

提高机房能效 SCOP 的宏观策略

钱杨华

上海示帕检测技术有限公司

摘要: 本文以高效机房系统性能系数 (SCOP, System Coefficient of Performance) 的计算公式为依据, 围绕如何提高 SCOP 进行了相关技术讨论。文章介绍了在冷水机组选型时, 选择高 COP 的单机, 并在其高 COP 的负荷段运行的原因。同时详细分析了如何从冷水机组获得更多的冷量, 以及降低冷量制备和输配中的电功率消耗, 从而完美地实现了打造高效机房的目的。

关键词: 高效机房、冷水机组、磁悬浮、SCOP

近年来, 建筑能耗占社会总能耗的比重达到了 25% ~ 30%, 其中大型公共建筑中的中央空调系统能耗占建筑能耗的 40% ~ 60%, 建筑运行能耗大约占全国社会能耗的 35%。因此, 加快高效机房技术的发展与应用, 对推进和贯彻落实我国的“碳达峰”“碳中和”国家战略, 加快提升建筑能效水平, 推进居住建筑和公共建筑的节能改造, 具有重要的意义。本文将从高效机房的定义、建设高效机房的宏观策略等方面进行讨论。

1 高效机房的定义

高效机房的衡量指标 SCOP 是根据欧洲标准 EN 14825 制定的, 用于评价空调制冷系统的能效表现。美国目前在运行的既有建筑的高效机房能效平均水平为 SCOP3.5, 新加坡的能效平均水平约为 SCOP4.0, 而中国的平均能效水平只有 SCOP3.0, 低于发达国家的能效平均水平。

美国采暖、制冷与空调工程师协会 (ASHRAE) 提出的标准是: 综合效能 (机房效能) 在 0.75 ~ 1.0 kW/RT 之间是可以接受的, 综合能效在 1.0 kW/RT 以上的都需要进行改善, 详细的信息可参见图 1。

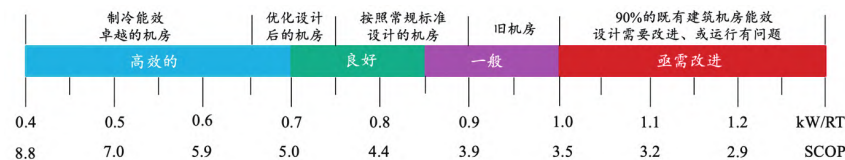


图 1 ASHRAE 对高效机房的定义

2 高效机房的系统性能系数 (SCOP)

高效机房是由冷水机组、冷冻水循环系统、冷却水循环系统和冷却塔组成的系统, 如图 2 所示。它为暖通系统的运行提供冷量。要提高机房的 SCOP, 首先需要了解它的计算公式。

$$SCOP = \frac{Q \text{ (总冷量)}}{W \text{ (冷冻机)} + W \text{ (冷冻水泵)} + W \text{ (冷却水泵)} + W \text{ (冷却塔)}}$$

公式中: 分子为机房所提供冷量的总和, 单位为千瓦时 (kW · h)

分母为系统运行所有用电设备的能耗, 单位为千瓦时 (kW · h)

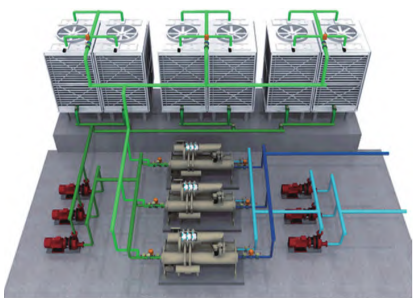


图 2 机房的架构示意图

从数学角度进行分析, 想要提高 SCOP 的数值, 除了采用高 COP 的机组外, 还可以从两方面进行考虑: 一方面是设法将分子变大; 另一方面是设法将分母变小。采用高 COP 的机组, 包括运行在高 COP 的负荷段。由此能够得出如图 3 所示的思维脑图。

3 提高机房 SCOP 的宏观策略

根据图 3 的思维脑图, 企业可以结合实际情况梳理出切实可行的宏观策略, 以提高机房的运行效率。

3.1 提高单机的 COP

从提高单机的 COP 的角度出发, 首先想到的是采用磁悬浮机组。磁悬浮机组在部分负荷段时, 特别是在较低气温时, COP 很高。图 4 所示的是磁悬浮机组在不同负荷时随气温变化的 COP 数据。

从图 4 可以清晰地看到, 磁悬浮在较低负荷且气温较低的情况下, 其单机的 COP 可以达到很高的水平。磁悬浮

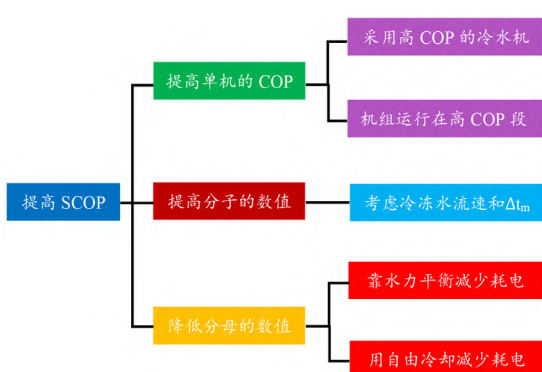


图 3 机房获得高 SCOP 的途径

除了高的机组能效外，它的颤振区间很窄，启动电流也很小。当然普通离心机和螺杆机也有高 COP 的负荷区域，在 100% 负荷时，磁悬浮、普通离心机和螺杆机的 COP 几乎没有区别。

所以，冷水机组在群控时，为了获得高 SCOP，需要充分考虑单机在高 COP 负荷段运行，而不是简单地考虑让运行机组开启的台数最少。

3.2 提高 SCOP 计算公式的分子

在 SCOP 计算公式的分子是系统

提供的冷量时，冷水机组冷媒与冷冻水的换热效果越好，冷冻水获得的冷量也就越高。换热量的计算公式如下：

$$Q = K \cdot S \cdot \Delta t_m$$

式中：Q — 换热量

K — 传热系数

S — 换热面积

Δt_m — 对数平均温

差

在换热量的计算公式中，冷水机组确定以后，其 K、S 也就是常数了，唯一可以改变的就是 Δt_m 。对于 Δt_m 的情况，可以从图 5 冷水机组原理图中分析得到。一般来说制冷剂的饱和温度是一定的、冷冻水的供水温度也是一定的（7℃），那就只有回水温度是可以调节的。所以在高效机房领域就有了小流量大温差的概念，但流量过小形成层流也不利于热交换，紊流才有利于热交换。

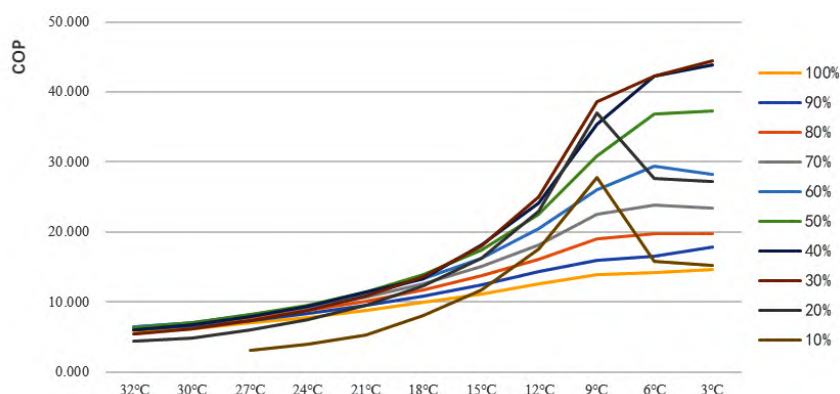


图 4 磁悬浮在不同负荷下气温对 COP 的影响

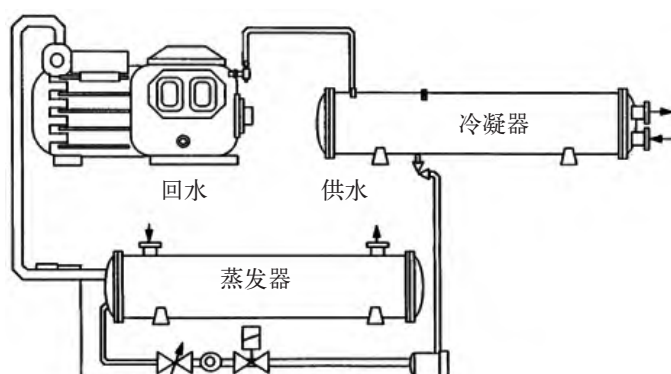
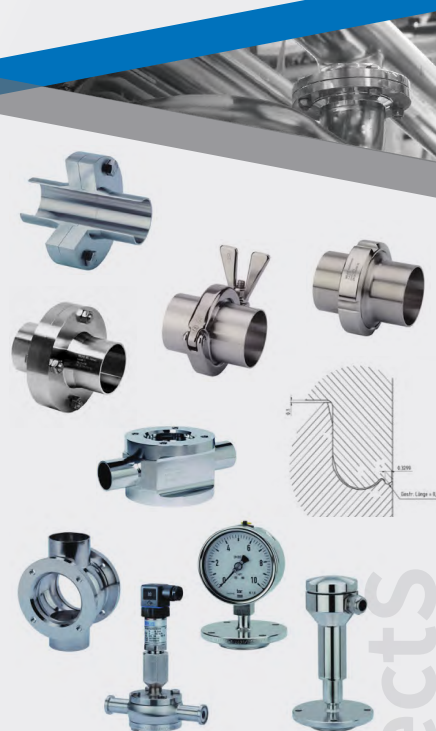


图 5 冷水机组原理图

NEUMO 诺盟 ConnectS®

The future is “without”
“no seal-no trouble”
无密封圈的连接件
是未来的发展方向

无密封圈 - 无困扰



产品优势

- revolutionary new design
- worldwide patented
- ultra-clean
- available as Inline housing and block flange
- material 1.4435/316L
- no temperature limits
- no problem with aggressive liquids
- 独创设计
- 世界范围申请了专利
- 超洁净
- 适用于在线仪表连接和焊接法兰
- 材料 1.4435/316L
- 无温度限制
- 耐任何强腐蚀介质

诺戈（上海）贸易有限公司

地址：上海市松江区小昆山镇光华路 489 号 3 幢

电话：021-51688300

传真：021-51688380

www.neumo.de

www.neumo-Vargus.com.cn

因此，还是需要平衡一下流量，况且末端设备一旦发现冷量不够，首先采取的措施就是加大流量。

当然，冷水机组蒸发器的设计也涉及到 Δt_m 是采用逆流、顺流、错流还是折流的问题。不过这些在冷水机组确定后，也就不再是变数了。

3.3 降低 SCOP 计算公式的分母

在 SCOP 计算公式的分母上是机房动力设备的电功率消耗。但不能考虑降低单个动力设备的电功率消耗，因为这些设备之间具有牵连关系。这就是水力平衡所需要考虑的问题，水力平衡完整的定义是“以最小化的系统电力消耗，满足末端使用设备对温度的需要。”

一些动力设备本身的能耗占比可能不大（如图 6 所示），但如果它的控制不合理就会影响到冷水机组的功率消耗。水力平衡必须落实到冷水机组的群控系统中，否则就不会达到最理想的高 SCOP。

此外还有一个方面需要考虑，在冬天气温较低的地区采用自由冷却功能。企业冷冻水的供水温度一般是 7℃，但在冬季外界气温已经低于这个温度。这时并不一定需要再开启冷冻机，可以利用换热器将冷冻水与冷却水进行热交换。不开启冷冻机来获得所需要的冷量，这个时段的 SCOP 非常大，从而可以大幅提高全年 SCOP 的平均值。有些品牌的冷水机组本身已经配置了自由冷却功能，在选择冷水机组时，企业可根据所在地的气候条件来决定。

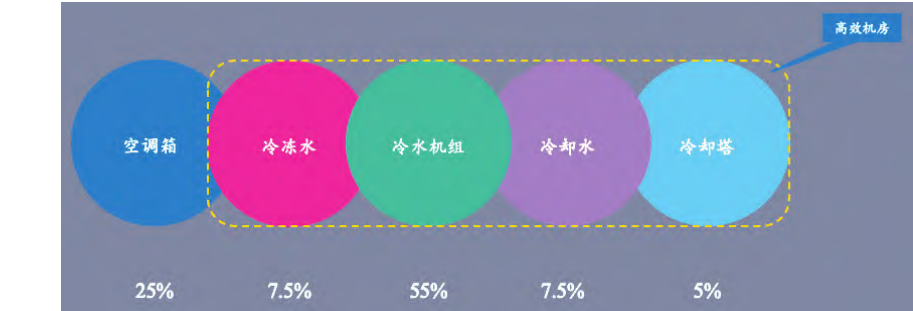


图 6 暖通系统中设备的能耗占比

表 1 我国不同地区能效等级的标准

指标	气候分区	三级	二级	一级
冷水机房 全年综合 能效	严寒地区	≥ 4.2	≥ 4.6	≥ 5.3
	寒冷地区	≥ 4.2	≥ 4.6	≥ 5.3
	夏热冬冷地区	≥ 4.6	≥ 5.1	≥ 5.5
	夏热冬暖地区	≥ 4.7	≥ 5.2	≥ 5.5
	温和地区	≥ 4.2	≥ 4.7	≥ 5.3

表 2 新加坡机房效率的认证标准

绿色建筑 标志	冷负荷峰值			
	< 500		≥ 500	
	最小制冷机房能效比			
	kW/RT	SCOP	kW/RT	SCOP
认证	≤ 0.80	≥ 4.40	≤ 0.70	≥ 5.00
金	≤ 0.80	≥ 4.40	≤ 0.68	≥ 5.00
金 +	≤ 0.70	≥ 5.02	≤ 0.68	≥ 5.17
白金	≤ 0.68	≥ 5.17	≤ 0.65	≥ 5.41

4 结论

我国在 2022 年也颁布了《高效空调制冷机房评价标准》T/CECS 1100-2022，其中对高效机房的界定标准见表 1 所示。

新加坡 BCA《空调系统设计运行规范》SS553 中，对高效机房的认证也有明确的参数指标，详见表 2 所示。

目前国内 SCOP 的平均水平≤ 3.0，距离国家标准的二级水平还有 50% 的改善空间。如果企业没有关注过工厂的 SCOP，或者冷水机组系统由人工控制，很可能 SCOP≤ 3.0。鉴于我国的 GMP 法规已经与国际接轨，并且已经执行了 10 多年的时间，可以说在制药领域轰轰烈烈的 GMP 改造已经过去，但药厂的节能改造可能会是下一个挑战，甚至

于每个药企都有可能要面临。毕竟节约能源不仅符合新时代的发展要求，也可以实实在在为企业创造经济效益。

药厂的洁净暖通系统占据着较大的能源消耗比例，综上从高效机房的视角分析了提高 SCOP 的有效途径。

● 首先选择高能效比的冷水机组，且尽量使单机运行在高 COP 的负荷段；然后考虑小流量大温差，在满足末端需求的前提下，获得尽可能高的回水温度，从而能够从冷水机组最大限度地获得冷量；

● 再有就是应用水力平衡，靠水力平衡来满足末端的需求，尽量减少冷水机组的加载；

● 最后在有气候条件的地方，利用自由冷却功能来提升 SCOP 的年平均值得。

当然，高效机房仅是解决了高效获得冷量的方法和过程，在末端设备上如何来节能也是需要引起关注的重要环节。