

唐钢 120 t 钢包加盖技术应用实践

Application of 120 t Ladle Capping Technology at Tangsteel

供稿|李广 / LI Guang

内容导读

在钢铁生产中，高温钢水通过钢包转运时，大量热量会从敞开的钢包包口散失。这不仅浪费能源，还迫使钢厂提高出钢温度，增加煤气、钢铁料和耐火材料消耗。为破解这一难题，唐山钢铁集团创新研发了钢包全程自动加盖技术。该技术根据冶炼流程差异（非精炼钢、精炼钢），设计了针对性方案，确保钢包从出钢、运输、浇铸到热修、返回全程覆盖保温盖。核心设备钢包自动加盖机采用铰链连接简化盖体与钢包的结合；通过运动协同定位（加盖机与钢包同向运动）实现动态精准对位。实际应用效果显著：加盖钢包在出钢前内衬温度比未加盖时提高 200 °C，由此促使转炉冶炼出钢终点温度降低 13 °C。这不仅大幅减少了钢水热量流失，还显著降低了钢铁料、脱氧剂和耐火材料的消耗。经测算，按年产量 385 万 t 钢计算，该技术每年可为企业创造经济效益约 2698.85 万元，同时改善了作业环境。这项技术的成功应用，为钢铁行业节能减排提供了有效解决方案。

炼钢过程中，一道重要工序是将高温液态钢水从转炉转运到连铸机，承担这一重要转运任务的工艺设备为钢包。钢水经包口向空气进行辐射散热，其散热速度很快。为了弥补温降损失，要在出钢前进行在线烘烤，出钢温度通常也设定得较高，这不仅增加了煤气消耗也增加钢铁料和耐材的消耗，而且热辐射对作业环境也有一定影响^[1-3]。唐山钢铁集团有限责任公司（以下简称唐钢公司）为了提高炼钢工序产品质量、降低能源消耗，通过改进生产工艺，自主研发了钢包在线全程加盖技术，实现了钢包从转炉出钢到连铸浇钢、钢包热修全程加盖保温；提高了钢包保温效果，使转炉冶炼出钢终点温度大幅度下降，取得了良好的使用效果，不仅最大限度地减少了钢水和钢包耐材散热，还降低了钢

铁料消耗，减少了炉衬耐材和钢包覆盖剂的使用量。

理论分析

钢包热损失的途径分为传导、对流和辐射 3 方面，钢包通过其顶部开口进行辐射散热的速度非常快。空包包衬的辐射散热速度由包衬外表面与钢包环境温差的四次方关系决定。研究表明^[4-5]，120 t 钢包空包开始后，最初 20 min 内由包衬向空气的辐射热损失将导致下一炉出炉钢水降温 15 °C。通过在钢包上加盖，这种辐射热损失可被显著减少。

技术方案确定

以往在连铸机浇钢过程中钢包是加盖的，但浇铸完毕必须揭盖进行倒渣等工艺操作。新开发的全

程加盖技术，钢包从转炉出钢后即加盖，运至连铸机浇铸，浇完钢的空包仍保持加盖状态，实现钢包带盖倒渣和带盖热修，并带盖运到转炉下，直到出钢时再将包盖揭开，从而提高钢包内衬温度、降低钢水温降，以达到提升保温效果的目的。

根据唐钢 120 t 钢包流程，确定了以下 2 种全程加盖流程：非精炼钢流程和精炼钢流程。

非精炼钢流程：转炉出钢后钢包在线加盖→钢包带盖吊运至连铸机→钢包带盖浇钢→浇钢完毕后带盖倒钢渣→钢包带盖热修→钢包带盖吊运至出钢车→钢包在线揭盖→出钢→转炉出钢后在线加盖。

精炼钢流程：转炉出钢后钢包在线加盖→钢包带盖吊运至 LF 精炼炉→LF 精炼炉钢包在线揭盖→LF 精炼→LF 精炼炉钢包在线加盖→钢包带盖吊运至连铸机→钢包带盖浇钢→浇钢完毕后带盖倒钢渣→钢包带盖热修→钢包带盖吊运至出钢车→钢包在线揭盖→出钢→转炉出钢后在线加盖。

工作流程和设计优化

工作流程

在如下设备上在线安装加盖揭盖机：3 座 120 t

转炉，2 座双工位 LF 炉，钢水过跨扒渣工位和过跨返回浇余工位；同时配备 2 套立式钢包盖存储架。

当转炉出钢、精炼处理时，钢包盖从钢包上取出；当转炉出钢、精炼处理完成后，钢包盖自动被加在钢包上，以实现钢包周转过程中的全程加盖。转炉加、揭盖机与钢包采用水平同向配合（钢包运动方向与加盖机运动方向一致），实现了加、揭盖机在运动中精确定位，为顺利加盖和摘盖操作提供保证。同时钢包盖与钢包间采用铰链连接结构，很好解决了钢包与包盖之间在保证严密顺畅结合的情况下方便地开起，实现自如开合以进行倒渣。

加盖、摘盖作业主要依靠钢包车的移动，当带盖钢包放置于钢包台车上后，钢包台车开至转炉出钢位，此过程依靠插指机构（如图 1 所示）。插指机构为焊接结构，沿着钢包车的移动方向从钢包盖挂钩的对侧将钢包盖从钢包上取出，通过插齿斜面使钢包挂钩与钢包铰链分离，完成取盖过程，准备出钢作业。出钢完成后，无盖钢包随着钢包车运送至钢水接受跨，经过钢包自动加、摘盖装置后，插指机构带着钢包盖从摘盖位下降至加盖位，加盖完成后，进行下步作业。

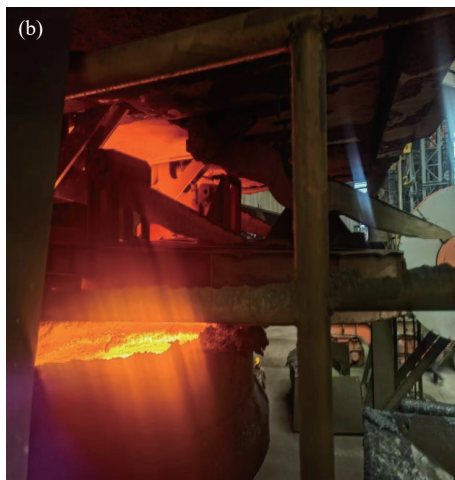
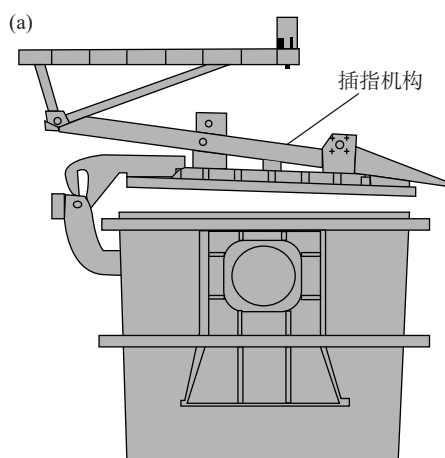


图 1 钢包加盖装置示意图 (a) 及实物图 (b)

设计优化

> 钢包结构优化

为与钢包自动加盖、摘盖过程相配合，对钢包进行相应改造，改造过程中考虑了钢包重心的稳定，对

空包状态下的重心进行了计算：原钢包重心位于耳轴下方 415 mm，加盖后钢包重心位于耳轴下方 335 mm，通过计算表明该重心变化情况完全能够满足加盖后的安全性能要求^[6-8]。设计后的钢包如图 2 所示。

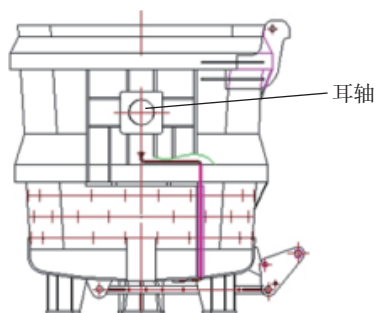


图2 改进后钢包示意图

> 包盖设计优化

钢包盖的外形图如图3所示，钢包盖为焊接结构，由矩形钢管和钢板焊接而成，钢包盖的外径与钢包包沿口直径相同，为4600 mm，钢包盖的钢结

构质量约为4000 kg。

钢包盖设计与钢包铰接座相配合的挂钩。挂钩由50 mm厚的钢板切割而成，挂钩中心距为2450 mm，挂钩中心距钢包盖中心3000 mm，距钢包盖下表面160 mm，挂钩设计时充分考虑了加取盖的方便性以及钢包铰接座配合的可靠性，确保在带盖倒渣作业时（如图4所示），钢包盖不会从钢包上脱落。为了实现机械化自动加、摘盖作业，钢包盖上方还设有钢包加、摘盖作业销轴，以保证自动加、摘盖作业时钢包盖不会从钢包自动加、摘盖装置上脱落。考虑到减小反复加取盖作业时销轴的磨损，将销轴设计为可转动形式。

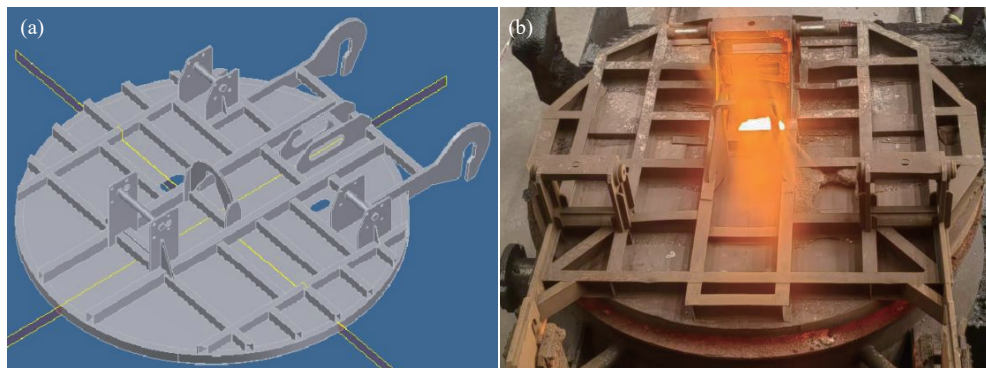


图3 钢包盖示意图(a)及实物图(b)

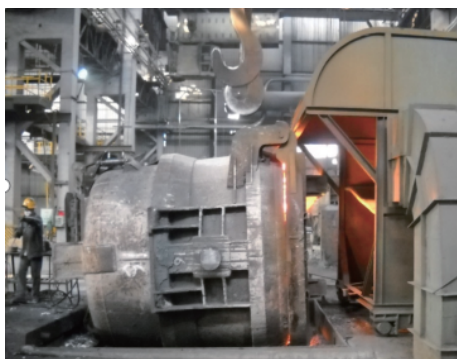


图4 带盖倒渣作业示意图

实施过程的问题及改进

制定钢包清渣制度

在唐钢公司实现钢包全程保温过程是整体工艺管理水平再提高的过程。首先是对钢包挂渣的要

求，包沿钢渣不能积得太厚，即使有积渣，也要求积渣均匀分布，否则会导致包盖扣不上，不能达到应有的保温效果，这就要求定期清理积渣。为此，制定了钢包积渣高于包沿30 mm时进行清理的制度，并设计了专用的钢包清渣工具，真正做到钢包运转时处于干净状态。

完善钢包修砌标准

原钢包修砌时采用包沿挂料的方式，即包沿料高于钢包壳。在包盖运行时出现了因包沿挂料造成包盖盖不严的情况。为此，将钢包包沿修砌标准修定为浇注料与钢包上沿平齐，消除对钢包加盖影响。

钢包盖耐火材料改进

钢包盖耐火材料经历了由价格昂贵的高档莫来石纤维和轻质浇注料到成本低廉的普通浇注料的变化，解决了高档莫来石纤维和轻质浇注料价格高、

容易脱落的问题。同时优化了钢包包盖设计,将包盖加砂孔由原来的圆形改为长方形,方便了加砂操作及加砂后对水口内引流剂形状的观察,便于发现水口内残钢残渣等异物并及时清理,保证钢包自流率。钢包倒渣时包盖易受到冲刷,导致包盖寿命缩短,因此将包盖的对应部位开孔,避免钢包倒渣时对包盖造成冲击,大大提高了包盖使用寿命。

精炼站测温平台改进

钢包加盖后,钢包盖测温孔与测温平台距离加大,造成测温困难。为此,将测温平台加高 200 mm,并将测枪更换成加长形测温枪。这一措施解决了测温困难问题,并提高了测温的准确率。为改进作业人员出钢后测温方式,采取了出钢后、加盖前进行测温取样的方法,顺利解决了转炉测温困难的情况。

实施效果

如表 1 所示,对加盖钢和不加盖空包出钢前平均温度及出钢终点温度的变化进行对比,在外部环境相同时,出钢前加盖的空包内衬温度比不加盖的钢包内衬温度高 200℃,加盖后转炉冶炼出钢终点温度由原来的 1645℃ 降低到 1632℃。

表 1 加盖和不加盖空包的出钢前平均温度与出钢终点温度对比

项目	出钢前平均空包温度	出钢终点温度
加盖	1020	1632
不加盖	820	1645

钢包加盖后可以有效提高空包内壁温度,从而降低转炉出钢终点温度。在钢包加盖和不加盖状态下,从连铸浇注结束、空包返回热修开始,每隔 20 min 测量加盖和不加盖钢包内衬温度,钢包内衬温度变化如图 5 所示。加盖钢包内衬温度降低趋势缓慢,2 h 后钢包内衬温度由 1023℃ 降低至 900℃,降低 123℃,说明钢包保温效果好,热损差异小。没有加盖的钢包在等待出钢过程中直接与空气接触,较低温度的空气与高温内衬在热量传递过程中造成大量热损失,钢包内衬温度由 986℃ 降低至 352℃,温降达到了 634℃,钢包内衬温度降幅明显。

钢包加盖后显著减少了钢铁料与合金料的消

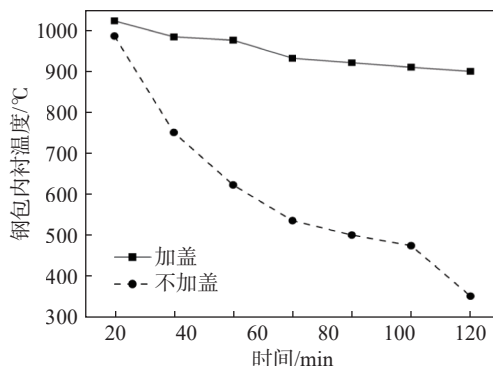


图 5 加盖钢包与未加盖钢包内衬温度随时间变化曲线

耗,降低了转炉炉衬侵蚀,延长转炉炉龄。转炉出钢终点温度的高低直接决定了钢中溶解氧含量的高低,进而影响钢铁料、合金料和耐材消耗等多项技术和经济指标。钢包加盖后脱氧剂消耗、钢铁料消耗、耐火材料消耗等经济指标显著降低。其他条件相同时,出钢终点温度从 1645℃ 降低到 1632℃ 后,钢中溶解氧质量分数约降低 0.3%,吨钢脱氧剂加入量将减少 0.06 kg,脱氧剂单价按 7600 元/t 计算,吨钢成本可降低 0.46 元。出钢终点温度每升高 1℃,钢铁料消耗吨钢增加 0.24 kg,加盖后出钢终点温度降低 13℃,钢铁料消耗吨钢可以降低 3.12 kg。钢铁料单价按 2100 元/t 计算,炼钢成本可降低 6.55 元/t。按年产钢 385 万 t 计算,年可产生经济效益为:385 万 t×(0.46+6.55) 元/t=2698.85 万元。

耐火材料与熔渣接触时会向熔渣中扩散,当耐火材料出现熔损时,随着温度的上升,耐火材料的熔损程度以指数倍增加。在转炉冶炼过程中,出钢温度的下降对提高耐火材料寿命、延长转炉炉龄起到重要作用。

同时,从转炉底吹氩气后到连铸中间包过程中,钢水运送及浇注过程中热损较少,中包温度变得相对稳定,为恒定拉速创造了条件。为准确衡量钢包全程加盖对连铸浇注间包钢水温度的影响,对钢包加盖与不加盖情况下连铸中间包测量温度进行对比分析。测试采用钢种为镇静钢,出钢终点温度控制要求 1575~1585℃,中间包温度控制要求 1551~1566℃,连铸过程在钢包钢水剩余 110、100、75、50 和 25 t 时进行测温,测试结果如图 6 所示。可以看出,相同的出钢终点温度下,不加盖时中间包温

度随浇注周期的延长,温降速率增大,中间包温度最大与最小值相差 8°C ,平均中包温度 1550°C ,不能满足转炉直上连铸工艺要求,此时需提高转炉出钢温度加以补偿。加盖时中间包温度随浇注周期的延长温降速率降低,平均中包温度 1557°C ,比不加盖时高 7°C ,中间包温度最大与最小值仅差 3°C ,整个浇注过程温度控制较为平稳。

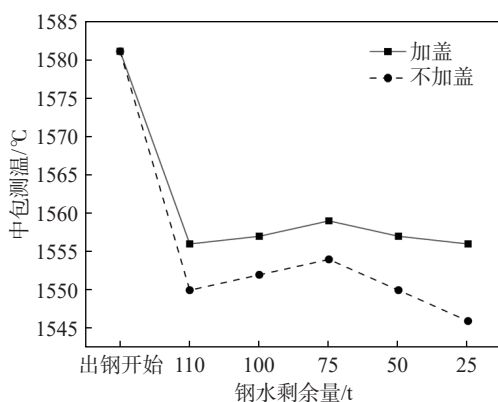


图6 加盖钢包与未加盖中间包出钢不同钢水温度对比图

结束语

(1) 钢包通过其顶部开口向空气中的辐射散热速度非常快,通过在钢包上加盖使辐射热损失显著减少。根据非精炼钢流程和精炼钢流程,确定了2种钢包加盖系统方案,实现了钢包全程加盖的应用实践。

(2) 钢包加盖技术改造的核心设备包括钢包盖、钢包盖与钢包之间的铰链机构以及加盖机等。

通过对钢包加盖装置进行创新设计,实现了炼钢钢包的全程加盖保温工艺。钢包全程加盖是系统工程,需要对钢包等设备进行必要的改进,对出钢测温及精炼站测温等工艺进行优化。

(3) 钢包全程加盖技术的开发应用,使转炉冶炼终点温度由原来 1645°C 降低到 1632°C ,达到降低钢铁料消耗的目的,同时有效改善了作业环境。按年产钢385万t计算,可产生经济效益为2698.85万元。

参考文献

- [1] 张艳利,彭西高,程庆先.连铸钢包及炉外精炼钢包用耐火技术的研究与发展.耐火与石灰,2023,48(6):5
- [2] 王鹏,杨轶龙,张相春,等.钢包加盖技术在鞍钢的应用.鞍钢技术,2023(3):44
- [3] 王崇,钟凯,张启东,等.300 t钢包保温性能优化.冶金设备,2022(6):101
- [4] 岳帅.唐银钢铁系统降低铁水消耗实践及成果.冶金与材料,2021,41(3):56
- [5] 岳帅.钢包加盖在炼钢的实际应用及研究.冶金与材料,2020,40(6):52
- [6] 陈志超,蔡礼,张军,等.钢包加盖对不同钢种温降的影响.武汉工程职业技术学院学报,2020,32(2):30
- [7] 黄光永,陆日林.钢包盖铰钩结构静力学分析及优化.冶金设备,2020(1):13
- [8] 张月星,安永超,刘绍明,等.迁钢210 t钢包全程加盖工艺及实践.中国冶金,2019,29(4):60

作者简介: 李广(1992—),助理工程师。主要研究方向:能源环保管理。通信地址:河北省唐山市路北区橡树湾小区210-1-301;E-mail:17796956768@163.com。