

文章编号: 1005-0329(2004)08-0046-04

冷水机组系统优化控制的设计与实现

邵 嵘, 谢剑英

(上海交通大学, 上海 200030)

摘要: 针对冷水机组系统应用的新变化和新要求, 从系统控制的角度提出了一种以整个冷水机组系统的整体效率为优化控制目标, 并具有自适应特性的设计方案。

关键词: 冷水机组系统; 优化控制; 自适应控制

中图分类号: TB657 **文献标识码:** A

Design and Application of Chiller Plant System Optimized Control

SHAO Rong, XIE Jianying

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: In response to the new varieties and new requirements in the application of chiller plant system A design scheme with adaptive control, aimed at optimizing the whole chiller plant system efficiency was put forward based on the point of view of system control

Key words: chiller plant system; optimized control; adaptive control

1 引言

目前全世界各大空调设备制造商都在花费大量的财力、物力和人力对冷水机组进行研究, 提高其运行效率, 以达到节能的目的。冷水机组在实际应用中通常会有多台机组及其辅助设备共同组成一个冷水机组系统, 而随着社会的发展和科技的发展, 冷水机组系统的结构、功能也在不断地发展。本文针对冷水机组系统应用的新变化和新要求, 通过一个实际典型的例子, 从系统控制的角度提出了一种以整个冷水机组系统的整体效率为优化控制目标, 并具有自适应特性的设计方案。

2 冷水机组的 COP 和单机控制

各种冷水机组有其各自的特点和应用范围, 但都可以通过性能指标 COP 来反映机组的运行效率。但机组的 COP 并不是一个固定的常数, 一般在部分负荷下机组的 COP 要低于满负荷下的 COP。所以 COP 会随着负载的变化而变化, 是负

载率(%)的函数。图 1 为离心式冷水机组典型的功率-负载百分比曲线。

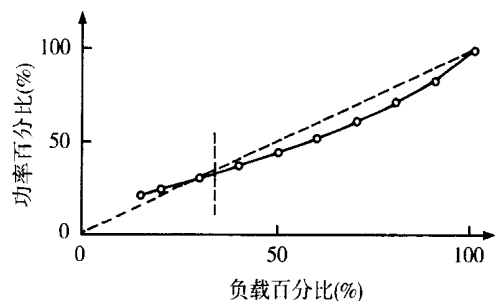


图 1 离心式冷水机组功率-负载百分比曲线

用户一般都是根据最大的冷负荷要求选用冷水机组, 同时冷水机组的额定 COP 都是指其在满负荷运行时的 COP。但用户在实际使用时很少达到最大冷负荷工况, 冷水机组的大部分时间都是在部分负荷下运行^[1]。因此, 设计冷水机组时, 必须增强机组能量调节的能力, 提高机组部分负荷下的 COP; 在应用冷水机组时, 须优化系统的控制, 灵活匹配负荷的变化。这样才能真正在实际使用中降低能耗。

收稿日期: 2004-05-08

目前各种类型的大型冷水机组都有各自的能量调节机构,并且各生产制造商都运用了多项各有特色的技术以配合机组的能量调节,使机组在部分负荷下仍能保持较高的 COP ,这样就需要一套完整的控制系统来优化和协调整个机组的运行。

机电一体化是各类机械设备的必然趋势,冷水机组也不例外。目前,各生产制造商都将本机控制系统与冷水机组集成在一起,通过预装在冷水机组内部的各种传感器接收负荷变化以及机组本身的运行信息。冷水机组内部的控制器根据这些信息,运用内置控制程序的优化逻辑算法,通过各种执行机构实现对机组能量调节的控制和匹配,同时保证了机组各子系统和部件稳定、可靠、协作运行。

3 冷水机组系统的群控

对于一台冷水机组,在使用时还需要配备冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔。一般把上述设备统称为冷水机组系统。其中泵和冷却塔的能耗只占

冷水机组系统能耗的 10%,而且其功耗和效率的变化也不大。

但是,单台冷水机组有时不足以满足用户的冷量要求。另外,在一个实际的工程项目中,通常会选用多台冷水机组来构成整个冷水机组系统。一方面,正是由于单台冷水机组在部分负荷时的 COP 会低于满负荷下的 COP ,考虑使用多台冷水机组可以使整个系统在部分负荷时,通过关闭一些冷水机组而使其余的冷水机组满负荷工作,来提高整个冷水机组系统的工作效率;另一方面,也是出于维修备用的考虑,在使用负荷较低时期,可以对一些关闭的机组进行维修保养,或作为备用机组以防止工作中的机组突然出现故障。出于上述考虑,冷水机组系统中通常会选用多台同一型号的冷水机组。据开利公司提供的上千台冷水机组项目的统计,估计有 86% 的大型项目由两台或两台以上的多台冷水机组组成系统进行应用^[1]。

图 2 是一个由 3 台大冷量冷水机组和 2 台小冷量冷水机组及其辅助水泵、冷却塔和阀门组成的典型冷水机组系统。

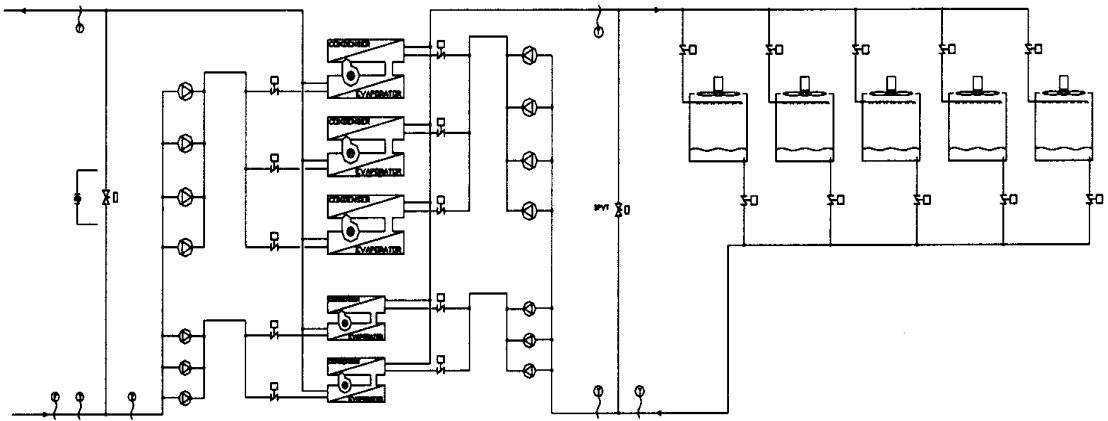


图 2 典型冷水机组系统示意

冷水机组系统(包括机组、水泵、冷却塔和水系统)往往有多种设计方案可供选择,即:冷水机组串联系统、冷水机组并联系统、旁通系统、二次泵系统,水泵可以和冷水机组一一对应,也可以水泵并联且留有备用水泵等。可以说,没有两个冷水机组系统是完全相同的^[2]。在要求比较低的应用场合,往往是由机房管理人员凭经验选择所要运行冷水机组的数量,而依靠冷水机组的能量调节机制各自去匹配负荷的变化。但是,在某些控制精度比较高的应用场合,以及人们对运行费用

和能源节约的意识越来越强,就需要有一套冷水机组群控系统来协调多台冷水机组的运行,提高整个冷水机组系统的运行效率和总出水温度的控制精度,同时也提高设备的自动化运行程度。

冷水机组系统的群控属于整个楼宇自动化系统(BAS)的一部分。目前,自控公司通过测量冷水机组系统总回水管的温度和流量,或是测量二次泵系统中平衡管内水的流向和流量来估计冷负荷的变化,并通过启停冷水机组来匹配负荷的变化。当然冷水机组在运行过程中能根据本机的回

水温度自动进行能量调节,但各台机组基本上还是独立地自行调节,相互之间并没有通讯联系。

现在越来越多的项目中是由冷水机组生产商来提供冷水机组系统部分的群控。且各大冷水机组生产商都有各自成熟的群控网络系统,并已得到广泛应用。以 Carrier 公司的 CCN 网络控制系统为例,除了前面提到的一些功能外,CCN 可以充分利用机组已有的各种传感器,最大限度利用机组的潜能,减少机组运行台数和启停次数;同时可以设定各台机组冷冻水出水温度和机组的负载率,保证机组启停时的平稳过渡,提高系统出水温度的控制精度^[3]。

4 冷水机组系统 COP 的优化控制方案

冷水机组系统的群控技术虽已比较成熟,但随着冷水机组系统设计的发展及客户要求的不断提高,仍有一些控制逻辑和算法需要改进:

(1) 以前的冷水机组系统大多由多台同一型号的机组构成,但为了充分发挥各种冷水机组的特点,并希望在 10%~100% 负荷变化范围内系统都能通过能量调节高效稳定的运行,目前冷水机组系统通常设计为几台同规格大冷量机组加 1 台小冷量机组。如:2 台 2110kW 的离心式冷水机组 + 1 台 1055kW 的螺杆式冷水机组。

(2) 随着西气东输工程的启动,使用蒸汽或燃气的溴化锂吸收式冷水机组将会有比较广泛的应用,但由于其 COP 较电制冷低,所以在实际应用中通常会采用热电联供的方式,即在冷水机组系统中同时有电制冷和吸收式两种机组。系统控制逻辑和算法需要在高效率和经济性方面做出平衡。

(3) 冷水机组系统中一般都会包括不同类型不同规格的冷水机组,如前所述每一种冷水机组的 COP 会随着负载的变化而变化(是负载率 [%] 的函数)。但不同类型的机组(活塞机、螺杆机、离心机)都有各自不同的 COP-负载率 (%) 曲线,定转速机组和变频机组也会有不同的 COP-负载率 (%) 曲线。另外,机组常年运行后的 COP 也会有所变化。这都会给群控系统在平衡各冷水机组运行负载率带来新的问题。

(4) 正因为冷水机组系统中一般都会包括不同类型不同规格的冷水机组,所以当整个系统工作在部分负荷时,就会产生究竟开几台冷水机组、

开哪几台机组比较经济合理的问题。同时,客户在实际使用时也会提出新的控制思想和控制模式。

鉴于上述的一些新趋势,需对整个冷水机组系统的控制目标以及控制模块软件的设计思想和算法进行重新考虑。对于一个冷水机组系统,除了冷水机组外,还要考虑一些辅助设备(水泵和冷却塔)的功耗。因此必须以整个系统为控制目标,计算整个系统的 COP——系统产出的冷量和整个系统能耗之比,在满足系统负荷的前提下,优化整个系统的 COP。当今的硬件和软件技术日新月异,PLC 或 DDC 控制器的功能越来越强大,故完全可以运用一些新的自适应控制理论来设计一些满足最新应用要求的智能控制器。

以图 2 所示的典型冷水机组系统为例:系统由 3 台 3516kW 的离心式冷水机组和 2 台 1055kW 的螺杆式冷水机组组成,其中 3 台离心式冷水机组配有 VFD 变频能量调节,5 台冷水机组全部并联使用。

在此项目中,3+2 组合的冷水机组系统在部分负荷下可以有多种运行模式可供选择。具体在某一负荷和工况条件选择哪一种运行模式,需要考虑 2 个条件:(1) 满足系统总负荷的要求;(2) 选择系统 COP 最优的运行模式。具体的优化控制方案如下:

(1) 最新的控制逻辑将以系统 COP 为性能指标,针对系统中配置的不同类型或型号的冷水机组,在控制器的数据库中添加所选冷水机组各自的 COP-负载率 (%) 数据表以及辅助设备的计算系数。通过从联网的冷水机组控制器内读取数据,并在整个冷水机组系统中安装水温、水流量、功率变送器或电流变送器等传感器,实时监测整个系统的运行参数。

(2) 控制器通过监测系统总出水、回水温度及流量预测当前的冷负荷,据此不断地计算可以选择的运行模式——究竟开哪几台机组。然后,COP 优化程序将根据总负荷分别计算在每种运行模式下各冷水机组的负载率 (%),再根据数据库中各种冷水机组的 COP-负载率 (%) 数据表和辅助设备计算系数,计算整个冷水机组系统的 COP。

(3) COP 优化程序在冷水机组系统运行时,不断重复上述计算过程,平衡各运行机组的负载率 (%)。当系统总的负荷发生变化以至于需要启

停机组变换运行模式时,优化程序将会自动调用机组启停程序,实现模式切换。这样就可以使冷水机组系统一直工作在 COP 的最优状态下,达到优化性能、节约能源的目的。

(4) 通常冷水机组的 COP-负载率(%)数据表和辅助设备计算系数的原始数据是根据机组的性能测试报告以及经验公式而得的,但是实验数据并不能完全反应机组实际的运行参数,也不可能覆盖所有的运行工况;另外,随着机组运行时间的增加,机组的性能也会有所变化。因此使用固定不变的数据表计算出的系统 COP 会与实际情况发生一定程度的偏差。为此,优化程序应该具有自适应功能,通过实时监测整个系统的运行参数,计算在当前工况条件下实际的系统 COP、机组 COP 和计算参数;然后将这实际的机组 COP 和计算参数存储到对应机组、对应工况、对应的 COP-负载率(%)的数据表以及系数中。这样随着系统的运行,优化程序不断的计算实际的系统 COP,并同步更新这些数据表。经过一段时间后,数据表就会被实际运行的参数所替代,而且在数

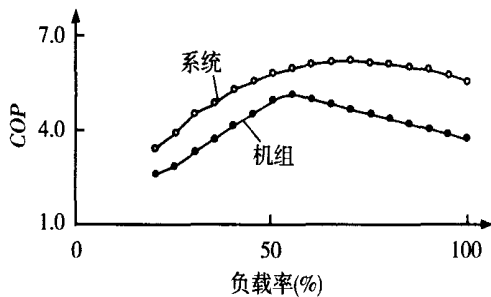


图3 实际系统 COP-负载率曲线

据表中经常运行的工况点保存的也是最新的数据。

图3是单台离心式冷水机组在标准工况下 COP-负载率(%)的试验曲线,以及以此为基础根据上述优化控制方案模拟的整个系统 COP-负载率(%)曲线。当然随着系统的运行,控制程序数据库中的机组 COP 和系统 COP 都会通过自适应被不断更新,以保持优化控制逻辑的准确性。

优化程序通过自适应不断更新并积累系统最新的实际运行参数,然后在这些参数的基础上选择系统 COP 的最优运行模式。所以,系统就能随时适应环境和自身的变换,确保整个冷水机组系统始终工作在最优工况。在实际的工程项目中,COP 优化程序及其数据库将被植入系统控制器硬件中。这样不仅可以提高程序运行速度,而且可以加强系统运行的稳定性。但这这就要求控制器有较快的运算速度和较大的内存,优化程序更精练、高效,且必须经过严格的性能和可靠性测试。

参考文献:

- [1] 卫宇. 离心式与螺杆式冷水机组组合应用系统方案的性能分析[J]. 制冷技术, 2000, (1): 14-17.
- [2] 姜家麒. 多台冷水机组系统组合的控制[J]. 制冷技术, 2000, (2): 31-34.
- [3] Carrier Corporation. CSM III Overview and Configuration Manual[Z]. 808 - 957 Rev 01/01.

作者简介:邵嵘(1972-),男,硕士,工程师,从事商用空调系统控制的设计、实施及研究工作,通讯地址:200001上海市九江路333号金融广场三楼开利空调冷冻(上海)有限公司系统控制部。

(上接第 53 页)

5 结语

(1) 经分析、计算建立的水源热泵机组变工况的数学模型,可为进一步研究制冷空调系统变工况特性研究提供更直接的依据;

(2) 由于充分利用了实验数据和实验特性曲线,并对这些实验数据和实验特性曲线进行了数据拟合,相比采用微分形式,本文得到的代数方程式更具有准确性和可靠性。

参考文献:

- [1] 林澜,宋之平. 热泵循环效率解析计算式[J]. 工程热物理学报, 1986, 11(5): 109-110.
- [2] 丁国良,张春路. 制冷空调装置仿真与优化[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [3] 田胜元,萧曰嵘. 实验设计与数据处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
- [4] 李鹏翔. 水源热泵机组的优化设计研究[D]. 山东建筑工程学院硕士论文, 2003.

作者简介:李鹏翔(1976-),女,讲师,主要从事热泵机组的优化仿真及室内空气品质的研究,通讯地址:310018浙江杭州市下沙开发区浙江理工大学建工学院建环系。