

# 集中式空调系统中冷水机组 IPLV 的研究

宗学军<sup>1</sup>, 周楠<sup>1</sup>, 何勘<sup>1</sup>, 揭福宥<sup>2</sup>

(1. 沈阳化工大学信息工程学院, 辽宁 沈阳 110142;

2. 中国石油天然气股份有限公司辽河油田分公司油气集输公司, 辽宁 盘锦 124010)

**摘要:** Integrated Part-Load Value (IPLV, 综合部分负荷值) 是 ARI 统计大量制冷机运行资料得出的综合评价冷机性能的表达式, 而建立 IPLV 公式的关键在于确定式中的四个权重系数  $a, b, c, d$ 。根据 ARI 550/590—2003 标准中的推导方法, 利用隶属函数对 IPLV 中四个权重系数进行重新分配, 并给出具体的计算过程。通过此方法一方面可以更全面的反映冷水机组不同负荷本身的特性以及相互间的影响关系, 另一方面使得 IPLV 在应用过程中更切合实际, 对推动我国冷水机组标准的发展具有积极意义。

**关键词:** 冷水机组; IPLV; 隶属函数

**中图分类号:** TU831

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2012)06-0883-05

## 1 引言

空调冷水机组在空调季节里 99% 的时间都在部分负荷下运行。为了评价制冷机组在所有部分负荷下的综合性能, 美国制冷学会 ARI 对大量冷机的运行情况进行了调查统计, 提出了部分负荷综合值 IPLV 的概念, 并在 ARI 550/590-2003 中予以修正。国内空调系统设计标准的编制过程中已经注意到制冷设备的部分负荷性能系数的重要性, 参照 ARI 标准, 于 2005 年 7 月份颁布的《公共建筑节能设计标准》<sup>[1]</sup> (GB50189—2005) 中给出了适合于我国的冷水机组的部分负荷综合值。目前我国 90% 的冷水机组仍依赖于从美国进口<sup>[2]</sup>, 因而正确理解 ARI 冷水机组部分负荷性能标准对于进一步完善我国冷水机组标准具有积极意义。

## 2 对 IPLV 公式的定义与理解

IPLV 公式是 ARI 统计大量冷水机组运行资料得出的综合评价冷机性能的表达式, 是在规定工况下的冷水机组部分负荷负载效率的加权平均值, 不仅考虑了机组满负荷及部分负荷时的能源效率, 也同时考虑了负荷和冷却水温(水冷)/室外干球温度(风冷)的变化对于机组效率的影响。该概念 1986 年起源于美国, 1988 年被美国冷冻空调协会 ARI 采用并于 1992 年进行了两次修订<sup>[3-4]</sup>。而我国业内专业人士也对 IPLV 指标的理解发表过不同的看法<sup>[5-6]</sup>。

对于只有单台机组运行的系统, 部分负荷综合值的定义如下:

$$IPLV = aA + bB + cC + dD \quad (1)$$

式中:  $A, B, C, D$  分别为负荷率为 100%, 75%, 50% 和 25% 时冷机的性能系数 COP;  $a, b, c, d$  分别代表  $A, B, C, D$  的权重系数。

制定 IPLV 公式的关键在于确定公式中的四个权重系数  $a, b, c, d$ , 它们可以反映不同负荷本身的特性, 而与冷水机组性能无关<sup>[7]</sup>, 由 ARI550/590—2003 附录 D<sup>[8]</sup> 的介绍可知 IPLV 公式导出步骤如下:

(1) 基于现实的数据和情况, 将美国 29 个城市绝大部分建筑类型的冷水机组在整个空调季节的运行模式分为四类:

收稿日期: 2012-03-08 修改稿日期: 2012-11-25

基金项目: 辽宁省教育厅重点实验室项目 (LS2010126)

作者简介: 宗学军 (1970-), 男, 陕西西安人, 教授, 主要从事空调节能与能耗分析的研究工作。

(2) 针对第一类情况,对这些城市的计权平均气象资料进行 BIN 参数分析.

(3) 用 ASHRAE 温频法列表简化计算该情况下某建筑物每个温频段对应的冷机的运行时间和负荷.

(4) 根据 BIN 参数将负荷范围以 100%, 75%, 50%, 25% 为中心划分为四个段区域.

(5) 采用 %TON-HOUR(冷吨-小时数)法,计算每个区域占总冷吨小时数的比例,即第一类 IPLV 公式中的权重系数:

$$IPLV=0.009A+0.309B+0.413C+0.269D \quad (2)$$

(6) 按照同样的方法计算得出第二,三,四类的 IPLV 公式.

(7) 通过对四类模式经行加权平均,得到 IPLV 统一式:

$$IPLV=0.01A+0.42B+0.45C+0.12D \quad (3)$$

从 ARI 的推导过程中可以看出,合适的负荷区域划分方法是决定权重系数的重要因素,因为只有适当的负荷区域划分才能有相应适当的权重系数.在 ARI550/590 标准中,IPLV 公式的四个权重系数相对于 1992 年的标准来说起到了“时间权”的作用,但是 ARI 在给出这些数值时,并没有确切地说明为何是某一个或某几个温频段的“冷吨小时数”相对于所有温频段的“冷吨小时数”(见表 1),而不是某一负荷段冷机运行时间的百分比.同时,ARI 将全部温频段分成四个区域,分别以负荷率 100%, 75% 左右, 50% 左右,和 25% 左右为核心,依据 ARI 的区域划分方法,如果存在负荷率为 97% 的点,它也将被划分在 75% 这一区域,然而,实际上 97% 这一点非常接近满负荷点.因此,ARI 标准中权重系数<sup>[9]</sup>的推导过程是否合理仍然值得商榷.

### 3 关于 IPLV 中权重系数的修正

由于 ARI 标准对于 IPLV 公式中比较接近标定点的负荷率的划分不是很合理,因此,本文采用一种新的方法以 ARI 标准中的第一类情况(24 h/d, 7 h/星期, 0°F 以上)为例,对公式(2)中的权重系数进行修正.

本文的修正方法与 ARI 标准中的推导过程类似,我们根据处理数据的一般规律,将整个冷负荷段划分成设计负荷段,高负荷段,低负荷段及最低负荷段,以上四个负荷段分别以负荷率 100%, 75%, 50%, 25% 为中心,每个负荷段在所有温频段的冷吨小时数中的比例依据每个负荷率相对于标定点的远近程度和它们所对应的冷吨小时数的乘积之和来权衡.

IPLV 权重系数具体的修正原则如下:对于负荷曲线(图 1)中 25%~100% 区间内的各点负荷处于设计负荷段,高负荷段,以及低负荷段的可能性,我们将采用折线型隶属函数<sup>[10]</sup>中的半梯形和三角形函数判定.对于负荷曲线上负荷率在 25%~50% 之间的各点位于低负荷段的可能性,本文将采用偏小型半梯形隶属函数来确定;对于负荷率处于 75%~100% 之间的各点位于设计负荷段的可能性,我们采用偏大型半梯形隶属函数来解决,如图 2 所示,其中两图中的点 a 和点 b 分别为核心负荷 25%, 50% 和 75%, 100%. 而对于负荷率处于 25%~75%, 50%~100% 之间的各点相对于标定点 50% 和 75% 的可能性,则采用三角形隶属函数求出,如图 3 所示,其中图中点 a 分别取核心负荷点 50% 和 75%. 负荷曲

表 1 在 ARI 标准的第一类情况下  
各负荷率段的权重系数

Tab. 1 The weight coefficient for each load rate  
in the first type of ARI standards

Frequency band	Load rate/%	Running time percentage/%	Ton-Hour percentage/%
A	100	0.4	0.9
B	92~69	19.8	30.9
C	61~38	39.9	41.3
D	36~20	39.9	26.9

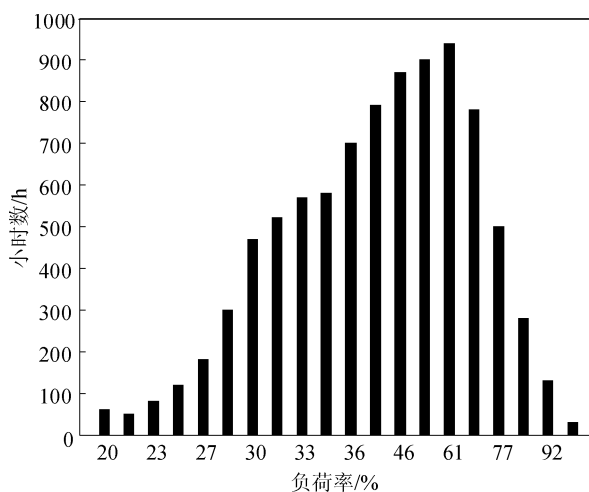


图 1 负荷曲线

Fig. 1 Load curve

线上位于 0~25% 之间的各点由于与标定点 25% 相临,因此其处于最低负荷段的可能性恒为 1,四个标定点位于其相应负荷段的可能性皆为 1.

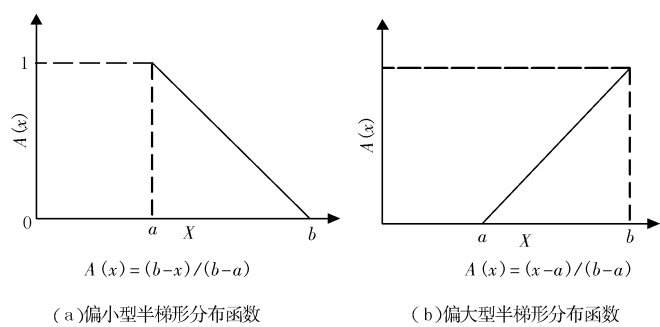


图 2 半梯形分布函数

Fig. 2 Half-trapezoid distribution function

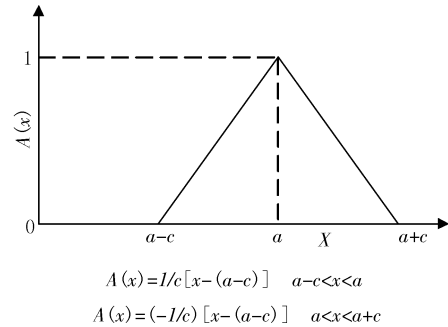


Fig. 3 The triangle distribution function

本文将以负荷率为 92% 这一点为例进行分析. 92% 这一点相对于 75% 来说更接近满负荷点 100%, 由于 100% 与 75% 之间相差 25 个百分点, 92% 与 100% 及 75% 分别相差 8% 和 17%. 不论对于 100% 还是 75% 中的哪一个而言, 都有影响, 只是孰重孰轻. 所以本文在计算中心负荷为 100% 的权重系数时, 把 92% 所对应的冷吨小时数以 17/25 的比例计入, 在这里称 17/25 为隶属值. 负荷率位于 75%~100% 之间各点的隶属值与其距 100% 负荷点的远近程度成正比. 核心负荷为 25%, 50% 及 75% 由于受其左右负荷率的影响, 隶属值的计算过程相对于 100% 的要复杂一些. 经计算, 本文将各个隶属值结果列于表 2.

表 2 在 ARI 标准的第一类情况下各温频段隶属值的计算结果

Tab. 2 Calculation results of membership value for each temperature frequency band in the first type of ARI standards

The temperature outside/°F	%Ton-Hour/h	Load rate/%	Membership value (about 25%)	Membership value (about 50%)	Membership value (about 75%)	Membership value (about 100%)
99—95	37	100				1
90—94	111	92			8/25	17/25
85—89	256	85			15/25	10/25
80—84	395	77			23/25	2/25
75—79	539	69		19/25	6/25	
70—74	570	61		14/25	11/25	
65—69	478	54		21/25	4/25	
60—64	393	46	4/25	21/25		
55—59	295	38	12/25	13/25		
50—54	247	36	14/25	11/25		
45—49	204	35	15/25	10/25		
40—44	186	33	17/25	8/25		
35—39	169	30	18/25	7/25		
30—34	140	30	20/25	5/25		
25—29	85	28	22/25	3/25		
20—24	49	27	23/25	2/25		
15—19	27	25	1			
10—14	16	23	1			
05—09	9	22	1			
00—04	9	20	1			

通过上述处理,在根据 %TON-HOUR 法求出四个新的权重系数. 修正后的 IPLV 公式(针对第一

类情况)为:

$$IPLV=0.058A+0.307B+0.404C+0.231D \quad (4)$$

从修正后的 IPLV 公式中可知:100%左右的负荷率在总冷吨小时数中出现的份额最小,而 50%左右的负荷率仍然占据很大的比重.这种情况恰好与机组大部分时间运行在部分负荷状态这一事实相符合.我们将式(2)与式(4)比较:设计负荷率段的权重系数变化非常明显,从 0.009 上升到 0.058,这是因为式(2)中 A 的权重系数只针对 100%这一负荷点,而式(4)中的权重系数则考虑到 75%~100%之间所有点对设计负荷段在整个权重分配中的影响,所以本文采用的处理方法可以更加清晰的反映不同负荷本身的特性.

## 4 结 论

IPLV 计算公式的提出,其实质就是要对机组的部分负荷性能进行考核,用一个统一的标准来评价不同冷水机组,它为机组选型提供了可靠的评价依据.本文通过隶属函数法对 IPLV(综合部分负荷值)中四个权重系数进行重新分配,不仅更全面地反映不同负荷本身的特性及相互之间的影响关系,而且使得 IPLV 在实际应用中更加精准,对进一步完善适合于我国国情的冷水机组评价标准具有一定参考价值,从而为大型建筑中央空调系统的节能评价提供有力的依据.

## 参考文献 References

- [1] GB50189—2005, 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.  
GB50189—2005, Design standard for energy efficiency of public buildings[J]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.
- [2] 汪训昌. 新的 ARI550/590—1998 标准与冷水机组的选用[J]. 制冷与空调, 2000, 30(4): 4-9.  
WANG Xun-chang. New ARI550/590—1998 standard and the selection of cold water chiller[J]. REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING, 2000, 30(4): 4-9.
- [3] ARI 550—1992, Centrifugal and rotary screw water-chiller packages[S]. America: Air-conditioning and Refrigeration Institute, 1992.
- [4] A ARI 590—1992, Positive displacement compressor water-chiller packages[S]. America: Air-conditioning and Refrigeration Institute, 1992.
- [5] 韩树衡. 对如何正确应用综合部分负荷系数 IPLV 之我见[J]. 制冷与空调, 2005, 5(6): 1-2.  
HAN Shu-heng. PERSONAL OPINION ABOUT HOW TO APPLY IPLV ACCURATELY[J]. REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING, 2005, 5(6): 1-2.
- [6] 马宏雷, 温昕宇. 综合部分负载能效值 IPLV—真实反映冷水机组部分负载性能的参数[J]. 制冷与空调, 2005(2): 31-37.  
MA Hong-lei, WEN Xin-yu. Integrated Part-Load Value—A Real World Part-Load Efficiency Rating for Chillers[J]. REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING, 2005(2): 31-37.
- [7] 夏国欣, 陈汝东. 负荷动态特性与制冷机组性能的匹配[J]. 流体机械, 2003, 31(1): 53-55.  
XIA Guo-xin, CHEN Ru-dong. Matching of Load Dynamic Characteristic and Refrigerating Unit Performance[J]. Fluid Machinery, 2003, 31(1): 53-55.
- [8] ARI 550/590—2003, PERFORMANCE RATING OF WATER CHILLING PACKAGES USING THE VAPOR COMPRESSION CYCLE[S]. America: Air-conditioning and Refrigeration Institute, 2003.
- [9] 李苏泷. 冷水机组综合部分负荷性能指标与能耗计算[J]. 暖通空调, 2005, 35(11): 80-82.  
LI Su-long. Integrated part load index and calculation of annual energy consumption of a single chiller[J]. HEATING VENTILATING & AIR CONDITIONING, 2005, 35(11): 80-82.
- [10] 赵晓东, 赵静一. 模糊思维与广义设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1998: 56-57.  
ZHAO Xiao-dong, ZHAO Jing-yi. Fuzzy thinking and general design: theory and modeling and its application[M]. Beijing: CHINA MACHINE PRESS, 1998: 56-57.

## Research of integrated part-load value for chillers in air-conditioning system

ZONG Xue-jun<sup>1</sup>, ZHOU Nan<sup>1</sup>, HE Kan<sup>1</sup>, JIE Fu-you<sup>2</sup>

(1. School of Information Engineering, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China;

2. Oil Gas Gathering Company of Liaohe Oilfield of CNPC, Panjin 124010, China)

**Abstract:** IPLV is the expression evaluating cold machine performance according to the statistics of vast cold machine's run book by ARI, and the key to establishing IPLV formula is confirming the weight coefficient: a, b, c, d. According to the derivation method of ARI Standard 550/509-2003, the paper redistributed the four weight coefficients of IPLV by using the method of membership function, and gave the specific process of the calculation. On the one hand, this method would reflect the characteristics of different load itself and mutual influence for chillers comprehensively. And on the other hand, the method would make the IPLV more practical in the application, and the method had a positive significance for promoting the development of chillers's standard in China.

**Key words:** chillers; IPLV; membership function

**Biography:** ZONG Xue-jun, Professor, Shenyang 110142, P. R. China, Tel: 0086-13804212023, E-mail: syictauto@163.com

(上接第 875 页)

- [26] WATTS J H. 'Allowed into a man's world' meanings of work-life balance: Perspectives of women civil engineers as 'minority' workers in construction[J]. *Gender; Work and Organization*, 2009, 16: 37-57.
- [27] HELEN Clare Lingard, VALERIS Francis, MICHELLE Turner. The rhythms of project life: a longitudinal analysis of work hours and work-life experiences in construction[J]. *Construction Management and Economics*, 2010, 28: 1085-1098.

## The project-based employees' job performance influence factor research in China's construction industry

ZHANG Su-xian, ZHAO Fan

(School of Management, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Combining with the construction enterprise characteristics, the influence of project-based employees' job satisfaction on job performance is analyzed based on the literature review. A conceptual model incorporates work-family conflict, job satisfaction, life satisfaction, and job performance. Work-family conflict is viewed as a bi-directional construct in which work can interfere with family (referred to as work-family conflict) and family can interfere with work (referred to as family-work conflict). An empirical study involving 511 project-based employees shows that Project-based employees' work-family conflicts on job satisfaction and life satisfaction has negative effects; that Project-based employees' job satisfaction and life satisfaction has a significant positive impact on job performance relationship; and that Project-based employees' work-family will conflict indirectly affect job performance.

**Key words:** construction projects; job satisfaction; life satisfaction; job performance

**Biography:** ZHANG Su-xian, Ph. D., Associate Professor, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-29-82201563, E-mail: susanxxy@163.com