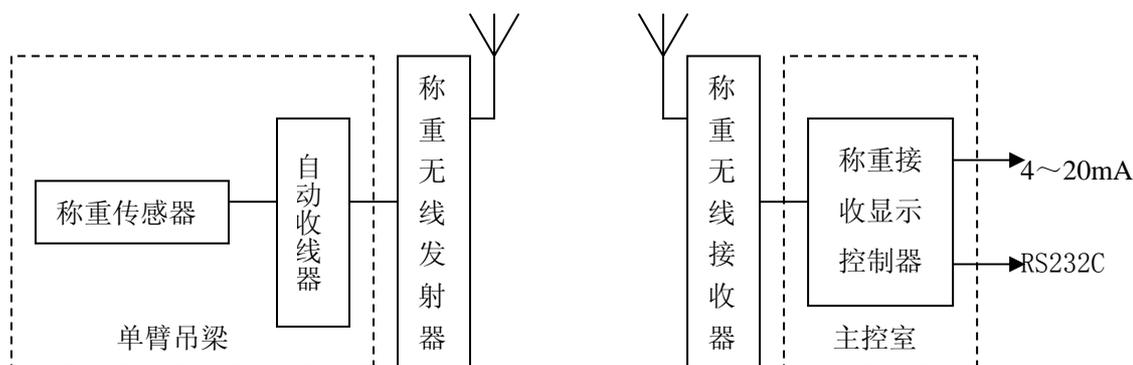
③ 吊框式提升称重法。此方法是这样实现称重的：在连铸坯生产线上方制作两套间距由最短方坯确定的龙门钢架（注：当最长的方坯与最短的方坯进行称重难以兼顾时可将另一个龙门钢架设计成可移动式）。在对应连铸流的出坯辊道上方各安装了两个液压电动推杆（此推杆的参数：行程 30cm；推力 16kN/42mm/s）。为控制推杆的上升或下降，分别在推杆边设置升降行程限位开关。推杆的垂线下方安装外螺纹连接柱式传感器，在传感器的下方有一吊钩，将方形吊框吊住（如圆坯连铸机可将吊框设计成圆形）。在连铸坯移动时，吊框处于下降位置，铸坯顺利进入吊框内。当需要称重时，铸坯停止运动，两只液压电动推杆提升，将铸坯吊起与辊道分离。

4. 研发技术路线

根据炼钢厂连铸坯定重切割采用抽测单只坯重的要求，经对炼钢连铸机实际生产工艺现状的调研，由于电炉连铸机、转炉 3#连铸机出坯辊道为地坑内方式，生产的连铸坯长度最长为 6 米，截面规格 250mm 左右，在不改变现有生产状态条件下，结合对称重设备使用准确度满足 0.1%的精度要求，设计了在单臂梁的吊钩上加装吊钩秤专用传感器，（钩头秤）与吊钩的上下连接件是在传感器两端

整体加工而成，配套专用的吊环和吊钩，增加设备的安全性。使组秤十分方便。称重系统将抽测的连铸坯重量数据送入计算机，与连铸坯的理论重量进行比对，便于及时对连铸坯尺寸进行调整，满足生产工艺要求。对于高温连铸坯称量时的热辐射，考虑在传感器部分加装隔热外罩，里面填充隔热材料。与常规吊钩称重装置不同的是钩头称重设备的供电采用有线方式，一方面解决高温环境下电池易发生爆裂的问题，同时还解决了操作工使用前给电池充电，使用时更换电池的繁琐工作，另外为解决吊钩升降对传感器供电电缆线的影响，称重信号通过无线传输方式，工作电源电缆线利用起重装置上安装的自动收线器解决。称重处理单元采用 36V 低压供电，确保钩头秤体安全使用。数据采集传输采用无线方式，钩头秤发射机仪表与单臂梁自动收线器连接，同时对不同连铸坯尺寸及重量配置在线使用吊框龙门式吊索具，同时吊索具应具有导向定位装置。自动称重数据采集与定尺测量数据结合自动分析后实现自动定尺调整。

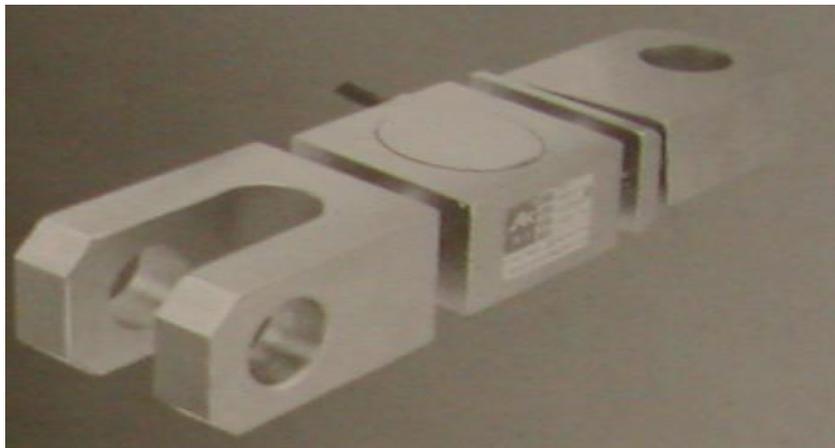
称重系统选用高精度称重传感器和智能化称重仪表，具有准确度高，抗冲击，耐疲劳，称量迅速，操作简便等特点。称重系统采用无线传输方式，实现称重数据的远距离传输。传感器检测到的重量毫伏信号通过称重无线发射器的放大、A/D 转换等技术处理，转换成 0 或 20mA 的电流数字信号无线发射至主控室的称重接收显示器，进行量程修正运算和数据处理得到准确的称重数据，以 RS232C 串行通讯形式进入计算机管理系统进行数据采集。结构原理框图如下：



5. 称重传感器及无线称重系统的主要技术指标

5.1 称重传感器

采用 ET-1/10t 型称重传感器，具有过载能力强、精度高、抗偏载好、测量精度高。采用特有的温度补偿技术，保证传感器在 -20~80℃ 范围内长期稳定工作。其主要技术指标如下：

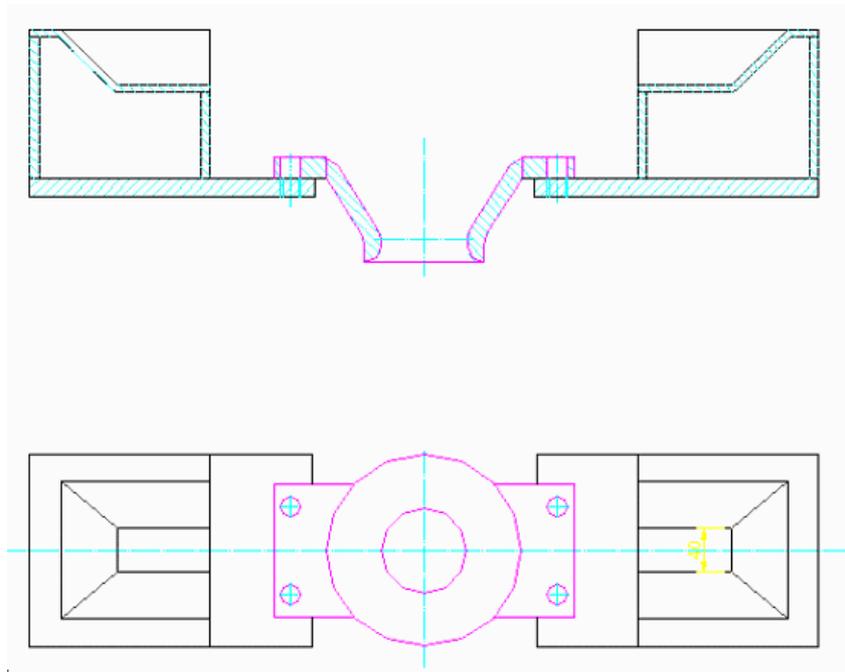


- 精度等级：0.02 级
- 工作温度：-20~80℃
- 非线性：0.02%F·S 滞后：0.02%F·S 重复性：0.01%F·S
- 零点温度影响 0.02%F·S/10℃ 输出温度影响 0.02%F·S/10℃
- 安全过载：150% F·S 极限过载：300% F·S 安全侧载：100% F·S

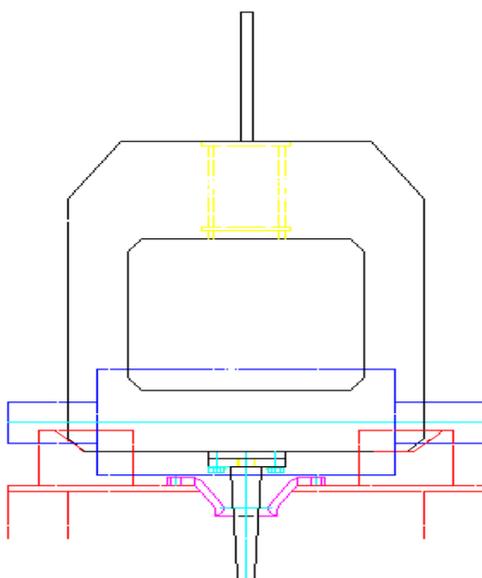
5.2 无线称重系统

无线称重系统的无线发射/接收模块采用 SMD 器件，关键元器件和技术由美国进口和合作。采用扩频通讯无线数传技术，16 频点可调，传输距离 500 米（开阔地），传输速率 1200bps。仪表部份主要技术指标如下：

- 线性精度：≤0.01%F·S
- 信号输入灵敏度：0.3 μV/d
- 输入信号范围：0~40mV
- 调零范围：全量程数字调零
- 温度影响：零点 0.1 μV/℃ 满量程 ≤10PPm/℃
- 无线发射、接收中心频率：450MHz；发射功耗：0.5W。接收距离 500m（符合无线管委会电子秤传输频道，由 DIP 开关 16 个频点任选）
- 串行通讯方式及距离：RS232C 30m
- 模拟量输出信号：4~20mA 负载电阻：≤750 欧姆 准确度：≤0.15%



吊具龙门式秤架定位装置结构图示意图



吊具龙门式秤架与定位装置组合示意图

6. 应用效果

定重坯各月数据统计及累计指标:

炼 钢 定 重 统 计 表									
	电 炉			3# 机			1# 机		
月份	下限合格率%	上限合格率%	平均偏差 kg	下限合格率%	上限合格率%	平均偏差 kg	下限合格率%	上限合格率%	平均偏差 kg
2	94.40	56.60	15.00	89.10	57.30	14.00			
3	96.69	47.93	15.00	98.89	66.39	13.00			
4	99.07	61.80	11.20	92.50	76.30	12.67	97.00	78.60	4.91
5	96.00	77.90	9.67	96.00	76.84	12.76	99.00	86.30	4.51
6	100.00	99.07	10.10	100.00	92.50	10.12	100.00	100.00	3.90
7	100.00	95.00	8.79	100.00	85.00	9.62	100.00	92.30	3.41
8	100.00	89.00	11.35	100.00	91.00	7.15	100.00	93.00	2.00
9	100.00	95.00	9.24	100.00	93.40	9.53	100.00	94.30	3.24
10	100.00	95.10	9.12	100.00	93.80	9.51	100.00	94.60	3.22
合计	98.46	79.71	11.05	97.39	81.39	10.93	99.43	91.30	3.60

以上统计数据表明，通过攻关炼钢厂钢坯定重合格率逐渐提高，到 8 月份后都稳定在了较好的水平。

两率指标情况：

提高轧钢系统定尺率、成材率攻关总结								
	650 工序		连轧工序		二轧厂		三轧厂	
攻关 下限	70.00%	96.31%	84.20%	94.45%	72.00%	96.51%	98.97%	97.31%
攻关 上限	74.00%	96.35%	86.00%	95.30%	75.00%	96.55%	99.00%	97.35%
攻关 奋斗	77.00%	96.46%	89.00%	96.00%	78.00%	96.61%	99.10%	97.41%
月份	定尺率	成材率	定尺率	成材率	定尺率	成材率	定尺率	成材率
2	74.20%	96.42%	87.22%	95.44%	71.71%	96.68%	98.97%	96.95%
3	75.35%	96.40%	87.40%	95.87%	73.45%	96.80%	98.93%	97.29%
4	73.04%	96.42%	88.72%	95.62%	70.41%	96.58%	98.95%	97.33%
5	76.92%	96.41%	89.95%	95.40%	69.96%	96.69%	98.97%	97.37%
6	85.36%	96.18%	95.55%	95.74%	83.35%	96.08%	98.97%	97.38%
7	92.42%	96.18%	89.15%	95.62%	95.26%	96.25%	99.08%	97.35%
8	86.50%	96.45%	90.30%	95.61%	87.35%	96.25%	98.98%	97.65%
9	91.94%	96.25%	95.77%	95.98%	85.40%	96.24%	98.97%	97.33%
10	93.55%	96.20%	90.75%	95.67%	80.00%	96.50%	99.06%	97.29%
累计	83.25%	96.32%	90.53%	95.66%	79.65%	96.45%	98.99%	97.33%

两率数据上可以看出，通过使用定重钢坯和加强操作控制，轧钢的两率指标达到了比较理想的水平，这里特别强调的是，连轧 650 工序定尺率后几个月达到了 90% 以上的水平，创造了历史最高记录，而同时其成材率也保持了比较好的指标，稳定在了 96.31% 以上；二轧厂平均定尺率超过了攻关奋斗值，尤其是 7 月份二轧厂创造了定尺率的最好记录达到了 95.26% 的历史最好水平。

7. 结 语

连铸钢坯的定尺定重切割是一项减少浪费、节省成本及提高钢坯成材率的先进技术，具有可观的经济效益和市场潜力。我们在查阅国内外有关最新资料的基础上，结合多年来对定尺切割和各种特殊称重装置的经验，以技术创新，精益求精的精神，设计了本技术方案与同行进行探讨和分析，渴望得到有关专家给予指导和帮助，以共同推进我国称重技术的不断进步。

作者简介

作 者：张连军

工作单位：石家庄钢铁有限责任公司

部 门：自动化部

职 称：高级工程师

联系电话：0311-86912218

E-mail：HBZLJ-OK@126.COM

通讯地址：河北省石家庄市和平东路 363 号

邮政编码：050031