

唐钢 100 吨钢包扩容设计与实践

张文祥，张福利，孙志强，张依彤

唐钢公司长材事业部

Design and Practice of 100t Ladle Capacity Expansion at Tangshan Iron and Steel Co., Ltd.

Zhang Wenxiang, Zhang Fuli, Sun Zhiqiang, Zhang Yitong
Tangshan Iron and Steel Co., Ltd. Long Product Department

1. 前言

为满足生产需求，转炉后期有效容积增大后可以增加出钢量，但是转炉增产受现有钢包容量的限制，钢包装入量过大容易出现精炼炉溢渣现象，如果只是单纯减小钢包工作层的厚度，则会造成钢包包龄寿命的降低、耐材成本升高。目前长材事业部 2022 年 1 月份起就进行月产 45 万吨钢规模生产，这就要求转炉冶炼扩容，即每炉钢水量从现在的 100 吨增至 125 吨以上，为适应转炉容量增加后的生产需要，钢包设计优化及改进势在必行，设计出一种 100 吨钢包可承装 125 吨钢水的修砌方案。

2. 容积计算及耐材尺寸优化

钢包作为炼钢生产中必不可少的载体，是炼钢一连铸界面钢水承载和二次冶金的重要容器，将各个生产工序有机联系起来，保证炼钢有序进行。钢包不仅承接转炉冶炼完成的钢水，而且是精炼的重要设备，在满足装钢的同时，还要满足精炼工艺，如对钢包净空要求、钢包上部内径尺寸要求等。因此，对 100 吨钢包进行设计和改进，首先要求容积满足盛装转炉出钢量的要求和精炼工艺。

2.1. 主要设计参数

(1) 100t 钢包包体钢结构主要尺寸及工艺参数：上口外径：3760mm。下口外径：3280mm。钢包总高(不含罐脚)：4065mm。钢液面净空高度：400mm。液态渣厚度：150mm。钢水比重：6.9t/m³。

(2) 钢包容积公式^[1-2]：

$$V = \frac{H}{3} \left(\frac{\pi D^2}{4} + \frac{\pi D_1^2}{4} + \frac{\pi D D_1}{4} \right)$$

其中：

H ——钢包高度

D ——钢包上部直径

D_1 ——钢包下部直径

及其修正公式^[3-4]

$$KV = 0.20P$$

式中：

K ——修正系数，取值范围 0.93-0.96

P ——钢包额定容量

2.2. 计算结果

钢包包底是一个相对复杂的部位，包含滑动系统及透气砖、水口座砖等^[5]，本设计改进是在包底耐材不变的前提下，通过以上参数进行理论计算，经计算，在现有钢包基础上增加 25 吨钢水容量，需增大内径 120mm，即包壁耐材厚度总体需要减少 120mm，据此考虑去掉修包壁过渡层使用的 80mm 安全衬和包壁安全衬、工作层之间 40mm 刚玉自流料，并据此设计了新砌砖方案；此设计改进方案未考虑缩短钢包永久层厚度，所以对钢包包胎尺寸无影响，原有包胎可以继续使用，其它部位尺寸和结构不变。

3. 砌筑工艺

3.1. 原 100t 钢包设计方案及砌筑要求

包壁设计：包壁永久层打结前在包壁上粘贴保温层，保温层采用纳米绝热材料，厚度 10mm。永久层打结要求胎模与四周保温板间隔控制在 $100\pm 5\text{mm}$ 范围内，浇注料搅拌时添加水量控制在 6.0% 左右，以浇注料流动性作为最终判定依据，搅拌均匀，安放好新钢包包胎具，按工艺要求操作。修包壁过渡层使用 80mm 安全衬，钢包包壁工作层采用 210mm 包壁砖、渣线部位采用 240mm 镁碳砖，包壁安全衬和工作层之间采用 40mm 刚玉自流料，包沿高度要求小于 120mm。包壁总计厚度为 440/470mm。

包底设计：先打结 100mm 包底永久层，然后采用包底平铺层加立砌工作层修砌方法。包底及水口座砖仍采用现有砌筑方法，即先装好透气砖、水口座砖，水口座砖、透气座砖与包底砖预留间隙 50-100mm，包底砖砌筑完成后，在包底砖与包壁永久层之间和座砖、透气砖周围的间隙用刚玉自流料填充，最后插砖振捣密实，做到砖缝纵横错开，砖缝泥浆饱满，包底砌筑找正、卡牢。需打结底料与透气砖座砖齐平。可以满足钢包净空高度为 400mm，钢包容量为 100t 的使用要求。

3.2. 钢包优化设计方案及砌筑要求

包壁设计：根据当前的实际情况，确定通过减少钢包砌砖的厚度扩大钢包内径来实现扩容，去掉修包壁过渡层使用 80mm 安全衬，去掉包壁安全衬和工作层之间 40mm 刚玉自流料，钢包扩容后取消包沿砖，使用渣线砖代替，否则净空不能满足精炼要求。包壁总计厚度为 320/350mm，经计算，钢包净空高度为 400mm 时，钢包容量为 126 吨，达到了优化设计的要求，满足了钢水装入量。原始设计方案和改进后的设计方案示意图如图 1 图 2 所示。其中图 1 中原始设计方案中修砌顺序为保温板—永久层—安全衬—刚玉料—工作层。图 2 改进后设计方案中修砌顺序为保温板—永久层—工作层。

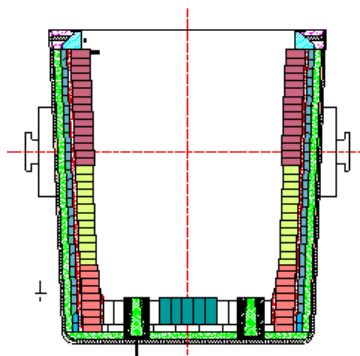


图 1 原始设计方案方案示意图

Fig. 1 Schematic diagram of original design scheme

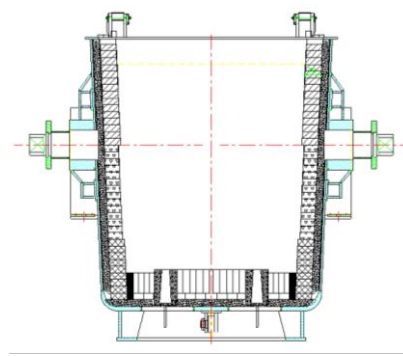


图 2 改进后设计方案方案示意图

Fig.2 Schematic diagram of improved design scheme

包底采用重质料打结，平铺和立砌修砌方式，厚为 200mm。包底及水口座砖仍采用现有砌筑方法，即先装好上、下座砖，再拼砌底部砖。砌砖时须用木榔头轻敲打紧，砖与砖之间的缝隙要小于 2mm，砖缝纵横错开，做到砖缝泥浆饱满，罐底砌筑找正、卡牢。钢包大修，包底需重新打结底料；小修更换水口座砖或透气砖时，需打结底料与透气砖座砖齐平。

3.3. 钢包砖优化

钢包包壁砖采用 200mm 厚的铝镁碳砖，要求碳含量提高 2%，即含碳量为 8%。渣线砖采用 240mm 厚的镁碳砖，要求砖中碳含量提高 2%，即含碳量为 14%，以提高砖的抗浸蚀能力。钢包砖的理化指标见表 1。

表 1 钢包砖理化指标

Table 1 Physical and chemical indexes of ladle brick

项目	MgO, %	C, %	显气孔率 %	体积密度(g/cm ³)	耐压强度 (Mpa)
包壁砖	45	8	≤9	≥2.95	≥38
渣线砖	76	14	≤5	≥2.98	≥35

4. 钢包改进后方案可行性校核

4.1. 校核钢包空载和荷载情况下重心与耳轴位置

耳轴的位置对于整个钢包的倾倒过程来说是十分重要的。若耳轴的位置太低，则很可能由于操作不当导致钢液的过快倾倒，若耳轴的位置过高，则会增大倾倒钢液过程中所需要的倾翻力矩，进而增大起重机副钩的起重量，这样就造成了很大的能源浪费。钢包设计耳轴中心应高于钢水罐满灌合成重心以上 200mm-400mm。对比改造前后钢包重心与耳轴位置如下：

坐标原点位置：钢包耳轴连线中点（X=0；Y=0；Z=0）

改造前重心(毫米) X = -2.569103；Y = -352.736125；Z = -4.602990

改造后重心(毫米) X = -2.569；Y = -364；Z = -4.52

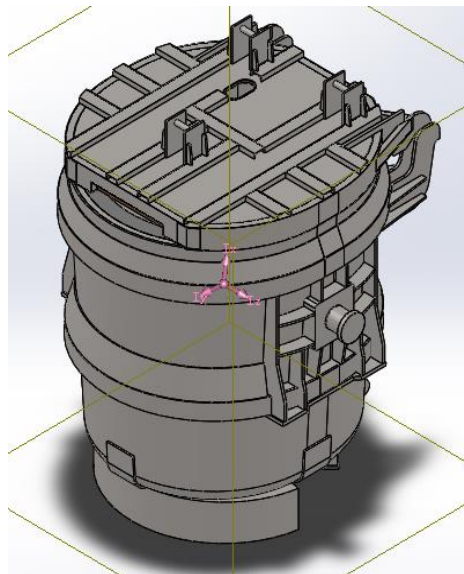


图 3 改造后钢包重心与耳轴示意图

Fig.3 Schematic diagram of ladle center of gravity and trunnion after transformation

计算表明：钢包重心与耳轴位置符合设计要求。

4.2. 钢包倾翻力矩校核

钢包在倾翻过程中，其倾翻力矩由三部分构成：钢包空包引起的倾翻力矩、钢包耳轴的摩擦力矩、钢液引起的倾翻力矩。通过计算起重机副钩的起重量与倾翻角的关系，核定起重机副钩的起重吨位，当前 80 吨副钩起重量完全能够满足扩容钢包倾翻要求。经验证，此改进方案不影响钢水包相关设备诸如钢包车、龙门钩及连铸钢水包回转台承载能力，相关设备不需要改进，钢水包扩容改造费用不需要增加。

4.3. 钢水装入量

表 2 中列出了钢包扩容前后，转炉的出钢量（钢包盛装钢水量）。从表中可以看出通过钢包修砌工艺的调整改进，钢包钢水装入量较过去提高 25 吨左右，达到了预定目标。

表 2 钢包扩容前后转炉出钢量对比

Table 2 Comparison of converter tapping before and after ladle expansion

1 月份（扩容前）		2 月份（扩容前）	
炉号	钢水净重, t	炉号	钢水净重, t
22100023	99.3	22101012	126.3
22100024	99.5	22101013	123.2
22100025	101.2	22101014	124.5
22100026	99.2	22101015	125.6
22100027	102.3	22101016	125.4
22100028	102.4	22101017	123.5
22100029	100.6	22101018	126.2
22100030	102.1	22101019	126.3
22100031	100.5	22101020	124.5
22100032	102.1	22101021	128.1
22100033	100.2	22101022	126.1
22100034	98.9	22101023	127.3
22100035	99.8	22101024	123.8
22100036	102.2	22101025	128.1
22100037	101.8	22101026	124.1
22100038	102.3	22101027	128.2
22100039	98.4	22101028	124.2
22100040	101.5	22101029	124.6
22100041	99.9	22101030	125.3
22100042	101.2	22101031	126.3

4.4. 钢水温降

本设计方案虽然去掉安全衬砖、减少保温板厚度，但浇注料具有气孔率高、体积密度小、导热系数小、重烧收缩小等优点，绝热保温效果好，钢包温降正常。从 2~5 月份生产图表和数据来看，钢包均未发生因钢包温降大而导致回炉钢水的现象。

4.5. 钢包寿命对比

钢包扩容前 2021 年 10 月-2022 年 1 月，钢包平均包龄为 95.45 炉，精炼比 28.92%。扩容优化后，2022 年 2 月-2022 年 5 月，钢包平均包龄为 96.47 炉，精炼比 29.77%，钢包包龄使用平稳，无影响。扩容前后钢包寿命对比如下图 4。

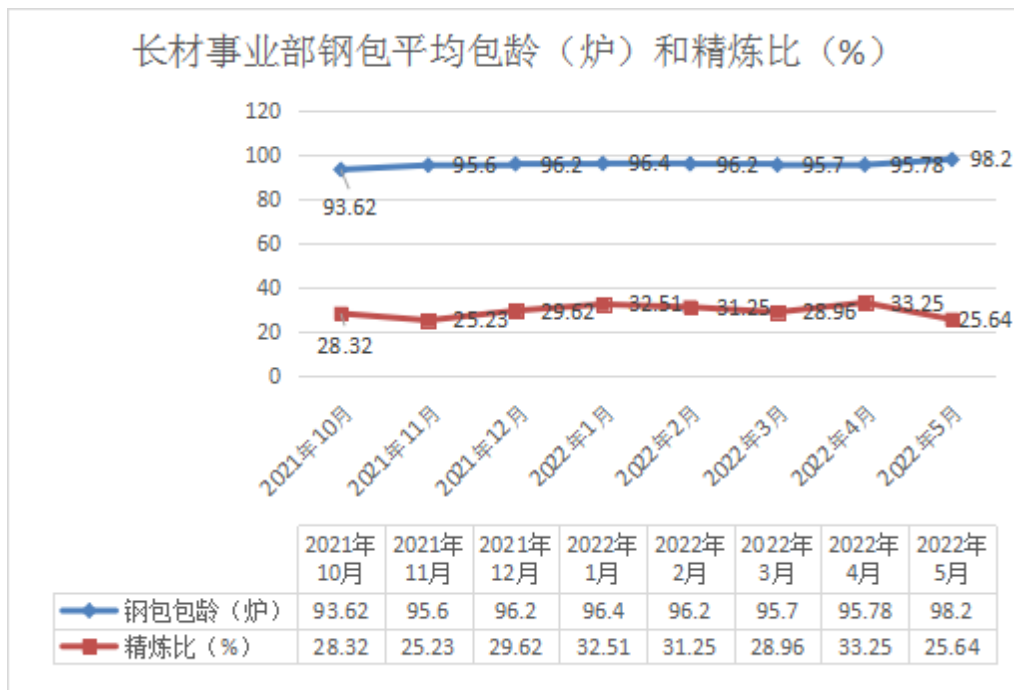


图4 扩容前后钢包寿命对比

Fig.4 Comparison of ladle life before and after capacity expansion

5. 结语

长材事业部通过改变钢包耐火砖的材质和重新设计钢包的砌砖结构实现了扩容 25 吨的预定目标，有效促进了炼钢产量的增加，促进钢产量的提高，目前已长材事业部推广应用。

(1) 通过对 100 吨钢包优化设计与改进，改进后的钢包完全满足承装 125 吨钢水要求，未超出 240 吨天车的承装能力。

(2) 原设计 100 吨钢包总计耐材用量 54.7 吨，设计改进后钢包耐材用量减少到 40.2 吨，耐材消耗量下降，在保证钢包安全运行的基础上降低了耐材吨钢成本。同时由于单炉产量增加，吨钢动力费用和人工费用相应减少，可有效降低吨钢生产成本。

(3) 本设计方案增大了钢包有效容积，提高了钢包装钢量，同时提高了钢包净空高度，有利于避免精炼炉溢渣，保证了钢水 LF 精炼所需要的有效空间，对实现钢水炉外有效精炼，提高钢水质量，增加品种档次，提高品种比例具有重要意义。

参考文献

- [1]翁宇庆.钢铁[M].冶金工业出版社,2001.
- [2]郭艳玲.钢包内衬的设计[J].耐火与石灰,2009.03.
- [3]吴家伦, 杜绍龙. 30t 钢水包扩容及提高包龄的途径[J].安徽冶金, 2003, (4): 35 -37.
- [4]洪军, 李小虎, 李艳爽. 高效连铸钢包的周转管理模式[J].钢铁研究, 2001,120(3): 22.
- [5]殷瑞钰. 冶金工序功能的演化和钢厂结构的优化[J].金属学报, 1993,29 (7) : 289.