

# 攀钢高炉 TRT 系统控制及发展

谢俊勇 于天齐 唐 炜  
(攀枝花新钢钒股份有限公司)

**摘 要** 针对攀钢高炉炉顶余压透平发电装置(TRT)的不同工艺特点,分析了实施 TRT 后的炉顶压力控制系统结构、功能。认为高炉炉顶压力稳定是 TRT 系统正常运行的前提条件,并提出了控制策略和办法,取得了较好的控制效果以及能源环保和经济效益。

**关键词** 高炉 TRT 节能

## 1 引言

为了充分利用能源和净化环境,利用高炉煤气的压力、热值发电已成为一种趋势。高炉炉顶煤气余压回收透平发电装置(TRT)就是目前钢铁企业公认的有价值的二次能源回收装置。它是利用高炉炉顶煤气中的压力能及热能经透平膨胀做功来驱动发电机发电。高炉鼓风机能耗约占炼铁工序能耗 10%~15%,采用 TRT 装置可回收高炉鼓风机所需能量的 30%左右,实际上回收了原来在减压阀门中白白泄失的能量。这种发电方式既不消耗任何燃料,也不产生环境污染,可实现无公害发电,发电成本又低,是高炉冶炼工序的重大节能项目,经济效益十分显著。

1998年3月,攀钢在1350m<sup>3</sup>的高炉上投产了1套干湿两用型TRT项目,取得了显著的成效。2006年5月,在2000m<sup>3</sup>的高炉上投产了1套全干式TRT项目。目前,正在3座1200m<sup>3</sup>高炉上同时实施全干式TRT项目。下面就对攀钢高炉TRT不同的工艺系统特点、发展及减压阀组控制进行总结分析。

## 2 攀钢4号高炉干湿两用TRT系统

### 2.1 煤气系统工艺流程

攀钢4号高炉1350m<sup>3</sup>TRT工程是中日合作的28项绿色环保工程之一,是接受日本川崎制铁株式会社及日立造船株式会社的国际赠送——TRT主体设备及工艺技术而进行的煤气余压发电样板工程,工程设计和施工由攀钢与川崎制铁共同完成,于1998年3月正式投入运行。

4号高炉是干湿两用型TRT,主要指标见表1,工艺流程如图1所示。

表1 攀钢4号1350m<sup>3</sup>高炉TRT工程主要参数

项目	数值	备注
高炉容积, m <sup>3</sup>	1350	
标态下煤气发生量, 万 m <sup>3</sup> /h	24	最大 28
发电机额定功率, kW	7520	功率因数 0.8
发电机设计出力, kW	5568	干式 90%, 湿式 10%
年发电量, 万 kW	4276	
输出电压, kV	6.6	
炉顶压力, MPa	0.15	
透平出口压力, MPa	0.012	

注:干高炉煤气体积百分比为 CO<sub>2</sub>5.3%、CO<sub>2</sub>15.8%、N<sub>2</sub>57.2%、O<sub>2</sub>0.3%、H<sub>2</sub>1.1%、CH<sub>4</sub>0.3%。

根据发电方式的不同,高炉煤气的流向也不同。当干式发电时,关闭减压阀组和 V-5 阀门,打开 V-1、V-2 阀门,煤气经重力除尘器进行一次除尘(标态下含尘量约为 5g/m<sup>3</sup>),保持高温的煤气进入布袋除尘器进行二次除尘(标态下含尘量约为 5mg/m<sup>3</sup>),温度不超过 200℃的煤气进入透平膨胀做功带动发电机发电。从透平出来的煤气(压力 0.12 MPa,温度 40℃)经碱洗、脱水后进入煤气管网。

当布袋除尘器出现故障或煤气温度长时间超过 200℃,经在重力除尘器喷水也无法降至 200℃以内时,就要立即关闭 V-1、V-2 阀门、打开 V-5 阀门。高温煤气经重力除尘粗除尘后,进入一级、二级文氏管进行精除尘(标态下含尘量约为 3mg/m<sup>3</sup>,温度 45℃),然后进入透平机,从透平出来的煤气流向与干式系统相同,只是不需用碱洗。

当 TRT 不用时,即为常规的顶压控制方式,煤气经重力除尘器、经一级、二级文氏管,通过 4 个减压阀组,再到煤气主管网。

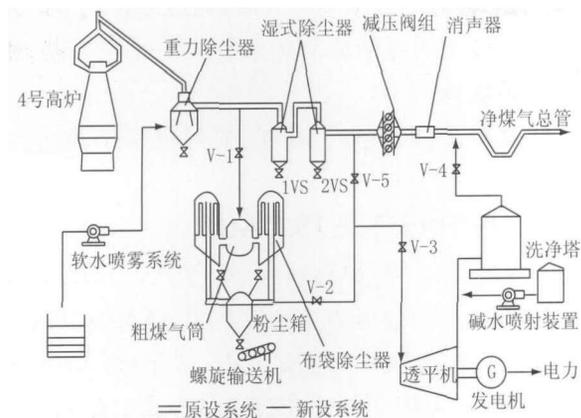


图1 攀钢4号1350m<sup>3</sup>高炉煤气系统工艺流程

表2 攀钢4号1350m<sup>3</sup>高炉减压阀组各阀功能及作用

减压阀组	基本状况	高炉控制方式 (TRT不工作时的常规顶压控制方式)	TRT控制方式 (干式或湿式发电方式时)
No. 1	D <sub>N</sub> 250 电动调节阀	手动阀	手动阀
No. 2	D <sub>N</sub> 700 快速大力矩气动阀	一般将某一个阀作为自动调节阀使用, 其余的作为手动阀使用	快开阀,满足快开要求
No. 3	D <sub>N</sub> 700 快速大力矩气动阀		自动调节阀
No. 4	D <sub>N</sub> 750 电动调节阀		量程阀,跟踪 No. 3 阀开度

态,此时 No. 1 阀作手动阀;No. 2 阀作 TRT 跳闸时的快开阀(具备手动调节功能),根据需要置于全闭保持紧急放散功能,满足全闭到全开时间在 2.5 s 以内;No. 3 阀为自动阀,配合 No. 2 满足全闭到全开时间在 10 s 以内;No. 4 阀作量程阀,若 No. 3 阀到极限位置还不能满足系统调节要求时,由 No. 4 阀(量程阀)来扩大自动调节范围。No. 3 阀与 No. 4 阀的阀位动作关系如图 2 所示。

阀组的控制必须满足 TRT 调节和工艺要求,由高炉控制室进行控制。在高炉操作台上设有“高炉、TRT”转换开关,当炉顶压力在高炉侧控制时,转换开关置于“高炉”状态,减压阀组接受高炉侧控制信号;当 TRT 正常生产时,转换开关置于“TRT”状态,减压阀组同时接受高炉和 TRT 的控制信号。但 TRT 侧信号与高炉侧信号有一个差值,使 TRT 对炉顶压力的控制有优先权。

4 台阀门需在高炉控制室设置自动、手动控制功能,在 TRT 停运的情况下,由高炉控制室选择控制方式。其中 2 台调节阀应同时满足一用一备的自动、手动调节功能;2 台快开阀除具备一用一备电液快开功能外,还考虑了手动开关和调节的可靠性。故各阀门开关角度均设置了显示信号,并在高炉控制室内增设了 TRT 故障的报警显示信号,供高炉应

## 2.2 减压阀组的控制策略

4 号高炉减压阀组的 4 个减压阀组成为:No. 1 阀为 D<sub>N</sub>250 的西门子电动阀;No. 2 阀和 No. 3 阀均为 D<sub>N</sub>700 的快速大力矩气动阀;No. 4 阀为 D<sub>N</sub>750 的西门子电动阀。由图 1 的工艺流程图可知,虽然煤气流向有 3 种方式,但对减压阀组来说,其控制方式只有 2 种,即高炉方式(为 TRT 停运时,常规的顶压控制方式)和 TRT 控制方式(此时不分干式或湿式发电方式)。减压阀组各阀的功能及作用见表 2。

当 TRT 发电时不论是干式还是湿式均为 TRT 方式。

当透平正常运行时,该减压阀组阀门是关闭状

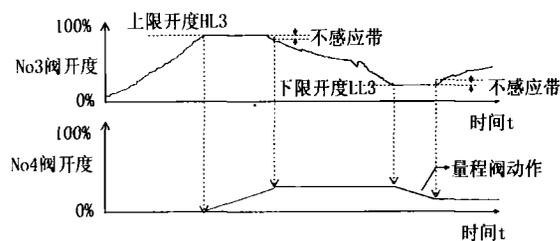


图2 攀钢4号1350m<sup>3</sup>高炉自动阀 No. 3 和量程阀 No. 4 的阀位动作关系

急判断操作。

当 TRT 紧急故障时,TRT 侧发出一前馈信号(无源触点)至快开阀,通过高炉侧控制器在 1.5 ~ 2.5 s 内快开至相应开度,开度大小由前馈信号长短决定,以保护高炉生产设备安全。前馈信号长度与 TRT 流入的煤气量成正比。2 台快开阀一用一备,由高炉控制系统自动选择。备用快开阀也可作为手动调节阀使用,以使打开的快开阀锁定在快开角度位置,然后根据实际情况由操作员手动关回。此时 No. 3 阀自动跟踪 No. 2 阀的关闭速度,炉顶压力不会有大的波动。

当 TRT 故障跳闸时,在快速打开快开阀的同时,TRT 侧的炉顶压力调节器控制信号通过高炉侧控制减压阀组中的调节阀;当 TRT 长期不运行时,

减压阀组应能自由接受高炉控制信号,使减压阀组接受控制。

减压阀组采用成套订货,以保证系统的完整性。

### 2.3 改进及运行实践

虽然在重力除尘器处设有喷水(雾)设施,但是有时最终进入布袋除尘前的煤气温度仍大于200℃,就需要转入湿式系统发电,否则布袋除尘器的布袋有可能被烧坏。湿式系统的发电量要小得多,因此在2004年4号高炉大修时,在重力除尘器后设了煤气散热器,解决高温煤气(230~320℃)的冷却问题,同时又确保理想温度(150~200℃)直接经布袋除尘进入透平而设置旁通管系统,提高了TRT的发电量。经过这一改造后,湿式系统发电的机会就少了,仅干式系统故障时的生产备用,在确保顶压的同时尽可能多的发电。

为解决气动阀门快开时由于气体聚集作用有滞后现象,此时高炉憋压,紧急放散阀打开,影响高炉操作和顺行,在2004年4号高炉大修时,将减压阀组进行了改造, No. 2、No. 3减压阀由气动改为液压式,见表3。改造后各阀的控制功能不变,但控制效果变好,维护量也少得多,很好地解决了这一问题。只是需建液压站,投资要高得多,但通过几年运行效果很好。

TRT作为高炉节能装置,其本身运行的好坏是由高炉时是否稳定顺行决定的。TRT发电量主要取决于高炉顶压和高炉煤气发生量,而高炉煤气发生量又和高炉冶炼强度有关。只有在炉况好的情况

下,才能有较好的发电量。同时,通过透平调节炉顶压力较用减压阀组来调节炉顶压力要平稳一些,也促进高炉顺行。

该高炉TRT已运行10年,其停机率小,发电量可观。

### 3 新3号高炉全干式TRT系统

2004年,3号高炉易地大修,高炉从1200m<sup>3</sup>扩容至2000m<sup>3</sup>,炉顶压力由原来的0.15MPa提升至0.20MPa。在汲取4号高炉TRT多年运行的经验上,高炉煤气采用全干式TRT工艺,其主要参数见表4,煤气系统流程如图3所示。

表3 攀钢4号1350m<sup>3</sup>高炉减压阀组各阀改造情况

减压阀组	改进前情况	改进后情况
No. 1	D <sub>N</sub> 250 电动调节阀	D <sub>N</sub> 400 电动调节阀
No. 2	D <sub>N</sub> 700 快速大力矩气动阀	D <sub>N</sub> 800 快速液动阀
No. 3	D <sub>N</sub> 700 快速大力矩气动阀	D <sub>N</sub> 800 快速液动阀
No. 4	D <sub>N</sub> 750 电动调节阀	D <sub>N</sub> 800 电动调节阀

表4 攀钢新3号2000m<sup>3</sup>高炉全干式TRT系统主要参数

项目	数值	备注
高炉容积, m <sup>3</sup>	2000	
标态下煤气发生量, 万 m <sup>3</sup> /h	45	最大 48
发电机额定功率, kW	15000	功率因数 0.8
发电机设计出力, kW	12500	
年发电量, 万 kW	9975	
输出电压, kV	10.5	
炉顶压力, MPa	0.15 ~ 0.20	
透平出口压力, MPa	0.012	

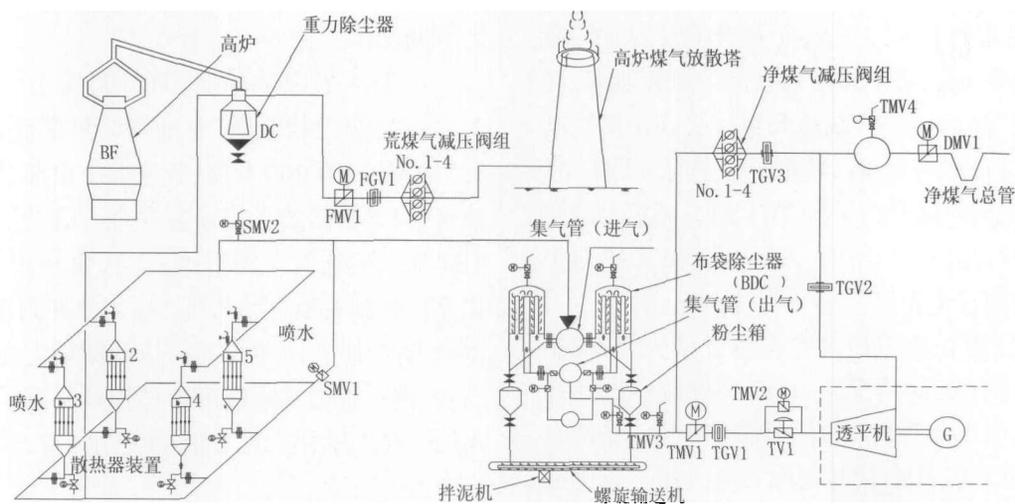


图3 攀钢新3号2000m<sup>3</sup>高炉煤气系统工艺流程

新3号高炉全干式TRT透平发电机、液压全封闭眼镜阀、电动蝶阀、气动蝶阀、气动球阀、反吹风机等主要设备以国产化为主,工艺参数、技术性能、达到国内一流水平。在吸收国内外类似工程的经验基础上,对工艺技术进行优化设计,经济指标达到国内一流水平。

在高炉开炉等煤气质量不高时,煤气经重力除尘器、荒煤气减压阀组直接点火放散,此时煤气流量只有正常时的三分之二。一般情况下,煤气经重力除尘器、散热装置、布袋除尘器、透平入口阀门组、透平机、洗净塔进入高炉区煤气管道。

为解决高温煤气(230~320℃)的冷却而设置煤气散热器,同时保证理想温度(150~200℃)直接经布袋除尘进入透平而设置旁通管系统,可确保滤袋的安全运行,以及提高TRT发电量。

采用两级静叶可调,以加大变工况范围,改善变工况性能,第一级静叶可实现全关闭。TRT机组自控系统设计原则为在确保高炉正常生产的前提下,尽量多发电;无论在何种情况下保证TRT机组的安全和转速不超过允许范围;具有高自动化程度,能自动启动、自动调速、自动调功率、自动调高炉顶压、自动停机功能。

余压发电的特点是:发电机容量与电网容量相比很小,发电机输出的有功和无功功率的变化对电网频率和电压水平的影响很小;发电机出力不能根据负荷的需要调节,而只能依据高炉工况的变化进行调节,在保证高炉炉顶压力稳定的前提下尽可能多发电;为避免发电机频繁解列停车及启动并网,在高炉短期修风时发电机需转入电动运行。发电机不宜单独给用电负荷供电,必须与电力系统并网运行。

减压阀组控制除增加净煤气与荒煤气选择方式外,其余与4号高炉控制相同。

该高炉TRT于2006年5月开始投入运行,据统计,已累计发电12276万kWh,每度电按0.45元计,预计在2年多时间里,就可收回全部成本。

#### 4 1、2、3号高炉全干式TRT系统

攀钢目前正在进行的一期高炉(1、2、3号高炉)煤气TRT系统工程,将取消原文式清洗系统,用全干式TRT工艺将1、2、3号高炉的余压煤气用来发电。其主要参数见表5。该系统所有设备国产化,计划2009年工程全部完工,并网发电。

表5 攀钢1、2、3号高炉1200m<sup>3</sup>TRT主要参数

项目	数值	备注
高炉容积, m <sup>3</sup>	1200	每座
标态下煤气发生量, 万 m <sup>3</sup> /h	24	最大 28
发电机额定功率, kW	8000	功率因数 0.8
发电机设计出力, kW	5343	
年发电量, 万 kW	12920	3 座
输出电压, kV	10.5	
炉顶压力, MPa	0.15	
透平出口压力, MPa	0.012	

#### 5 结语

攀钢高炉TRT从干湿两用到全干式的发展,不仅是技术的进步,同时也是经济效益、能源环保的发展。

TRT是充分利用能源和净化环境的环保性工程,是高炉能量回收设备,是炉顶压力自动调节控制设备,从攀钢10年运行TRT的经验来看,TRT的有效性是建立在高炉正常生产的基础上,不得影响高炉生产,要保证高炉正常生产必须保证顶压的稳定。因此,TRT中高炉炉顶压力控制是一个非常关键且重要的调节系统,在正常发电的同时,顶压调节效果比单独用4个减压阀组要好。在保证高炉生铁产量和质量的前提下,又创造了巨大的经济效益、能源环保和社会效益。

联系人:唐 炜 高级工程师 电话:0812-3392455

E-mail: tangwei@pzhsteel.com.cn

(617022)四川省攀枝花市攀枝花新钢钒股份有限公司炼铁厂

收稿日期:2008-07-03