

冷水机组季节性能评价新指标 SPLV 和 IPLV 的比较^{*}

清华大学 吴成斌[☆] 石文星[△] 李先庭 王宝龙

摘要 基于“性能指标应等于季节总制冷量与总耗电量之比”的物理意义提出了季节部分负荷性能系数 SPLV 新指标。就 SPLV 和 IPLV 的公式形式、指标大小以及在典型性能曲线中的应用三个方面对二者的区别与联系进行分析,得出结论:SPLV 与 IPLV 采用相同的构成要素,但二者的公式形式和量纲不同;对同一机组而言, $IPLV \geq SPLV$,且各部分负荷工况点的性能系数 COP。差别越大,其 IPLV 相对 SPLV 偏差也越大。

关键词 冷水机组 综合部分负荷性能系数(IPLV) 季节部分负荷性能系数(SPLV) 比较 计算公式

Comparison between SPLV and IPLV for evaluating water chiller performance

By Wu Chengbin[★], Shi Wenxing, Li Xianting and Wang Baolong

Abstract Puts forward a new index-seasonal part-load value (SPLV) based on the physical meaning that the performance index should be equal to the ratio of total seasonal cooling capacity to total power consumption. Analyses the differences and relation in respects of the formula form, index value and application of SPLV and IPLV to the typical characteristic curves. Concludes that SPLV and IPLV adopt the same constituent elements with different formula form and dimension. For the same chiller unit, IPLV is greater than or equal to SPLV, and the larger the difference among COP_e of part-load working condition points is, the greater the deviation between IPLV and SPLV is.

Keywords water chiller, integrated part-load value (IPLV), seasonal part-load value (SPLV), comparison, calculation formula

★ Tsinghua University, Beijing, China

①

笔者在 2012 年第 8 期《暖通空调》上发表了《一种冷水机组季节性能评价新指标与多台机组联合运行性能评价》^[1]的文章,文中根据 IPLV 的构成要素和“性能指标应等于季节总制冷量与总耗电量之比”的物理意义,构建了新的冷水机组性能评价指标——季节部分负荷性能系数 SPLV (seasonal part-load value),以表征冷水机组的季节运行性能,证明其可以准确评价冷水机组在整个制冷季节的效率水平。

季节部分负荷性能系数 SPLV 的提出,引起了业界的热议。本文就 SPLV 和 IPLV 的公式形式、指标大小以及在典型性能曲线中的应用三个方面

面对两种指标进行比较,以期进一步阐述二者的区别与联系。

1 SPLV 与 IPLV 的公式形式比较

综合部分负荷性能系数 IPLV 是描述冷水机组季节运行性能的重要指标,其含义是“用一个单一数值表示的空气调节用冷水机组的部分负荷效率指标”^[2-3],其计算公式为各测试工况点的性能系数 COP_e 的加权求和,即

①☆ 吴成斌,男,1987 年 12 月生,在读硕士研究生

△ 石文星(通讯作者)

100084 清华大学建筑学院建筑技术科学系

(010) 62796114

E-mail: wxshi@tsinghua.edu.cn

收稿日期:2012-09-24

* 国家自然科学基金资助项目(编号:51176084),国家杰出青年基金资助项目(编号:51125030)

$$IPLV = \sum_{i=1}^m a_i A_i \quad (1)$$

式中 m 为测试工况点的数量; a_i 为负荷率 i 时冷水机组制冷运行时的性能系数 COP_c 的权重系数,由对应负荷率下机组运行的相对负荷时间决定,

$\sum_{i=1}^m a_i = 1$; A_i 为在负荷率 i 及其相应的测试工况下冷水机组的制冷性能系数 COP_c , kW/kW。

可见, $IPLV$ 与 COP_c 具有相同的量纲, 即为 kW/kW。

一般而言, 测试工况点 m 越多, 其冷水机组的全工况性能模型越准确。为了保证一定评价准确度下使测试和计算简便, 实际产品评价中, m 一般取为 4, 采用机组负荷率 i 分别为 100%, 75%, 50% 和 25% 四个工况点的性能系数和权重系数进行计算。

季节部分负荷性能系数 $SPLV$ 的物理意义为: 冷水机组在制冷季节制取的总冷量与该季节消耗的总电量之比, 根据式(2)可以推导出 $SPLV$ 的计算式(3)^[1]。

$$\begin{aligned} \frac{IPLV}{SPLV} - 1 &= \sum_{i=1}^m a_i A_i \cdot \sum_{i=1}^m \frac{a_i}{A_i} - 1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[a_i a_j \left(\frac{A_i}{A_j} + \frac{A_j}{A_i} \right) \right] - \left(\sum_{i=1}^m a_i \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[a_i a_j \left(\frac{A_i}{A_j} + \frac{A_j}{A_i} \right) \right] - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[a_i a_j \left(\frac{A_i}{A_j} + \frac{A_j}{A_i} - 2 \right) \right] \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{a_i a_j}{2} \left(\frac{A_i}{A_j} + \frac{A_j}{A_i} - 2 \right) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{a_i a_j}{2} \frac{(A_i - A_j)^2}{A_i A_j} \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

从上述推导结果可知, 采用相同 a_i 系数和性能系数 A_i 的 $IPLV$ 和 $SPLV$ 评价同一台机组的性能时, 存在如下关系:

$$IPLV \geq SPLV \quad (5)$$

从式(4)可以看出, $IPLV/SPLV - 1$ 的值不但与 a_i 有关, 还与 A_i 值有关。由于 $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j = (\sum_{i=1}^m a_i)^2 = 1$, 所以, $IPLV/SPLV - 1$ 的大小主要取决于 $(A_i - A_j)^2 / A_i A_j$ 。只有当各个 A_i 值相差不大时, $IPLV/SPLV - 1$ 才约等于 0, 即 $IPLV$ 和 $SPLV$ 才近似相等; A_i 值相差越悬殊, $IPLV$, $SPLV$ 的数值差别也越大, 即当各工况点的 COP_c 值越接近, $IPLV$ 与 $SPLV$ 相差越小; 反之, $IPLV$ 与 $SPLV$ 的偏差越大。

3 SPLV 与 IPLV 指标的应用

$$SPLV = \frac{\text{冷水机组全年制取的总冷量}}{\text{冷水机组全年制冷时消耗的总电量}} \quad (2)$$

$$SPLV = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{a_i}{A_i}} \quad (3)$$

由于在 $SPLV$ 的构建过程中采用了与 $IPLV$ 完全相同的构成要素, 故式(3)中 a_i 的数值和 A_i 的意义均与式(1)相同, 但两者的计算公式形式不同。从 $SPLV$ 的定义式可知, $SPLV$ 越大, 在一定的总制冷量 (kW · h) 下, 总耗电量 (kW · h) 就越小, 即 $SPLV$ 可以表征冷水机组在整个制冷季节的能耗水平, 其量纲为 kW · h / (kW · h), 包含了整个制冷季节的运行时间因素。

2 SPLV 与 IPLV 的数值大小比较

$SPLV$ 与 $IPLV$ 两种指标的数值大小到底有何关系? 下面从数学角度进行分析。

$$\text{由式(1)和(3)可知, } IPLV = \sum_{i=1}^m a_i A_i,$$

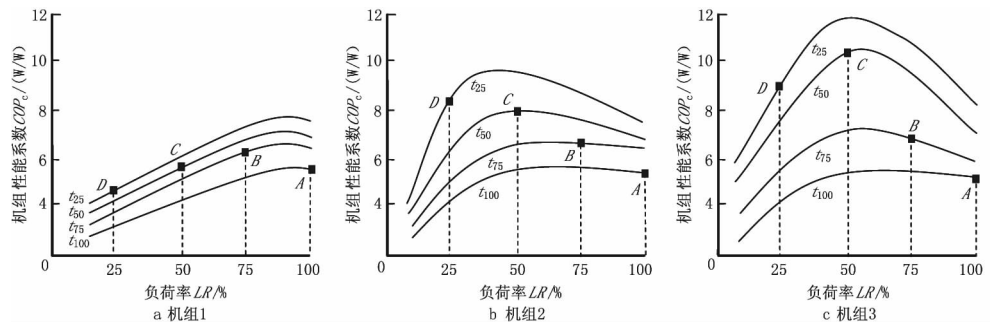
$$SPLV = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{a_i}{A_i}}, \text{ 其中 } \sum_{i=1}^m a_i = 1, \text{ 那么,}$$

图 1 给出了 3 台水冷式冷水机组的实测性能曲线。其中, 机组 1 是采用导流叶阀开度调节容量的离心机组; 机组 2 和机组 3 是加装了变频器的离心机组, 其容量采用转速与导流叶阀开度联合调节, 其中, 机组 3 的低负荷率下的性能比机组 2 更优。

GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》^[4]中冷水机组的 $IPLV$ 计算公式为式(6)。 $SPLV$ 中的权重系数计算方法与 $IPLV$ 相同, 故对应的 $SPLV$ 公式为式(7)。采用式(6)和式(7)分别计算 3 台机组的 $IPLV$ 值和 $SPLV$ 值, 结果见表 1。

$$IPLV = 0.023A + 0.415B + 0.461C + 0.101D \quad (6)$$

$$SPLV = \frac{1}{\frac{0.023}{A} + \frac{0.415}{B} + \frac{0.461}{C} + \frac{0.101}{D}} \quad (7)$$



注:冷却水进水温度 $t_{25}=19\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{50}=23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{75}=26\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{100}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$

图 1 3台冷水机组样机的性能曲线

表 1 3台冷水机组的 IPLV 和 SPLV 评价结果

	A ($COP_{c,100}$)	B ($COP_{c,75}$)	C ($COP_{c,50}$)	D ($COP_{c,25}$)	IPLV/ (kW/kW)	SPLV/ (kW · h/(kW · h))	指标数值的偏差/% (IPLV-SPLV)/SPLV
机组 1	5.55	6.05	5.64	4.91	5.73	5.71	0.4
机组 2	5.36	6.92	7.90	9.16	7.56	7.48	1.1
机组 3	5.10	6.91	11.32	10.10	9.22	8.67	6.3

从表 1 可以看出, IPLV 都大于 SPLV, 其中, 机组 1 的 IPLV 仅略大于 SPLV, 机组 3 的 IPLV 相对 SPLV 偏大更多。这是由于机组 1 在各测试工况点的 COP_c 差别不明显, 机组 2 各测试工况点的 COP_c 值差别尚不显著, 而机组 3 各工况点 COP_c 值差别很大所致。随着变频调节技术的发展, 冷水机组在部分负荷下的 COP_c 会更高, 导致 IPLV 的数值明显高于 SPLV。采用 IPLV 评价机组将夸大其实际运行能效。

4 结论

4.1 季节部分负荷性能系数 SPLV 与综合部分负荷性能系数 IPLV 采用了相同的构成要素, 但其物理意义不同, 公式形式和量纲也不同。

4.2 对同一台冷水机组进行性能评价时, $IPLV \geq SPLV$, 且机组各部分负荷条件下的性能系数相差越大, 其 IPLV 相对 SPLV 偏差越大。多数情况下四个测试工况点的 COP_c 值差别并不明显, 故

IPLV 仅略大于 SPLV; 但当四个 COP_c 值相差较大时, IPLV 的数值也就明显大于 SPLV。

参考文献:

[1] 吴成斌, 石文星, 李先庭. 一种冷水机组季节性能评价新指标与多台机组联合运行性能评价[J]. 暖通空调, 2012, 42(8): 9-16

[2] 约克(无锡)空调冷冻设备有限公司, 合肥通用机械研究院, 特灵空调系统(江苏)有限公司, 等. GB/T 18430.1—2007 蒸汽压缩循环冷水(热泵)机组 第 1 部分: 工商业用和类似用途的冷水(热泵)机组[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007

[3] AHRI. ARI 550/590-2011 Performance rating of water-chilling and heat pump water-heating packages using the vapor compression cycle[S]. Arlington, VA, USA, 2011

[4] 中国建筑科学研究院, 中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005