

喷射器在凝汽式机组抽汽供热中的适用性分析

谢海念

（华能南京金陵发电有限公司，江苏 南京 210034）

摘 要：针对在非调整凝汽式机组抽汽供热系统中使用喷射器的方案，利用气体动力函数法进行计算，绘制喷射器变工况特性曲线特性曲线，并通过分析喷射系数随机组负荷变动特性，指出当机组在喷射器设计负荷下运行时，具有良好的经济性。当机组负荷降低时，喷射器喷射系数和供热蒸汽流量会急剧下降，从而无法满足用户的需求；当负荷高于设计负荷时，可以通过一定得调节手段满足供热流量需求，但是高压蒸汽能量利用率降低，造成运行经济性下降。

关键词：抽汽供热；喷射器；可调性；经济性

0 引言

许多现有的大型非调整抽汽凝汽式汽轮机组利用抽汽对周围工业生产提供蒸汽，从而减少了蒸汽在凝汽器中凝结而造成的冷源损失，提高了机组运行的经济性。由于机组负荷改变，会导致抽汽口蒸汽参数随之变动，而热用户要求蒸汽参数稳定，为了保证机组低负荷运行时可以满足供热需求，很多电厂将供热抽汽口设在新蒸汽管道或者高压缸排汽，并加装减温减压来实现供需参数的一致，满足了装置的正常运行，但是这种方式产生了较大的节流损失。为了充分利用高压蒸汽能量，有人提出使用压力匹配器将两股压力不同的蒸汽混合供热，可以减少节流损失和高压蒸汽的使用量，进一步提高机组运行的经济性^[1-2]。压力匹配器与喷射器工作原理相似。

1 喷射器及工作原理

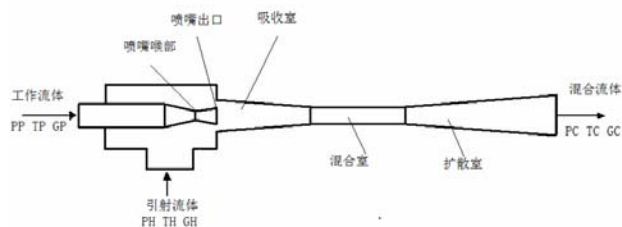


图 1 喷射器示意图

喷射器是一种利用高压流体抽吸低压流体的装置，如图 1。它具有结构简单、没有运动部件、运转费用低廉、操作维修方便等优点，并且对被抽介

质无严格要求，因此在国内外的能源动力、石油化工、冶金、轻工纺织、建筑、制冷、工业热工等领域得到广泛应用^[3-4]。喷射器的工作原理是高压的工作流体以很快的速度（一般是超音速）从喷嘴中流出进入吸收室，在高速射流的剪切力作用下卷吸其周围的低压流体，被吸的低压流体一般称为引射流体，工作流体携带着引射流体进入混合室中进行速度均衡与动量传递，混合流体从混合室出来进入扩散器，压力升高。在扩散器出口处，混合流体的压力高于进入接受室引射流体的压力，从而实现了将引射流体的压力提升用于压力较高的场所。

喷射器的喷射系数 α 是喷射器带动的引射流体流量与工作流体流量的比值，它是表明喷射器工作性能的重要指标。

2 喷射器在凝汽机组中的应用

2.1 喷射器在机组中应用模型

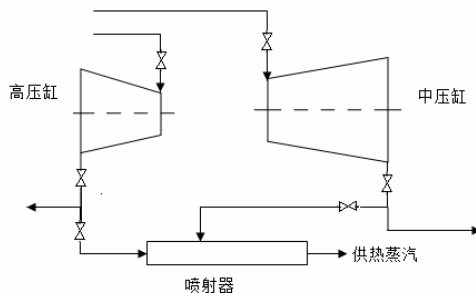


图 2 供热机组喷射器应用模型

某 600MW 凝汽式非调整抽汽再热机组对外供热，热用户要求蒸汽压力 1.25MPa，蒸汽流量 45t/h。

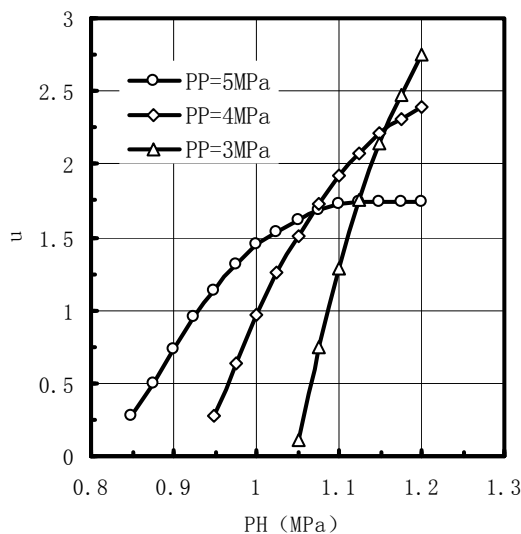
该机组使用喷射器以高压缸排汽抽汽作为工作蒸汽,以中压缸排汽抽汽作为引射蒸汽,排汽达到需求压力对外供热,喷射器应用模型简图如图 2 所示。

为了分析机组负荷变动对喷射器工作性能的影响,现取机组运行在 85% 工况下时的蒸汽参数作为喷射器的设计工况,此时 $PP=4\text{MPa}$, $PH=1.1\text{MPa}$, $TP=300^\circ\text{C}$, $TH=360^\circ\text{C}$,同时满足热用户压力和流量要求 $PC=1.25\text{MPa}$, $GC=45\text{t/h}$,根据气体动力函数设计方法^[4]可得此时喷射器喷射系数设计值为 $u=1.98$ 。在此工况下的喷射器主要结构尺寸为:喷嘴喉部直径 32mm,喷嘴出口直径 35mm,混合室直径 104mm。

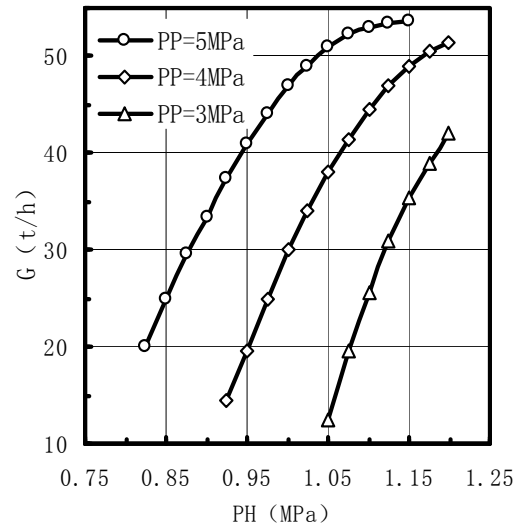
2.2 喷射器变工况特性曲线

通过气体动力函数法^[4-6]计算固定结构的喷射器在不同工况下的喷射系数,从而分析并探讨工况变化对喷射器工作性能的影响。由于热用户要求蒸汽压力不变,我们在这里只考虑工作蒸汽和引射蒸汽压力对喷射器喷射系数及流量的影响。

由图 3(a)中各曲线可以看出,工作蒸汽压力不变,随着引射蒸汽压力的提高,喷射系数 u 增大。随着 PH 值的升高, u 增加的幅度逐渐减小,当 PH 达到一定值以后,随着引射蒸汽压力的继续提高, u 值基本上不再增加,如图中 $PP=5\text{MPa}$ 曲线。由于工作蒸汽在喷嘴中达到临界流量,所以在工作蒸汽参数一定的情况下,工作蒸汽流量也确定,因此混合流体的流量与喷射系数有着相同的变化趋势,如图 3(b)所示。



(a) u 随 PH 变化曲线

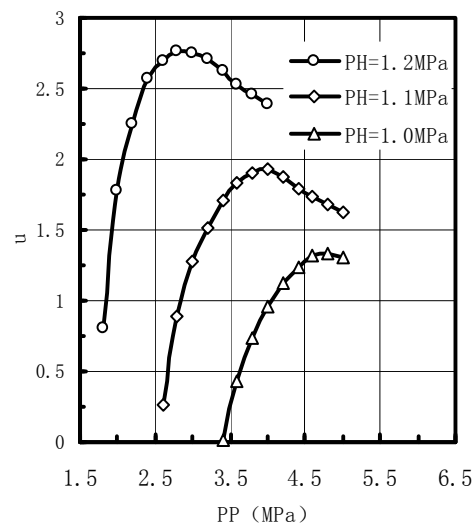


(b) G 随 PH 变化曲线

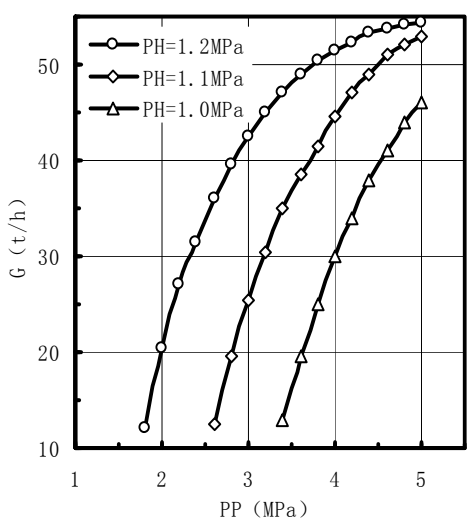
图 3 不同工作蒸汽压力下 PH 变化特性曲线

($PC=1.25\text{MPa}$, $TP=300^\circ\text{C}$, $TH=360^\circ\text{C}$)

由图 4 可知,提高工作蒸汽的压力,会导致喷射系数、混合流体流量的增大;当随着工作蒸汽压力超过一定值时(一般是设计工况),如果继续增加工作蒸汽的压力,反而会导致喷射系数的下降。此时由于工作蒸汽流量的增加,尽管喷射系数开始减小,混合蒸汽的流量也会有所增加,增加幅度会逐渐减小,最后混合蒸汽流量几乎不再变化,如图 4(b)中, $PH=1.2\text{MPa}$ 曲线。



(a) u 随 PP 变化曲线



(b) G 随 PP 变化曲线

图 4 不同引射蒸汽压力下 PP 变化特性曲线

(PC=1.25MPa, TP=300℃, TH=360℃)

由以上结果可以看出,在喷射器变工况运行中,当工作蒸汽压力小于设计值时,需要适当增加引射蒸汽压力;或者在引射蒸汽压力小于设计值时,适当增加工作蒸汽的压力,才能同时满足混合流体压力和流量的需求。

2.3 喷射系数随机组负荷变动特性

机组负荷变动会引起抽汽口压力同比例变化,可以计算出以机组不同负荷时的蒸汽参数为设计工况的喷射器相关结构尺寸与喷射系数设计值,如表 1 所示(忽略机组负荷变动时抽气口温度变化 TP=300℃, TH=360℃, PC=1.25MPa, GC=45t/h)。

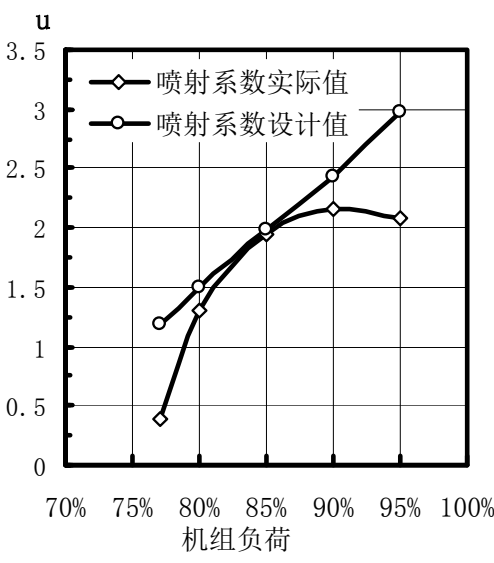
表 1 不同机组负荷下设计的喷射器结构尺寸与喷射系数

机组 负荷	PP(MPa)	PH(MPa)	喷嘴喉部 直径/mm	喷嘴出口 直径/mm	混合室喉部 直径/mm	喷射系数 设计值
95%	4.47	1.23	25	28	98	2.971
90%	4.235	1.165	28	31	101	2.424
85%	4	1.1	32	35	104	1.98
80%	3.765	1.035	36	39	106	1.5
77%	3.624	0.996	39	43	107	1.19

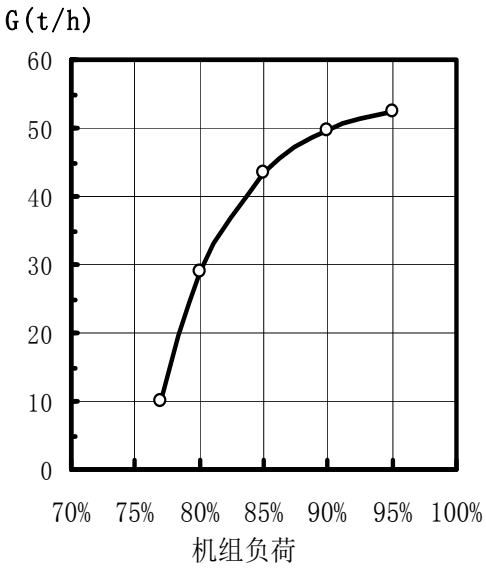
由表中数据可以看出,随着蒸汽参数的提高,喷射系数设计值随之增大,喷射器的主要结构尺寸随之减小。对于特定的喷射器,当机组负荷变动时,由于结构尺寸的不可调节,从而会影响喷射器的工作性能。

以 85%负荷下设计的喷射器为例,计算出当机组负荷变动时喷射系数及流量变化如图 5 所示,图 5(a)中另加入了机组不同负荷下喷射器喷射系数的设计值作为比较,从而分析机组负荷变动对喷射器工作性能的影响。

由图可以看出,当机组工作在 85%负荷时,喷射器的喷射系数可以达到 1.95,低压部分蒸汽流量达到供热总流量的 65%以上,大大提高了蒸汽能量的利用效率,具有很好的经济性。随着机组负荷的降低,工作蒸汽与引射蒸汽压力同时降低,导致了 u 和 G 迅速下降,不能满足热用户的蒸汽需求。



(a) u 随机组负荷的变动曲线



(b) G 随机组负荷的变动曲线

图 5 u 和 G 随机组负荷变动曲线

当机组运行在 90% 负荷左右, u 值有所增加, 可以达到 2.15, 但是小于该工况下的设计值。随着负荷的继续提升, u 值开始下降, 远远小于该工况下的设计值, 而 G 值随着工作蒸汽流量的增加而有所增加。压力匹配器通过利用针型阀减小喷嘴喉部面积, 来减少高压蒸汽的流量, 从而减低 G 值, 满足供热需求。但是针型阀仅仅改变了喷嘴喉部面积, 而不能改变喷嘴出口面积以及混合室喉部面积, 从而导致喷射器的喷射系数远不能达到该工况下的设计值, 降低了高压蒸汽能量的有效利用效率, 而且喷射器实际运行负荷与设计符合偏离越多, 蒸汽能量有效利用率越低。

3 结论

(1) 喷射器结构简单, 操作维修方便, 费用低廉, 但是没有调节部件, 动态调节性能差。随着工作蒸汽和引射蒸汽压力的降低, 喷射器的喷射系数和流量急速下降。喷射器在变工况运行中, 当工作蒸汽压力小于设计值时, 需要适当增加引射蒸汽压力; 或者在引射蒸汽压力小于设计值时, 适当增加工作蒸汽的压力, 才能同时满足混合流体压力和流量的需求。

(2) 在凝汽式非调整抽汽供热系统中喷射器进行蒸汽压力匹配, 当机组在喷射器设计负荷下运行时, 具有良好的经济性。但是这种方式对机组负荷变动时的适应性较差, 机组负荷降低时, 喷射器喷

射系数和供热蒸汽流量会急剧下降, 从而无法满足热用户的需求; 当负荷高于设计负荷时, 在小范围内(5%-7% 负荷), 喷射系数和流量有所增加。随着负荷继续升高, 蒸汽流量过大, 而且喷射系数开始下降, 虽然采用针型阀可以满足高负荷时供热流量需求, 但是高压蒸汽能量利用率降低, 造成运行经济性下降, 运行负荷与设计符合偏离越多, 蒸汽能量利用率越低。所以在机组实际运行过程中, 使用喷射器抽汽供热存在很大局限性。

参考文献:

- [1] 顾玉新. 压力匹配器在供热系统中的应用[J]. 发电设备, 2005, 19(5).
- [2] 王汝武. 大型凝汽机组改造成供热机组的最佳途径[J]. 节能与环保, 2009(6).
- [3] 徐海涛. 蒸汽喷射器的理论及数值研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2003.
- [4] [苏]索科洛夫, E 51, 津格尔 HM. 喷射器[M]. 北京: 北京科学出版社, 1977. 48-71.
- [5] 季建刚, 黎立新, 王如竹. 蒸汽喷射器压缩器的变工况特性分析[J]. 化学工程, 2007, 35(2): 68-71.
- [6] 韦红旗. 气体喷射压缩机变工况特性的理论研究[J]. 流体机械, 2004, 32(5).