鱼雷罐车铁水温降因素分析及控制措施[*1]

田 颖, 王 雨

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章通过实例分析了影响鱼雷罐车中的铁水温降的因素, 铁水的装入量、鱼雷罐砖衬厚度、空、重罐运行时间等, 研究提出了减少温降的措施, 经实践证明, 能有效地控制鱼雷罐铁水温度的下降速度。

关键词: 鱼雷罐; 温降; 保温

中图分类号: TF341.5 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009 - 5438(2017) 06 - 0001 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.06.001

Factor Analysis on the Temperature Drop of Molten Iron in Torpedo Car and its Control Measures

TIAN Ying, *WANG Yu*

(*Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In the paper, the factors that affect the temperature drop of molten iron in torpedo car, such as the charge weight of molten iron, the thickness of brick lining for torpedo ladle, the operating time of empty tank and heavy tank that are analyzed through living examples. Measures have been put forward to reduce the temperature drop through which the temperature drop rate of molten iron in torpedo ladle can be effectively controlled proved by practice.

Key words: torpedo ladle; temperature drop; heat preservation

鱼雷式铁水罐车(又名混铁车), 因其盛装量大, 保温效果好等优点, 日益成为各大钢铁企业的首选运输设备。尽管鱼雷罐车的保温效果已远优于普通铁水罐车, 但长距离的运输线路和“三脱”工艺仍使铁水温度在运输过程中大幅度下降。铁水的温度降低直接影响到预处理和炼钢工艺、节能、生产管理以及鱼雷罐寿命等重要环节。因此, 研究铁水输送过程中的温降问题, 提出措施, 减少温降, 对钢铁企业节能减排意义重大[1]。

1 影响铁水温降的主要因素分析

铁水的装入量、鱼雷罐砖衬厚度和空、重罐运行时间等都是影响铁水运输过程温降的重要因素。

1.1 罐车运行模式对温降的影响

鱼雷罐的运行模式可划分为重罐运行和空罐运行两个阶段。与运行阶段相对应, 鱼雷罐的运行时间可分为重罐运行时间和空罐运行时间, 空罐运行时间是指鱼雷罐倒空到再次受铁的时间[2]。这段时间的长短对铁水温降规律可以用式(1)来描述。

$$C_t\rho\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}\tau}=\frac{1}{R}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\tau}\left[R\lambda(t)\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}\tau}\right]+\frac{1}{R^2}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\Phi}\left[\lambda(t)\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}\Phi}\right] \quad (1)$$

由于鱼雷罐砖衬传热属于不稳态导热问题, 为了简化计算, 将砖衬传热模型做二维处理, 把鱼雷罐等效成水平圆柱体, 并且忽略长度方向的传热。式中 t 为 τ 时刻鱼雷罐衬某点的温度(℃), $\lambda(t)$ 为鱼雷罐衬的导热

* **收稿日期**: 2017 - 04 - 11

作者简介: 田 颖(1971 -), 男, 吉林省长岭县人, 硕士, 正高级工程师, 技术专家, 注册环境影响评价工程师, 研究方向为环保及节能。

中国知网 https://www.cnki.net

系数(J/(s·m·℃));C_p 为鱼雷罐衬的比热容(J/(kg·℃));ρ 为鱼雷罐衬的密度(kg/m^3);R 为柱坐标变量(m);Φ 为柱坐标变量(rad)。

根据鱼雷罐对称性,选择鱼雷罐的1/4作为计算区域,以鱼雷罐中心为坐标原点,结合某钢铁厂鱼雷罐上线运行的历史数据利用式(1)计算,空罐运行时间每延长1 h铁水的平均温降增加7.5 ℃,如果这段时间太长,使得鱼雷罐耐材的温降大,则会导致鱼雷罐再次受铁时出现结底的严重状况。

重鱼雷罐运行时间是指从高炉兑铁完毕开始到鱼雷罐内的铁水倒空之间的时间[3]。

$$C_{Fe}M_{Fe}\frac{dt_{Fe}}{d\tau}=-\left[q_{hole}(\tau)s_{hole}+q_{out}(\tau)s_{out}+Q_{actum}(\tau)\right] \quad (2)$$

式(2)中 C_{Fe} 为铁水的比热容(J/(kg·℃));M_{Fe} 为鱼雷罐实际受铁量(kg);t_{Fe} 为铁水在鱼雷罐中 τ 时刻的温度(℃);q_{hole} 为鱼雷罐口部的散热通量(J/(m^2·s));q_{out} 为鱼雷罐外表面的散热通量(J/(m^2·s));S_{hole} 为鱼雷罐口部的面积(m^2);S_{out} 为鱼雷罐外表面的面积(m^2);Q_{acum} 为鱼雷罐衬的蓄热量(J/s)[3]。

结合某钢铁厂鱼雷罐上线运行的历史数据,利用式(2)计算,重鱼雷罐运行时间每延长1 h,铁水的平均温降增加14.8 ℃,如果这段时间太长,使得铁水的温降大,则会导致鱼雷罐出现结底、结壳甚至整罐冻死的状况。

从式(2)可以知道,鱼雷罐铁水温降与重鱼雷罐受铁重量有关,鱼雷罐铁水装入量的多少直接影响装入鱼雷罐能量的多少和铁水渣层直接与空气接触面积的大小,超半罐以上装入量越多,接触面积就越小,装入的能量也越多。结合某钢铁厂鱼雷罐上线运行的历史数据利用式(2)计算,得出重鱼雷罐装入量每增加10 t铁水的平均温降减少4 ℃。

根据某钢铁企业实测数据,鱼雷罐空罐时间、重罐时间和铁水温降的关系见图1,图2。

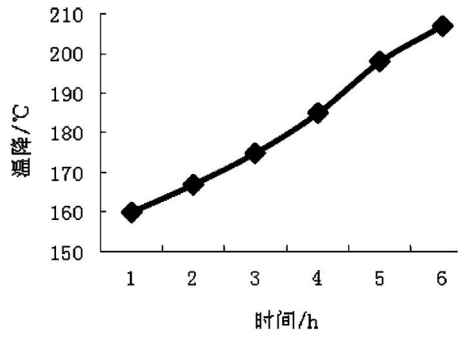


图1 空罐温降

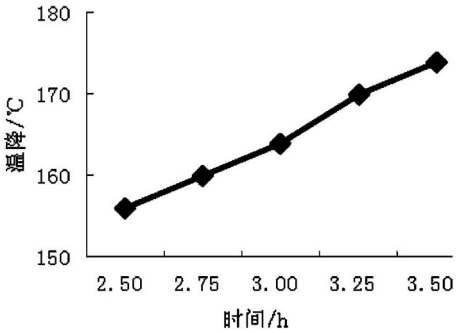


图2 重罐温降

所以合理安排空罐、重罐时间,对于减少鱼雷罐车温降意义重大。

1.2 使用次数对铁水温降的影响

鱼雷罐使用次数对铁水温降的影响,实际上反映的是罐衬厚度对铁水温降的影响。图3示出了鱼雷罐使用次数对铁水温降的影响。由图3可见,随着鱼雷罐使用次数的增加,铁水温降逐渐增大,这是由于铁水和炉渣侵蚀使内衬平均厚度减少,导致保温效果下降。

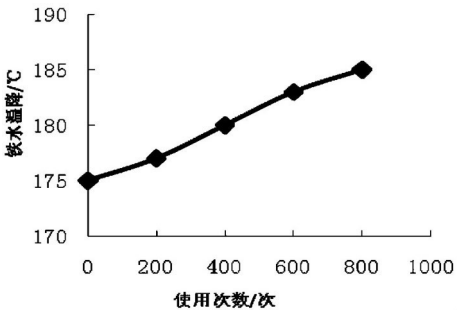


图3 使用次数与温降的关系

目前国内鱼雷罐车平均罐龄为900次左右,先进企业罐龄为1 100次,提高炉龄,需要综合考虑温降问题。

1.3 铁水量对铁水温降的影响

鱼雷罐车的铁水运载量也是影响铁水温降的一个因素,以某企业使用的260 t鱼雷罐车为例,铁水量与温降的关系见图4。

由图4可以看出,随着铁水量的增加,铁水输送过程中的温降减小,铁水量每增加10 t,铁水温降平均减小4℃,减小的幅度随铁水量的增加而减缓。

中国知网 https://www.cnki.net

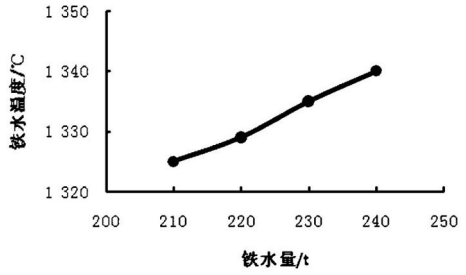


图 4　铁水装入量与铁水温度的关系

2　鱼雷罐车温降的控制方法研究

控制鱼雷罐车铁水温降的方法主要有，空罐保温处理，调整鱼雷罐车内衬耐火材料，提高鱼雷罐车的运输效率。

2.1　空罐保温

空罐再加热可使罐车重新恢复或基本恢复原来的蓄热量，大幅度减少铁水输送过程的温降。冷罐烘烤 2 h 罐衬温度可达 1 000℃以上，周转罐烘烤 8 ~20 min，烘罐温度可从 400 ℃达到 1 000℃，试验证明，空罐再加热可使整体温降减少 20 ℃以上。综合考虑到节能减排和炼钢成本等因素，鱼雷罐烘烤的次数应尽量减少。在大修时，根据烘炉曲线及季节气温变化，对炉内进行烘烤预热，在控制铁水温降的同时，缓慢去除鱼雷罐体内的水分和气体，提高鱼雷罐车的机械性能。

2.2　内衬材料优化

某钢铁企业的鱼雷罐车内衬材料见表 1。

表 1　鱼雷罐车内衬材料

容器	工作层			永久层			保温层		
	材料	厚度/mm	导热系数/(W·m^{-1}·K^{-1})	材料	厚度/mm	导热系数/(W·m^{-1}·K^{-1})	材料	厚度/mm	导热系数/(W·m^{-1}·K^{-1})
鱼雷罐	铝碳化硅碳砖	415	1.52	自流浇注料	94	0.45	ISOMAG 高强保温板	16	≤0.75

图 5 示出了鱼雷罐车内衬的构成。

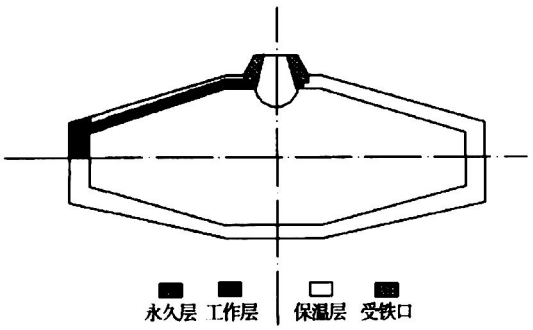


图 5　鱼雷罐车内衬结构

由图 5，鱼雷罐车的内衬主要包括永久层、工作层以及近年来添加的保温层，内衬的材质和厚度对铁水温降都有影响。

(1) 工作层材质及厚度的影响。鱼雷罐车温降随工作层耐火材料导热系数增大而增大，温降随工作衬厚度减小而增大，工作衬导热系数越大，温降随工作衬厚度减小而增大的幅度越小，因此，工作层热损失大小与其热导率、工作层厚度有关。从减小温降的角度考虑，应采用导热系数小的耐火材料，并尽量增大其厚度。

(2) 绝热保温层。在不影响耐火材料抗渣浸性能的前提下，为了进一步提高鱼雷罐内衬的保温性能，目前多在鱼雷罐外壳和永久层间增设绝热保温层，增设绝热保温层后对鱼雷罐车的保温性能具有一定的影响。绝热保温层可显著提高鱼雷罐车的保温性能。绝热保温层的厚度对罐车保温效果也有影响，如图 6 所示，当增设 3 mm 的绝热保温层时，铁水温降比无绝热保温层时减小了 6 ℃；而当绝热保温层厚度增加到 12 mm 时，铁水温降可减小 16 ℃。可见，增加绝热保温层厚度有利于减小铁水温降。

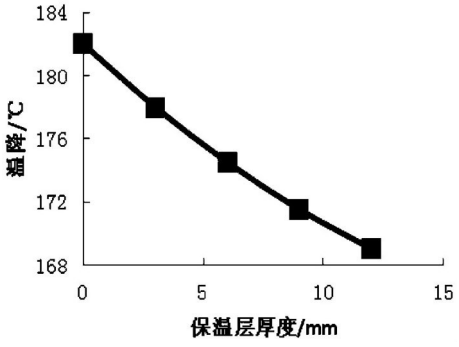


图 6　铁水温降与保温层厚度的关系

先后试验了几种不同材质的保温层，效果见表 2。

中国知网　https://www.cnki.net

表2 保温层保温效果

材料	厚度/mm	保温效果/(℃·h^{-1})	成本/(万元·罐$^{-1}$)	使用周期/a
保温辐射板	5	温降5	2.94	1
绝热保温板	15	温降4	2.7	1
粘土砖	35	温降6	1.01	2

由表2看出,绝热保温板的保温效果最好,不过成本高。

2.3 提高鱼雷罐车运输效率

(1) 装载量。鱼雷罐铁水温降与重鱼雷罐受铁重量有关,结合某钢铁企业鱼雷罐上线运行的历史数据,重鱼雷罐装入量超半罐以上,每增加10 t铁水,平均温降减少4 ℃。考虑到运输费用及安全等因素,鱼雷罐车的铁水盛装量应为其容积的90%。即230~240 t。不过生产中还需考虑匹配转炉容积等因素。

(2) 建立鱼雷罐运行管理制度。减少温降,需要减少空罐时间,需要确保鱼雷罐运行周期在530 min内的完成。炼铁厂负责鱼雷罐配罐及分配、鱼雷罐耐材状况的检查确认,并将信息向运调系统、炼钢系统、计量系统传递。运输部负责将鱼雷罐按照要求配送到对应工位,对鱼雷罐车体设备进行检查确认,炼钢厂负责重鱼雷罐的铁水排空,并将空罐信息向铁区ERP、运调系统、计量系统传递,对鱼雷罐的排渣和罐口结渣处理。

(3) 优化高炉配罐模式。某钢铁厂的某个高炉有效容积为3 200 m^3,有4个出铁口。在正常生产时一般三个铁口工作,一个铁口休止。根据高炉正常生产时的实际,满足钢厂要求及安全的需要,正常生产时,配罐按"4:2:1"原则进行。即:出铁的铁口在对应罐位配4只罐,下次出铁的铁口在对应罐位配2只罐,再下次出铁的铁口在对应罐位配1只罐。第3罐放满240 t堵口。要求在正常堵口后值班室尽快报出,进行拉罐作业并将第四只罐带至工作罐位。每炉出完一炉铁水所剩下的空鱼雷罐配置到再下一次出铁的铁口下,这样配罐方式,有配罐时间,铁口下也有配罐位置,使得第3或第4只空鱼雷罐在隔一炉的情况下可以受铁,这样鱼雷罐的空罐时间可以减少4 h。

通过采取以上措施,某大型钢铁厂的鱼雷罐车的铁水温降由原来的180 ℃下降到150 ℃,提升了30 ℃。

3 结论

(1) 高炉出铁温度、铁水量、空罐时间、鱼雷罐耐火材料(包括工作层、永久层和保温层)的材质、厚度及使用次数对鱼雷罐车温降都有影响。

(2) 减少铁水温降的可采取的有效措施主要有空罐保温处理;调整鱼雷罐车内衬耐火材料;提高鱼雷罐车运输效率。

(3) 通过采取保温减少温降措施,铁水温降由原来的180 ℃下降到150 ℃,提升了30 ℃。节约了能源,减少了生产运输成本。

参考文献

[1] 关宗山. 高炉铁水保温输送[J]. 钢铁,1993,(8):12-16.

[2] 张永宏,刘铁树. 鱼雷罐铁水温降分析[J]. 钢铁,2002,(4):12-13.

[3] 王学敏. 混铁车罐体温降过程的有限元模拟[D]. 沈阳:东北大学,2003.

中国知网 https://www.cnki.net