

水冷式冷水机组能效标准的合理化研究

天津大学 孙方田[☆] 马一太 安青松 姜云涛 王洪利

摘要 分析了水冷式冷水机组的能效现状,认为现行能效标准有不合理之处。研究了能效比与制冷量的关系,指出能效标准中两者应为线性函数关系。

关键词 水冷式冷水机组 能效标准 合理化研究 能效比

Rationalization study on energy efficiency standards of water cooled water chillers

By Sun Fangtian[☆], Ma Yitai, An Qingsong, Jiang Yuntao and Wang Hongli

Abstract Presents the energy efficiency status of water cooled water chillers. Considers that there are some unreasonable prescriptions in current energy efficiency standards. Studies the relationship between energy efficiency ratio and refrigerating capacity and points out that the relationship of them should be expressed in a linear function.

Keywords water cooled water chiller; energy efficiency standard; rationalization study; energy efficiency ratio

★ Tianjin University, Tianjin, China

0 引言

在炎热的夏季,部分地区电网中的空调制冷负荷已超过全网负荷的30%,导致了用电高峰时期电力供应的严重不足。发展节能型空调是实现节能的重要举措之一。20世纪70年代,美国及欧盟的许多国家先后制订和实施了强制性空调能效标准^[1-3]。20世纪80年代末,我国也制定并实施了符合我国国情的强制性能效标准。能效标准实施的成功经验表明,有效实施能效标准能促进空调能效比的提高,给国家带来显著的社会效益^[6,7]。

1 水冷式冷水机组能效现状

1.1 水冷式冷水机组的能效比统计数据

由于我国水冷式冷水机组行业起步较晚,技术相对落后,从与国内外实施的能效标准的比较中可以看出,我国水冷式冷水机组的能效水平与国际先进水平存在着较大的差距。随着国外知名空调厂家的先进技术的引入,难免会造成不同厂家之间的技术水平参差不齐,同类型产品的能效比差异较

大。笔者对国内市场上冷水机组的产品性能进行了统计分析,结果见图1~4。

通过分析图1~4可以得出以下结论:

1) 每种类型的冷水机组都有一定的制冷量范围,使其能效比EER相对较高,比如离心式机组的制冷量在1000kW以上时具有相对较高的EER;

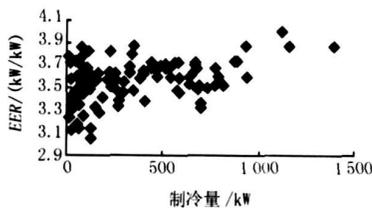


图1 水冷活塞式冷水机组制冷量与能效比的关系

①[☆] 孙方田,男,1977年9月生,在读博士研究生
300072 天津大学机械学院热能研究所
(022) 27890061
E-mail: sun_fangtian@163.com
收稿日期:2005-11-21
修回日期:2006-03-01

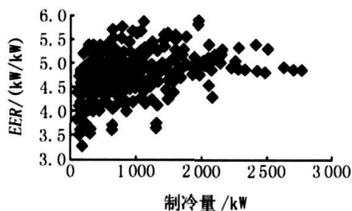


图2 水冷螺杆式冷水机组制冷量与能效比的关系

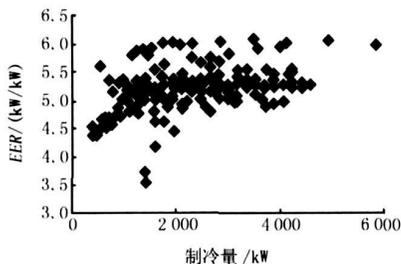


图3 水冷离心式冷水机组制冷量与能效比的关系

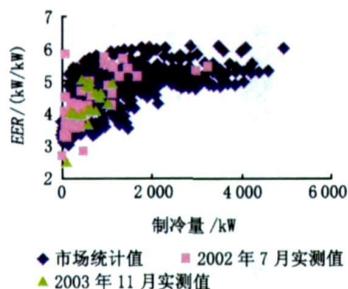


图4 各种水冷式冷水机组能效比统计值

制定的能效标准主要是在当前一段时期内限制高耗能产品的生产和销售,一般在颁布半年后开始实施,属于强制性标准。

我国重新修订后的新空调标准已于2005年9月开始实施,其中包括《冷水(热泵)机组能效限定值及能源效率等级》(GB 19577—2004)(见表1)。新标准对市场上的水冷式冷水机组设立了能效比最低门槛,鼓励消费者采购能效等级较高的产品。

表1 水冷式冷水(热泵)机组能效限定值及能效等级^①

额定制冷量 Q_0 /kW	能效限定值 EER /(kW/kW)				
	能效等级				
	1	2	3	4	5
≤ 528	5.0	4.7	4.4	4.1	3.8
528~1 163	5.5	5.1	4.7	4.3	4.0
$> 1 163$	6.1	5.6	5.1	4.6	4.2

从表1可以看出,不同的制冷量范围内水冷式冷水机组的 EER 限定值不同;在不同制冷量范围内,相邻能效等级间 EER 限定值的差值 ΔEER 不相等,随着制冷量的增大而增大,但差别不大。当 $Q_0 \leq 528$ kW时, ΔEER 分别为0.3, 0.3, 0.3, 0.3 kW/kW;当 528 kW $< Q_0 \leq 1 163$ kW时, ΔEER 分别为0.3, 0.4, 0.4, 0.4 kW/kW;当 $Q_0 > 1 163$ kW时, ΔEER 分别为0.4, 0.5, 0.5, 0.5 kW/kW。另外,现行能效标准没有对活塞式、螺杆式和离心式冷水机组的能效值分别规定。在中、大容量的冷水机组中,螺杆式和离心式冷水机组具有明显的优势,有利于提高冷水机组能效比的整体水平。所以说,冷水机组市场已基本被螺杆式和离心式冷水机组占据。

从冷水机组能效统计分析可知,现行能效标准的要求基本符合我国水冷式冷水机组的实际技术水平和制造水平,在一定程度上促进了水冷式冷水机组的技术进步。

1.3 水冷式冷水机组现行能效标准的分析

由图5可知,同一能效等级不同制冷量范围内的 EER 不同,并且制冷量范围跨度较大。鉴于我国目前冷水机组整体制造水平还较低、厂家之间的技术水平参差不齐,现行标准基本符合能效标准的制定宗旨和我国的基本国情。但就技术上来说,现行能效标准还不尽完善,以制冷量范围划分的第一个分界点528 kW为例来分析说明此问题。对制冷量 $Q_0 \leq 528$ kW的机组,比如1台制冷量为526 kW的水冷式冷水机组M,其 $EER=4.6$ kW/kW,

2) 在同一个制冷量范围内,不同类型机组之间的 EER 相差较大;

3) 制冷量在0~2 000 kW之间时,冷水机组的 EER 随着制冷量的增大而增大,当制冷量大于2 000 kW时,冷水机组的 EER 几乎呈水平带状分布,可认为不再随制冷量的增大而发生变化。

经市场调查分析可知,制冷量在100~2 000 kW范围内的水冷式冷水机组在销售机组中占绝大多数,因此在对冷水机组能效标准进行分析时将重点放在制冷量小于2 000 kW的冷水机组上。

1.2 水冷式冷水机组的现行能效标准

我国采取的节能措施主要有能效标准、节能产品认证、能效标识等。其中,能效标准的主要内容有能效限定值和节能评价价值指标。一般来说,能效限定值低于近期市场产品的平均能效水平,以淘汰目前5%~10%的低能效产品为原则。节能评价价值一般来说相对较高,是开展节能产品认证的依据。由于我国技术相对落后、改造资金短缺,目前

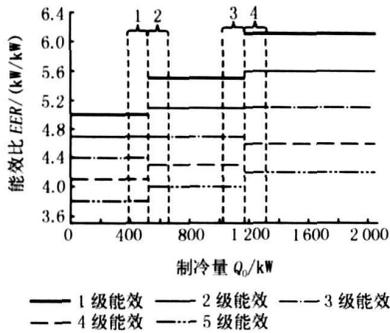


图5 水冷式冷水机组的现行能效标准的能效等级线

由现行能效标准可知,其能效比在3级能效范围内,从技术层面上讲,其EER只需要提高0.1 kW/kW就能达到2级能效;对制冷量 $Q_0 > 528$ kW的机组,比如制冷量为530 kW的水冷式冷水机组N,如果以同样的技术水准来生产,制冷量为530 kW和526 kW的机组的EER应该几乎一样,在此也假定N机组的EER=4.6 kW/kW,由现行能效标准可知,其能效比在4级能效范围内,从技术层面上讲,其EER要达到3级能效,至少需提高0.1 kW/kW,要达到2级能效,至少需提高0.5 kW/kW。这样,制冷量400~528 kW之间(1区)和制冷量1000~1163 kW(3区)之间的冷水机组分别与制冷量528~630 kW(2区)和制冷量1163~1300 kW(4区)之间的冷水机组相比较,前者更容易提高机组的能效等级,空调机组生产厂商就更愿意生产1,3区内的冷水机组,而不愿意生产2,4区内的冷水机组。显然这样既不利于机组产品之间的合理竞争,又不利于促进冷水机组整个行业的技术进步。因此,有必要对现行能效标准的不合理地方进行深入分析研究,为下一步制定较为合理的能效标准作技术准备。

2 水冷式冷水机组的能效标准合理化研究

2.1 水冷式冷水机组能效标准合理化研究的意义

为了不断促进冷水机组更新换代,引导企业走节能技术进步之路,需要在研究现行能效标准的基础上逐步开展能效标准合理化研究工作。

由现行国家能效标准可知,冰箱的能效比与制冷量是线性函数关系,而水冷式冷水机组的能效比与制冷量是阶梯函数关系。与冰箱的能效标准相比,冷水机组的能效标准要求比较宽松。只有对不同制冷量的冷水机组同时严格要求,才能更好地促进冷水机组技术的共同进步,才能有效地提高我国

冷水机组的整体技术水平,缓解我国目前能源紧张局面,解决我国环境污染日趋严重的问题。

2.2 水冷式冷水机组能效标准合理化研究

从1.3节的分析可知,能效比EER与制冷量 Q_0 的阶梯函数关系在制冷量分界点附近区域存在着不合理的地方。如果EER是 Q_0 的线性函数,就可解决阶梯函数在分界点附近存在的函数值阶跃问题。

为了给线性能效标准的制定提供技术参考,首先对制冷量在100~1620 kW范围内的部分空调厂家的抽样产品的能效比数据进行了统计,然后对统计数据进行线性分析拟合,拟合线如图6所示。

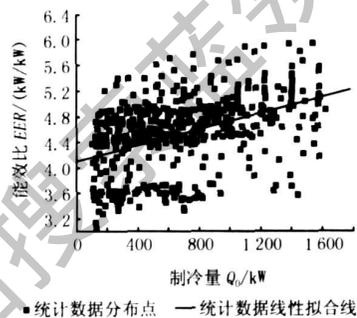


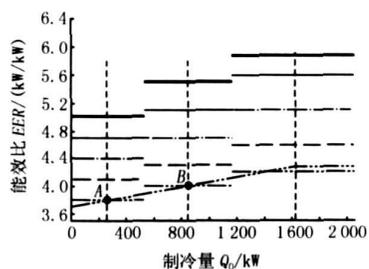
图6 水冷式冷水机组能效比统计数据分布及线性拟合分析

其线性函数为

$$EER = k_s Q_0 + a \quad (1)$$

式中 k_s, a 为拟合系数, $k_s = 0.00063273 \text{ kW}^{-1}$, $a = 4.098 \text{ kW/kW}$ 。

为了使线性能效标准符合我国水冷式冷水机组的实际技术水平,必须在现行能效标准的基础上进行线性分析研究。以现行能效标准中的第5能效等级为例进行分析,通过横轴的两个区间0~528 kW和528~1163 kW的中点值264 kW和845 kW做垂线,与第5能效等级线相交于A点和B点,如图7所示。再过A和B两点做直线,以此



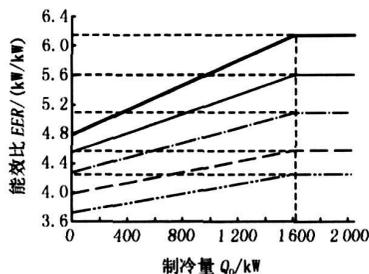
图例同图5

图7 线性能效标准的等级线分析示意图

解决梯形函数在分界点附近区域存在的不合理问题。在区间 100 ~ 1 620 kW 范围内的线性拟合函数为

$$EER = 0.000\ 343\ 64Q_0 + 3.709 \quad (2)$$

对于制冷量大于 1 620 kW 的机组,一般都具有较高的能效比,另外市场上销售的较大制冷量的机组也较少,所以其能效限定值仍可依据现行能效标准。线性能效标准中的第 5 级能效等级线如图 7 所示。同理可分别得出其他四个线性能效等级线,见图 8。五个线性函数式中的拟合系数见表 2。



图例同图 5

图 8 水冷式冷水机组的线性能效等级线示意图

由表 2 可知,这五条能效等级线的斜率 k 的平均值为 $0.000\ 549\ 83\ \text{kW}^{-1}$,接近于根据水冷式冷水机组的能效比统计数据拟合得出的拟合线的斜率 k ($0.000\ 632\ 73\ \text{kW}^{-1}$)。所以说,这五条能效等级线基本符合当前水冷式冷水机组行业的技术水平以及科技发展的总趋势。

表 2 水冷式冷水机组的线性函数关系式汇总

能效等级	$EER = kQ_0 + a$	
	k/kW^{-1}	$a/(\text{kW}/\text{kW})$
1	0.000 859 11	4.773
2	0.000 687 29	4.519
3	0.000 515 46	4.264
4	0.000 343 64	4.009
5	0.000 343 64	3.709
平均值	0.000 549 83	4.255

为了更清晰地说明线性能效标准的合理化,以 1.3 节中的 M, N 两台机组进行比较分析。两台机组在两种能效标准中的比较分析数据见表 3。由表 3 可知,线性能效标准显然较为合理。对于线性能效标准中的能效等级为 n ($n=5, 4, 3, 2$) 的任何水冷式冷水机组,从 n 级提高到 $n-1$ 级的难度基本一样,对各个水冷式冷水机组都很公平。这种水冷式冷水机组的线性能效标准比较符合水冷式冷水机组的技术特点,同时又与当前技术发展趋势相

吻合。线性能效标准的实施有助于促进水冷式冷水机组行业的技术快速发展和提高行业整体制造水平,同时对缓解用电紧张、节约能源、保护生态环境也有一定的作用。

表 3 M, N 两台水冷式冷水机组在两种线性能效标准中的比较分析

	M 机组(能效等级)	N 机组(能效等级)
现行能效标准	3	4
线性能效标准	3	3

3 结论

3.1 现行能效标准基本符合我国水冷式冷水机组的当前实际技术水平和制造水准,但还存在着一些不足。

3.2 能效标准的合理化研究必须结合本国或本地区的实际技术水平、制造水平和科技发展的总体趋势。

3.3 在线性能效标准中水冷式冷水机组的能效比与制冷量是线性函数关系,比现行能效标准的阶梯函数关系更合理、科学。

3.4 线性能效标准的完善与实施,还需要做大量的数据采集及分析对比工作。

3.5 能效标准的合理化研究虽然是水冷式冷水机组的大致发展趋势,但还需与国家有关部门以及相关企业进行研讨。

参考文献

- [1] 成建宏. 欧盟的能效标准和标识[J]. 中国标准化, 2001(5): 58-60
- [2] Geller H. National appliance efficiency standards in the USA: cost effective federal regulation [J]. Energy and Buildings 1997, 26(1): 101-109
- [3] Waide P, Lebot B, Hinnells M. Appliance energy standards in Europe [J]. Energy and Buildings 1997, 26(1): 45-67
- [4] Sinton J E, Levine M D, Wang Qingyi. Energy efficiency in China: accomplishments and challenges [J]. Energy Policy, 1998, 26(11): 813-829
- [5] Turiel I. Present status of residential appliance energy efficiency standards—an international review [J]. Energy and Buildings 1997, 38(5): 5-15
- [6] 李爱仙, 成建宏. 国内外能效标准的发展及我国能效标准新模式探讨 [J]. 中国标准化, 2002(7): 11-13
- [7] 周艳华. 我国家用电器能效标准的发展和作用 [J]. 中国标准化, 2004(5): 27-28
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 19577-2004 冷水(热泵)机组能效限定值及能源效率等级 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004

注册公用设备(暖通空调专业)工程师专栏(3)

13 我今年要参加注册公用设备(暖通空调专业)工程师专业考试,请问怎样准备才能考好?

答:这个问题涉及面较大,因人而异,根据以往考高分同志的经验,主要注意以下几点:

1) 一定要复习。有的同行虽然水平高,但工作很忙,没有很好复习,在考试时临时翻阅资料来答题,一是时间不够,二是失误多。所以必须认真复习。参考资料很多,但至少应复习由全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会秘书处组织编写的《全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试复习教材(第2版)》和规范标准汇编,按考试大纲中规定的要求对照学习。

2) 对规定要考的本专业规范标准特别是附注、附录以及条文说明需充分熟悉、理解。

3) 可以按照设计工作的步骤来复习。如供暖,必然是建筑热工、负荷计算、热平衡、方案选择、系统布置、设备选用及计算、管路计算、附件选择以及对施工要求的说明等。每一步都有必须掌握的技术要求、方法和规定。

4) 不要忽视暖通空调制冷设备、附件的构造原理、性能参数及其测试方法的要求和规定。前两次考试后,很多考生反映对制冷设备没有重视而失分。

5) 供暖、通风、空调、制冷四个方面是重点,不要仅限于自己目前的工作内容,不应偏废哪一方面。需熟悉基础知识、概念、方案及计算方法。

6) 如果遇到不同参考资料对同一内容有不同解释时,一定要以现行国家标准来答题。

7) 需关注节能、环境、安全、健康的内容。

14 有没有前两次专业考试试题汇编和标准答案?

答:按国家人事部、建设部规定,历次考题及其标准答案仍不能正式公布,经过一定时限后才可以。目前有一些网站设置“真题回顾”栏目,内容由参加过考试的同行凭记忆提供,可以适当参考。

15 注册公用设备工程师(暖通空调专业)的官方英文名称是什么?

答:Registered Utility Engineer (HVAC) The People's Republic of China

(上接第29页)

[55] 贺进宝. 家用蒸发冷却变风量中央空调系统自动控制方案的研究[D]. 西安:西安工程科技学院, 2003

[56] 贺进宝, 黄翔. 蒸发冷却变风量空调系统自动控制的研究[J]. 流体机械, 2003, 31(增刊): 301 - 304

[57] 贺进宝, 黄翔. 一种简单实用的户式蒸发冷却变风量系统风系统控制方案[J]. 电器 & 智能建筑, 2003 (11): 104 - 106

[58] 贺进宝, 黄翔. 新疆乌鲁木齐水利枢纽发电厂蒸发冷却空调控制系统的设计[J]. 制冷空调与电力机械, 2002(4): 31 - 32

[59] 刘翔. 空调机组 PLC 控制与末端装置模糊相结合的蒸发冷却空调控制系统的开发[D]. 西安:西安工程大学, 2007

[60] 刘翔, 黄翔. 可编程控制器 PLC 在蒸发冷却空调系统中的应用[J]. 流体机械, 2005, 33(增刊): 372 - 376

[61] 黄翔, 刘翔. 蒸发冷却空调自动控制系统的研究[J]. 西部制冷空调与暖通, 2005(2): 24 - 30

[62] 杨秀贞. 臭氧处理蒸发冷却空调水[D]. 西安:西安工程科技学院, 2006

[63] 杨秀贞, 黄翔, 程刚. 蒸发冷却空调水质问题的分析研究[J]. 制冷空调与电力机械, 2004(6): 33 - 36

[64] 杨秀贞, 黄翔, 程刚. 开式蒸发冷却中央空调水质分析及研究[J]. 供热制冷, 2005(8): 83 - 85

[65] 杨秀贞, 黄翔, 程刚. 臭氧法在蒸发冷却空调水系统中的应用[J]. 西安制冷, 2005(2): 126 - 132

[66] 杨秀贞, 黄翔, 程刚. 臭氧处理蒸发冷却空调水的实验研究[J]. 西安工程科技学院学报, 2006(5): 579 - 582