

文章编号:1005-0329(2017)12-0080-05

国标允差对水冷式冷水机组性能影响的研究

包继虎¹,曹晨¹,李同彪¹,赵宗彬¹,谢鸿玺¹,刘辉²

(1.合肥通用机械研究院,安徽合肥 230031;

2.江森自控楼宇设备科技(无锡)有限公司,江苏无锡 214028)

摘要: 基于液体载冷剂法,分析了水冷式冷水机组进出水温度和水流量允差在 GB/T 18430.1-2007 范围内变动对机组性能测试结果的影响,研究发现:冷媒水出水温度正偏差和冷却水进水温度负偏差均会强化机组的制冷量,冷媒水出水温度负偏差和冷却水进水温度正偏差均会弱化机组的制冷量。基于 GB/T 18430.1-2007 的允差条件,可能会导致对水冷式冷水机组制冷量的不合理判定。研究成果能够为准确测定水冷式冷水机组的性能、冷水机组国家标准和能效标准的修订提供指导,同时也为设计高精度的试验台提供理论依据。

关键词: 允差;冷水机组;进出水温度;水流量;制冷量

中图分类号: TH12

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1005-0329.2017.12.016

Influence of the Allowable Deviation of the Notional Standards on Performance of the Water Chillers

BAO Ji-hu¹, CAO Chen¹, LI Tong-biao¹, ZHAO Zong-bin¹, XIE Hong-xi¹, LIU Hui²

(1.Hefei General Machinery Research Institute, Hefei 230031, China;

2.Johnson Controls Building Efficiency Technology (Wuxi) Co., Ltd., Wuxi 214028, China)

Abstract: Based on the liquid secondary refrigerant method, analyzes influence of the allowable deviation of entering and leaving water temperatures and water flow on performance of the water chillers. The study found that positive deviation of leaving temperature of the refrigerant water and negative deviation of entering temperature of the cooling water will strengthen cooling capacity of the unit, negative deviation of leaving temperature of the refrigerant water and positive deviation of entering temperature of the cooling water will weaken cooling capacity of the unit. It may lead to unreasonable determination of the unit cooling capacity according to the allowable deviation of GB/T 18430.1-2007. The research results can provide reference for accurate measurement of the unit cooling capacity and revision of the national standard and energy efficiency standard, but also provide theoretical basis for the design of high-precision test bench.

Key words: allowable deviation; water chiller; entering and leaving water temperatures; water flow; cooling capacity

1 前言

随着制冷行业的快速发展,由此带来的能源消耗也逐渐突显,多年来,各国通过制定制冷空调产品的测试标准、实施制冷空调产品的能效限定值和能效标识等一系列措施来提升产品的能源效率,以达到节能降耗的目的^[1,2]。而这一系列措施与制冷空调产品的性能测试密不可分,然而,受测试环境和人为因素的影响,产品性能测试的实际工况点通常会在允差范围内发生偏移,这往往

会导致测试结果不是名义工况点,而是在允差范围内某一工况点测得,基于该测试结果对制冷空调产品进行评定,可能会导致对空调产品的不合理判定^[3]。特别是随着大型、集成的制冷空调产品越来越广泛,而型号较大的机组,在同样的测试允差下检测的结果偏差也较大。这样会导致机组的样本说明书提供的技术参数与测试结果存在较大差异,给设计人员提供的选型技术参数存在偏差,给实际的工程项目能否达到设计要求增大了不确定性。因此,允差变化对制冷空调产

收稿日期: 2017-05-19

基金项目: 合肥通用机械研究院青年基金项目(2013010644)

品性能影响的研究正受到广泛关注。潘亚梅等采用空气焓差性能测试法,分析了现行国标规定的干湿球温度允差对风管送风式热泵试验样机的制冷量与能效比的影响^[4,5]。张忠斌等试验分析了房间空调器的制冷量和能效比随干湿球温度的变化特性,提出了采用赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)对其进行曲线拟合方案最优化选取^[6]。在此基础上,张忠斌等提出了一种求解干湿球温度在国家标准允差范围内变化的制冷量和能效比实测结果向名义工况值回归逼近的修正算法,并以制冷工况下的室内侧干湿球温度允差范围变化的房间空调器制冷量和能效比测试结果为例进行了算法修正^[3-7]。

本文在上述研究的基础上,以水冷式冷水机组为研究对象,基于液体载冷剂法,采用理论分析与试验相结合的研究方法,控制测试工况在GB/T 18430.1-2007允差范围内的偏差,测量水冷式冷水机组的制冷量,以分析标准工况规定的允差变化对冷水机组性能判定的影响。

2 测试允差的影响

GB/T 18430.1-2007中规定:水冷式冷水机组的制冷量采用液体载冷剂法进行试验测定和计算^[8],液体载冷剂法是通过测量冷水机组换热器进出水温度、水流量,用测出的进出水温差和水流量的乘积,同时乘以平均温度下水的比热容和密度以确定机组的性能,即机组制冷量可按下式计算^[9,10]:

$$Q = C\rho q_v(t_{we} - t_{wl}) \quad (1)$$

式中 Q ——机组制冷量, W
 C ——水的平均比热容, J/(kg·°C)
 ρ ——水的密度, kg/m³
 q_v ——水的体积流量, m³/s
 t_{we}, t_{wl} ——冷媒水进出水温度, °C

为方便分析,式(1)中不考虑环境空气传入使用侧换热器水侧的热量修正项。式(1)中水的平均比热容和密度通常将其视为常数,因此,理论上冷媒水流量和进出水温度一旦确定,机组的制冷量即可得到。

测试过程中,受测试环境和人为因素的影响,机组性能测试的实际工况点通常会在允差范围内发生波动,基于这一客观事实,GB/T 18430.1-

2007对冷水机组性能测试时的水流量和温度偏差进行了规范化要求(以名义制冷工况为例),见表1^[7]。

表1 机组测试温度和流量的偏差

项目	使用侧		热源侧	
	水流量 [m ³ /(h·kW)]	出口水温 (°C)	进口水温 (°C)	水流量 [m ³ /(h·kW)]
名义制冷	±5%	±0.3	±0.3	±5%

经过长期的实际测试发现:有厂家生产的水冷式冷水机组在最不利工况允差条件下(如冷媒水出口水温取下限,偏差在0.1°C范围内)测试时,制冷量不能满足GB/T 18430.1-2007中5.4a)制冷量应不小于名义规定值的95%的性能判定要求,当把允差置于最佳工况条件下(如冷媒水出口水温取上限,偏差在0.1°C范围内)进行测试时,冷水机组制冷量能达到GB/T 18430.1-2007中5.4a)制冷量应不小于名义规定值的95%的性能判定要求。研究发现,出现该情况的主要原因是由于允差的范围与制冷量国标规定值不一致造成的。在理想测试情况下,冷媒水进出水温差应该为5°C,考虑使用侧水流量系数0.172m³/(h·kW)^[6],基于表1所给允差范围的测试结果需要满足GB/T 18430.1-2007中5.4a)制冷量应不小于名义规定值的95%的性能判定要求,即实测制冷量等于由式(1)计算所得制冷量,且该计算结果应大于等于名义制冷量的95%,即:

$$1.163(0.172Q)(1+\delta_f)(5+\delta_t) \geq 0.95Q \quad (2)$$

式中 δ_f ——水流量允差
 δ_t ——出水温度允差

式(2)可进一步简化为:

$$(1+\delta_f)(5+\delta_t) \geq 4.749 \quad (3)$$

由式(3)可知,水流量和出水温度的允差条件至少要满足式(3)的下限值4.75,测试才能从理论上避免因允差变化对测量结果的影响,如果允差条件小于该下限值,说明允差条件与国标规定的判定要求5.4a)不一致,这必然会对判定带来影响。将表1所给的允差代入式(3)左侧公式计算可得:

$$5.565 \geq (1+\delta_f)(5+\delta_t) \geq 4.465 \quad (4)$$

比较式(3)和(4)可知,由表1所给允差计算所得下限值4.465小于式(3)下限值4.75,因

此,采用表 1 的允差进行测试,理论上会导致对冷水机组的不合理评定,这也从理论上进一步说明为什么会出现有厂家生产的水冷式冷水机组在不利允差条件下测试时,制冷量不能满足 GB/T 18430.1-2007 中 5.4a) 制冷量应不小于名义规定值的 95% 的性能判定要求,而把允差置于有利条件下进行测试时,冷水机组制冷量能达到 GB/T 18430.1-2007 中 5.4a) 制冷量应不小于名义规定值的 95% 的性能判定要求。因此,为了从理论上避免允差波动范围对测量结果的影响,一方面保持 GB/T 18430.1-2007 中制冷量的判定条件,将表 1 允差范围按国标对冷水机组性能的判定要求进行适当调整,调整后的允差如表 2 所示,经长期的冷水机组测试验证,表 2 允差均可在冷水机组试验台上实现。

表 2 满足判定条件的温度和流量的偏差

项目	使用侧		热源侧	
	水流量 [m ³ /(h·kW)]	出口水温 (°C)	进口水温 (°C)	水流量 [m ³ /(h·kW)]
名义制冷	±2%	±0.1	±0.1	±2%

基于调整后的允差对冷水机组进行测试,可以有效避免允差波动对测试结果判定的影响,以提高测试结果的准确性。一方面保持表 1 允差范围,将 GB/T 18430.1-2007 中制冷量的判定条件 5.4a) 调整为:制冷量应不小于名义规定值的 89% 的性能判定要求,基于该判定条件,式 (2) 变为:

$$1.163(0.172Q)(1+\delta_{\varepsilon})(5+\delta_t) \geq 0.89Q \quad (5)$$

式 (5) 可进一步简化为:

$$(1+\delta_{\varepsilon})(5+\delta_t) \geq 4.449 \quad (6)$$

由式 (6) 与式 (4) 比较可知,允差在表 1 范围内变化不会对判定带来影响。

3 试验分析

下面将结合某公司生产的冷水机组为例对测试允差变化的影响进行分析,以验证允差调整的合理性。经长期的实际测试发现,控制水流量的允差为 ±1%,水温允差为 ±0.1°C,测试过程中,为了掌握水流量和水温的允差对测试结果的影响,允许水流量和水温在一定范围内取值,定义温度高于工况温度的偏差为正偏差,低于工况的偏差

为负偏差。

3.1 样机参数

机组的名义制冷量为 285kW,制冷消耗总电功率为 52kW,性能系数为 5.48kW/kW。为了比较现有国标允差对冷水机组性能的影响,基于表 1 允差的上下限,将冷水机组测试工况进行细化,细化后的冷水机组测试工况如表 3 所示。表 3 中水流量工况的数值均在 GB/T 18430.1-2007 规定的 ±5% 范围内,进出水温度工况的数值均在国标规定的 ±0.3°C 范围内。

表 3 冷水机组测试工况参数

工况	使用侧		热源侧	
	水流量 (m ³ /h)	出口水温 (°C)	进口水温 (°C)	水流量 (m ³ /h)
1	50.00	7	30	61.28
2	49.02	7	30	61.28
3	47.00	7	30	61.28
4	49.00	7.2	30	61.28
5	49.00	6.8	30	61.28
6	49.00	7	30.2	61.28
7	49.00	7	29.8	61.28
8	49.00	7	30	62.00
9	49.00	7	30	60.00
10	50.00	7.2	29.8	60.00
11	47.00	6.8	30.2	62.00
12	47.00	6.8	29.8	60.00
13	50.00	7.2	30.2	62.00

表 3 中测试工况说明:工况 1~3 使用侧水流量变化,工况 4,5 冷媒水出水温度变化,工况 6,7 冷却水进水温度变化,工况 8,9 热源侧水流量变化,工况 10~13 有利工况参数和不利工况参数组合。

3.2 试验装置及测量仪器

图 1 为冷水机组性能试验装置原理,在机组使用侧和热源侧均安装有水流量、水温测量装置,通过测量机组的进出水温度、水流量等参数即可确定冷水机组的性能参数。本次试验在 2500kW 冷水机组试验台上进行,该试验台经国家压缩机制冷设备监督检验中心认证,其重复性小于 2%,主辅偏差小于 5%。测量用仪表、仪器准确度按 GB/T 10870-2014《蒸汽压缩循环冷水(热泵)机组性能试验方法》的规定并经校验校准合格,均在有效期内。试验平衡后每隔 5min 记录一次数

据,连续记录7次,7次记录数据允差范围均相同,最后求取7组数据的平均值。

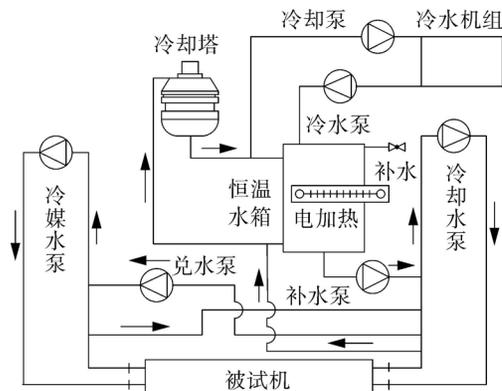


图1 试验装置原理示意

3.3 试验结果及分析

表4为测试结果,由表4可知,在其它参数不变的情况下,较高的冷媒水出水温度和较低的冷却水进水温度对应较高的制冷量,较低的冷媒水出水温度和较高的冷却水进水温度对应较低的制冷量,这与理论分析的结果是一致的,因此,冷媒水出水温度的正偏差和冷却水进水温度的负偏差均会强化冷水机组的制冷量,冷媒水出水温度的负偏差和冷却水进水温度的正偏差均会弱化冷水机组的制冷量。较大的水流量会导致进出水温差变小,较小的水流量会导致进出水温差变大,最终水流量变化对机组性能的影响会因进出水温差的变化而减弱。因此,流量的变化对机组制冷量有一定影响,但不如水温变化影响大。

表4 测试结果

工况	制冷量 (kW)		功率 (kW)	性能系数 (kW/kW)	冷媒水			冷却水		
	主侧	辅侧			出水温度 (°C)	进出水温差 (°C)	流量 (m³/h)	进水温度 (°C)	进出水温差 (°C)	流量 (m³/h)
1	275.949	273.305	48.642	5.67	7.03	4.73	50.03	29.96	4.55	61.20
2	274.331	273.028	49.330	5.56	7.02	4.81	48.98	29.99	4.56	61.23
3	272.355	274.249	48.714	5.59	7.02	4.96	47.13	29.93	4.57	61.19
4	279.696	277.545	48.969	5.71	7.24	4.90	49.07	29.94	4.60	61.40
5	272.916	272.026	49.131	5.56	6.77	4.78	48.98	29.95	4.53	61.33
6	273.272	273.745	49.715	5.50	7.01	4.79	48.99	30.20	4.57	61.32
7	274.254	274.570	49.251	5.57	7.00	4.81	48.99	29.79	4.57	61.30
8	273.492	273.747	49.260	5.55	7.00	4.79	48.98	30.01	4.48	62.49
9	272.731	273.348	49.437	5.52	7.00	4.78	48.97	30.00	4.65	60.16
10	275.136	275.649	49.456	5.56	7.20	4.73	49.98	29.80	4.69	60.00
11	269.144	270.764	49.092	5.48	6.80	4.92	46.99	30.23	4.43	62.52
12	272.521	272.114	48.821	5.58	6.78	4.98	47.00	29.82	4.64	59.82
13	273.959	275.557	49.574	5.53	7.19	4.71	49.98	30.22	4.51	62.48

值得注意的是,当机组在最不利工况运行时(工况II),试验结果显示机组制冷量并不能达到国标判定要求,即:269.144 kW < 285×0.95=270.750 kW,而机组在其它工况运行时,机组制冷量均能满足 GB/T 18430.1-2007 对名义制冷量的判定要求,这也从试验上进一步验证了前面章节的理论分析,即:基于现有 GB/T 18430.1-2007 的允差条件,存在对水冷式冷水机组制冷量的不合理判定。如果将判定条件改为:制冷量应不小于名义规定值的 89%,即有 269.144 kW > 285×0.89=253.650kW,基于该判定条件,测试机组制冷量即能达到要求。

4 结语

在现有国标允差范围内进行测试,有可能会对冷水机组的不合理判定,特别是随着仪器仪表精度的不断提高,人为因素控制实际测试工况点位于允差边界点的可能性增大,因此,将冷水机组测试允差范围根据国标判定要求进行合理调整,使其与判定条件要求范围一致,一方面可从理论上避免允差波动对测试结果判定的影响;其次,可避免人为干预测试工况允差边界导致对测试结果的不合理判定。

参考文献

- [1] Mahlia T M I, Saidur R. A review on test procedure, energy efficiency standards and energy labels for room air conditioners and refrigerator-freezers [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14(7): 1888-1900.
- [2] Jiang Lin, Gregory Rosenquist. Stay cool with less work: China's new energy-efficiency standards for air conditioners [J]. *Energy Policy*, 2008, 36(3): 1090-1095.
- [3] 张忠斌, 杜垵, 黄虎, 等. 允差范围内变化的房间空调器测试结果算法修正 [J]. *机械工程学报*, 2014, 50(20): 157-162.
- [4] 潘亚梅, 黄虎, 张忠斌, 等. 干湿球温度在国标允差内变化对风管送风热泵性能影响的实验研究 [J]. *制冷学报*, 2015, 36(4): 78-84.
- [5] 潘亚梅. 干湿球温度在国标允差内变化对风管送风式热泵性能影响的研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2015.
- [6] 张忠斌, 杜垵, 黄虎, 等. 基于性能曲面特性的干湿球温度允差等级划分 [J]. *化工学报*, 2014, 65(9): 3676-3679.
- [7] 张忠斌. 基于性能曲面和权重分析的干湿球温度允差修正研究 [D]. 南京: 东南大学, 2014.
- [8] 中华人民共和国国家标准. GB/T 18430.1-2007, 蒸气压缩循环冷水(热泵)机组 第1部分: 工业或商业用及类似用途的冷水(热泵)机组 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [9] 李小燕, 程斌, 钟志峰, 等. 小型 HFC-32 冷水(热泵)机组的性能试验研究 [J]. *流体机械*, 2016, 44(6): 81-84.
- [10] 中华人民共和国国家标准. GB/T 10870-2014, 蒸气压缩循环冷水(热泵)机组性能试验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

作者简介: 包继虎 (1977-), 男, 博士, 主要从事制冷空调产品检测技术研究, 通讯地址: 230031 安徽合肥市长江西路 888 号合肥通用机械研究院, E-mail: tiger0203@163.com.

(上接第 54 页)

5 结语

通过采用对称分布的半螺旋形式优化环形吸水室的水力结构, 吸水室内的压力场和速度场由非对称结构变为基本对称分布, 同时改善了吸水室内的速度矢量场和首级叶轮的人流条件, 提高了泵的抗汽蚀性能, 经汽蚀试验验证泵的汽蚀性能完全满足设计要求. 环形吸水室的水力优化对泵的扬程、轴功率和效率不产生明显影响.

参考文献

- [1] 赵万勇. 大型泵叶轮抗汽蚀性能的改善 [J]. *流体机械*, 1998, 26(9): 36-39.
- [2] 罗先武, 张瑶, 彭俊奇, 等. 叶轮进口几何参数对离心泵空化性能的影响 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2008, 48(5): 836-839.
- [3] 王勇, 刘厚林, 袁寿其, 等. 叶片进口冲角对离心泵空化特性的影响 [J]. *流体机械*, 2011, 39(9): 17-20.
- [4] 陈芳芳, 李志鹏, 王昌生. 基于 CFD 技术的多级离心泵汽蚀性能研究 [J]. *热能动力工程*, 2013, 28(5): 514-517.
- [5] 王洋, 谢山峰, 王维军. 开缝叶片低比转数离心泵空化性能的数值模拟 [J]. *排灌机械工程学报*, 2016, 34(3): 210-215.
- [6] 陶海坤, 曹树良, 桂绍波. 钟形进水水道蜗形吸水室的设计方法 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2008, 48(11): 1949-1952.
- [7] 付强, 朱荣生, 王秀礼. 多级离心泵环形吸水室水力设计优化与数值计算 [J]. *中国农村水利水电*, 2012(7): 91-93.
- [8] 张永学, 宋鹏飞, 许聪, 等. 预旋调节对离心泵空化影响的试验与数值模拟 [J]. *农业机械学报*, 2014, 45(9): 131-137.
- [9] Liu Houlin, Liu Dongxi, Wang Yong, et al. Experimental investigation and numerical analysis of unsteady attached sheet-cavitating flows in a centrifugal pump [J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2013, 25(3): 370-378.
- [10] 李文广. 全空化模型预测离心泵汽蚀性能的准确度 [J]. *水泵技术*, 2013(5): 1-7.
- [11] 关醒凡. 现代泵理论与设计 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 2011: 348-351.

作者简介: 秦武 (1980-), 男, 硕士, 工程师, 从事多级离心泵产品设计研究, 通讯地址: 410323 长沙市浏阳高新技术开发区永阳路 7 号长沙佳能通用泵业有限公司, E-mail: chn_loong@sina.com.