

· 高效连铸 ·

小方坯结晶器铜管锥度设计与研究

靳 伟 邱世中 张绍启 蔡宝春
(首钢第二炼钢厂)

摘要 本文通过对首钢第二炼钢厂 120mm×120mm 铸机高效改造后的铜管使用情况进行调研,找出了铜管内在的磨损规律及更趋于合理的铜管锥度设计曲线。

Designation and study of billet mould copper tube taper

JIN Wei QIU Shizhong ZHANG Shaoqi CAI Baochun
(No.2 Steel Plant of Shougang Co.)

Abstract The inherent wearing law of copper tube and the more reasonable design curve of copper tube was gained in the paper, through investigating the copper tube wearing condition after modification of continuous 120mm×120mm square caster at No.2 Steel Plant of Shougang Co..

1 前言

1998 年 9 月,首钢第二炼钢厂 2 号方坯铸机(120mm×120mm)进行了高效化改造,成为具有“高拉速、高质量、高作业率、高连浇炉数、高效益和低消耗”的“五高一低”型铸机。目前 2 号机拉坯速度已达到 3.0~3.5m/min,铜管寿命为 65~80 炉。2 号机结晶器用抛物线锥度铜管,为进一步提高铜管使用寿命,降低消耗,在对 2 号铸机所用 1.0m 铜管的使用情况进行跟踪调研、统计分析的基础上,对铜管锥度设计提出了改进意见,以找到更趋合理的锥度设计曲线,使铜管能满足高效铸机生产要求,又有较长的使用寿命。

2 影响结晶器锥度设计的因素

钢水从结晶器弯月面处开始凝固收缩,将导致坯壳和铜管脱离接触,这就要求结晶器铜管有一个适当的锥度来进行补偿,以利于坯壳成长。锥度大小影响均质坯壳形成,锥度过大会在拉坯时产生很大的摩擦力,造成拉漏;锥度过小对坯壳收缩的补偿作用减弱,坯壳与铜管间隙过大,不利于坯壳生长。铜管锥度应使坯壳均匀快速地生长,寿命长,同时适应较宽的浇注速度范围,满足高效铸机拉速要求。

120mm×120mm 铜管锥度设计主要考虑以下几点。

1) 坯壳凝固收缩时角部的收缩量比中心位置大 在凝固开始阶段,选择较大锥度来补偿角部的过大收缩量;

2) 结晶器铜管膨胀 在距结晶器上口 150~300mm 位置,铜管膨胀最大,使结晶器上部形成一正锥度,铸坯在此位置拉坯阻力最大,应用较大锥度来抵消此锥度,减少拉坯阻力;

3) 坯壳承受变形能力 在距铜管上口 270mm 处开始形成具有一定抗变形能力的坯壳。

3 铜管使用情况统计

对 41 支铜管进行跟踪调研,使用情况如表 1。

表 1 铜管使用寿命统计

铜管寿命/ 炉	铜管支 数/支	残余锥度/%·m ⁻¹	
		波动范围	平均值
0~40	2	0.425~0.722	0.542
41~55	1	0.487~0.536	0.512
56~65	8	0.380~1.006	0.558
66~80	29	0.319~0.740	0.509
102.5	1	0.262~0.470	0.366

41 支铜管平均使用寿命为 67.3 炉,其中寿命<

65 炉的占 26.83%;30 支铜管使用寿命 > 66 炉,平均使用寿命为 72.8 炉。

铜管报废后锥度测量结果显示,除寿命为 102.5 炉的铜管残余锥度为 0.262%/m~0.470%/m 外,其余寿命 > 66 炉的铜管均有较大的剩余锥度。如以铜管锥度 ~0.20%/m 不再使用为原则,铜管都还可继续使用。

铜管在不同寿命区间的锥度磨损速度见表 2,从表 1 所示铜管剩余锥度,其磨损速度按 0.006%/(m·炉)计算,则在目前基础上铜管使用寿命可提高 > 20 炉,按寿命提高 20 炉计,铜管平均使用寿命可达到 87.3 炉,吨钢成本预计可降低 > 0.70 元。

表 2 不同寿命区间铜管锥度磨损速度

铜管寿命/炉	平均寿命/炉	锥度磨损量/%·m ⁻¹	磨损速度/%·(m·炉) ⁻¹
56~65	62.4	0.197	0.00316
66~70	68.2	0.277	0.00406
71~80	72.9	0.303	0.00416
102.5	102.5	0.515	0.00502

4 铜管加工及磨损情况

4.1 铜管加工尺寸

新铜管实际尺寸与设计尺寸如图 1 所示。图中的光滑曲线代表铜管原设计尺寸,另两条曲线为实际的铜管侧面和弧面尺寸。可见,抛物线锥度铜管的实际加工尺寸与设计尺寸相比偏差较大,尤其在铜管下部区域,偏差更为明显。

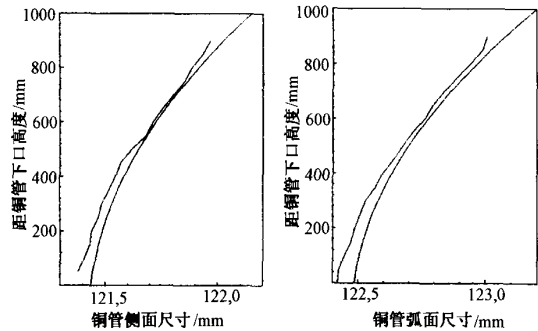


图 1 新铜管侧面及弧面实际尺寸与设计值偏差

4.2 铜管磨损情况

利用锥度仪测量(精度 0.01mm)使用前和报废后铜管的实际侧面及弧面尺寸,对比分析所得数据表明,在结晶器使用过程中铸坯对铜管的磨损使铜万方数据

管锥度变小,铜管报废前后尺寸变化如表 3。

表 3 结晶器铜管使用前及锥度变化

	铜管侧面			铜管弧面		
	新铜管	旧铜管	差值	新铜管	旧铜管	差值
上下口尺寸差/mm	0.6918	0.4896	-0.2021	0.6824	0.4639	-0.2186
锥度/%·m ⁻¹	0.5672	0.4019	-0.1653	0.5547	0.3776	-0.1771

分别对铜管在整个高度范围内的侧面和弧面的锥度变化进行对比,新、旧铜管的侧面和弧面尺寸如图 2、图 3 所示。

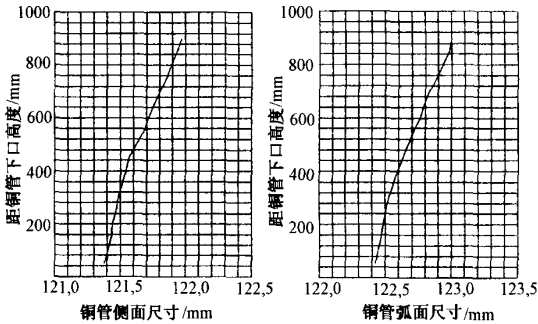


图 2 新铜管侧面及弧面尺寸

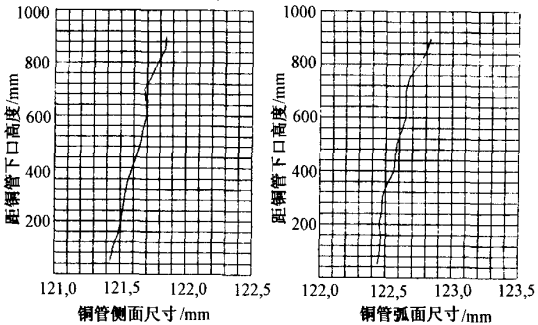


图 3 旧铜管侧面及弧面尺寸

由尺寸曲线可以发现:

- 1) 铸坯对铜管侧面和弧面磨损程度不同,在整个铜管高度上,弧面磨损量大于侧面;
- 2) 在弯月面附近由于铜管本身的热膨胀作用,距铜管上口 100~300mm 区间侧面和弧面锥度变化不大,局部有锥度增加现象;
- 3) 距上口 300~400mm 区间内具有一定抗变形能力的坯壳开始形成,且铸坯与铜管内表面接触紧密,铜管磨损最厉害,侧面和弧面锥度基本消失;
- 4) 距铜管上口 400~700mm 区间内,铸坯对弧

面磨损较侧面少；

5) 在铜管底部,距上口 700 ~ 950mm 高度内的弧面磨损加剧,而侧面磨损量很小。

基于以上分析,为使铜管锥度更加适应铸机提速后的拉速要求,保证坯壳在结晶器内均匀、充分生长,进一步提高铜管寿命,参照原铜管锥度计算的边界条件,在给出铜管锥度曲线前,设定边界条件如表 4 所示。

表 4 铜管边界条件

		铜管上口尺寸	铜管下口尺寸	差值	锥度/ %·m ⁻¹
		/mm	/mm		
侧 面	设计值	122.3	121.6	0.70	0.572
	原 值	122.3	121.585	0.715	0.585
弧 面	设计值	123.3	122.7	0.60	0.487
	原 值	123.3	122.585	0.715	0.580

5 铜管锥度及尺寸

5.1 铜管锥度计算

对 30 支一次使用寿命 > 65 炉的铜管尺寸进行调研后,取其中各方面情况均较理想的 18 支铜管的尺寸做为最终设计参考。以此 18 支铜管使用后的侧面和弧面尺寸为 X 方向,高度为 Y 方向做二次回归分析,得曲线方程 $Y = AX^2 + BX + C$ (如图 4)。

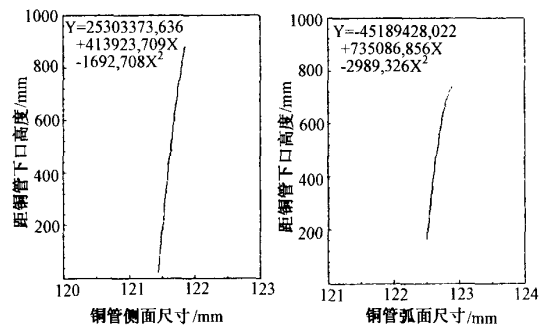


图 4 9804111 铜管使用后尺寸

设 $C/B = E$ 、 $B/A = F$;

通过对 36 支报废铜管所做回归曲线 A、B、C 之间的上述关系进行数学分析表明 $F = 4E$ 。

则各条曲线方程 $Y = AX^2 + BX + C$ 的系统 A、B、C 间存在下述关系:

$B = AF = 4EA,$

$C = BE = 4E^2A;$

将 B、C 值代入 $Y = AX^2 + BX + C$ 得:

$Y = AX^2 + 4EAX + 4E^2A = A(X^2 + 4EX + 4E^2)$
 $= A(X + 2E)^2$

万方数据

利用报废铜管侧面和弧面尺寸所做曲线为对称轴平行于 Y 轴的一簇抛物线。

方程中常数 A 为缩放系数,A 值越大,铜管锥度越小;(- 2E)则代表侧面或弧面尺寸曲线的顶点即抛物线顶点的 X 坐标值。

该方程亦表明,依此曲线方程所设计铜管的尺寸变化轨迹仅与所给铜管上下口尺寸偏差大小有关,与铜管上口尺寸大小无关。

5.2 铜管尺寸

通过对铜管尺寸曲线方程的分析,参考设计时所给的铜管上、下口尺寸等边界条件,运用数学方法得出铜管侧面和弧面尺寸曲线方程如下:

侧面尺寸方程 $Y = -1050(X - 122.624)^2;$

弧面尺寸方程 $Y = -1800(X - 123.487)^2.$

依据上述方程和所给边界条件计算得到铜管实际设计尺寸及锥度如表 5。新设计铜管侧面和弧面尺寸与原设计尺寸对比见图 5。

表 5 设计铜管实际尺寸及锥度

	铜管上口尺寸/ mm	铜管下口尺寸/ mm	差值/ mm	锥度/ %·m ⁻¹
侧面	122.30	121.596	0.704	0.576
弧面	122.30	122.719	0.581	0.471

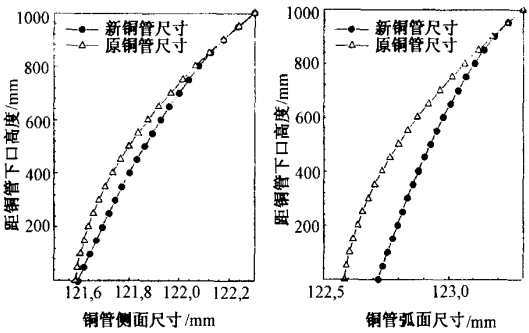


图 5 新铜管尺寸与原铜管尺寸

由图 5 可见,改进后的铜管尺寸沿高度方向的变化同原铜管尺寸变化相比:

- 1) 铜管整体锥度变小,利于减少拉坯阻力,适合铸机提速后的高拉速生产要求;
- 2) 铜管上部锥度减小,下部锥度加大。由于铜管在距上口 300 ~ 400mm 区间锥度磨损较厉害,改进后可以在更长时间内保证铜管中下部具有一定锥度,利于进一步提高铜管寿命。

6 结论

1) 铸坯对铜管侧面和弧面磨损程度不同,在不同高度范围内,铸坯对铜管侧面和弧面的磨损情况亦不同;

2) 在具有一定抗变形能力坯壳开始形成区域,即距铜管上口 300 ~ 400mm 范围内,铜管磨损速度最快;

3) 铜管寿命 > 70 炉后,铜管锥度磨损速度为 ~ 0.006%/(m·炉);

4) 新设计铜管侧面和弧面尺寸沿铜管高度的变化曲线为幂函数 $X = A(Y + B)^{1/2}$ 形,与原铜管尺寸沿铜管高度按抛物线 $X = A(Y + B)^2$ 变化不同;

5) 寿命在 66 ~ 80 炉之间的铜管仍可继续使用,寿命提高 20 炉以上,铜管平均寿命可达到 87.3 炉, t 钢成本降低 0.70 元以上;

6) 改进后的铜管锥度变小,同时铜管上部锥度相对减小,铜管下部锥度加大,这一改进更适合高拉速铸机生产要求,利于进一步提高铜管寿命。

(上接第 10 页)

接的数量,振动平稳、水平位移小、维修工作量少、寿命长。

8) 二次冷却

二冷区分设 3 个冷却水控制回路,回路 I 为冷却水冷却,回路 II、III 为气水冷却。所用冷却水喷嘴均为高效连铸专用喷嘴。各控制回路随浇注钢种、铸坯断面、拉速及钢水温度的变化,通过微机实现动态自动控制,保证高拉速、高质量。

9) 刚性引锭杆

采用刚性引锭杆使二冷区维修工作量少、拉坯阻力小、易于处理事故、方便喷嘴布置;浇注结束尾坯离开拉矫机即可再装引锭杆,可以缩短浇钢前的准备时间,有利于提高铸机作业率。

10) 自走行双向移钢机

设置车式自走行双向移钢机配合两套推钢机和冷床,以适应向南出短定尺铸坯向北出长定尺铸坯的要求。

11) 自动控制

采用过程计算机和电仪一体化的基础自动化两级自动控制系统。

基础自动化级按电仪合用原则,配置 5 台 PLC,每流 1 台,公用部分 1 台,设置在电气室内。连铸主控室设 2 台操作站、1 台打印机,作设备故障和报表的打印。PLC 和操作站通过网卡接到以太网总线上。

过程控制计算机级具有接受生产计划、采集电炉、LF 炉的钢水量、钢水温度、化学成分、出钢时间;编制浇注命令;接受来自基础自动化级的生产过程数据;二冷水、气流量的计算与设定;切割长度计算与设定;物流跟踪;铸坯质量管理;向小型厂轧钢车间传输铸坯数据;设定、显示、操作及编制生产报表等功能。

4 小结

通过不断优化工艺布置、确定合理的工艺路线和精心设计的连铸机以及配置水准较高的两级自动控制等一整套措施,使这台高效化的合金钢方坯连铸机达到其应有的能力和性能。

1999 年 10 月 27 日进行热试车,第一次就以全自动方式操作,基本顺利地浇完一炉钢水,随后又进行的几次试浇均获成功。