

# 压力匹配器选型和优化运行

赵国祥，黄朝阳

(南通天生港发电有限公司, 江苏 南通 226003)

**摘 要:** 压力匹配器已成为改凝汽机组为供热机组的重要设备。为了进一步推广压力匹配器的使用及提高运行效率, 本文给出压力匹配器选型的基本原则和优化运行方法。

**关键词:** 压力匹配器; 喷射; 蝶阀; 比例分配调节阀; 优化运行

## 1 概述

大型凝汽机组利用压力匹配器改成供热机组, 已有不少成功运行经验, 并取得了可观的经济效益。已改造的机组类型有 135MW、200MW、300MW 和 600MW 机组。供热参数有 1.0MPa、1.5MPa、2.5MPa、4.2MPa 等, 流量从 50t/h 到 200t/h。用作驱动蒸汽的抽汽口有高排, 一段抽汽及新蒸汽。引射的低压蒸汽有四段抽汽(中压缸排汽), 三段抽汽等。

大多数机组都能满足热用户的要求, 实现安全、平稳运行。大机组利用压力匹配器供热, 不用改造汽轮机本体, 费用低, 改造时间短, 受到用户的青睐。

随着大机组供热的推广, 大机组的供热量不断增加及供热参数的不断提高, 例如, 要求 300MW 机组供 0.8MPa 蒸汽 400t/h 以上, 有的电厂要供 4.0MPa, 450℃ 蒸汽给石油化工厂等这些要求, 用传统的改造方法都难以达到要求。

目前大机组供热的参数基本上可分三类: 第一类是供生活用热, 包括采暖, 生活用热水(炊事, 洗浴, 医疗等), 要求供汽 0.4~0.8MPa; 第二类是为工业加热用汽压力为(石油化工, 橡胶, 造纸等)要求供汽压力 1.0~2.0MPa; 第三类为工业动力用汽, 用于拖动压缩机及工业透平等, 用汽压力为 3.0~4.0MPa, 并且要求较高温度(400~450℃), 前两种则要求微过热蒸汽。

为了提高压力匹配器的运行效率, 就压力匹配器的选型准则及压力匹配器的优化运行方式介绍如下。

## 2 压力匹配器的基本原理

压力匹配器是利用两种高、低压力不同的气体, 通过喷射的方式混合, 获取一种中间压力气体的热力设备, 也有称为热力压缩机(Heat compressor), 它的基本原则是利用高压气体通过喷嘴膨胀, 形成高速气流, 将低压气体吸入, 混合扩压, 形成所需要压力的气体。压力匹配器主要部件有喷嘴、混合管、扩压管等。压力匹配器的原理见图 1。

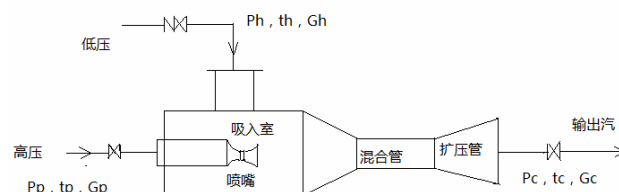


图 1 压力匹配器原理结构图

压力匹配器的主要部件: 喷嘴、混合管和扩压管的结构, 要根据高、低压及输出气体的参数进行气体动力学热力学计算得出。

压力匹配器主要的性能参数有引射比  $u$ , 效率  $\eta$  等。

引射比  $u$  为吸入蒸汽量与驱动蒸汽量之比即  $G_h/G_p$  ( $G_h$ —吸入蒸汽量,  $G_p$ —驱动蒸汽量), 它代表了压力匹配器的工作能力,  $u$  值大, 表示驱动蒸汽抽吸低压蒸汽的能力强, 反之能力弱。 $u$  值的大小和驱动蒸汽压力  $P_p$ 、温度  $t_p$ 、吸入蒸汽的压力  $P_h$ 、温度  $t_h$ , 及输出蒸汽的压力  $P_c$  有关。 $u$  是上述参数的函数  $u=f(P_p, t_p, P_h, t_h, P_c)$ 。压力匹配器出口蒸汽温度是由引射比  $u$  决定的。利用  $u$  值, 根据压力匹配器进出口能量平衡, 求出输出蒸汽的焓值, 即可求出出口温度。

另外, 引射比除了受蒸汽参数的影响, 还受压

力匹配器结构参数的影响。同样的蒸汽参数，不同的结构参数  $u$  值不同，因此给定蒸汽参数后，还要设计合理的结构，以得到最大的  $u$  值。在最佳的结构参数下

$$u = \varphi \sqrt{\Delta h_p / \Delta h_h - 1} \quad (1)$$

式中： $\Delta h_p$ —驱动蒸汽到吸入蒸汽的等熵焓降；

$Hh$ —吸入蒸汽到输出蒸汽压力的等熵焓降；

$\varphi$ —修正系数，0.7~0.8。

压力匹配器的热力过程如图 2 所示。

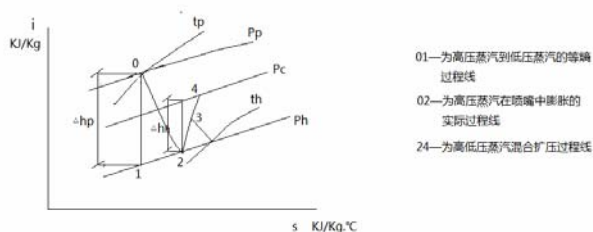


图 2 压力匹配器的热力过程图

压力匹配器另一个性能指标为压力匹配器的效率。

$$\eta = u \Delta h_h / (\Delta h_p - \Delta h_h) \quad (2)$$

经推导

$$\eta = u / (\Delta h_p / \Delta h_h - 1) = u / \{[(1+u)/\varphi]^2\} - 1 \quad (3)$$

从 (3) 式看出  $u$  值有一个最佳值，使效率  $\eta$  最大。经文献[1]作者推导，在  $\Delta h_p / \Delta h_h = 2.0 \sim 5.0$  的范围内，压力匹配器具有较高的效率。

还要一个问题应当注意，那就是低压蒸汽的单级升压比不能超过 2.5，即  $P_c / P_h \leq 2.5$ 。因为单级升压比大于 2.5，压力匹配器进入极限工况，效率下降。

压力匹配器和大型凝汽机组联合运行供热的主要作用是将汽轮机两种抽汽压力不同的蒸汽混合为热用户所需用的蒸汽压力，并能随汽轮机的电负荷自动调节，保持供汽压力稳定，而且这种调节是在汽轮机外部完成的。而传统的汽轮机抽汽调压方式，如旋转隔板，调节蝶阀，座缸阀等都是利用阀门节流的方式调节蒸汽压力，属于节流调节的范畴。节流调节就要产生损失，特别是旋转隔板，蝶阀等调节方式，造成非供热蒸汽的节流损失，尤其是在供热量占总流量的份额较小时，节流损失就很大。而压力匹配器是靠两种压力不同的蒸汽混合改变蒸汽的压力值，不存在节流损失。因此压力匹配器是将

汽轮机供热抽汽调节由节流调节改变成了混合调节，变机内调节为机外调节。

特别对于改造凝汽机组为供热机组，压力匹配器具有显著的优越性。压力匹配器是利用混合两种不同压力的蒸汽而得到中间压力等级的蒸汽，而汽轮机可供抽汽口有 7 个之多（三个高压，四个低加）。从理论上讲，可以供生活用汽，工业加热用汽及工业动力用汽等各种压力的蒸汽。用回热抽汽对外供热，这对回热系统及锅炉给水都会发生影响，但这些影响对节能减排都是有益的。利用回热抽汽对外供热，在抽汽量情况下，对汽轮机的内效率没有影响。回热抽汽用于供热不增加冷源损失，抽汽用于供热，没有疏水回流，增加了低压抽汽，有利于提高汽轮机的经济性，回热抽汽用于供热，降低了锅炉给水温度，增加给水在省煤器的吸热量，这有助于降低排烟温度，提高锅炉效率。特别是在低负荷下，由于供热，各回热抽汽量高于设计值，减少了冷源损失的比重，提高了汽轮机的经济性。

压力匹配器和凝汽机组联合运行供热，在不改动汽轮机本体的情况下，可实现各种压力等级蒸汽的供汽，并使汽轮机的经济性有所提高。

### 3 供热压力匹配器的选型

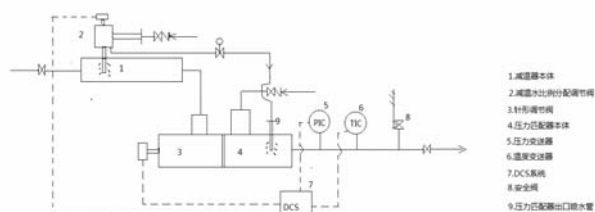
#### 3.1 设计参数的选择

从(3)式可以看出，压力匹配器在正确选择设计参数时，才可以得到最高的效率。通常外供的蒸汽压力，温度是由热用户的的使用的压力，温度再加管道阻力和和散热损失决定的。而吸入蒸汽和驱动蒸汽的压力和温度是可以选择的。选择的准则是  $\Delta h_p / \Delta h_h$  值在 2.0~5.0 之间。 $\Delta h_p / \Delta h_h$  的值不是越大效率越高。但该值增加可以使引射系数  $u$  值增加。除了考虑设计参数对压力匹配器本身的影响，还要考虑到设计参数（抽汽参数）对汽轮机效率的影响。比如，汽轮机的热段和冷段蒸汽都可以选作驱动蒸汽，对压力匹配器效率的影响差别不大，但对整个电厂的效率有影响。由于热段抽汽温度高，在满足同样供热量的前提下，则抽汽量少，凝汽量增加（在同样进汽量的条件下），则机组发电量增加。当然热段抽汽的焓值耗用的锅炉热量多，但考虑到锅炉的运行方式，在蒸发量不变时，锅炉燃煤量不变。在冷段抽汽，减少过热蒸汽量只会排烟温度升高。也就是说，在蒸发量一定的前提下，分配给再

热器的热量也是一定的，不利用也要浪费。因此单从热经济上分析，利用热段抽汽比冷段抽汽合适。但利用热段抽汽工艺复杂，改造成本高，这时要综合考虑。冷段抽汽的抽汽量受再热器超温的限制，一般锅炉厂给出的数据是锅炉蒸发量的 5% 左右。由于冷段抽汽量受限制，在要求供汽量较大，温度较高时一般采用热段抽汽。

### 3.2 减温器位置的选择

由压力匹配器的基本原理可知，压力匹配器吸入蒸汽和驱动蒸汽的比例  $u$  是由吸入、驱动蒸汽的压力、温度及出口蒸汽的压力决定的。 $U$  值确定后，出口蒸汽的温度也就确定了。一般情况下，在压力匹配器输出蒸汽的温度高于热用户需要的温度，需要喷水减温。喷水减温的位置选在什么地方，对压力匹配器的经济性有一定影响。理论上在压力匹配器的三个接口（驱动，吸入，输出）上减温器都可以达到目的。在压力匹配器的吸入口上装减温器，由于减温水汽化的蒸汽量排挤了低压抽汽量，降低了压力匹配器的效率，一般不推荐。将减温器装在压力匹配器出口，减温水的汽化蒸汽同时排挤了驱动蒸汽和吸入蒸汽，将减温器装在驱动蒸汽口，减温水汽化蒸汽排挤了驱动蒸汽，这对提高压力匹配器的经济性有好处。减温器装在压力匹配器进口，使新蒸汽降温，造成了新蒸汽作功能力的下降。减温水汽化的蒸汽，增加了抽吸低压蒸汽量。新蒸汽降温造成的减少抽汽量和减温水汽化蒸汽增加的抽汽量的代数之和，一般情况下是正值。有时减温水全部在压力匹配器进口喷入，使喷嘴出口湿度过大，而将减温水同时在压力匹配器进口和出口按一定的比例同时喷入，即比例分配式调节阀减温器可以很好的解决这一问题。该减温器布置图如图 3 所示。



1—减温器本体；2—减温水比例分配调节阀；3—针形调节阀；4—压力匹配器本体；5—压力变送器；6—温度变送器；7—DCS 系统；8—安全阀；9—压力匹配器出口喷水室

图 3 比例分配式调节阀减温器

减温器的这种布置方式，保证压力匹配器装置

的最大效率，同时也降低了制造成本，提高了运行的安全性。压力匹配器进口温度降低，使针形调节阀，压力匹配器本体制造材料等级下降并使针形调节阀的工作条件改善，延长了易损件寿命。

### 3.3 大流量、高参数供热压力匹配器的选择

随着工业的发展，大型工业园区的建设，要求单台机组供热量不断增加，例如某电厂要求 300MW 机组外供 0.8MPa，280℃ 蒸汽 450t/h。从压力和温度上讲用高排蒸汽引射中压排汽，在机组负荷大于 60% 时都能满足要求，但要满足流量要求，由于抽汽流量大，高压缸末级叶片和中压缸末级叶片都不能满足要求，需要更换叶片和叶轮。如果不动汽轮机本体，就需要采用多个驱动蒸汽（三段高加抽汽），同时引射中压缸排汽，多驱动口结构如图 4 所示。

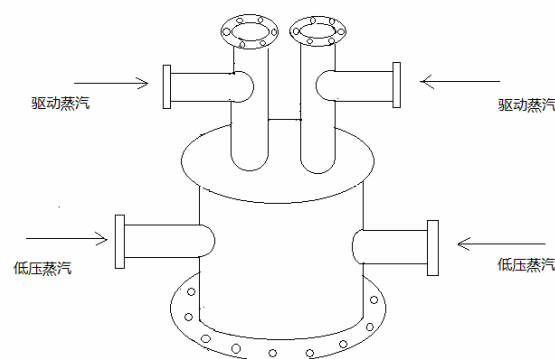


图 4 多驱动口结构示意图

高加抽汽分别进入抽汽室，通过各自的喷嘴引射中压蒸汽。满负荷时三级高加回热总抽汽量在 220t/h 左右。按平均引射系数为 0.5 计算，总共可供 0.8MPa 蒸汽 330t/h 左右。如果供汽再大，就要用新蒸汽补充。新蒸汽的用量也不能太多，防止过热超温。

在中压缸抽汽超过一定数值时引起中压缸末级叶片弯曲应力加大，影响安全运行。这时应在连通管上加装蝶阀，憋压，防止压力下降过多。

压力匹配器和蝶阀联合运行，也有个经济性问题。

对于供 3.0~4.0MPa 450℃ 的蒸汽，比较可行的方式是利用新蒸汽抽吸高压缸排汽，总供汽量不宜超过 100t/h。

## 4 压力匹配器的优化运行

#### 4.1 压力匹配器的调节

压力匹配器的基本原理是蒸汽喷射，蒸汽喷射的基本原件是喷嘴，喷嘴的性能对流量很敏感，因此压力匹配器的性能对流量的变化很敏感。在运行流量低于设计流量的 70% 时就不吸低压汽，压力匹配器就变成了减压器。为了提高压力匹配器的运行效率，应采用多喷嘴自动调节，也就是相当于汽轮机进汽的喷嘴调节系统。

#### 4.2 压力匹配器和蝶阀的联合运行

压力匹配器和蝶阀联合运行的热力过程如图 5 所示：

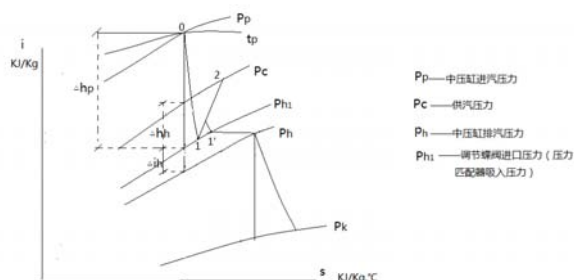


图 5 压力匹配器和蝶阀联合运行热力过程图

中低压缸连通管上的蝶阀，将中压缸排汽压力  $P_h$  升到  $P_{h1}$ ，压力匹配器吸入压力为  $P_{h1}$  的蒸汽和驱动蒸汽混合，升压到  $P_c$ 。

压力匹配器单位供热量的作功能力损失：

$$\begin{aligned} \Delta H_p &= [\Delta h_p - (1+u)\Delta h_h] / (1+u) \\ &= \Delta h_p / (1+u) - \Delta h_h \end{aligned} \quad (4)$$

式中： $\Delta h_p$ —压力匹配器驱动蒸汽到吸入蒸汽的等熵焓降；

$\Delta h_h$ —吸入蒸汽到输出蒸汽的等熵焓升；

$U$ —压力匹配器的引射系数。

$\Delta h_h$  和  $u$  都是压力  $P_{h1}$  的函数，也是  $P_{h1}-P_h = \Delta P_h$  的函数

$$\Delta H_p = \Delta h_p / (1+u) - \Delta h_h = f_1(\Delta h_p, \Delta P_h) \quad (5)$$

调节蝶阀节流造成作功能力损失

$$\Delta i_f = \Delta i_h \cdot G_k / G_t \quad (6)$$

式中： $\Delta i_h$ —蝶阀前后压力对应的等熵焓降；

$G_k$ —进入低压缸流量；

$G_t$ —供热量。

从 (6) 式中看出随着  $G_k/G_t$  的降低，单位供热量的作功能力损失减少。 $\Delta i_h$  也是  $\Delta P_h$  的函数。

$$\Delta i_f = \Delta i_h (G_c / G_t) = f_2(\Delta h_h) \quad (7)$$

利用 (5) 式和 (7) 式在给定的  $G_k/G_t$  时，可

以作出  $\Delta H_p$ ,  $\Delta i_f$  对  $\Delta P_h$  的关系曲线，两者叠加为总的损失曲线，即可判断最经济的工作点。

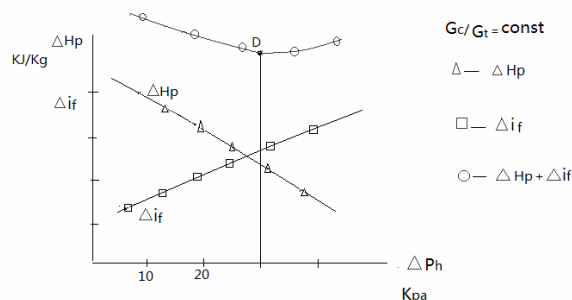


图 6 压力匹配器和蝶阀联合优化运行曲线

图 6 为压力匹配器和蝶阀联合运行曲线，从图上可以得到 D 点为最优运行点。即 D 点对应的  $\Delta P_h$  为蝶阀前后最经济压力差。

## 5 结论

压力匹配器将传统的汽轮机抽汽节流调节改变为混合调节方式。这是对供热式汽轮机的设计方法的一次革新。正确选择压力匹配器的型式并合理调节运行参数，可以满足供汽要求，并取得较好的经济效益。

#### 参考文献：

- [1] 王汝武. 电厂节能减排技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [2] 王汝武. 汽轮机压力匹配器的应用实践及热力系统的完善[A]. 中国电机工程学会热电专业委员会年会论文集[C]. 上海, 2010.
- [3] 王汝武. 汽轮机抽汽调压装置旋转隔板和压力匹配器热力学性能分析[J]. 热电技术, 2010(4).

#### 作者简介：

赵国祥 (1973-), 江苏如皋人, 本科学历, 工程师, 检修部主任助理, 主要从事火电厂汽机检修技术与管理工

作;  
黄朝阳 (1973-), 江苏南通人, 本科, 工程师, 高级技师, 发电部汽机专工, 主要从事火电厂汽机运行技术与管理工