

文章编号: 1005-0329(2007)12-0061-04

水冷冷水机组的动态及适应性试验方法初探

田旭东¹, 史 敏¹, 朱贞涛¹, 石毅登²

(1 合肥通用机械研究院, 安徽合肥 230031; 2 特灵空调上海研发中心, 上海 200001)

摘 要: 通常使用各种冷水机组的测试装置来测试水冷冷水机组的性能, 包括制冷量、输入功率、能效比等参数。但需要测试产品的另外一些性能时, 如产品在变化负载下的适应性、部分负荷性能以及机组控制系统的加载和卸载性能, 传统的测试装置无法完成这些任务。本文探讨了一种新的试验系统, 使用它可以完成水冷冷水机组的上述试验验证。

关键词: 水冷冷水机组; 适应; 部分负荷; 能效比; 加载; 卸载; 综合部分负荷系数

中图分类号: TB65 **文献标识码:** A

Primary Research about the Method for Testing the Dynamic Performance
and Adaptability of Water Chiller

TIAN Xu-dong, SHI Min, ZHU Zhen-tao, SHI Yi-deng

(1 Hefei General Machinery Research Institute Hefei 230031, China

2 Trane Air condition Shanghai R&D Center, Shanghai 200001, China)

Abstract: Usually many kind of test bench were used to test the performance of water chiller such as the capacity, power consumption, EER, water flow etc. But some times we may want to know some other performance such as the adaptability of the chiller in a change load, the partial load of the chiller and the process of control system up and down the load of the units etc. use the traditional test bench we couldn't do these jobs. A new method was introduced, use it we can finish these tasks.

Key words: water chiller, adaptability, partial load, EER, up load, down load, IPLV

1 前言

在众多的工商业空调产品当中, 水冷冷水机组以其能效比高、操作维护方便而倍受青睐。随着市场竞争的加剧, 企业在产品研发和质量控制能力上均加大了投入力度, 投资建造产品的各种性能试验装置。目前的试验装置主要是为产品创造一定的稳态试验条件, 测试产品在该试验条件下的制冷量、输入功率、能效比等, 无法测试产品的动态适应性能。但是随着产品的不断投入市场, 产品逐渐暴露出一些问题, 其中最关键的问题是产品的可靠性和适应性问题。另外, 螺杆制冷压缩机的广泛使用, 使改善机组的控制和部分负荷运行成为可能。随着电力供应矛盾日益突出, 大型机组的节能运行也变成了倍受关注的问题, 这样在试验室模拟实际运行时建筑物负荷的变

化, 使机组根据负荷的变化进行合理的自动卸载或加载, 研究机组的动态性能和适应性能, 实现最大限度节约运行费用, 就变得非常重要。而解决这些问题的重要手段就是建造能使机组进行动态适应性能测试的系统。

2 冷水机组的动态性能

一般产品标准描述的冷水机组的性能主要包括: 制冷量、制热量、消耗功率、能效比和安全性能等。不难看出, 这些参数和指标所描述的都是机组在稳态运行条件下测试得出来的数据, 它可以反映出产品的设计参数和性能。但是, 在实际应用场合, 由于冷水机组的选型都是按建筑的最大负荷需求来选定的, 因而更多的情况下, 机组都是处在部分负荷或变化的负荷状态下运行。一台在

收稿日期: 2007-12-06

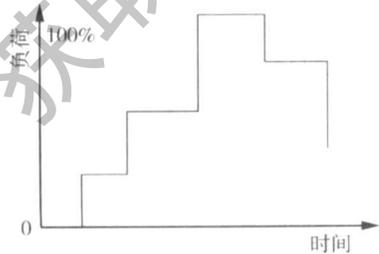
©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

标准试验装置上测得性能非常好的产品,在实际应用场合可能根本无法使用。例如:在冷水回路系统中,夏季高温可能会使静止的水温度在 30°C 以上,由于管路较长可能会使机组在开机时有很长一段时间内冷水进水温度很高,这时如果机组的适应性能不好就会出现报警,从而无法开机;另外,如果建筑的负荷变化比较大,而机组的加载和卸载性能不好,可能会导致机组频繁的开停机,从而浪费很多能源;严重时甚至会出现报警,导致系统无法正常运行。

冷水机组的动态性能包括高水温启动性能、部分负荷运行性能、变化负载的适应性能等。这些参数都不可以用一个数据来描述,它是机组在负荷出现变化后,自动加载或卸载的一个动态响应过程,就是机组自动调整并与外界负荷达到平衡的一个过渡过程,表征它的特性主要是过渡时间和最终的稳定情况,这都可以从机组的功率和出水温度的变化曲线上获得。热负荷的变化特性多种多样,但都可描述成两种基本的变化,即连续性变化和阶跃变化,如图 1 所示。连续性变化指负载的变化随时间连续地变化,阶跃变化指负荷在较短的时间内出现突然或跳跃性的变化。因此需要创造一个测试的条件,通过模拟负载的变化,然后记录功率、制冷量和出水温度的变化曲线,从而分析出机组的动态性能。



(a) 连续负载变化



(b) 阶跃变化

图 1 负荷变化的基本特征示意

3 测试系统构成

测试系统由冷却水循环系统、冷水循环系统以及自动控制和数据采集系统组成。

3.1 冷却水循环系统

冷却水循环系统是试验装置的重要组成部分,它包括水泵、水罐、换热器、冷却塔和冷水机组等,冷却塔是用于系统的自然散热,以节约能源。所配置的冷水机组主要用于在环境温度较高时,降低冷却水的温度和系统进行 AR 的部分负荷测试时控制冷却水的进水温度。换热器可以用来调整冷却水系统的水温,以实现在各种温度下机组启动性能的试验,冷却水系统的水罐可以提供循环时间可调整的循环水系统。根据被试机组的冷却水流量来选择容积,可以调整冷却水的循环时间,从而调整冷却水系统温度变化的惯性,满足对产品进行长循环回路的适应性测试的要求。

按照 ARI550/590-2003 的要求^[1],测试冷水机组的 IPLV 时,需要测试机组在 25%、50%、75% 和 100% 负荷条件下的运行,在这些不同的运行负荷时,冷水机组的冷却水进水温度是不同的,当进行 25% 的负荷运行时,冷却水进水温度为 18.3°C ,而通常的冷却水系统只有在环境温度很低时才能实现此项功能,因此,为保证系统的试验,配置合适的冷水机组是非常必要的。

3.2 冷水循环系统

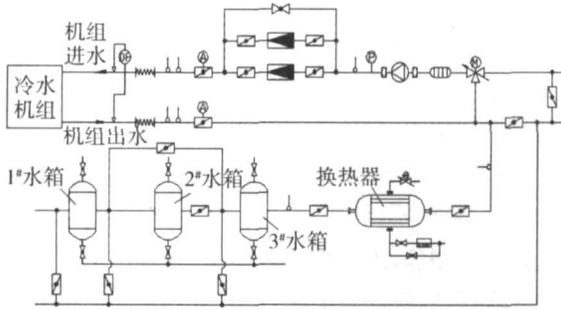
冷水循环系统是动态加载性能测试的核心,它主要为冷水机组提供运行的冷媒水回路,如图 2 所示。与通常的测试装置水系统相比较,它多了水罐和加载换热器两个部分。水罐部分可以用来分级调整水循环回路的容量,从而确定循环的时间;加载换热器主要用于模拟热负荷,实现热负荷的加载。系统种选择热负荷加载源为蒸汽,一定的蒸汽流量对应一定的热负荷,通过调整蒸汽量,就可以获得需要的负荷。控制蒸汽流量的手段就是改变调节阀的开度,因此,重要的就是能将热负荷的量与阀的开度建立直接的对应关系,找出之间的数学模型。

3.3 自动控制与数据采集系统

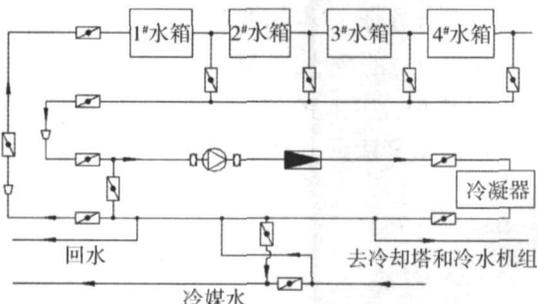
自动控制系统主要包括设备的运行控制、保护和报警以及各工作参数的控制,对实验过程中需要保持稳定的参数,选用 PD 控制仪表来控制,仪表的参数可根据系统的实际状况进行适当调整,以获得更稳定的控制效果。

数据采集系统包括计算机、数据采集器和各测量仪表,计算机和数据采集器间由通讯网络连

接, 通讯模式可以是 GPB或 TCP/IP的通讯协议, 整个测试的数据由数据采集器传送到计算机进行保存, 可以运用软件来对数据进行实时的整理、计算和曲线显示, 并输出需要的测试报告。



(a) 冷媒水回路



(b) 冷却水回路

图 2 水循环系统流程示意

4 动态性能测试

4.1 长循环回路测试

测试时首先需要根据被测机组的水流量大小, 选择水罐的数量。系统中的水罐容积都是确定的数值, 改变数量可以调整循环时间。

$$t = \sum (V_0 + V_m) / q$$

式中 t ——循环时间, s

V_0 ——水系统的容积, m^3

V_m ——水罐的容积, m^3

q ——被测机组的流量, m^3 / s

测试时, 不需要考虑循环时间的连续性, 同样的系统, 不同的被测机其循环时间也是不相同的, 因此, 可以把实验的数据整理和归纳, 从而得出被测机合理的高水温启动时间限定值。

长循环回路的测试可以测试冷水机组的高温启动性能和降温特性试验。高温启动性能试验可以是冷却水高温和冷媒水高温启动运行, 可以先通过换热器把系统的水温升高到 $30^\circ C$ 以上, 继续加入一定的热负荷, 保持冷却水循环系统运行稳定和机组水流量的稳定, 开启被测机组, 记录制冷

系统各点工质压力和温度的变化, 如有可能导致报警, 则应在制冷循环系统中采取相应的措施, 改善机组的适应性。降温特性试验, 是为循环回路设置一定的负荷, 开启水循环系统, 等水温到达合适的值后开机, 记录机组出水温度和制冷系统的压力温度变化, 从而获得机组满负荷运行时, 降温过程的参数变化规律, 为机组参数匹配设计提供有价值的参数。

4.2 制冷动态加载与控制系统试验

机组制冷运行时需要的是热负荷, 采用蒸汽作为热源, 因与潜热相比显热非常小, 因此可以认为当蒸汽压力一定时, 蒸汽的流量与增加的热负荷成对应关系。而调节阀的开度与蒸汽流量也成对应关系, 因此可以通过测试在不同的阀的开度时的蒸汽流量值, 计算出蒸汽加热的负荷量, 从而建立蒸汽阀开度与蒸汽负荷之间的对应关系模型, 图 3是一个应用实例, 其中曲线的点包含了多个不同水流量下的测试数据。

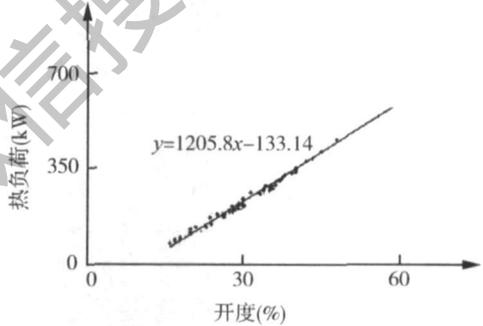


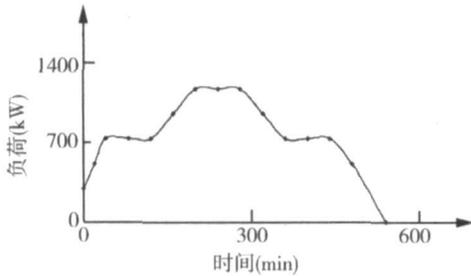
图 3 阀位与热负荷的数学模型

实际测试时, 根据被测试机组的冷量, 计算出最大加热负荷值, 设计好负载变化的曲线, 把曲线中的关键点的热负荷值转化成调节阀开度值, 从而绘出调节阀的动作曲线。

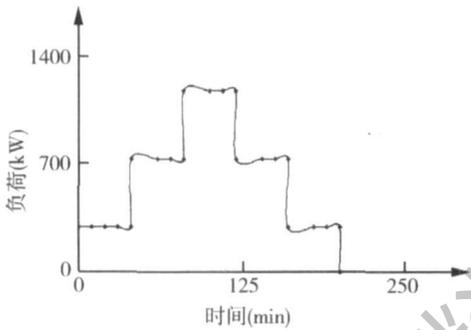
试验时, 保持冷却水系统运行稳定, 保持调节阀处于动作曲线的起点值, 调整好机组的水流量在额定值, 设定好被试机组的出水温度到设定值, 启动被测机组运行, 待机组运行稳定, 冷媒水出水温度基本稳定之后, 启动试验系统的程序控制器, 按设定的调节阀开度曲线控制调节阀动作, 向系统投入预先设定的负载, 这时被试机的控制系统将根据出水温度的情况来控制机组加载或卸载。整个的试验过程种, 记录被测机组输入功率、出水温度以及制冷系统等相关参数的全过程数据。这些数据可用于分析被测机组部分负荷运行性能和机组自动控制系统的控制方法。当然就非常有利

于分析冷水机组的变负荷适应能力和控制系统的时间参数设定等。

需要说明的是,当测试规格不同的机器时,可以通过改变蒸汽回路的阻力特性,从而改变加载的最大限值,而不同的测试机器安装好后,都需要重新测试出加载量与阀的开度或频率的对应关系,然后得出加载控制曲线进行测试。图4是连续性加载和阶跃性加载的实际加载负荷变化曲线,测试机组的能力为300RT。



(a) 连续性加载



(b) 阶跃性加载

图4 连续加载过程和阶跃性加载过程

4.3 部分负荷试验

在 AR150/590-2003中,提出了用综合部分负荷系数 IPLV来反映冷水机组的部分负荷性能^[1],它是测试机组在100%、75%、50%和25%的负荷运行条件下的能效比,然后赋予每个负荷的能效比一个与时间有关的参数,最后经过公式计算出 IPLV值,用来评价机组的综合性能。不同的负荷运行测试时,冷水机组的冷却水进水温度

是不一样的,参见表1。

表1 不同负荷时的冷却水进水温度^[1]

被试机负荷 (%)	冷却水进水温度 (°C)
100	29.4
75	23.9
50	18.3
25	18.3

IPLV的计算公式:

$$IPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D \quad (1)$$

式中, A B C D为100%、75%、50%和25%负荷条件下测得的冷水机组 EER值。

测试时,将冷水机组固定在相应比例的部分负荷下运行,采用机组额定状态下的水流量(包括冷却水和冷媒水),把冷水机组冷却水的进水温度调整到相应的数值,等机组运行稳定后,测试计算出 EER值。4个状态下的数据全部测试完成后,运用式(1)计算出 IPLV的数值。

5 结语

所介绍的测试系统,除可以进行水冷冷水机组额定性能测试、部分负荷性能测试外,还可以实现对水冷冷水机组在实际使用中的负荷模拟,这对机组制冷系统的匹配、机组控制系统的调整乃至机组电控保护系统运行状况等,都可以提供大量宝贵的试验数据,从而有助于提高整个机组部分负荷运行性能,大大提高产品的可靠性和适应性,降低系统运行能耗,节约能源。

参考文献

- [1] ARI 550/590 Performance rating of water chilling packages using the vapor compressor cycle Air conditioning & refrigeration institute

作者简介:田旭东(1966-)副所长,教授级高级工程师,主要从事制冷空调产品的测试技术的研究,通讯地址:230088安徽省合肥市高新区天湖路29号合肥通用机械研究院制冷环境研究所。

(上接第57页)

- [7] Grossman G Simultaneous heat and mass transfer in absorption of gases in turbulent liquid film J. Int J Heat Mass Transfer 1984 27(12): 2365-2376
- [8] Mesquita L C S Harrison S J Thomey D Modeling of heat and mass transfer in parallel plate liquid-desiccant dehumidifiers J. Solar Energy 2006 80: 1475-1482

- [9] 张小松,费秀峰,施明恒,等.蓄能型溶液除湿蒸发冷却空调系统中除湿器研究[J].东南大学学报(自然科学版),2003,33(1):72-75

作者简介:杜斌(1976-)男,博士,主要从事动力工程与工程物理,太阳能空调方面的研究,通讯地址:210096江苏省东南大学动力工程系。