

对 IPLV 的学习和研究(1):定义解读

厦门 刘新民[☆]

摘要 通过对 GB 50189—2005 和 GB/T 18430.1—2007 的研读,探讨了我国标准中对 IPLV 的定义。鉴于产品标准作为设计标准的引用和约束标准,认为在研究 IPLV 时,将产品标准与设计标准分开讨论的研究方式是不可取的。强调了 IPLV 计算和检测的公式不是 IPLV 完整的表达式,还应受到 GB/T 18430.1—2007 标准中其他特定条款的约束。离开这些特定条件,IPLV 计算和检测公式不能单独成立。尽管目前的 IPLV 指标不是评价冷水机组及其系统最完善的方法,但是在更完善的评价方法得到广泛认同之前尚无法被替代,采用 COP 和 IPLV 两个评价指标要比只采用其中任何一个要更客观,也更科学。

关键词 国家标准 IPLV NPLV PLV COP

Study of IPLV (Part 1): Interpretation of the definition

By Liu Xinmin[★]

Abstract Studying the national standards GB 50189—2005 and GB/T 18430.1—2007, analyses the definition of IPLV in China's current standards. Points out that since product standards are regarded as reference to and constraint of the design criteria, it is not appropriate to discuss product and design standards separately while researching IPLV standards. Emphasizes that the calculation and examination formula for IPLV is not complete one and it should also be restricted by the other special articles in GB/T 18430.1—2007. The formula cannot be independently tenable without these articles. Although the present IPLV index is less perfect for evaluating a water chiller and its system, it cannot be replaced until a better evaluating index is generally accepted. Adopting two evaluating indexes, COP and IPLV, is more objective and reasonable than adopting either of them.

Keywords national standard, IPLV, NPLV, PLV, COP

[★] Xiamen, Fujian Province, China

①

本文以水冷式电动蒸汽压缩循环冷水机组为例,基于对 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》^[1]和被其引用的 GB/T 18430.1—2001《蒸汽压缩循环冷水(热泵)机组工商业用和类似用途的冷水(热泵)机组》^[2]标准,以及从 2008 年 2 月 1 日起替代 GB/T 18430.1—2001 的 GB/T 18430.1—2007《蒸汽压缩循环冷水(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》^[3]这 3 个不同时期、不同起草单位(起草人)、不同解释权所有人和不同讨论对象以及不同关注点的国家标准原文的对比研读,探讨综合部分负荷性能系数 IPLV(integrated part load value)的定义。

1 对 IPLV 定义的解读

GB 50189—2005 对 IPLV 的定义为: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,它基于机组部分负荷时的性能系数值,按照机组在各种负荷下运行时间的加权因素,通过计算获得^[1]。对水冷式电动蒸汽压缩循环冷水(热泵)机组,其综合部分负荷性能系数(IPLV)宜按式(1)计算和检测条件检测^[1]:

$$IPLV = 2.3\% \times A + 41.5\% \times B + 46.1\% \times C + 10.1\% \times D \quad (1)$$

式中 A 为 100% 负荷时的性能系数, W/W , 冷却水进水温度 30 °C; B 为 75% 负荷时的性能系数, W/W , 冷却水进水温度 26 °C; C 为 50% 负荷时的

①[☆] 刘新民,男,1951 年 6 月生,大学,高级工程师
361009 厦门市留学人员创业园昂业楼 205
(O) 13599519774

E-mail: 13599519774@139.com

收稿日期:2010-12-27

修回日期:2011-03-16

性能系数, W/W, 冷却水进水温度 23 °C; D 为 25% 负荷时的性能系数, W/W, 冷却水进水温度 19 °C。

而 GB/T 18430.1—2007 对 IPLV 的定义为: 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, 基于该标准规定的 IPLV 工况下机组部分负荷的性能系数值, 按照机组在特定负荷下运行时间的加权因素, 通过式(1)计算获得。此时式中 A 为 100% 负荷时的性能系数 COP, kW/kW, 冷却水进水温度 30 °C; B 为 75% 负荷时的性能系数 COP, kW/kW, 冷却水进水温度 26 °C; C 为 50% 负荷时的性能系数 COP, kW/kW, 冷却水进水温度 23 °C; D 为 25% 负荷时的性能系数 COP, kW/kW, 冷却水进水温度 19 °C。

虽然两者都采用了式(1)计算, 但是, 前者基于机组部分负荷时的性能系数, 按照机组在各种负荷下运行时间的加权因素, 通过计算获得, 对部分负荷额定性能工况条件采用的是 GB/T 18430.1—2001 标准中第 4.6 条和 5.3.5 条的规定; 而后者则基于该标准规定的 IPLV 工况下机组部分负荷的性能系数值, 按照机组在特定负荷率下运行时间的加权因素, 通过计算获得。除此之外, 两者分别采用了 W/W 和 kW/kW 的计算单位。

值得注意的是, 在 GB 50189—2005 中用以定义 IPLV 的“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, 它基于机组部分负荷时的性能系数值, 按照机组在各种负荷率下运行时间的加权因素, 通过计算获得。”在 GB/T 18430.1—2007 中却被定义为部分负荷性能系数 PLV(part load value)。

可见我国现行 GB 50189—2005 与 GB/T 18430.1—2007 之间对 IPLV 的定义存在显著差异, 反映出国家标准不断进步和完善的过程。尽管两个标准间讨论的对象和关注点并不相同, 但是由于对我国 IPLV 不同定义的两个现行国家标准同时存在, 出现对我国 IPLV 理解的混乱也就不足为奇了。笔者认为, 由于 GB/T 18430.1—2007 在对 IPLV 定义时强调了机组在特定负荷下运行时间的加权因素, 因此其定义更为科学。

2 产品标准与引用产品标准的设计标准

GB 50189—2005 在条文说明中强调, 确定名义工况时的参数, 根据 GB/T 18430.1—2001 中的

规定^[1]; 部分负荷额定性能工况条件应符合 GB/T 18430.1—2001 标准中第 4.6 条和 5.3.5 条的规定^[1]。正是因为设计标准 GB 50189—2005 引用了产品标准 GB/T 18430.1—2001, 因此, 在研究 IPLV 定义时, 将产品标准与引用产品标准的设计标准分开讨论的研究方式是不可取的。

鉴于用以约束 GB 50189—2005 名义工况参数和部分负荷额定性能工况条件的 GB/T 18430.1—2001 标准已被 GB/T 18430.1—2007 替代, 所以, 目前我国现行有关水冷式电动蒸汽压缩循环冷水(热泵)机组的名义工况性能系数 COP 以及综合部分负荷性能系数 IPLV 的完整解读应该是 GB/T 18430.1—2007。

2.1 对名义工况性能系数 COP 的规定

GB/T 18430.1—2007 对名义工况性能系数 COP 的定义为: 在规定的名义工况下, 机组以同一单位表示的制冷(热)量除以总输入电功率得出的比值。这里用同一单位表示的制冷(热)量/总输入电功率的单位为 kW/kW, 而 GB 50189—2005 采用的单位为 W/W。两个标准采用了不同的单位表示名义工况性能系数 COP 的定义。在此之前, 已经被 GB/T 18430.1—2001 所废止的 JB/T 4329—1997《容积式冷水(热泵)机组》第 5.3.3.4 条还曾经采用过不同单位表示制冷量(W)/消耗总电功率(kW)定义制冷性能系数 COP。例如该规范就有制冷量 > 230 kW 的螺杆式水冷机组名义工况时的制冷性能系数 COP 不得低于 3 850 W/kW 等规定。现行国家标准采用同一单位表示 COP 值后, 一些研究者忽略了量纲的重要性。例如文献[4]假设机组全年能耗按机组负荷率分别为 100%, 75%, 50%, 25% 计算, 则单台机组全年能耗为: $E = HT(2.3\% \times 100\%/A + 41.5\% \times 75\%/B + 46.1\% \times 50\%/C + 10.1\% \times 25\%/D)$, 式中 E 为单台机组全年能耗; H 为机组全年运行时间; T 为单台机组名义冷量。但是该文献却没有给出相应的参数量纲, 若公式中部分负荷时的性能系数 A, B, C, D 单位采用 W/W, 而单台机组名义冷量 T 单位采用 kW, 其计算结果出现错误就不可避免。

其次, 与 GB/T 18430.1—2001 相比, GB/T 18430.1—2007 对名义工况的规定作了较大修改, 以冷水机组为例, 相关参数见表 1。

表 1 名义工况规定条件的对比

	GB/T 18430.1 —2001	GB/T 18430.1 —2007
冷水进水温度/℃	12	
冷水出水温度/℃	7	7
冷却水进水温度/℃	30	30
冷却水出水温度/℃	35	
蒸发器水流量/(m ³ /(kW·h))		0.172
冷凝器水流量/(m ³ /(kW·h))		0.215
蒸发器污垢系数/(m ² ·℃/kW)	0.085	0.018
冷凝器污垢系数/(m ² ·℃/kW)	0.085	0.044

前者对蒸发器和冷凝器的进出水温度有要求,而后者则关注蒸发器出水温度和冷凝器进水温度及蒸发器和冷凝器的流量,且对蒸发器和冷凝器污垢系数的规定作了修订。可见,正是由于 GB/T 18430.1—2007 的一系列技术条款的重要修正,使得用以约束设计标准 GB 50189—2005 名义工况参数的特定条件发生变化。

2.2 对部分负荷时的性能系数 PLV 的定义

如上所述,在 GB 50189—2005 中用于 IPLV 的定义,在 GB/T 18430.1—2007 中则被用于定义 PLV。显然在 GB/T 18430.1—2007 中 PLV, IPLV, NPLV(non-standard part load value)以及 COP 是 4 个完全不同的概念(详见该标准第 3.1, 3.2, 3.2.1, 3.2.2 条)。文献[4]在引用该标准对 IPLV 的定义时就错误地采用了“按照机组在各种负荷下运行时间的加权因素”。可见 GB 50189—2005 与 GB/T 18430.1—2007 对我国现行综合部分负荷性能系数 IPLV 的定义区别以及部分负荷性能系数 PLV 的概念尚未引起业内人士的足够重视。

2.3 对 NPLV 的定义

GB/T 18430.1—2007 对我国非标准部分负荷性能系数 NPLV 的定义为: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,基于表 2 规定的 NPLV 工况下机组部分负荷的性能系数值,按照机组在特定负荷下运行时间的加权因素,通过式(1)计算获得^[3]。

可见,尽管 GB/T 18430.1—2007 对 IPLV 和 NPLV 的计算均采用式(1),但是其定义的工况却是完全不同的。文献[5]声称对冷水出水温度为 16℃ 的高温冷水机组采用 GB/T 18430.1—2007 标准中 IPLV 测试工况进行性能测试;文献[6]则参照 GB/T 18430.1 中 IPLV(综合部分负荷性能

表 2 部分负荷工况

	部分负荷规定工况	
	IPLV	NPLV
蒸发器 100% 负荷出水温度/℃	7	选定出水温度
蒸发器 0% 负荷出水温度/℃	7	同 100% 负荷的出水温度
蒸发器流量/(m ³ /(kW·h))	0.172	选定的流量
蒸发器污垢系数/(m ² ·℃/kW)	0.018	指定的污垢系数
100% 负荷冷却水进水温度/℃	30	选定的进水温度
75% 负荷冷却水进水温度/℃	26	必须在 15.5℃ 至选定的 100%
50% 负荷冷却水进水温度/℃	23	负荷进水温度之间按负荷百分比线性变化,保留一位小数
25% 负荷冷却水进水温度/℃	19	19
冷凝器水流量/(m ³ /(kW·h))	0.215	选定的流量
冷凝器污垢系数/(m ² ·℃/kW)	0.044	指定的污垢系数

系数)测试工况(冷水出水温度 16℃)对压缩机进行了部分负荷性能测试,且得出图 1 测试结果。面对这样的研究结果,笔者不禁要问:放着可选定蒸发器出水温度的 NPLV 标准不用,偏偏要用对 0% 负荷和 100% 负荷蒸发器出水温度均为 7℃ 的 IPLV 测试工况对选定蒸发器出水温度为 16℃ 的高温冷水机组进行性能测试,其目的是什么?显然,如果不是出于市场经济利益驱动而为之,就是对国家标准的错误解读。文献[7]则认为:“GB 18430.1—2007 规定,冷水机组额定工况冷水出水温度为 7℃,目前尚未有高温冷水机组的国家标准”。业界对我国 IPLV 定义解析和应用的混乱可见一斑。

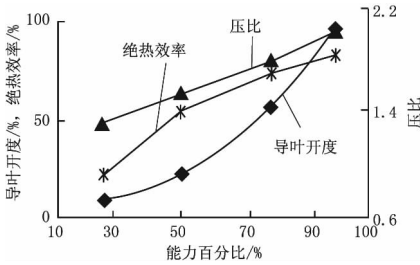


图 1 压缩机在 IPLV 工况下的性能

3 对 GB/T 18430.1—2007 中特定负荷的理解

式(1)并不是我国 IPLV 的完整表达式, IPLV 还必须受到 GB/T 18430.1—2007 标准中特定负荷其他相关条款的约束。包括上述指标和允许误差指标在内的一系列标准约束条款共同构成了 GB/T 18430.1—2007 标准中有关 IPLV 定义中的特定负荷条件。离开该特定条件,式(1)不能单独成立。

3.1 能耗还是能效

文献[8]给出了不同版本的 ARI 550/590 标准 IPLV 计算公式的对比,见表 3。

表 3 ARI 550/590 标准计算 IPLV 公式的修改

单位		1992 年的标准	1998 年的标准
英制单位	kW/ton	$IPLV = \frac{1}{\frac{0.17}{A} + \frac{0.39}{B} + \frac{0.33}{C} + \frac{0.11}{D}}$	$IPLV = \frac{1}{\frac{0.01}{A} + \frac{0.42}{B} + \frac{0.45}{C} + \frac{0.12}{D}}$
国际单位	kW/kW	$IPLV = 0.17A + 0.39B + 0.33C + 0.11D$	$IPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D$

表 3 中将 A,B,C,D 分别定义为 100%,75%,50%和 25% 负荷下单位冷量的能耗(kW/ton 或 kW/kW),这样的定义与我国 GB/T 18430.1—2007 的相关规定大相径庭。表 3 对同一个 IPLV 概念实行了双重定义,即:以 kW/ton 为单位标识时 IPLV 被定义为单位冷量的能耗,而采用 kW/kW 为单位时又可以被定义为性能系数,显然是不科学的,况且 kW/ton 与 kW/kW 量纲之间的物理定义也不相同^[9]。值得注意的是英制单位 ton 已不被我国法定计量单位所采纳。如果用 kW/ton 去定义表 3 中的 $IPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D$ 就会导致概念性错误。如果这样去解释 IPLV 定义,那么引发业界对 IPLV 定义解读的认识混乱也就难免了。

现行 GB/T 18430.1—2007 标准不仅对 IPLV 作了特定条件下的严格定义,强调了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 IPLV,同时还规定以同一单位表示的制冷(热)量除以总输入电功率的比值 COP 为制冷量 Q_n (kW)与消耗总电功率 N_0 (kW)之比。

尽管 GB 50189—2005 在编制过程中参照了不同版本的 ARI 550/590,而且采用了 W/W 量纲,但还是将式(1)明确地定义为 4 个特定部分负荷时的性能系数(W/W),而不是单位冷量的能耗(kW/kW)。这是我国现行标准与 ARI 550/590 对 IPLV 概念定义的根本区别。

3.2 对冷却水进水温度的定义

GB 50189—2005 在条文说明中强调了 GB/T 18430.1—2001 标准中第 4.6 条和 5.3.5 条的规定对式(1)部分负荷额定性能工况条件的约束作用。GB/T 18430.1—2001 标准第 4.6.4 条规定部分负荷性能冷凝器进口温度按下式计算(呈线性变化):

冷凝器进口温度 = 0.145 × (全负荷
制冷量的百分数) + 15.5

(2)

式中 15.5 单位为℃。

因此,100%负荷时的冷却水进水温度应为 30℃;75%负荷时的冷却水进水温度应为 26.38℃;

50%负荷时的冷却水进水温度应为 22.75℃;25%负荷时的冷却水进水温度应为 19.13℃。可见 GB 50189—2005 与 GB/T 18430.1—2001 之间对 IPLV 的定义还是存在差异的。修订后的 GB/T 18430.1—2007 在冷却水进水温度的规定上与 GB 50189—2005 保持了一致性。冷却水进水温度是 IPLV 计算式(1)成立的必备条件,是特定负荷条件的组成部分之一,不可分割解读。

3.3 强调 IPLV 值是基于单台主机运行工况

GB 50189—2005 第 5.4.6 条明确指出:IPLV 值是基于单台主机运行工况。GB/T 18430.1—2007 标准第 3.2.1 条对式(1)加了 2 条备注:

注 1:部分负荷百分数计算基准是指名义制冷量。

注 2:部分负荷性能系数 IPLV 代表了平均的单台机组的运行工况,可能不代表一个特有的工程安装实例。

遗憾的是,此处 GB/T 18430.1—2007 又将 IPLV 定义为部分负荷性能系数。混淆了该标准第 3.1 节部分负荷性能系数 PLV 与第 3.2.1 条综合部分负荷性能系数 IPLV 的概念。

4 有关允许误差的规定

GB/T 18430.1—2007 IPLV 相关各种参数作了允许误差的规定。因此,在对不同机组 IPLV 值进行评价时应关注其相关参数的实际误差值。

4.1 名义工况性能

GB/T 18430.1—2007 规定单台制冷机组的制冷量应不小于名义规定值的 95%。也就是说,制冷机组的实际制冷量与其名义规定值之间可以有-5%的误差。

GB/T 18430.1—2007 规定制冷机组消耗总电功率应不大于机组名义消耗电功率的 110%。例如:1 台实际消耗总电功率为 1 100 kW 的制冷机组,其名义消耗电功率可以仅有 1 000 kW,允许有+10%的误差。

允许制冷机组名义工况下的 COP 应不低于机组明示值的 92%,前提是制冷机组名义工况下的

COP 须高于 GB 19577—2004 冷水机组能效限定值及能源效率等级的限定值。

对蒸发器和冷凝器的压力损失也有 $\pm 15\%$ 允许误差。

4.2 综合部分负荷性能 IPLV

允许制冷机组综合部分负荷性能系数 IPLV 应不低于机组明示值的 92%。

4.3 非标准部分负荷性能 NPLV

允许非标准部分负荷系数 NPLV 应不低于机组明示值的 92%。

由于标准对相关参数的误差允许,在对两台冷水机组进行性能对比时应格外谨慎,不能只是简单地进行名义数据对比。

5 结论

尽管 GB 50189—2005 与 GB/T 18430.1—2007 对 IPLV 的定义不同,采用的量纲也不同,产品标准与引用产品标准的设计标准间讨论的对象和关注点也不同,两者之间存在显著差异。但是鉴于产品标准 GB/T 18430.1—2007 已经替代 GB/T 18430.1—2001 成为设计标准 GB 50189—2005 的引用标准,产品标准成为设计标准的关联和约束标准,因此在探讨 IPLV 时,将产品标准与设计标准分别讨论的研究方式是不可取的。

现行国家标准中对 IPLV 计算和检测的公式不是 IPLV 标准的完整表达式,还必须受 GB/T 18430.1—2007 标准中其他特定条款的严格约束。离开这些特定条件,IPLV 计算和检测公式不能单独成立。

IPLV 指标还不是评价冷水机组及其系统最完善的方法,但是在更完善的评价方法得到广泛认同之前尚无法被替代。无论是 GB 50189—2005 还是 GB/T 18430.1—2007 对电动冷水机组性能的评价都同时采用了名义工况性能系数 COP 和综

合部分负荷性能系数 IPLV 两个指标,毕竟采用 COP 和 IPLV 两个评价指标要比只采用其中任何一个评价指标要更客观,也更科学。

由于标准对相关参数的误差允许,在对两台冷水机组进行性能评估与对比时应格外谨慎,不能只是简单地进行名义数据对比。

本文指出了 GB 50189—2005 与 GB/T 18430.1—2007 中对我国 IPLV 的定义尚存的部分瑕疵,以供今后修订时参考。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院,中国建筑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
- [2] 中国机械工业联合会. GB/T 18430.1—2001 蒸气压缩循环冷水(热泵)机组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,2002
- [3] 中国机械工业联合会. GB/T 18430.1—2007 蒸气压缩循环冷水(热泵)机组第一部分: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
- [4] 贾晶,赵锡昌,李杰. 用 IPLV/NPLV 值评估冷水机组全年能耗的局限性[J]. 暖通空调,2010,40(3):19—22
- [5] 田旭东,刘华,张治平,等. 高温离心式冷水机组及其特性研究[J]. 流体机械,2009,37(10):53—56,73
- [6] 刘华,张治平,谢艳群. 一种高温制冷离心压缩机开发与研究[J]. 流体机械,2010,38(4):74—79
- [7] 王红燕,张秀平,蒋德伦,等. 高温螺杆式冷水机组及其试验研究[J]. 暖通空调,2011,41(1):14—16
- [8] 汪训昌. 新的 ARI 550/590—1998 标准与冷水机组的选用[J]. 制冷与空调,2000(4):4—9
- [9] 刘传聚. 不宜使用 EER 表示制冷性能系数[J]. 暖通空调,2010,40(11):48