干式VD炉与蒸汽VD炉工艺与能耗的对比分析[*1]

徐小明，武永亮，张宝军，胡 峰

（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： 文章阐述了炼钢精炼炉工艺流程，介绍了包钢干式VD炉和蒸汽VD炉的技术工艺参数和特点，对炼钢厂蒸汽VD炉和干式VD炉两个脱真空系统的耗能设备进行实时监测，通过对测试技术数据的分析计算得出了吨钢耗能比、节能率、吨钢费用比等经济技术指标。

关键词： 干式VD炉；蒸汽VD炉；工艺；能耗

中图分类号： TF341 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2018)02－0021－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.02.007

Contrastive Analysis of Process and Energy Consumption of Dry VD Furnace and Steam VD Furnace

XU Xiao－ming, WU Yong－liang, ZHANG Bao－jin, HU Feng

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

Abstract: In the paper, it is expounded the process flow of steelmaking refining furnace, and introduced the technical process parameters and characteristics of dry VD furnace and steam VD furnace in Baotou Steel, and the energy－consuming equipment of two vacuum degassing systems for steam VD furnace and dry VD furnace in Steel－melting Plant are monitored in real time. Through analysis and calculation of test technical data, economic and technical indicators such as per ton steel energy dissipation ratio, fractional energy saving and per ton steel cost ratio are obtained.

Key words: dry VD furnace; steam VD furnace; process; energy consumption

随着炼钢技术的不断发展，对钢坯中的气体含量及夹杂物要求十分严格，真空精炼技术是提高钢的洁净度和降低钢中杂质含量的有效措施。目前较典型的真空处理方法有VD法、RH法和DH法。VD炉精炼设备由于其功能齐全，脱气、脱硫、去夹杂物效果好，且建设、生产成本低而得到广泛应用[1]。

为了缓解包钢蒸汽资源的紧张局面，降低炼钢工序的能源消耗，包钢于2011年引进罗马尼亚AD－REM INVEST公司的先进技术，对炼钢厂1#100 t精炼炉真空脱气设备进行了技术改造，将过去的蒸汽喷射泵真空脱气改为干式真空泵脱气。自技改以来，干式VD炉系统运行稳定，精炼效果达到蒸汽VD炉水平，能够满足工艺要求，节能效果显著。

1 VD炉工艺

包钢VD炉工艺流程是：钢包首先经过钢包炉(LF)升温，然后由吊车吊入真空罐并接好吹氩管，进行测温取样。真空盖车开至真空罐上方，盖上罐盖。启动真空泵即开始真空处理，需要时加入合金。

* 收稿日期：2018－02－01

作者简介：徐小明(1982－)，男，河北省遵化市人，工程师，现从事能源监测、审计与评估方面工作。

真空处理结束后进行破空，提升真空罐盖，开出罐盖车至待机位，对钢水进行喂丝和软吹，测温取样后由吊车吊出钢包，断开吹氩管后运送至连铸进行浇注[2]。

2 蒸汽VD炉系统

2.1 蒸汽VD炉工艺参数(见表1)

表1 蒸汽VD炉主要工艺参数

序号	项目	参数
1	处理钢水量	平均150 t
2	年处理钢水量	190万t
3	处理周期	28~35 min，平均32 min
4	脱气钢水合格率	99%
5	作业率	92.2%
6	转炉—VD—连铸配合率	85%
7	抽气能力	67 Pa，425 kg/h
8	预抽时间	<5 min
9	处理效果	$[H] \leqslant 2\times10^{-6}$，$[O] \leqslant 15\times10^{-6}$
10	蒸汽压力(喷嘴进口)	0.85 MPa(表压)
11	蒸汽温度	177~200 ℃
12	冷却水温度	≤32 ℃
13	冷却水压力	0.3 MPa(表压，在水包处)
14	抽气主管道直径	DN900
15	抽真空时间	20 min

2.2 蒸汽VD炉主要设备及特点

2.2.1 双罐双盖

双罐双盖使VD处理周期明显缩短，双罐双盖VD高度自控，罐盖、罐盖车的运行，真空泵系统的运行和主辅泵切换完全由计算机系统控制，极少需要人工干预，从而实现VD系统的高效率运行。

2.2.2 真空泵

多重变量泵技术既能满足单罐作业时抽真空速度快的要求，又能满足双罐重叠交叉作业时主辅泵重叠工作的需要；采用世界先进技术：增压喷射泵采用立式布置(占地面积小、基建费用低)、焊接结构(严密不泄漏)；冷凝器采用多层碟形多喷嘴结构(与传统的淋水板冷凝器相比，具有不怕灰尘堵塞、冷却效率高的优点)；真空泵参数所采用的计算机数学模型具有世界先进水平；为有效的控制脱气反应的激烈程度，真空泵设有真空度调节装置；真空泵系统为四级泵系统(二级增压+二级喷射)。

2.2.3 气体冷却除尘器

采用高效的带旋流子叶片、水冷盘管的气体冷却除尘器(引进DANIELI技术)，该除尘器除尘效率分别为75%(灰尘粒径大于10 μm)，小于40%(灰尘粒径小于5 μm)，小于10%(灰尘粒径小于1 μm)。采用这种高效气体冷却除尘器后，可使进入真空泵系统的灰尘减少80%以上，有利于提高真空泵寿命，减少真空泵清灰作业，也有利于降低浊环水悬浮物含量。除此之外，废气经气体冷却除尘器冷却后，能够有效降低真空泵系统负荷。

2.2.4 防溅盖

挂渣式全水冷防溅盖，免维护使用寿命可达5000炉次以上，是一般防溅盖寿命的20倍以上，不但能够大大提高VD炉的作业率，而且能够降低使用成本。该技术能够使防溅盖与钢包接触，从而使防溅盖与钢包之间缝隙最小，对防止喷溅十分有利。该技术在国内已有多次成功的应用。

3 干式VD炉系统

3.1 干式VD炉工艺参数

包钢1#100 t干式VD炉为单车双罐形式，年处理钢水能力为100万t，真空泵系统采用干式机械罗茨泵和螺杆泵。在真空度为67 Pa时最大的抽气能力为300 kg/h，极限真空度达到20 Pa，预处理时间4 min，抽真空时间为15 min。

3.2 真空泵系统

真空泵系统由4组真空泵组和1台启动泵组成，每组真空泵组又由3台机械泵组成，其中第一级为螺杆泵，第二级和第三级为罗茨泵，其型号分别为：一级泵Gmb19.19、二级泵HV8000、三级泵IDX1300，启动泵为自冷罗茨泵。螺杆泵与罗茨泵以电力作为能源介质。

3.3 除尘系统

真空泵要求被抽气体的粉尘含量小于5 mg/m^3真空系统过滤器采用旋风与布袋的除尘方式对废气进行过滤，以满足真空泵对被抽气体的要求，同时减少了粉尘向大气的排放。

4 蒸汽VD炉真空系统能耗情况

4.1 蒸汽VD炉主要耗能设备

包钢炼钢厂5#铸机配套的蒸汽VD炉容量为

150 t，主要消耗能源为蒸汽和电力，主要耗电设备为 7 台泵，4 台在用，3 台备用，额定总功率为 837 kW。其中 3 台浊环水回水泵，每台额定功率为 160 kW，2 台在用，1 台备用；2 台循环水真空泵，每台额定功率为 160 kW，1 台在用，1 台备用；2 台减压减温泵，每台额定功率为 18.5 kW，1 台在用，1 台备用。

4.2　蒸汽 VD 炉能耗

我们对蒸汽 VD 炉进行了 15 炉的实时监测统计工作，通过对统计数据的分析，最终确定每周期工作时间为 50 min，其中抽真空时间为 20 min。根据炼钢厂实际生产数据，确定蒸汽流量为 12 t/h。根据水泵电机的运行情况，确定电机实际运行功率为 400 kW。蒸汽流量和抽真空时间的变化不大，可以认为是稳定状态。经计算，蒸汽 VD 炉能源消耗与费用情况见表 2。

表 2　蒸汽 VD 炉能源消耗与费用

序号	项目	单位	数值	备注
1	蒸汽消耗量	kgce	456.94	
2	水泵电量消耗	kgce	40.97	
3	总能源消耗量	kgce	497.91	
4	吨钢能源消耗	kgce/t	3.32	
5	蒸汽费用	元/t	2.68	按 100.5 元/t 计算
6	电费用	元/t	1.09	按 0.49 元/kWh 计算
7	吨钢能源总费用	元/t	3.77	

5　干式 VD 炉真空系统能耗情况

5.1　干式 VD 炉主要耗能设备

干式 VD 炉容量为 100 t，主要消耗能源为电力，耗电设备共有 13 台泵电机，一、二、三级泵各有 4 台，还有 1 台辅助泵，全部采用先进的变频调速技术控制。

5.2　干式 VD 炉能耗

对干式 VD 炉生产基础技术数据的实时监测结果，可以得出干式 VD 炉的一个工作周期为 50 min，在一个工作周期内，一级泵运行 17 min；二级泵运行 18.5 min；三级泵在一个工作周期内一直运转；辅助泵运行 1.5 min。经过分析计算得到整个系统的耗电量为 97.06 kWh。

因为所有电机都是变频调速控制，其频率、电流和功率是根据现场负载的情况实时改变的，不适合采用传统的监测方法计算电耗能，故采用功率与时间的积分来计算干式 VD 炉实际耗电量。

5.2.1　一级泵电机耗电量

一级泵电机在整个运行周期内的功率曲线与横坐标时间轴围成一个封闭面积（见图 1），每个时刻的功率值与对应的时间进行积分计算，其结果为 139.59 kW·min，从而算出耗电量为：$139.59\ \text{kW}\cdot\text{min}\times\frac{1\ \text{h}}{60\ \text{min}}\times 4=9.31\ \text{kWh}$。

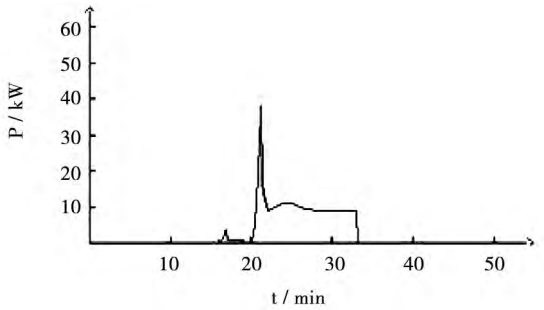


图 1　一级泵电机运行功率—时间曲线

5.2.2　二级泵电机耗电量

二级泵电机的功率—时间曲线见图 2，同理，可得出耗电量为：$309.78\ \text{kW}\cdot\text{min}\times\frac{1\ \text{h}}{60\ \text{min}}\times 4=20.65\ \text{kWh}$。

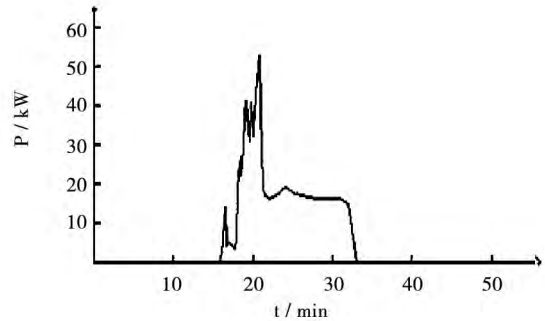


图 2　二级泵电机运行功率—时间曲线

5.2.3　三级泵电机耗电量

三级泵电机的功率—时间曲线见图 3，同理，可得出耗电量为：$978.30\ \text{kW}\cdot\text{min}\times\frac{1\ \text{h}}{60\ \text{min}}\times 4=65.22\ \text{kWh}$。

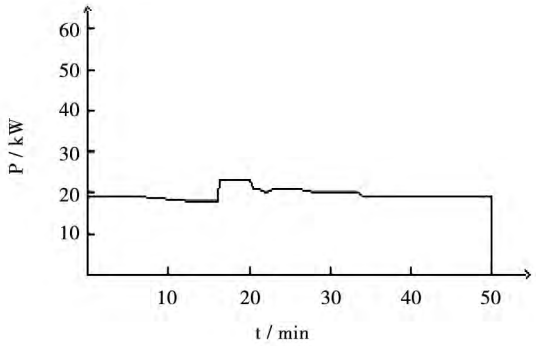


图3 三级泵电机运行功率—时间曲线

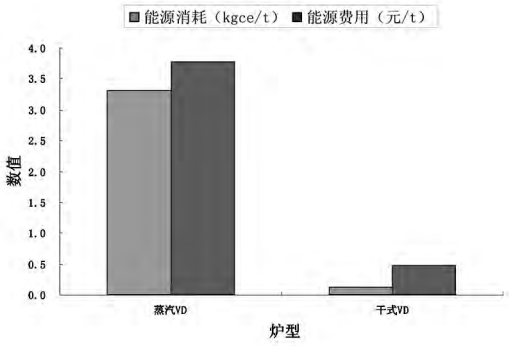


图4 耗能量和费用对比图

5.2.4 辅助泵电机耗电量

$$75\ \text{kW}\cdot\text{min}\times\frac{1\ \text{h}}{60\ \text{min}}\times 1.5\ \text{min}=1.88\ \text{kWh}。$$

经计算，干式 VD 炉能源消耗与能源费用情况见表3。

表3 干式 VD 炉能源消耗与费用

序号	项目	单位	数值	备注
1	泵电量消耗	kWh	97.06	
2	泵电量消耗	kgce	11.93	
3	总能源消耗量	kgce	11.93	
4	吨钢能源消耗	kgce/t	0.12	
5	电费用	元/t	0.48	按0.49元/kWh计算
6	吨钢能源总费用	元/t	0.48	

6 干式 VD 炉与蒸汽 VD 炉能耗对比

通过对蒸汽 VD 炉和干式 VD 炉的测试分析计算，最终得到以下结果，详见表4，耗能量和费用对比图见图4。

表4 干式 VD 炉与蒸汽 VD 炉对比

序号	项目	单位	数值
1	能耗比		28.00
2	节能率	%	96.39
3	吨钢费用比		7.85

7 结束语

虽然干式 VD 炉存在着一些缺点及不足，如每台泵的工作能力小，需多台泵组合；大量粉尘进入泵体，会降低泵的使用寿命；干式泵对水和水蒸气要求较敏感，系统中不允许有水和水蒸气的存在；由于系统中不允许有水，致使干式 VD 在清罐作业时难度加大等。但是干式 VD 炉对比蒸汽 VD 炉优点显著，其优点有：不会对水造成污染；通过使用过滤器，排在空气中的粉尘少；维护简单方便，费用低；尤其在节能方面比较突出，能源消耗量少。在国家严峻的节能降耗形势下，干式 VD 炉是以后 VD 炉技术改造的最主要发展方向。

参 考 文 献

[1] 阳益军．VD 真空精炼炉的工艺设计与应用[M]．长沙：湖南有色金属编辑部，2004.

[2] 何巍，冯术勋．首钢三炼钢厂 VD 真空精炼炉工程设计[C]．北京：中国金属协会 2003 全国钢铁年会论文集，2003.