

一次泵变流量系统

Variable Primary Flow System
中央空调节能系统设计指南(二)



获取更多资料

蓝领星球

目 录

contents

前言	3
一. 常规的冷水系统形式	5
1.1 一次泵定流量系统	5
1.2 二次泵变流量系统	5
二. 一次泵变流量系统	8
2.1 末端两通阀	8
2.2 可变流量的冷水机组	8
2.3 旁通阀和流量传感器	12
2.4 一次泵变流量系统主要特点	12
三. 冷水机组变频与高效率冷水机组的区别	13
3.1 IPLV与NPLV	13
3.2 多台冷水机组系统	14
四. 冷水机组性能参数表	15
4.1 常规温差一次侧变流量冷水机组性能表	15
4.2 大温差一次侧变流量冷水机组性能表	15

获取更多资料 微信: 13810101010

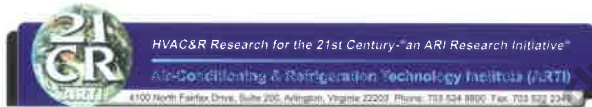
前言

通常来说,空调系统是按照满负荷设计的,当负荷变化时,虽然冷水机组可以根据负荷调节相应的冷量输出,但是常规冷水系统在冷水机组的蒸发器侧的流量配置是固定的,定流量的冷冻水泵能耗没有跟随主机的部分负荷运行而变化水量。也没跟着冷水机组减载。

近年来在电子及自控技术的辅助下,冷水机组的制造技术得到有效提高,尤其是机组对负荷变化的响应时间大大缩短。先进的冷水机组可以在极大的范围内变流量运行(离心式变流量冷水机组25%~125%,螺杆式变流量冷水机组40%~125%,精确数据请参照制造商的ARI标准选型报告);同时,与通过供水温度来控制机组负荷一样,变蒸发侧水流量控制机组负

荷运行,同样能够保证出水温度在允许的偏差范围内正常运行。因此,当负荷变化时,可以使冷水机组的蒸发器侧流量随用户的需求而变化,从而节约蒸发器侧水泵的能耗。

在管路系统固定不变的前提下,变频水泵的效率特性和水系统的阻力特性接近,理论上水泵的能耗与流量成3次方的关系,系统的阻力随着部分负荷时流量的下降而下降[(水量1/水量2)²=水阻1/水阻2]。如果蒸发侧的流量允许随着负荷的变化而变化,那么蒸发侧的水泵就无需全年保持夏季设计日的满载流量,在部分负荷运行时段,水泵如冷水机组一样,部分负荷时流量减小(扬程也相应减少以配合系统阻力的下降),从而达到能耗降低的目的。



一次泵变流量系统相对于传统的二次泵系统

减少机房设备能耗3~8%
 减少初投资4~8%
 减少系统运行费用3~5%

Conclusion

In view of both the state-of-the-art review and parametric study results obtained in this project, it can be concluded that variable primary flow is a feasible and potentially beneficial approach to chilled water pumping system design. However, the magnitude of energy and economic benefits varies considerably with the application and is obtained at the cost of more complex and possibly less stable system control. The literature on effective application of variable primary flow is growing and should promote its appropriate and effective use in the future.

VARIABLE PRIMARY FLOW CHILLED WATER SYSTEMS: POTENTIAL BENEFITS AND APPLICATION ISSUES

William P. Bahnfleth, Ph.D., P.E. and Eric Peyer
 THE PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY
 Indoor Environment Center
 Department of Architectural Engineering

EXECUTIVE SUMMARY

The use of variable primary flow pumping (variable flow through chiller evaporators) in chilled water systems is increasing due to its perceived potential to reduce energy consumption and initial cost relative to more conventional pumping arrangements. Neither the conditions under which significant energy savings are realized nor the likely magnitude of savings are well documented. To characterize current thinking on the use of variable primary flow chilled water systems, literature review, surveys of designers, owners, and chiller manufacturers, and additional correspondence were synthesized into a composite portrait of prevailing practices and attitudes. To quantify the energy use and economic benefits of variable primary flow, an extensive parametric simulation study was conducted that compared variable primary flow system energy use with that of other common system types. System types included in the study were constant flow/primary-only, constant primary flow/variable secondary flow, and primary/secondary with a check valve installed in the decoupler. Parameters varied included load type, number of chillers in the central plant, temperature difference vs. part load characteristics, and climate.

ARI 关于VPF的论文

由于具备变流量能力的冷水机组的出现、变频器的普及、冷水系统群控技术的发展，使得一次泵变流量系统受到越来越多的关注与应用，技术日趋成熟。利用系统分析软件System Analyzer可以方便地分析采用一次泵变流量系统相比常规的一次泵定流量系统的节能优势。

为了理解一次泵变流量系统在运行上低能耗的特点，我们选择一个2400冷吨（8439kW）的酒店空调系统来分析。假定项目地点位于上海，全年空调运行时间为4月至11月，共计8个月。

方案1为常规一次泵定流量系统，冷水侧7-12℃，冷却水侧32-37℃，其配置如下：

冷水机组：三台800冷吨（2813kW）离心机，效率为0.59 kW/Ton或COP为5.96

冷水泵：四台（三用一备），单台流量为156 l/s，扬程320kPa，功率75 kW

冷却水泵：四台（三用一备），单台流量为179 l/s，扬程280kPa，功率75 kW

冷却塔：七台，每台功率为22 kW（采用某厂商CTI认证15365型号）

方案2为一次泵变流量系统，冷水侧7-12℃，冷却水侧32-37℃，其配置如下：

冷水机组：三台800冷吨（2813kW）离心机，效率为0.59 kW/Ton或COP为5.96

冷水泵：四台（三用一备），单台流量为156 l/s，扬程320kPa，功率75 kW

冷却水泵：四台（三用一备），单台流量为179 l/s，扬程280kPa，功率75 kW

冷却塔：七台，每台功率为22 kW（采用某厂商CTI认证15365型号）

两个方案中水泵、冷却塔的配置一样，只是方案2的蒸发侧采用由末端压差控制的变流量水泵和相应的机房自控系统。

一次泵定流量与一次泵变流量机房设备年能耗比较



可以采用System Analyzer 进行系统全年运行模拟分析，计算全年主机、水泵和冷却塔的综合运行能耗。在本案例中，采用一次泵变流量系统后，整个冷水机房全年节电395,633kWh，比常规的一次泵定流量系统节约5.7%。

一、常规的冷水系统形式

常规设计中，要求冷水机组蒸发器侧定水流量运行，与之相对应的冷水系统为：**一次泵定流量系统和二次泵变流量系统。**

实现，流量基本维持稳定。同时，冷水机组蒸发器进出水温差的减少使机组降载，当其电流降到设定的关机电流时，如当两台等量冷水机组运行电流相当于**45%的满载电流时**，可以关掉其中一台。

1.1 一次泵定流量系统

一次泵定流量系统（如图1-1所示）是以往应用最广泛的系统形式。过去冷水机组生产商要求冷水机组蒸发器的冷水流量维持不变，使蒸发器不会发生流量的突然减少，以确保不会因为压缩机卸载不及时而发生蒸发器结冰。一次泵定流量系统的设置要求主机与水泵一一对应。开机前先开冷冻水泵和冷却水泵，然后再开主机，保证通过主机的水流量和冷水机组的正常运行。

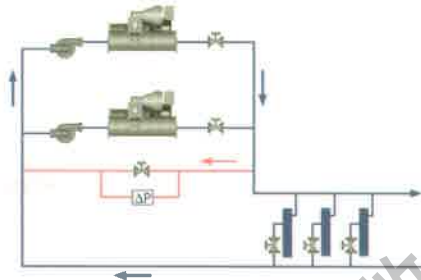


图1-1 一次泵定流量系统原理图

当室内负荷减少时，房间温度传感器要求末端的电动两通阀减小开度，末端需求的水量随之减少。此时，系统供回水间的压差有高于压差旁通控制器设定值的趋势，压差旁通阀会增加开度以维持供回水压差的设定值。机组的冷冻水生产量通过与机组相对应的水泵台数来调节，但末端所需流量往往不是水泵的额定流量，因此，一次泵定流量系统运行时要求保证机组冷冻水的生产量大于末端冷冻水的需求量，富余部分水量从压差控制的旁通管通过，再与系统的回水混合后再次进入主机蒸发器，所以进入蒸发器的回水温度是系统回水和旁通水的混合温度。冷水机组的卸载依据温差

一次泵定流量系统的特点如下：

- 末端的温度控制采用两通阀（开关量或模拟量均可）；
- 水泵与主机一一对应，水泵的设计流量为蒸发器的额定流量；
- 运行中，冷冻水生产侧的水量大于或等于冷冻水的需求侧的水量；
- 生产侧多余的水量经压差控制的旁通管与系统的回水混合再进入蒸发器；
- 旁通水流单向流动，从系统的供水管旁通到系统的回水管。

但是自从上世纪80年代以来，为了改变部分负荷下冷冻水泵定流量不降载的状况，二次泵系统渐渐被采用。

1.2 二次泵变流量系统

在冷水机组蒸发侧流量恒定的前提下，可以把传统的一次泵分解为两级，如图1-2-1所示。

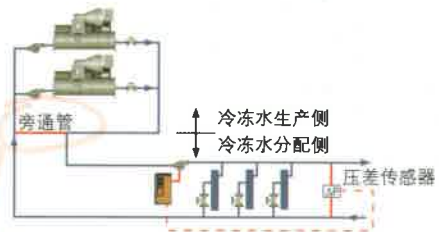


图1-2-1 二次泵变流量系统原理图

二次泵变流量系统的特点如下：

- 末端的温度控制采用两通阀（开关量或/和模拟量）；
- 水泵与主机一一对应，水泵的设计流量为蒸发器的额定流量；
- 运行中，冷冻水生产侧的水量大于或等于冷冻水的需求侧的水量；
- 生产侧多余的水量经旁通管与系统的回水混合再进入蒸发器；
- 旁通管上无阀门控制，以平衡冷冻水的生产量与末端冷冻水的需求量。旁通管为双向流，当冷冻水的生产量大于系统需求时，从系统的供水管流到系统的回水管；反之，当冷冻水的生产量小于系统需求时，旁通管内水的流向从回水管流向供水管；
- 一次泵循环从机组蒸发器入口经由蒸发器到旁通管路，再到蒸发器入口；
- 二次泵用来克服从旁通管到末端，再到旁通管的用戶侧水环路阻力；
- 低温差综合症（详见1.2.2章节）。

二次泵变流量系统中二次泵是变流量的，在空调系统处于部分负荷时，能根据负荷要求（压差信号）提供相应的冷冻水量，以节约二次泵的能耗。一次泵与相对应的冷水机组联锁启停，通过启停一次泵与相应冷水机组来调节冷水生产环路的水流量。

1.2.1 加/减冷冻机

为了维持设定的供水温度，要求旁通管内的水流总是从供水侧到回水侧或者是零，也就是要保证冷冻

水的供大于求，否则系统的回水会补充到供水侧，导致供水温度上升而偏离设计温度。

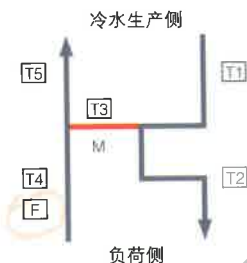


图1-2-2 温度传感器与流量传感器的设置

运行控制过程中可在T4处设一个流量传感器F，用以计算旁通流量M。

如果系统中配置了特灵的BCU楼宇控制器，则不需要设置冷冻水生产侧的温度传感器T1和T5，因为BCU可以从主机控制器上直接获得这两组数据。

a) 加机时水流方向的判断

$$T_2 > T_1$$

当冷冻水使用侧的供水温度高于主机的冷冻水温度时，表明系统处于冷冻水供应小于冷冻水的需求的状态，T2是冷冻水与回水的混合，此时需要加机。

b) 减机时水流方向和水流量的判断

$$\text{热平衡: } F \times T_4 + M \times T_3 = (F + M) \times T_5$$

$$\therefore M = F \times (T_4 - T_5) / (T_5 - T_3)$$

M大于110%蒸发器侧水流量时，表明系统可以减少一台主机运行。

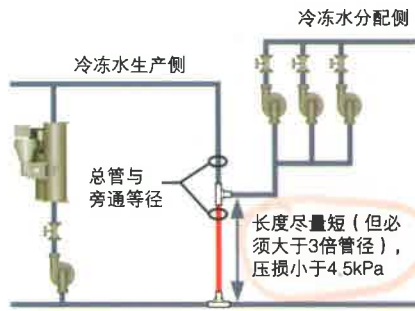


图1-2-3 二次泵变流量系统原理图

设计中，旁通管要求与总管的管径相同，并尽量减少旁通管长度（但保证大于3倍管径），最大阻力为4.5kPa，流速低于1.5m/s。由于系统的冷冻水生产与分配都涉及旁通，因此不建议旁通管上设置任何形式的阀门或孔板，以确保控制逻辑。

二次泵变流量系统实现了二次侧水泵按照需求供给水量，但在一次侧还是采用冷水机组和水泵一一对应的额定流量供给。和一次泵定流量系统相比，二次侧的能耗降低了，但是相应的设备造价会增加、所需机房面积增加、系统控制较复杂、对机房操作人员的要求也较高。

1.2.2 低温差综合症

所谓低温差综合症是指冷水机组在运行过程中，进出蒸发器的冷水温差始终低于设计温差，使得冷水机组不能满载运行，从而导致系统被迫投入运行更多的机组和水泵。

当末端换热不充分时，会出现回水温度低于设计温度的现象，表冷器的换热温差达不到设计温差，为满足末端冷量需求就需要提供更多的水量。冷量计算的基本公式为 $Q = mC_p\Delta T$ 。假定比热 C_p 为常数，为保持冷量 Q 不变，既可以提高水的流量 m 并减小温差 ΔT ，又可以降低水的流量且增大温差。不难想象，低温差运行必须靠多开冷冻水泵和相应的冷水机组来满足冷量的需求。

对于业主来讲，低温差综合症使得运行费用大大上升。其产生的主要原因是两个因素：

- 末端表冷器选择排数不足；
- 运行过程中表冷器脏堵（表冷器的空气侧）。

低温差综合症所导致的机组不能满载的问题可以在一次泵变流量系统中被克服。



烟台农业大学

二、一次泵变流量系统

一次泵变流量系统中选择可变量运行的冷水机组，当机组运行时，蒸发器的供回水温差基本恒定，蒸发侧流量随负荷侧流量的变化而改变，从而达到“按需供应”，并使得降低水泵在部分负荷时的供水量成为可能，最终降低系统运行能耗。末端冷量由冷冻水量调配，冷水机组生产的冷量由流经蒸发器的水流量和相对固定的温差决定。

其系统形式类似于一次泵定流量系统，增加了一套自控系统，同时定流量水泵变为变流量水泵，按照一定的控制逻辑运行，如图2所示。

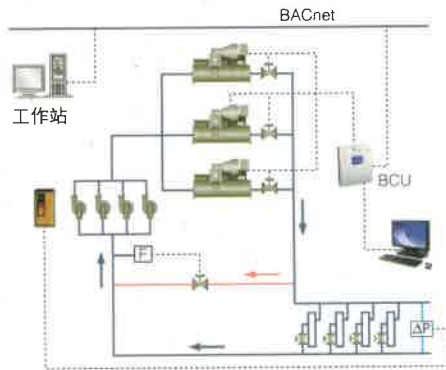


图2 一次泵变流量系统原理图

一次泵变流量系统的首要问题是掌握冷水机组及其系统控制的特性，理解下列概念有助于系统的控制设计和编程。

2.1 末端两通阀

与二次泵变流量系统相同，一次泵变流量系统的末端采用模拟量或开关量的两通阀控制，房间温度传感器控制两通阀的开度。当房间的负荷增加时，室内温度高于房间的设定温度，两通阀开大，供回水间压差随之减小；反之，当房间的负荷减少时，室内温度低于房间的设定温度，两通阀关小，供回水间压差随之增大。

利用压差传感器控制水泵的流量，保证末端的所需的水量（冷量），同时维持末端的压差设定值。在二次泵系统中，该压差控制的是冷冻水分配侧的冷冻水泵变频器，而在一次泵变流量系统中，压差信号直接控制系统中仅有的一组变流量水泵。无疑与变流量水泵相对应的是可变量流量的冷水机组。

2.2 可变量流量的冷水机组

常规冷水机组蒸发器水流量变化必然引起冷水机组的出水温度波动，导致冷水机组运行不稳定，甚至会使蒸发器结冰。

特灵公司经过数十年的研究开发与实践检验，最新推出的Centra Vao三级离心式冷水机组，配以CH530控制器结合系统控制技术，已经能够很好地解决这一问题，真正实现变流量运行。

2.2.1 机组允许的流量变化率

当冷水机组运行接近满载而负荷侧的冷量需求还在增加时（通常达到95%的满载电流），系统应再投入一台冷水机组来满足冷量的需求。在一次泵变流量系统中水泵的流量只受末端供回水管的压差控制，和一次泵定流量系统以及二次泵变流量系统不一样，其冷冻水泵和冷水机组之间没有连锁控制，因此，新投入的冷水机组的水量是从原来已运行的冷水机组分流出来的，此时没有水泵跟进投入。假设原来有一台机组在运行，且新投入的冷水机组容量和已在运行的冷水机组容量相等，将有一半的水量会被分流到新投入的冷水机组上。

在一次泵变流量系统中要求水泵并联，水泵出水通过公共分集水器后再分流到冷水机组上，因此在每台冷水机组的下游都要求设置一个开关量的电动两通阀，如图2所示。电动两通阀的行程可以60秒、90秒或

120秒等，最常见的是60秒。沿用上文的例子，如果采用60秒行程的电动两通阀，则原来运行的机组一分钟内的流量变化是50%，在这系统中，要求机组蒸发侧的允许流量变化率为每分钟50%。当两台机组运行接近满载，第三台机组投入时已经运行的两台机组的流量变化是每分钟33%，详见表2-2-1阀门开启过程中机组的流量变化。设计师也可选用允许流量变化率为每分钟30%的冷水机组，只要电动两通阀的行程足够慢，如120秒，使得在机器的启停过程中单位时间所承受的流量变化相对较小。

表2-2-1 流量减少(变化)百分比

运行的冷水机组台数	1	2	3	4	5
阀门开启时每分钟流量减少率	50%	33%	25%	20%	17%

流量减少% = $1 - \frac{\text{运行着的冷水机组台数}}{\text{运行着的冷水机组台数} + 1}$

1台冷冻机开启到2台冷冻机开启引起的流量变化(阀门行程60秒)：

- 具有2%/分钟可允许流量变化率的机组需要30分钟达到稳定；
- 具有10%/分钟可允许流量变化率的机组需要5分钟达到稳定；

- 具有30%/分钟可允许流量变化率的机组只要1.6分钟就能够达到稳定。

2.2.2 机组允许的流量变化范围

机组允许的最低流量和最高流量之间是该机组允许的流量变化范围。

根据以前的设计原则，蒸发侧的水流速度在3英尺/分钟到11英尺/分钟之间(0.914米/秒到3.35米/秒)。通常来讲，为了提高蒸发器的换热效果，流速越高越好；而从减少蒸发器震动和管壁磨损的角度，流速越低越好。近年来通过研究和试验，一些生产商已经可以将流速提升至1.5英尺/分钟(4.57米/秒)，这推动了一次泵变流量系统的发展。允许的最低流量越小，系统节能的潜力越大；蒸发器的回程越多，越有可能降低最低流量。

表2-2-2 蒸发器水侧的最低/高流速

满液式或降液式蒸发器	水的流速 英尺/秒 (米/秒)	
	最小值	最大值
传统设计	3.0 (0.92)	11-12 (3.3-3.6)
新的设计	标准管束	1.5 (0.46)
	高性能管束	2.0 (0.61)

典型的ARI冷水机组选型报告中有最低流量的信息，如表2-2-3。

表2-2-3 冷水机组ARI选型报告(示例)

Evaporator Information

Evap leaving temp	5.00 °C
Evap flow rate(蒸发器额定流量)	93.0 L/s
Evap entering temp	14.00 °C
Evap flow capacity	0.0264 L/s/kW
Evap water box type	non-marine
Evap pressure drop	18.1 kPa
Evap fouling factor	0.017610 m ² - °C/kW
Evap fluid type	water
Evap fluid concentration	N/A
Evap water box pressure	150 psig
Evap min flow rate(蒸发器最小流量)	35.5330L/s

Condenser Information

Cond entering temp	32.00 °C
Cond flow rate	101.8 L/s
Cond leaving temp	42.00 °C
Cond flow/capacity	0.0289 L/s/kW
Cond water box type	non-marine
Cond pressure drop	19.9 kPa
Cond fouling factor	0.044025 m ² - °C/kW
Cond fluid type	water
Cond fluid concentration	N/A
Cond water box pressure	150 psig cond. water pressure

Electrical Information

Motor LRA	6798 A	Min circuit ampacity	1483 A
Primary RLA	1142.2 A	Max over current protection	2500 A

在一次泵变流量系统中，除单一机组的一次泵变流量系统外，多机并联系统推荐的冷水机组最低流量在额定流量的50%以下，即满足： $\text{额定流量} / \text{最低流量} > 2$ 。在表2-2-3数据中，最低流量为35.533L/s，额定流量为93.0L/s， $\text{额定流量} / \text{最低流量} = 93 / 35.533 = 2.62 > 2$ ，符合要求。这样设计的主要原因是为了避免在两台或以上的机组运行时旁通阀动作，如果最低流量大于额定流量的50%时，会给自控的逻辑设计增加难度。

因此冷水机组的流量变化范围和每分钟允许流量变化率两者是衡量冷水机组性能的指标。机组的流量变化范围越大，冷水机组节能效果越明显。机组的每分钟允许流量变化率越大，变流量时出水温度波动越小。推荐机组能承受每分钟30-50%的流量变化率。

2.2.3 前馈功能和流量补偿

冷水机组每分钟允许流量变化率与机组控制器的特性相关，可变流量冷水机组的控制器不仅具有常规的反馈控制功能，还具有更为先进的前馈控制功能。机载控制器不但可以根据冷水机组出水温度变化调节机组负荷，还能根据冷水机组进水温度变化来预测空调负荷变化对出水温度的影响。因此使用该控制器的冷水机组允许较大的流量变化率，可达到每分钟30%。该控制器同时还能扩展蒸发器水侧的压差补偿，这样离心式冷水机组的允许流量变化率可以进一步加大到每分钟50%。流量补偿控制可在大流量时控制水温波动，在最小流量时精确控制水温，特灵的CH530机载控制器就具备此功能。



图2-2-1 冷水机组的流量补偿

通过蒸发器的水流量短时间内减少一半后，常规冷水机组的出水温度和回水温度会在相当长一段时间内失控（见图2-2-2，温度偏离时间长达30分钟），而配备带有前馈和流量补偿的控制器的冷水机组能快速稳定出水温度（见图2-2-3）。

2.2.4 变流量的机组效率

冷水机组在变流量条件下的能耗趋势也是衡量机组性能的重要指标之一。先进的变流量冷水机组在部分负荷，蒸发器变流量工况下与定流量相比，COP变化极小。大多数业主都希望设计实施一个多机并联的一次泵变流量系统，这样机组的运行权重通常保持在50%以上，其COP变化会更小。以500冷吨（1758kW）机组为例，对定流量与变流量能耗的比较，如图2-2-4所示。

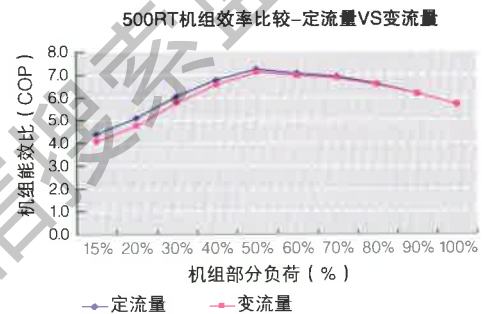


图2-2-4 无前馈控制和变流量补偿功能的机组

2.3 旁通阀和流量传感器

由于冷水机组蒸发侧变流量的范围不是从0%-100%，因此当用户侧的流量低于冷水机组最低允许流量时，需要旁通部分水流量，保证通过蒸发器的水流量不低于机组的最低允许流量。在冷冻水回水干管上安装流量传感器可测得水系统的总流量，用来控制旁通阀。一旦系统只剩最后一台机组运行时，当负荷侧的冷量需求继续下降直到该机组的预定最低流量时，旁通阀动作，确保旁通流量加上负荷侧需求侧的流量

不低于冷水机组设定的最小流量。

由于水侧压差传感器比精准的流量传感器价格低，且压差和流量有着——对应的关系，如图2-3所示，因此也可以用蒸发器侧的压差传感器来代替流量传感器，利用压差推算蒸发器的流量。

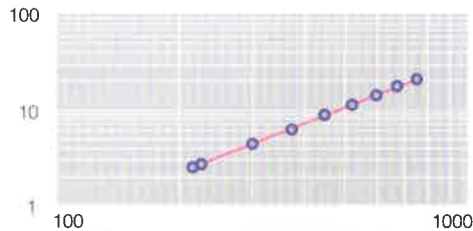


图2-3 典型的蒸发器流量与阻力的对应关系

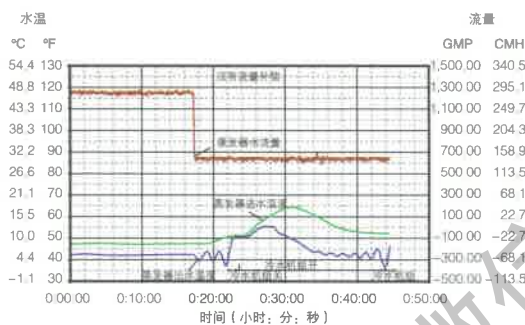


图2-2-2 无前馈控制和变流量补偿功能的机组

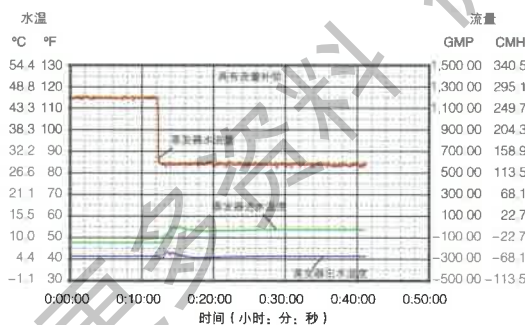


图2-2-3 有前馈控制和变流量补偿功能的机组

2.3.1 变频水泵运行

水泵数量可以不同于冷水机组数量，两者的启停控制相互独立，变频水泵流量由典型干管末端压差来控制，以满足负荷侧流量的需求；而冷水机组的启停则由机组运行电流来控制，以满足负荷侧冷量的需求。

变频水泵的变频范围通常会设置一个下限（如：15Hz），低于该频率运行会引起马达散热不畅甚至发生烧坏马达等现象。不同的电机会有不同的最低频率，具体请咨询水泵供应商。

下图显示的是水泵效率与变频变流的关系。在变频变流过程中，水泵的效率变化不大，和系统的阻力特性相对吻合。

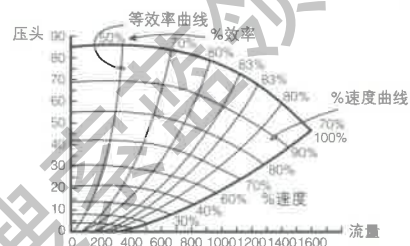


图2-3-1 可变速的水泵效率

2.3.2 冷水机组的加减机

冷水机组的加减机控制逻辑有多种选择，相对可靠、节能的方式是以压缩机运行电流RLA与额定电流的比值为依据。

加机时，若机组运行电流与额定电流的百分比大于设定值（如90%），并且持续10~15分钟，则开启另一台机组。这种控制方式的好处是供水温度的控制精度高，在系统供水温度尚未偏离设定温度时，已经开始加机了。

同样地，减机时，每台正在运转的机组的运行电流与额定电流的百分比之和除以运行机组台数减1，如果得到的值小于设定值（如80%），那么某一台机组就会关闭。

$$\% \text{设定值} \geq \frac{\sum \% \text{RLA (运行机组)}}{\text{运行机组台数} - 1}$$

例如,3台正在运转的机组运行电流分别为其额定电流的50%,则可以关闭一台机组。

$$80\% \geq \frac{50\%+50\%+50\%}{3-1}$$
$$80\% \geq 75\%$$

当冷水机组加减机时,若蒸发器的规格不同,则需要注意不同机组蒸发器的压降对流量分配的影响。

2.4 一次泵变流量系统主要特点

- 冷水机组和水泵的台数不必一一对应,两者启停可分别独立控制;
- 与二次泵变流量系统相比,一次泵变流量系统省去了其中的一次泵(定速水泵),节省了初投资和机房面积;
- 能够根据末端负荷的变化,调节负荷侧和冷水机组蒸发器侧的流量,从而最大限度地降低变频水泵的能耗;
- 能够在冷却水温度低于设计工况时,利用超过额定的水量来获得超额冷量。冷水机组是按照设计工况来选型的,当冷却水进水温度低于设计工况

时,冷水机组满负荷运行的制冷量通常大于其设计冷量(额定冷量)。由于一次泵变流量系统的冷水机组和水泵台数不是一一对应,因此通过加大冷水机组蒸发器的流量,可以充分利用冷水机组的超额冷量,在某些负荷段时不必开启更多台冷水机组和相应的冷却水泵,从而减少冷水机组和冷却水泵的全年运行时数和能耗;

- 消除一次泵定流量和二次泵系统的“低温差综合症”,确保冷水机组高效地运行;
- 空调冷水系统从一次泵定流量系统、二次泵变流量系统到一次泵变流量系统的演变,是从水泵不节能、负荷侧水泵节能,到全程水泵节能的发展过程,也是系统配置从简单到复杂、再回归简单的发展过程。推广一次泵变流量系统并不排斥二次泵系统,比如对于晚间有较小负荷的基载空调,或是对于冷水机房供给多个单体建筑的应用,就可以考虑一次泵变流量结合二次泵变流量来进行;
- 一次泵变流量系统中,冷水机组的蒸发器流量允许变化范围和允许流量变化率是系统设计的首要问题,而冷水机组控制器对稳定出水温度起着关键性的作用。在相应的冷水机组群控时,主要关注旁通阀和流量传感器、变频水泵运行以及冷水机组的加减机。

三、冷水机组变频与高效率冷水机组的区别

经常有人会问，由于冷水机组的压缩机电机功率大于水泵的功率，是否可以用冷水机组变频来代替冷水侧的水泵变频？实际上这是两个不同的应用。当机房内只设有一台冷水机组、同时室外温度较低的时候，变频冷水机组会有较好的能效；反之对于设有多台冷水机组的系统，则可采用同等价格的高效率机组来取得更佳的系统运行能效。

变频冷水机组侧重的是机组的部分负荷效率，通常在25-75%的负荷段。而高效率机组则更注重机组在75-100%负荷段的能效。为了解冷水机组变频的应用，我们先对以下概念作简要的介绍。

3.1 IPLV与NPLV

1998年12月，美国ARI推出了新的冷水机组测评标准，用ARI Standard 550/590-1998来取代过去的ARI Standard 550-1992。其中规定了部分负荷效率IPLV / NPLV的具体计算公式：

表3-1-1 流量减少（变化）百分比

冷水机组部分负荷效率的计算公式	
COP,W/W EER,Btu/h/W	$IPLV \text{ or } NPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D$
kW/ton	$IPLV \text{ or } NPLV = \frac{0.01}{A} + \frac{0.42}{B} + \frac{0.45}{C} + \frac{0.12}{D}$
冷水机组负荷百分比	
	A at 100% B at 75% C at 50% D at 25% - at 0%

测评工况如下：

表3-1-2 I/NPLV的评价工况

IPLV评价工况					
水冷冷凝器					
进水温度 °F (°C)	85(29.4)	75(23.9)	65(18.3)	65(18.3)	65(18.3)
流量 gpm/ton (Lps/kW)	3.0(0.054)				
污垢系数 h-ft ² -°F/Btu (m ² -°C/W)	0.00025(0.000044)				
蒸发器					
离开蒸发器的温度 °F (°C)	44(6.7)	-	-	-	44(6.7)
流量 gpm/ton (Lps/kW)	2.4(0.043)	-	-	-	2.4(0.043)
污垢系数 h-ft ² -°F/Btu (m ² -°C/W)	0.0001(0.000018)				
NPLV评价工况					
水冷冷凝器					
进水温度 °F (°C)	根据设定	-	65(18.3)	65(18.3)	65(18.3)
流量 gpm/ton (Lps/kW)	根据设定				
污垢系数 h-ft ² -°F/Btu (m ² -°C/W)	根据设定				
蒸发器					
离开蒸发器的温度 °F (°C)	根据设定	-	-	-	-
流量 gpm/ton (Lps/kW)	根据设定	-	-	-	-
污垢系数 h-ft ² -°F/Btu (m ² -°C/W)	根据设定				

3.2 多台冷水机组机房

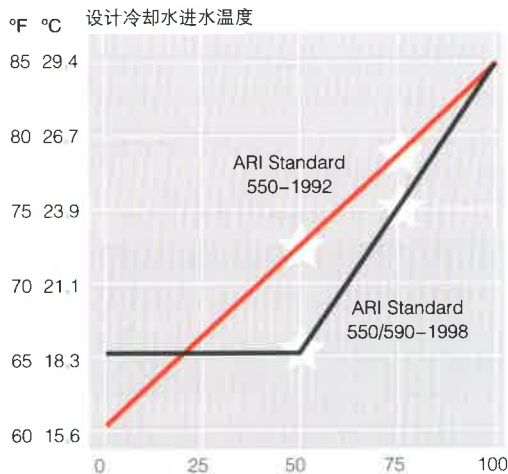


图3-2-1 I/NPLV 98版与92版之区别

根据现行的ARI Standard 550/590-1998标准，可以较方便地对只有单一机组的系统运行进行测评，而对于多台机组的系统进行能效评估时，应当根据当地的气象设计参数、建筑物的负荷特性、机组在各负荷段的运行时间，外气温度低时采用新风供冷的应用状况，以及辅助设备如水泵、冷却塔的能耗来进行综合评估。正如ARI Standard 550/590-1998中的D2.1条所述：“...a comprehensive analysis that reflects the actual weather data, building load characteristics, operational hours, economizer capabilities and energy drawn by auxiliaries such as pumps and cooling towers when calculating the chiller and system efficiency.”因此，多数冷水机房都会选用超过一台的机组数量，这时，权衡机房的运行效率不应该简单地用I/NPLV来判断，因为多台机组联合时，每台机组的部分负荷权重向满载靠拢，ARI Standard 550/590-1998 “individual chillers operating within multiple chiller systems are more heavily loaded than single chillers within single chiller systems.”

下图是一台700冷吨的高效离心机和一台同等冷量的变频离心机的部分负荷效率比较图，可以发现，当机组负荷高时，高效机组的效率高于变频机组，当机组负荷低，且冷却水温度相应降低时，变频机组的效率才比高效机组高。

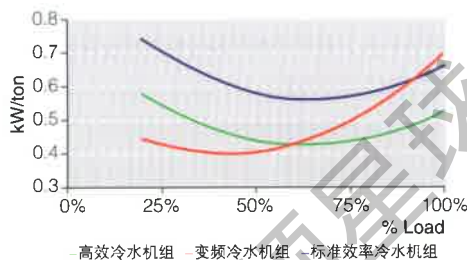


图3-2-2 冷水机组效率比较

多数冷水机房选择多台机组，在一个典型的2台500冷吨加一台300冷吨的机房，我们可以发现，在绝大部分负荷段内，运行机组的负荷段是在78%以上。因此，在多冷水机组的系统中，采用高效机组比变频冷水机组可以获得更佳的性能。

因此，在作系统设计和机组选择时，必须综合分

表3-2-1 冷水机组负荷权重分析

系统负荷 (RT)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
冷水机组负荷	130	260	390	520	650	780	910	1040	1170	1300
500RT% RT	off	off	78%	65%	51%	38%	25%	12%	0%	0%
500RT% RT	off	off	off	off	off	off	91%	80%	90%	100%
300RT% RT	off	off	off	off	off	off	off	45%	40%	45%
300RT% RT	43%	87%	off	65%	51%	38%	off	80%	90%	100%

注：系统包括2台500RT和1台300RT机组

析机组的满载效率和部分负荷效率，以用户价值最大化为目标。

四、冷水机组性能参数表

4.1 常规温差一次侧变流量冷水机组性能表

型号	制冷量 效率		蒸发器			冷凝器		重量		外形尺寸		
	Ton	kW/Ton	水量m³/h	最小流量m³/h	压降kPa	水量m³/h	压降kPa	运输重量kg	运行重量kg	长mm	宽mm	高mm
420-301-278-I050S-500-I050L-450	400	0.629	241	44.3	51	289	68	7659	8608	5045	2090	2627
420-337-283-I050S-550-I050L-500	450	0.643	271	48.7	53	325	70	7722	8743	5045	2090	2627
420-337-283-T050S-500-I050L-500	500	0.629	301	67.7	91	361	86	7884	8892	5045	2090	2627
565-379-288-I080S-630-I080S-710	500	0.618	332	55.5	60	396	41	10215	11472	4073	2435	3076
565-379-288-I080S-800-I080L-800	600	0.594	362	70.7	45	429	50	10887	12414	5045	2090	2741
565-433-302-I080S-800-I080L-800	650	0.616	392	70.7	52	467	59	10910	12438	5045	2090	2741
780-489-287-I080S-710-I080L-800	700	0.608	422	63.0	75	501	67	11101	12573	5221	2435	3044
780-548-293-I080S-800-I080L-710	750	0.611	452	70.7	68	538	96	11073	12547	5221	2435	3044
780-548-293-I080S-890-I080L-800	800	0.613	482	78.8	63	574	87	11232	12816	5221	2435	3044
780-548-293-T080S-800-I080L-800	850	0.595	512	109.1	100	608	98	11492	13066	5221	2435	3044
780-621-298-I142L-980-I142L-890	900	0.601	543	88.0	83	643	85	14950	17282	5287	2980	3217
780-621-298-I142L-1220-I142L-980	950	0.594	573	109.9	61	679	76	15273	17790	5287	2980	3217
1067-716-290-I142L-1080-I142L-1220	1000	0.583	603	99.0	81	713	56	15855	18466	5287	2980	3217
1067-716-290-I142L-1220-I142L-1220	1100	0.595	663	109.9	80	787	67	15953	18624	5287	2980	3217
1067-799-297-I142L-1420-I142L-1220	1200	0.599	723	127.9	71	860	80	16115	18954	5287	2980	3217
1067-892-310-I210L-1760-I210L-1610	1300	0.617	784	158.0	56	935	63	19245	22632	5307	3214	3514

备注:

- 1 本表配置仅为示例, 具体选型请联系特灵当地办事处, 获取符合ARI要求的型号报告。
- 2 本表格工况: 冷冻水进水温度12℃, 出水温度7℃, 冷却水进水温度32℃, 出水温度37℃。
- 3 上表标准水室承压1.0MPa, 冷冻水污垢系数0.0176m²·℃/kW, 冷却水污垢系数0.044m²·℃/kW。

4.2 大温差一次侧变流量冷水机组性能表

型号	制冷量 效率		蒸发器			冷凝器		重量		外形尺寸		
	Ton	kW/Ton	水量m³/h	最小流量m³/h	压降kPa	水量m³/h	压降kPa	运输重量kg	运行重量kg	长mm	宽mm	高mm
420-301-282-T080S-500-I080L-710	400	0.68	150	67.8	27.4	183	13.2	10384	10730	5221	2435	3076
670-379-285-T080S-580-I080L-560	450	0.66	169	76.8	27.4	204	31.4	10657	11841	4073	2435	3044
670-379-283-T080S-630-T080L-800	500	0.634	188	85.6	27.0	225	26.7	11618	13053	5221	2435	3044
670-379-287-T080S-710-T080S-710	550	0.628	207	96.4	26.2	248	38.4	11543	12981	5221	2435	3044
670-433-288-T080S-800-T080L-800	600	0.627	226	109.1	24.4	270	36.6	11809	13362	5221	2435	3044
780-433-287-I142L-1080-T142L-890	650	0.629	245	99.2	16.2	292	33.8	15002	17368	5287	2980	3217
780-489-288-T080S-800-T080L-800	700	0.631	264	109.1	32.1	316	47.8	11859	13413	5221	2435	3044
780-548-292-I142L-1420-I142L-1220	750	0.632	283	127.9	13.3	338	14.4	15381	18220	5287	2980	3217
780-548-293-I142L-1420-T142L-890	800	0.635	301	127.9	15.0	360	48.5	15341	17935	5287	2980	3217
1067-621-288-I142L-1420-T142L-1080	850	0.633	320	127.9	16.7	383	37.2	16430	19152	5287	2980	3217
1067-621-287-T142L-1220-T142L-1220	900	0.622	339	153.1	36.2	405	33.9	16979	19638	5287	2980	3217
1067-621-288-T142L-1420-T142L-1420	950	0.618	358	170.5	33.0	428	30.4	17408	20300	5287	2980	3217
1067-716-292-T142L-1420-T142L-1420	1000	0.627	377	170.5	36.2	451	33.3	17408	20300	5287	2980	3217
1067-716-293-T142L-1420-T142L-1420	1050	0.631	395	170.5	39.4	474	36.4	17408	20300	5287	2980	3217
1067-799-297-T142L-1420-T142L-1420	1100	0.640	414	170.5	42.8	497	39.5	17408	20300	5287	2980	3217
1067-799-300-T210L-1900-T210L-1900	1150	0.640	433	207.1	32.8	520	30.7	20579	24052	5307	3214	3514
1067-892-308-T210L-1900-T210L-1900	1200	0.656	452	207.1	35.4	544	33.2	20865	24338	5307	3214	3514

备注:

- 1 本表配置仅为示例, 具体选型请联系特灵当地办事处, 获取符合ARI要求的型号报告。
- 2 本表格工况: 冷冻水进水温度13℃, 出水温度5℃, 冷却水进水温度32℃, 出水温度40℃。
- 3 上表标准水室承压1.0MPa, 冷冻水污垢系数0.0176m²·℃/kW, 冷却水污垢系数0.044m²·℃/kW。

中国地区部分应用实例

项目名称	地点	机组设备
佛山新闻中心	佛山	3x900(CVHG)+1x600(CVHE)
肇庆电力调度	肇庆	2x450(CVHE)+150(RTHD)
顺德顺峰广场	顺德	2x380(RTHD)
普丽华科技三期	佛山	4x1200(CVHG)
中山富洲酒店	中山	2x227(RTHD)
竹苑商业中心	中山	4x350+2x150(RTHD)+RTWC160S
中山康怡特诊	中山	320+215(RTHD)
中山大信皇冠酒店	中山	3x350(RTHD)
山东威海贝尔卡特2期	威海	2x800(CVHE)
烟台农业大学	烟台	3x300(RTHD)
烟台日报社	烟台	3x395(RTHD)
大连腾飞软件园一期	大连	2x1000(CVHG)
天津津滨雅都	天津	2x600(CVHG)
沈阳大商集团	沈阳	3x650(CVHG)
天津一中心医院(东院)	天津	2x300(RTHD)
南通联亚药业有限公司一期	南京	2x1100(CVHG)+2x300(RTHD)
南通联亚药业有限公司二期	南京	2x300(RTHD)
无锡希捷	无锡	4x1067(CVHG)
沪士电子	昆山	3x670(CVHG)
汉阳科技	昆山	1x780(CVHG)+1x420(CVHE)+1xRTWC
北京大学人民医院	北京	3x420(CVHE)



大连腾飞软件园



天津津滨雅都



佛山普利华科技3期



www.trane.com

For more information, contact your local district office

Literature Order Number APP-APG007-ZH

Date February 2007

Supersedes New

Stocking location Shanghai

特灵公司产品不断改进求新，本文件数据如有变动，恕不另行通知。
欢迎垂询特灵当地办事处，获得本手册中所示产品的最新数据以及未列出的其它各类特灵产品的信息。