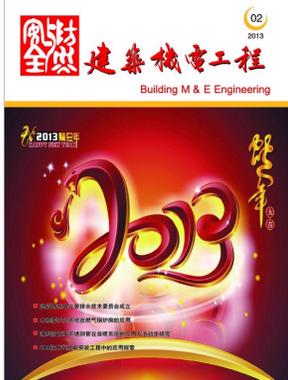


封面展示



2013 年第02期

www.bmeep.com.cn

编委会主任：柳晓川

编委副主任：毛文涛 闵永林 陈彪

编委会顾问：陈怀 陈振 程大 崔长 贺智 龙惟
问：德 明 章 起 修 定

方汝 李兴 鲁宏 潘德 瞿二 寿炜
清 林 深 琦 澜 炜
唐祝 王瑞 王元 温伯 吴大 吴祯
华 官 恺 银 金 东
吴成 肖睿 俞丽 张飞 张渭 赵姚
东 书 华 碧 方 同
赵济 郑大 诸建 周国 左亚
安 华 华 兴 洲

编委会委员：王 魏晓 杨 沈中 季俊 徐
瑞 峰 政 道 贤 梅
赵庆 花铁 陈正 程宏 方玉 冯旭
平 森 浩 伟 妹 东
归谈 郭筱 何 李国 邵民 王
纯 莹 焰 章 杰 健
王志 武 夏 徐 姚国 叶大
强 广 林 凤 樑 法
张海 周明
宇 潭

学术委员会：
主任：朱力平
副主任：邓伟志 周世宁 江欢成 储君浩
委员：吴志强 冷俐 林贤光 阮仪三 范伯
乃 廖光煊
薛林 孙金华 徐志胜 方路 花铁森 李建华
《建筑机电工程》编辑部

主编：花铁森
副主编：姜文源 陈众励 陈汝东
编辑：穆世桦
平面设计：金婷婷

主管单位：
上海世纪出版股份有限公司
科学技术出版社
出版单位：
《放在与安全》杂志社
总编：毛文涛
副主编：陈彪 王 璐 魏晓峰
支持单位：

综述文苑

变频离心式冷水机组的运行特性

文 / 叶盛 陈汝东

【摘要】与恒速离心式冷水机组相比，变频离心式冷水机组在实际应用中运行性能好，节能效果显著。在此基础上，本文分析了变频离心式冷水机组的性能特征，解释了如何使用变频离心式冷水机组，提出了以更有效的运行方式来提高变频离心式冷水机组的性能及设备效率的可能性，给设计人员和管理人员提供一些参考。

【关键词】变频离心式冷水机组 节能 全变频 运行性能

一. 前言

近年来随着国民经济的高速发展以及人民生活水平的日益提高，各种型式的大型高层建筑拔地而起，而对于这些大型建筑的空调冷源而言，有不少采用了离心式冷水机组。主要品牌有约克、开利、特灵、麦克维尔、日立、三菱、荏原等，生产厂家较多。

离心式冷水机组工作时通过吸气室将要压缩的气体引入到叶轮，气体在叶轮叶片的作用下作高速旋转，由于受离心力的作用以及在叶轮里的扩压流动而使气体提高压力和速度后引出叶轮周边，导入扩压器；扩压器将速度能转化为压力能；扩压后的气体在蜗壳里汇集起来后被引出机外，这就是离心式冷水机组的压缩原理。

当用户的冷量需求量很大时，选用离心式冷水机组比较合适。离心式机组无往复运动部件，它的动力平衡特性好、运行平稳、振动小、噪声较低，对基础的要求也比较简单，而且因为无进排气阀、活塞、气缸等磨损部件，所以故障少、工作可靠、寿命长，维护费用低。这种系统的单机制冷能力大、性能系数高、结构紧凑、质量轻、占地面积也很小。离心式机组的运行自动化程度高，制冷量调节范围广，可连续无级调节，而且润滑油与制冷剂基本上不接触，从而提高了冷凝器和蒸发器的传热性能。

由于离心式冷水机组的特定工作原理，在低负荷下运行时，流量小至最小流量点时，容易发生离心机特有的现象——喘振，喘振是压缩机一种不稳定的运行状态。压缩机发生喘振时，将出现气流周期性振荡现象，带给压缩机严重的损坏，会导致严重后果。喘振是离心式压缩机这种速度式压缩机其本身的固有特性。

二. 变频冷水机组的优势

恒速离心式冷水机组在满负荷工况时，其COP值一般为5左右，而在部分负荷时，机组效率将显著降低。我国在《公共建筑节能设计标准》中引入了IPLV的概念，此标准从2005年7月1日开始正式实施。IPLV的计算公式如下：

$$IPLV=2.3 \times A+41.5 \times B+46.1 \times C+10.1 \times D$$

式中 A——100%负荷时的性能系数 (W/W)，冷却水进水温度30℃；

B——75%负荷时的性能系数 (W/W)，冷却水进水温度26℃；

C——50%负荷时的性能系数 (W/W)，冷却水进水温度23℃；

D——25%负荷时的性能系数 (W/W)，冷却水进水温度19℃；

从上式可以看出，空调系统全年有97.7%的时间是在部分负荷下运行的，在此工况下恒速机组效率较差。这是因为恒速离心式冷水机组在部分负荷状态下时，是通过导流叶片 (PRV) 调节、进口节流调节等方式来实现制冷量调节的。进口节流调节经济效益较差；而导流叶片略微关闭时，改变了气流进入叶片的方向，从而使压缩机的效率略有提高，导流叶片调节在一定范围内调节时还是比较合理，但当导叶开度小于30%时，节流作用明显增加，效率大为下降，浪费了能源。

离心压缩机是由电机通过增速齿轮带动叶轮高速旋转，由此产生的离心力压缩制冷剂气体使动能转化为压能。而电机的输入功率满足以下关系式：

$$P=k\Delta P_{tF}V_F/\eta_t [2]$$

公安部第三研究所
公安部上海消防研究所
中国消防协会科普教育工作委员会
公安部（上海）火灾物证鉴定中心
江苏省消防协会
同济大学防灾减灾研究所
全国建筑给水排水资深专家委员会
上海市楼宇科技研究会
中船第九设计研究院工程有限公司

地址：上海市曲阳路158号南楼5层

上海联络外电话：86-21-60748392
编辑部信箱：bmee2004@msn.com

编辑部信箱：bmee2004@msn.com
邮 编：200092
国内统一刊号：CN31-2084/X
国际标准刊号：ISSN 1812-2353

其中： P ——电机功率

k ——常数

ΔP_{tf} ——气态制冷剂的全压

V_f ——气态制冷剂的体积流量

η_t ——电机效率

上式中 ΔP_{tf} 与转速的平方成正比， V_f 与转速成正比，所以电机功率与转速的三次方成正比，所以减小转速意味着减小功率，即提高效率，降低功耗。

而变频冷水机组在部分负荷下仍能保持较高效率。以某公司生产的变频离心冷水机组为例来进行说明。针对离心式冷水机组是速度型机组这一特点，此公司的VSD冷水机组根据冷冻水出水温度和压缩机压头来优化电机转速和导流叶片开度，保持较高效率。在部分负荷工况下，在电机降低转速的同时，实际压头也比设计压头要低，这样压缩机无需消耗无谓的能量来过度加速制冷剂气体，因此降低了能耗。

对于离心式冷水机组而言，在机组处于低负荷时，容易发生喘振，导致机组运行处于危险状态。VSD冷水机组能同时控制压缩机的转速和导流叶片的开度，较精确预测离心机的喘振点，允许机组在喘振点附近正常工作，在10%—100%的负荷内避免喘振的发生，从而能保证机组在低负荷时正常工作。它是按照图1[8]的方式进行工作的。在满负荷运行时，电机全速旋转；负荷降低首先优化电机转速；负荷继续降低，在保持电机最低转速的同时关小导流叶片的开度；负荷进一步降低时，在关小导流叶片的同时，适当升高转速，避开喘振区，使机组在极低负荷平稳运行。这样就使得离心式冷水机组能在防止喘振和保持较高运行效率之间得到一个较好的平衡。

VSD变频离心式冷水机组除了在节能上的优势外，它的启动性能也十分优异。电源是从1HZ开始启动，随后频率逐渐升高。这样使得启动电流决不会超过满负荷工作电流（FLA），同时也降低了对电机和压缩机的磨损。由于对冲击电流有非常好的限制作用，选用较小容量的变压器、电动机就能满足要求，节省了费用。离心式冷水机组的大部分噪音是由高速制冷剂排气造成的，由于机组大部分时间是低负荷运行，此时降低了压缩机转速，降低了气流速度，即减小噪音。一般的恒速机组的噪音水平为87dB，而变频机组则为79dB，效果显著。装配了VSD的机组能自动修正功率因素，保证功率因素大于0.95，甚至可以达到0.98，相比于恒速机组，提高了电力设备的利用率。

三. 变频冷水机组的性能特征

在实际使用中，通常选用多台机组中的一台采用变频技术，而且和常规恒速机组一样进行运行。常规的运行方式并不能挖掘出变频机的全部潜力，经过优化后的变频离心式冷水机组，它的效率将会更高。在此先分析一下离心式冷水机组的性能特征。

随着冷却水进水温度的降低，对变频冷水机效率的积极影响要比恒速的大。这点由图2[3]可以看出。在冷冻水供水温度恒定、负荷和冷却水进水温度变化的情况下，图2为具有

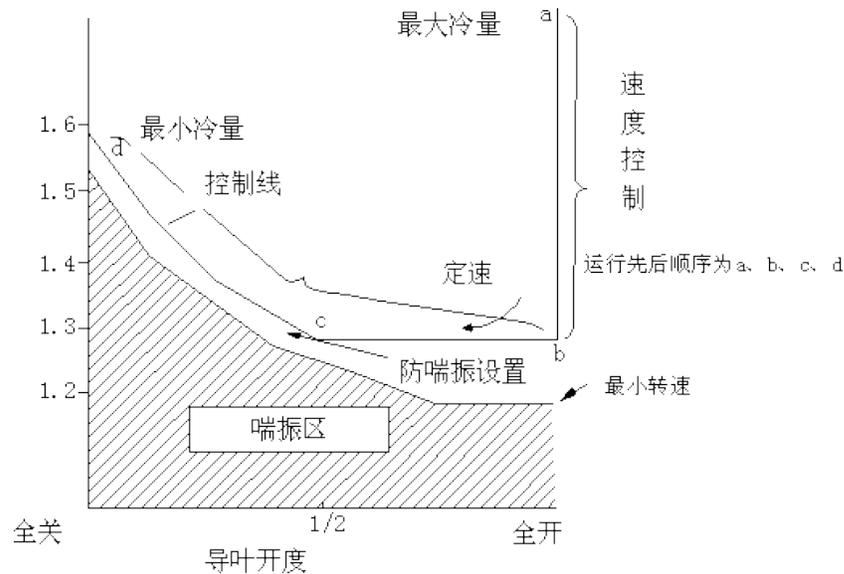
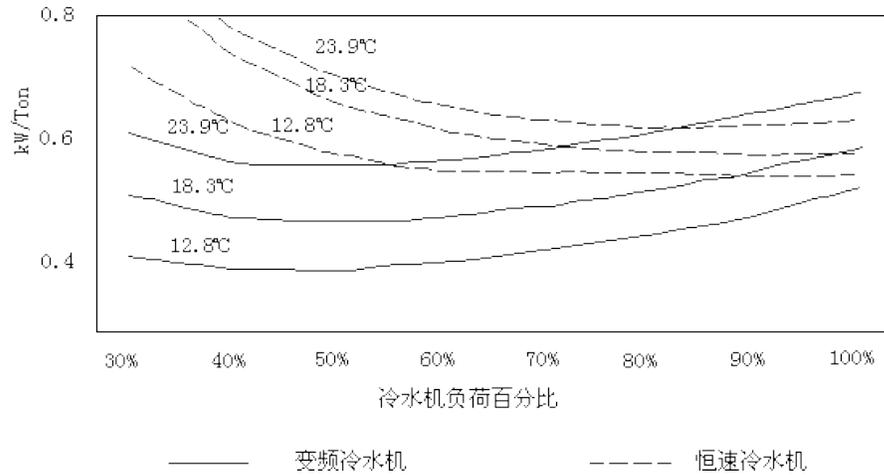


图1

相同机械部件的典型恒速离心式冷水机和变频离心式冷水机的性能曲线。纵坐标的功耗代表了每冷吨耗电量。很明显，变频冷水机对冷却水温度降低很敏感。然而，在实际使用中，在负荷减少时，大多数的冷却塔和冷却水泵的运行方式是减少冷却水泵和冷却塔风机的台数和与之并联的冷水机组的台数。这种冷却塔和泵的运行方式并不有效。因为在制冷负荷减小

图2:恒速和变频离心式冷水机组的性能比较



时,减少冷却塔会导致冷却塔水的接近温度(湿球温度和冷却塔出水温度的温差)更高。升高的接近温度会减少变频机的一些潜在的好处,因为降低冷凝温度可以提高变频冷水机的

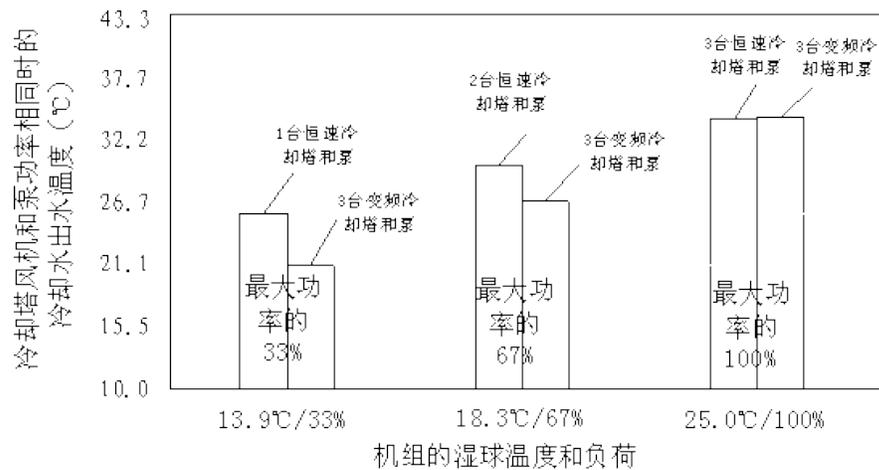


图3:传统和变频冷凝器泵及冷却塔风机运行的比较

效率。如果冷却水泵和冷却塔风机都使用变频驱动,制冷负荷下降时,冷却塔仍然工作,而冷却水泵和冷却塔风机减速,这样在使用相同功率或更少功率的情况下就能较明显降低冷凝

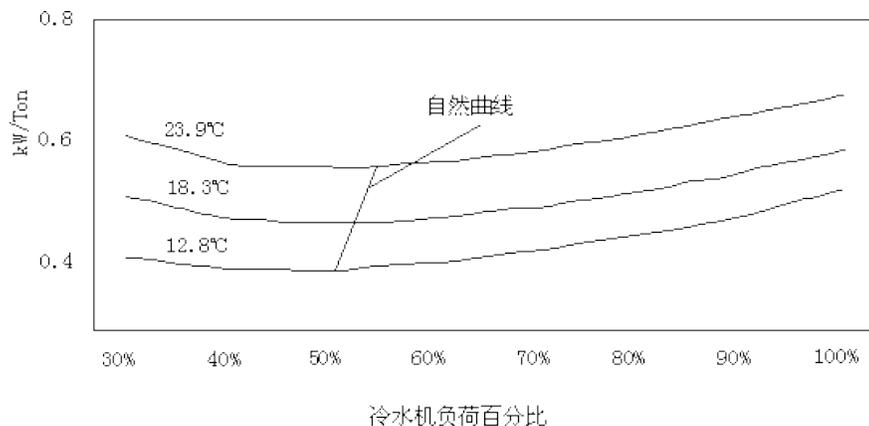


图4:变频离心式冷水机的自然曲线

温度。图3^[9]表示了不同冷却塔运行方式对冷凝温度的影响。一种是关闭冷却塔，另一种是变频减速。图3表明，与减少冷却塔和冷却水泵相比，使冷却水泵和冷却塔变速能获得较低的冷凝温度，而两者能耗是一样的。所以，在排热侧使用全变频设备能达到更高的整机性能。

这里还要引入一个冷水机的性能参数——自然曲线，它是冷却水温度和负荷发生变化时，冷水机运行效率最高点的连线，图4^[3]表述了这个概念。在图4中，冷冻水温度是恒定的，性能是随冷却水出水温度和负荷的变化而变化。比如在出口温度为23.9℃时，变频冷水机在56%附近达到最高效率。连接每条冷却水温度线上的最高效率点就形成了自然曲线。对于很多变频器来说，图4是很典型的，自然曲线是判定变频器是否达到最佳性能的工具，所以要尽可能按照它们的自然曲线决定运行方案。

四. 全变频冷水机组的设计和运行

要根据自然曲线来设计全变频冷水机组的运行，协调正在运行的冷水机，使其达到相同负荷。目的是设定冷水机的运行方案，使冷水机运行时尽可能地接近它们的自然曲线；同时，确定冷却塔的运行方案，优化冷却水泵和冷却塔风机的转速，使得冷水机组的性能最佳。

全变频冷水机组和恒速冷水机组的构造基本相同，关键是要确定冷水机组当前的运行点，然后需要机组控制器判断冷水机运行的离自然曲线是否够近，然后再下指令，使正在运行的冷水机增加或减少一台。通过测量冷水机的功率及冷却水泵和蒸发器的出水温度，估计当前运行点。由输入功率、冷却水温度和冷冻水温度来计算当前的运行点状态值的步骤为

$$Q = a \times (q^b \times (\Delta t_0 / \Delta t)^c) - 1 \quad [9]$$

这里 Q ——每台正在运行的冷水机组的当前容量

q ——每台正在运行的冷水机组的设计容量

Δt_0 ——设计冷却水出水温度和设计冷冻水出水温度的差值

Δt ——当前冷却水出水温度和冷冻水出水温度的实际差值

a, b, c ——常数，根据制造商所提供的性能数据来决定。

冷水机组的自然曲线容量可以近似表示为当前运行容量和冷却水及冷冻水的实际温差的函数，如图4所示，该公式近似转化为一个简单的线性函数：

$$Q_0 = d \times \Delta t + e \quad [9]$$

这里 Q_0 ——在当前工况下，冷水机运行在其自然曲线上的设计容量

d, e ——常数，由冷水机的性能特征决定

以上公式可以算出冷水机当前运行的状态。

假如 $|Q - Q_0| > \left| \frac{Q \times n}{(n+1)} - Q_0 \right|$ ^[9]，就增加一台冷水机组；

假如 $|Q - Q_0| < \left| \frac{Q \times n}{(n+1)} - Q_0 \right|$ ^[9]，就减少一台冷水机组。 n 表示正在运行的冷水机台数。

在实际中，还应应对全部的自然曲线和通用公式进行调整。

此外，也应使冷却水泵和冷却塔风机的运行最优化，通常系统每个部件的备用容量和备用功率之比相等时，整机性能会达到最佳。使用这一原则也可以得到用来决定速度的公式，在实际中，还应根据相关技术指标来调整，比如不应使冷却水泵的速度降得太低，否则会产生更多污垢。

五. 总结

相对恒速冷水机组，全变频冷水机组一次投资费用较高。在应用中，这部分的成本是可以抵消的。通过对冷水机组运行和排热设备运行进行优化，全变频冷水机组在部分负荷下运行更有效，降低了能耗，也就是在全年运行费用上可以降低成本。此外，配备全变频离心式冷水机组可以减少发电机的容量，也降低了成本。

总之，变频技术是一项很具有潜力的节能技术，既节约了机组的运行能耗，又改善了机组的运行性能。经过优化的变频制冷技

参考文献

- [1] 岳孝方、陈汝东. 制冷技术与应用, 同济大学出版社
- [2] 汪前彬、顾丽敏. 变频驱动装置在离心式冷水机组中的应用, 制冷技术, 2000, (2)
- [3] Thomas Hartman. ALL-VARIABLE SPEED CHILLER PLANTS, ASHRAE JOURNAL, September, 2001.
- [4] 张华俊, 严彩球, 卢洁, 刘勇, 陈林, 李宇. 水冷式制冷机组的性能比较及选型, 能源技术, 2004, (7)
- [5] 孙国平. 离心冷水机组的喘振和热气旁通防喘振控制, 制冷技术, 2001, (4)
- [6] 张华俊, 严彩球, 卢洁, 刘勇, 陈林, 李宇. 水冷式制冷机组的性能比较及选型, 能源技术, 2004, (7)
- [7] 李浙. 空调用离心式冷水机组的性能分析, 制冷空调与电力机械, 2001, (1)
- [8] 约克VSD变频离心冷水机组产品介绍
- [9] 全变频冷水机组, 约克技术通讯
- [10] 张华俊, 王俊, 文野, 富雪玲, 何益平. 螺杆式和离心式冷水机组性能分析, 冷藏技术, 2001, (1)

作者简介:

陈汝东 本刊副主编

叶盛 同济大学制冷及低温工程专业在读硕士研究生

杂志介绍 | 征稿启示 | 编委会 | 宣传服务

版权所有: 建筑机电工程杂志社, 本网所有资讯内容、广告信息, 未经本网书面同意, 不得转载。

沪ICP备05061288号 网站制作和维护: 天照科技