

直燃型溴化锂吸收式冷水机组变冷却水流量的性能探讨

直燃机冷却水系统耗能占系统总能耗的 60% 以上，而部分负荷时温差仅为 1°C – 2°C ，从理论上分析了冷却水变流量运行的可行性，指出冷却水变流量运行可降低溶液结晶和制冷剂水受污染的可能性，机组通过的能量控制系统的改进不会造成燃烧量的增加，冷却水变流量运行具有显著的节能效果。

0 引言

目前空调耗电已占据我国电力负荷特别是高峰负荷的较大比重，北京市 2004 年夏季高峰期空调用电负荷约为 380 万千瓦，约占北京市用电负荷的 40%。而直燃型溴化锂吸收式冷温水机组以燃气、燃油为主要能源，具有燃烧效率高，对大气污染小，可对城市能源进行季节平衡，减少电耗。另外，还具有制冷、采暖供热（亦可供应生活热水）兼用，一机多功能，体积小等优点而得以广泛应用。

1 直燃机冷却水的运行能耗

直燃型溴化锂吸收式冷温水机组是以热能为动力，机组的排热负荷较大，因为制冷剂蒸汽的冷凝和吸收过程，均需冷却，因此其冷却水量要比常规电制冷式机组要大，所配用的冷却水泵电动机功率也就响应增大。图 1 为济南市办公楼冷冻站内直燃机、冷却塔风机、冷却水泵、冷媒水泵的全年电耗比例，从图中可看出，冷却水泵耗能超过了系统总能耗的 60%，而目前冷却水泵的设计是按最大负荷设计，并附加一定的安全系数，实际运行中大多为定流量运行，水泵耗电量几乎常年不变，冷却水普遍存在“大流量小温差”的问题，造成能源的浪费，给城市的供配电系统带来了沉重的压力。

美国空调制冷协会标准 ARI880-56 给出的空调负荷全年分布数据显示，空调系统 90% 的时间是在 75% 及以下负荷下运行，减少冷却水泵的能耗最有效的是采用变频控制系统，由于水泵的耗功率与水流量的三次方成正比。因此，采用变频控制的冷却水系统理论上具有很大的节能空间，该系统的推广对缓解我国电力瓶颈制约具有重要意义。

2 直燃机冷却水变流量运行的可行性分析

图 2 为某冷冻站 8 月份 3 号、6 号、11 号、18 号、25 号、27 号、31 号七天内冷却水供回水温差分布（时间为上午 8:00—下午 17:00），从图中可看出，即使是最热月，冷却水回水温度也基本集中在 1.0°C — 2.2°C ，远远小于设计温差 5°C 。

目前的直燃型溴化锂冷温水机组已具备比较完善的自动控制系统，可以根据冷温水出入口温度的变化，精确控制燃烧量和溶液的循环量，随外界负荷的变化实现机组在 30%–100% 负荷范围内调节，这就为实现冷却水泵的变水量运行提供了基本条件。实际工程中，冷却水泵变频运行的流量下限主要受冷水机组的制约，不能下降太多，由于机组中的压差或流量保护（一般为压差保护），流量下限被限制在设计流量的 70%–75% 之间，因而冷却水的流量变化不能突破这一限制。

2.1 冷却水变流量运行对机组的影响分析

目前，人们对冷却水变频后流量减小出于以下几点担心：1、流量减小会造成制冷量的减小，从而影响制冷机的制冷效果。2、冷却水流量减小会造成冷凝温度升高，传热量减小，从而造成燃烧量增大，从而大量抵消冷却水变频后的节能。

对于第一点担心，在设计工况下，冷却水的进口温度为 32°C ，温差为 5°C ，当其他条件不变时，冷却水流量的减小的确会造成吸收器吸收能力的下降，制冷量会降低，文献 2 甚至对冷却水采取不变流量的看法，很多直燃机样本中列出了冷却水流量变化对制冷量的影响曲线，文献 3 并指出在其他条件不变的情况下，冷却水量减少 10%，制冷量下降 3% 左右。但上述的变化仅是在设计工况下给出的，在部分负荷下，机组的能量控制机构会通过调整燃烧量和溶液循环泵的转速以适应负荷的变化。冷却水变流量运行也是适应负荷的变化而采取的一项技术措施，从一定程度上说，冷却水流量的变化是随负荷的变化而被动

改变流量大小的，而不是主动去影响制冷量的。

对于第二点担心，在设计工况下，冷凝器的传热面积没有余量，因而冷却水量的变化，对传热量的影响很大，但实际上，由于冷凝器的换热面积是按 100% 负荷设计的，所以在低负荷运行时，传热面积有余量，负荷越低，面积余量越大，冷却水的流量也是按设计工况计算的，由于空调负荷随季节和时间时时在发生变化，外界气温越低，空调负荷越小，而冷却塔的出水温度越低，所以大多数时间，冷却水相对来说是过流量的。

对于水在管内流动的水冷冷凝器，一般多呈旺盛紊流 ($Re > 10000$)，对于 0~50 的水来说，水侧放热系数可按式计算：

为在额定工况下水侧的对流换热系数，

假如负荷变为设计负荷的 80% 时，传热量：，为传热系数，，从中可看出，变小，的略有降低，为传热面积，为对数平均温差，

为冷凝温度，为冷凝器进口温度，为冷凝器出口温度，当冷却水泵处于最低频率运行（按 35Hz）时，冷却水的进出口温差增加与原恒流量时的温差成正比，如原温差为 1℃，冷却水泵处于最低频率运行时温差增加约为 0.43℃，如原温差为 2℃，温差增加约为 0.86℃，冷却水流量的减少可增加其在冷却塔中与空气接触的时间，因而冷却塔出水温度略有降低，但影响不大，可认为出水温度不变。冷却水先通过吸收器，再通过冷凝器，因而冷凝温度的升高也最多限制在 0.3℃ 左右，上式的是略有增加的，另外，传热面积余量很大，综合考虑，冷凝器的散热量不会减小很多，冷却水流量的降低不会影响冷凝器热量的传递。

从直燃机的能量控制方面看，溶液的循环量是靠高压发生器中的液位或蒸发器冷媒水出水温度控制变频泵的转速，从而达到调节溶液循环量的目的，而燃料的控制是靠冷媒水出水温度控制的，从热平衡的角度来看，冷却水带走的热量应等于蒸发器放出的热量和燃料燃烧放出的热量之和，蒸发器放出的热量取决于用户端的负荷，在理想的能量控制下，燃料燃烧放出的热量应与负荷成正比，而仅靠冷媒水出口温度的变化来控制燃烧量的能量方式存在很大的延迟，假如冷却水的过流量和低进口温度造成吸收器中稀溶液温度过低，当燃烧量得不到控制时，一方面来自高、低发生器的过高温度的浓溶液会通过高、低温换热器与过低温度的稀溶液发生热交换，造成过冷过热量的抵消；另一方面自动融晶装置同样会使低压发生器中浓度、温度过高的浓溶液通过融晶管和来自吸收器过冷的稀溶液发生混合，造成过冷过热量的抵消。应此，在燃料控制系统中，应增加高压发生器内温度为控制变量的副回路控制系统，构成串级控制系统，避免高压发生器温度过高，以免造成冷热量的抵消，增强系统的抗干扰能力，提高控制品质。

2.2 冷却水变流量运行时系统整体性能分析

冷却塔出水温度过低，一方面会造成吸收器中稀溶液温度过低，浓溶液浓度升高，两者均增加了浓溶液结晶的 [下一张 >](#) 同时还因进入发生器中稀溶液浓度过高及冷凝压力低，使发生器中溶液剧烈沸腾，溶液液滴极易通过发生器挡 [返回 <](#) 入冷凝器中，造成冷剂水污染。

另一方面，冷却水的过流量及低进口温度，造成吸收器中稀溶液温度过低，稀溶液进入发生器时温度的降低，造成额外的燃料消耗；冷凝器中冷凝压力的降低会造成发生剧烈，冷剂蒸汽会过热，过热热量被冷却水带走。所以，冷却水量和冷却水进水温度应保持在一合适的范围内，否则会造成能源的浪费和控制的不稳定。

3 结论

3.1 直燃机冷却水系统能耗占整个空调系统能耗的比例较其他系统形式大，而部分负荷下冷却水供回水温差较小，因而直燃机冷却水系统变流量运行具有很大的节能空间。

3.2 由于冷凝器的换热面积有很大的设计余量，因而部分负荷下运行时，冷却水流量的降低虽然使传热系数略有降低，但总体上不会影响冷凝器热量的散发。

3.3 系统整体性能的改进依赖于机组能量控制系统的可靠性和及时性，燃烧量的可靠控制可降低能源，避免冷热量的抵消，同时有助于冷却水变流量运行。

[无锡新天马制冷有限公司](#)

[二手制冷设备回收网](#)

[中国空调制冷设备论坛](#)