

# 超低压饱和蒸汽发电技术在煤化工中的应用分析

赵忠良  
(南京博纳能源环保科技有限公司 江苏 南京 211505)

**摘要:** 分析煤化工催化剂反应器产生超低压蒸汽的现状和回收利用的必要性, 介绍了新研发设计的超低压饱和蒸汽发电技术的基本原理以及系统设备的特点, 阐述了该技术可行性及在煤化工行业可观的节能环保经济效益。  
**关键词:** 煤化工; 超低压饱和蒸汽发电技术; 余热发电; 催化剂换热器

## 0 引言

某煤化工企业的催化反应器在反应过程中用列管式换热器控制物料温度, 除盐水走壳程, 物料走管程, 除盐水换热后在汽包中闪蒸产生蒸汽。合成汽包压力根据催化剂使用周期情况不同, 压力有所调整, 更换完催化剂后汽包压力相对较低, 更换完催化剂后系统汽包压力在 35KPa 左右, 汽包温度在 107℃~108℃。系统催化剂后期汽包压力在 76KPa~87KPa, 汽包温度在 117℃。一共 6 个汽包, 分三套装置, 合计产蒸汽 90t/h。催化剂的使用寿命 3~4 年, 前期汽包压力在 35KPa 左右, 汽包温度在 107℃

~108℃。后期催化剂活性降低, 催化剂后期汽包压力在 76KPa~87KPa, 汽包温度在 117℃。现在蒸汽直接对空排放, 既造成环境污染, 又浪费除盐水资源。如果用闭式风冷冷却塔进行冷却回收除盐水, 还需要额外的消耗电能。

表 1 超低压饱和蒸汽发电方案设计参数

| 项目      | 单位                   | 计算数据  | 说明                                                  |
|---------|----------------------|-------|-----------------------------------------------------|
| 蒸汽流量    | t/h                  | 90    |                                                     |
| 汽机主汽压力  | MPa(a)               | 0.145 | 催化剂更换初期<br>35KPa(g)<br>催化剂更换后期<br>76KPa(g)~87KPa(g) |
| 汽机主汽温度  | ℃                    | 110℃  | 催化剂更换初期<br>107℃~108℃<br>催化剂更换后期 117℃                |
| 汽轮机排汽压力 | KPa(a)               | 10    |                                                     |
| 计算发电功率  | kW                   | 7070  |                                                     |
| 汽轮机装机容量 | kW                   | 7000  |                                                     |
| 发电机装机容量 | kW                   | 7000  |                                                     |
| 年运行时间   | h                    | 8000  |                                                     |
| 年发电量    | ×10 <sup>4</sup> kWh | 4760  | 按负荷率 85% 计算                                         |
| 厂自用电率   | %                    | 5%    | 设计使用数据                                              |
| 年供电量    | ×10 <sup>4</sup> kWh | 4522  |                                                     |

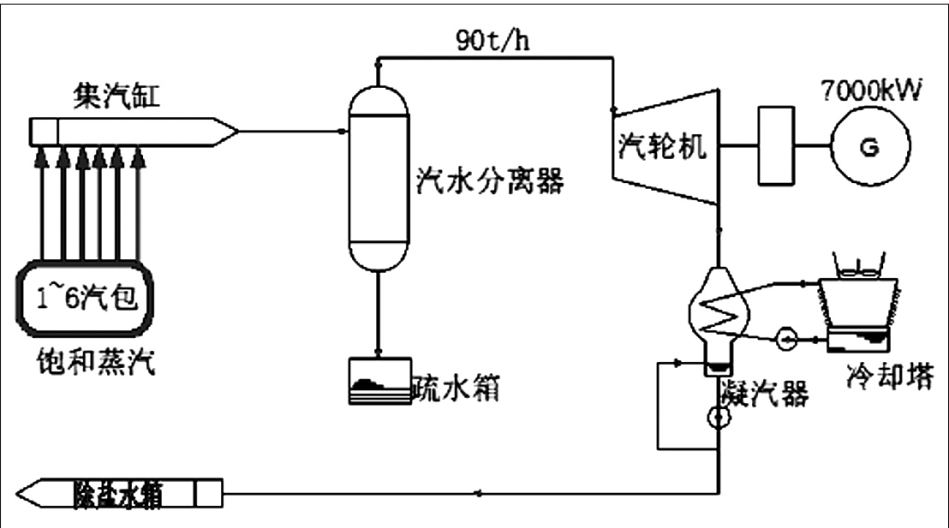


图 超低压饱和蒸汽发电系统流程图

因此, 研发设计了一套向心式汽轮机, 利用闪蒸产生的超低压饱和蒸汽进行发电, 并回收除盐水, 实现了社会效益和经济效益的统一。

### 1 设计参数的选择

根据工厂提供的资料, 超低压饱和蒸汽发电方案设计参数如表 1 所示。

### 2 超低压饱和蒸汽发电系统组成

#### 2.1 汽轮发电机系统

经热力计算, 进汽机主蒸汽设计流量为 90t/h, 计算发电输出功率为 7070kW, 考虑到生产工艺工况的波动情况, 确定发电机组装机容量为 7000kW; 以厂自耗电率为 5% 考虑, 负荷率 85%, 年供电量可达 4522 × 10<sup>4</sup> kWh。

#### 2.2 汽轮发电机系统的论述

##### 2.2.1 系统概述

六台列管换热器汽包产生的饱和蒸汽通过管道汇总到集汽缸, 集汽缸出口连接电动隔离阀、主汽门、调节阀, 其进入汽轮机膨胀做功后, 排至凝汽器。乏汽在凝汽器中凝结成水后, 汇入热水井, 然后由凝结水泵泵入除盐水箱供列管换热器循环使用。循环冷却水泵将水池中冷却水打入凝汽器后, 再排往冷却塔进行冷却, 经过冷却的水最后回到水池循环利用 (如图所示)。

2.2.2 汽轮机热力系统

本汽轮机热力系统主要由主蒸汽、轴封统、疏水、凝结水统、真空、循环水等系统组成。

2.2.2.1 主蒸汽系统

来自集汽缸的新蒸汽经隔离阀至主汽门，再经调节阀进入汽轮机做功，做完工后的乏汽进入凝汽器凝结为水，经凝结水泵送回除盐水箱。

汽轮油泵、汽封加热器、均压箱所需新蒸汽的管道，连接在主蒸汽汽阀前，为防止汽封加热器喷嘴堵塞，汽封加热器前蒸汽管道上装有滤汽器。

2.2.2.2 轴封系统

为了减少汽轮机汽缸两端轴封处的漏气损失，在轴伸出汽缸的部位均设有轴封，分别由前汽封、后汽封和隔板汽封，汽封均采用高低齿型迷宫式。

2.2.2.3 疏水系统

在汽轮机启动、停机或低负荷运行时，要把主蒸汽管道及其分支管道、阀门等部件中集聚的凝结水迅速地排走，否则进入汽轮机通流部分，将会引起水击，另外会引起其它用汽设备和管道发生故障。

汽轮机本体疏水设计有：

- (1) 自动主汽阀前疏水；
- (2) 前后汽封疏水；
- (3) 自动主汽阀杆疏水；
- (4) 自动主汽阀后疏水、汽轮机前后汽缸、轴封供汽管疏水，引至疏水膨胀箱。

2.2.2.4 凝结水系统

凝汽器热井中的凝结水，由凝结水泵送至除盐水箱。

2.2.2.5 真空系统

汽轮机运行如果需要维持一定的真空，就须抽出凝汽器、凝结水泵等中的空气，它们之间均用管道相互联通，然后与射水抽气器连在一起，这样一来形成了一个真空抽气系统。

2.2.2.6 除盐水回收系统

汽轮机回收的凝结水送回到列管换热器循环利用。

2.2.2.7 循环水系统

凝汽器、冷油器、发电机的空气冷却器，不断地通过冷却水，来保证机组的正常工作，冷却水管道、循环水泵、补充用的工业水管道及冷却循环水的机力冷却设备总称为循环水系统。

3 汽轮机

3.1 汽轮机简介

汽轮机选用向心式汽轮机，两级并联，与变速箱高速轴双伸头相配，汽轮机减速箱和发电机整体撬装，轴向排气，单层布置。

向心式汽轮机是一种高速高效能汽轮机，向心式汽轮机结构简单，它主要有一个向心式叶轮、一个蜗壳构成，像一台反向流动的离心泵。叶片直接在叶轮上铣削成形，蜗壳为铸件，蜗壳中装有喷嘴环，保证蒸汽进入液轮的速

度大小和方向。喷嘴的安装角，在运行时可以调整，以改善汽轮机的变工况性能。

蒸汽在向心式汽轮机中作功能力比在轴流式汽轮机中多了  $(u_{12}-u_{22})/2$  项，其物理意义为蒸汽在旋转叶轮中流动时，为克服离心力所作的功。这部分能量转换没有损失，即哥氏力所作功没有损失。当汽轮机参数选择合适时，它可以达到透平等熵功率的 30%~40%，向心式汽轮机单级作功能力大和内效率高的原因之一。向心式汽轮机为高速型，叶轮直径小，当蒸汽流量比较小时仍然能做到全周进汽，减少了叶轮的漏汽和摩擦鼓风损失，向心式汽轮机单级作功能力大和内效率高的原因之二。

3.2 发电机

发电机选用参数如表 3 所示。

4 投资分析

本系统为针对某煤化工企业的超低压饱和蒸汽余热发电工程，研发设计的装机容量 7.0MW 的余热发电系统，根据设计规模，预计建设期为 11 个月，工程总投资约 3000 万元。

项目投运后预期可达到的经济指标如下：

表 2 汽轮机选用参数

| 项 目    | 参 数          |
|--------|--------------|
| 型号     | NT7.0-0.145  |
| 型式     | 纯凝机组         |
| 额定功率   | 7.0MW        |
| 计算发电功率 | 7.07MW       |
| 额定进汽量  | 90t/h        |
| 额定进汽压力 | 0.045MPa (a) |
| 额定进汽温度 | 110℃         |
| 额定排汽压力 | 0.010MPa     |
| 额定转速   | 20000r/min   |
| 汽轮机台数  | 1 台          |

表 3 发电机选用参数

| 项目     | 参数        |
|--------|-----------|
| 型号     | QF-7.0-2  |
| 额定功率   | 7.0MW     |
| 额定功率因数 | 0.85 (滞后) |
| 额定频率   | 50Hz      |
| 额定转速   | 3000rpm   |
| 冷却方式   | 空内冷       |
| 励磁系统   | 静止可控硅     |
| 发电机台数  | 1 台       |

年供电量为  $4522 \times 10^4 \text{kWh}$ ；供电单价按照 0.2 元 /kWh (含税)，年节省电费 904.4 万元；年回收除盐水 61.2 万吨，按除盐水 7 元 /t，价值 428.4 万元；年收益为 1332.8 万元；

如采用闭式风冷冷却塔回收除盐水，年消耗电 400 万 (下转第 84 页)

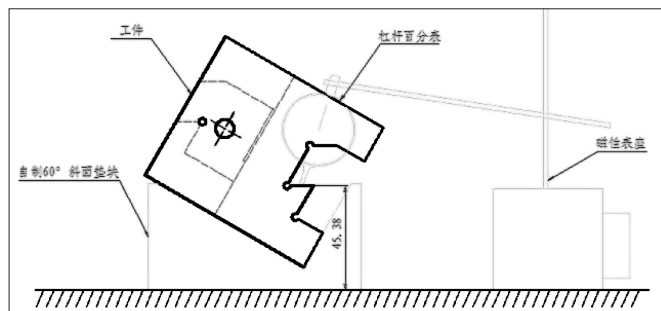


图 5 方案二工步 5 打表测量 45.38mm

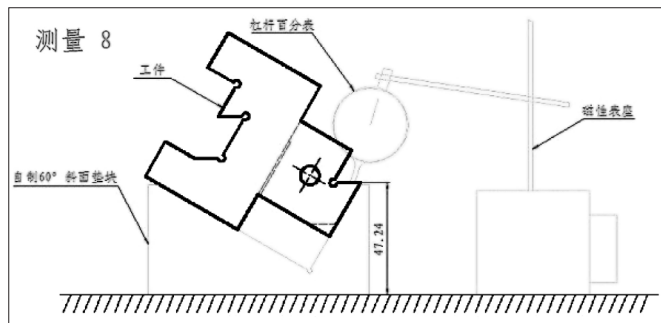


图 6 方案二工步 8 打表测量 47.24mm

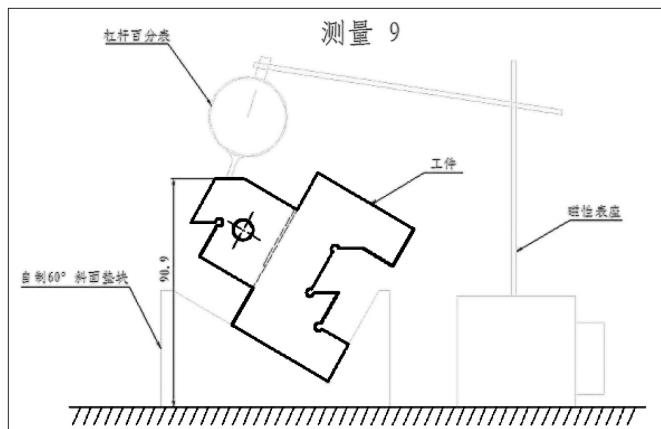


图 7 方案二工步 9 打表测量 90.90mm

$\Phi 8H7$  孔,再以孔为基准铰修外围尺寸保证孔的精度,其次加工工件 II,最后加工工件 I。基准选用更加合理,基准变动过

小,整个过程工艺严谨;工艺简便,易保证  $\Phi 8H7$  孔的精度要求,适合盲配型配合件加工。

#### (2) 从测量方法分析

方案一:对斜面测量使用的是正玄规和  $\Phi 10$  的芯棒,使用正玄规打表测量时繁琐,计算尺寸麻烦。

方案二:对斜面测量使用的是自制  $60^\circ$  斜面垫块和  $\Phi 10$  的芯棒,用自制的  $60^\circ$  斜面垫块取代正玄规,测量使用时更加简便,尺寸计算简单明了。

#### (3) 从 $\Phi 8H7$ 孔精度分析

方案一:对  $\Phi 8H7$  孔的位置无法控制,稍有偏差就无法保证了,精度控制不严谨。

方案二:先钻  $\Phi 8H7$  的孔,再以  $\Phi 8H7$  的孔为基准精修外围尺寸,在后序加工过程中用  $\Phi 8H7$  的孔为基准保证对称度,精度控制严谨合理;

特别是在有两个以上孔时,我们也可以套用此方法。夹具固定后,先钻一个孔,再钻第二个孔时在夹持面一侧垫与孔距一样的量块,就可以很好的保证尺寸了。

#### (4) 对称度、互换性分析

按上述两种方案,通过对比制作得出:

方案一:对称度控制不稳定,从而影响互换性。

方案二:用  $\Phi 8$  的芯棒插入  $\Phi 8H7$  的孔中,以  $\Phi 8H7$  孔为基准,将  $\Phi 8$  芯棒放在 V 型铁上打表保证对称度,从而保证互换性,控制好配合间隙。

通过对盲配型燕尾配合件制作工艺及测量方法改进比较,以两种不同的制作方法为例进行对比说明。进一步阐述制作工艺及测量方法关键性,同时避免了传统加工及测量中工艺性不好,测量方法单一,基准使用不合理,使用量具数目多,操作繁琐,效率低等不足。

#### 参考文献:

- [1] 许国.提高钳工钳配教学质量的探索[J].科技创新导报,2012(07):154.
- [2] 贾志斌.浅谈如何提高钳工钳配技能[J].当代教研论,2014(01):69.
- [3] 陈世庄.钳工钳削操作中力与平衡的应用[J].内蒙古教育(职教版),2016(03):83-84.

(上接第 81 页)

kWh;年节约标准煤 15465 吨(等价值);静态投资回收期 1.94 年(不含建设期)。

#### 5 结语

综上所述,新研发设计的超低压饱和蒸汽发电技术,采用超低压饱和蒸汽发电机组不仅可以回收热源产生发电效益,而且还产生相当于年节约标准煤 15465 吨的环保效益,可彻底解决之前采用闭式风冷冷却塔电能耗量大,蒸汽无法回收的问题。在不影响原生产工艺的前提下高效利用饱和蒸汽,提高能源利用率,增加企业经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 孙念,杨卫波.翅片参数对风冷蒸发复合型横流闭式冷却塔换热性能的影响[J].重庆理工大学学报(自然科学),2021,35(04):194-200.
  - [2] 钱斌.向心式汽轮机在大型铜冶炼厂余热利用系统中的应用[J].节能,2000(07):6-9.
  - [3] 徐国强,杨博,陶智,等.哥氏力对旋转方通道内流动与换热的影响[J].热科学与技术,2008,7(04):291-295.
- 作者简介:赵忠良(1986.02-),男,汉族,江苏常州人,本科,中级工程师,研究方向:工业废弃物焚烧及余热回收技术。