

数据中心直接蒸发型风冷机房空调和水冷冷水空调方案的能效分析

艾默生网络能源有限公司 王前方[☆] 彭少华 丁麒钢

摘要 针对数据中心常用的直接蒸发型风冷机房空调方案和水冷冷水机组+冷水型机房空调末端方案,通过分析和计算,认为空调方式节能与否与数据中心的容量和地理位置有关,在北方地区,直接蒸发型风冷空调方案有优势;水冷冷水机组+冷水型机房空调末端方案在巨型数据中心(机房面积 $>8\,000\text{ m}^2$)应用有优势,风冷机房空调方案则在大中型数据中心更具有优势。

关键词 数据中心 能效比 风冷 水冷 冷水机组

Energy efficiency analysis between air cooling direct evaporative air conditioning and water cooling air conditioning solution for data centers

By Wang Qianfang[★], Peng Shaohua and Ding Qigang

Abstract By analysis and calculation of air cooling direct evaporative air conditioning solution and water cooling units plus terminal coil solution, thinks that the energy saving of air conditioning pattern lies in the air conditioning load and the geographic position of the data center. The air cooling solution has advantage in northern area. The water chilling solution has advantage for the giant data center (area larger than $8\,000\text{ m}^2$). Air cooling solution has more advantage for large and middle size data centers.

Keywords data center, energy efficiency ratio, air cooling, water cooling, water chilling unit

★ Emerson Network Power Ltd., Shenzhen, Guangdong Province, China

目前数据中心空调系统方案主要有两大类型:直接蒸发型风冷机房空调方案和水冷冷水机组+冷水型机房空调末端方案,下文分别简称为风冷方案和水冷方案。

一般中小型数据中心(机房面积 $<2\,000\text{ m}^2$)采用风冷方案,主要考虑灵活性、可靠性、维护管理等;巨型数据中心(机房面积 $>8\,000\text{ m}^2$)采用水冷方案,主要考虑集中建设、室外散热设备面积、统一管理;大型数据中心两种方案均有采用。

1 水冷方案和风冷方案的能效分析

水冷方案与风冷方案相比,哪种方案更节能?本文从两个方面进行分析:1)在额定工况下两种方案能效比分析;2)全年运行工况下的能效比分析。

1.1 额定工况下两种方案能效比分析

计算空调方案的能效比需要计算整个空调系统的总能耗,对于风冷方案,包括室内压缩机、室内风机和室外风机能耗,即风冷机房空调的能耗就是风冷方案的能耗,两者的能效比也相等;对于水冷

方案,包括冷水机组、冷却塔、冷却水泵、冷水泵和室内末端风机能耗,计算能耗是这些设备的能耗之和,所以水冷方案的能效比并不等于水冷冷水机组的能效比。

对于水冷冷水机组,GB 19577—2004《冷水机组能效限定值及能源效率等级》对能效等级和能效比均有相关的规定。风冷机房空调机组没有单独的能效等级和能效比标准,但其和单元式空气调节机是一类产品,可借鉴单元式空气调节机的规定。相关数据见表 1。

从表 1 可以看出,随着冷水机组单机制冷量的增加,能效比也逐渐增大。表 2 为 GB 19576—2004《单元式空气调节机能效限定值及能源效率等

①☆ 王前方,男,1977 年 12 月生,大学,助理工程师
518055 深圳市南山区学苑大道 1001 号南山智园 B2 栋 9 楼
(0) 18665822929
E-mail: wangqianfang@foxmail.com
收稿日期:2013-09-02
修回日期:2014-02-18

表 1 GB 19577—2004 规定的能效指标

类型	额定制冷量 Q_c	能效等级				
		1	2	3	4	5
水冷式	$Q_c \leq 528 \text{ kW}$	5.00	4.70	4.40	4.10	3.80
	$528 \text{ kW} < Q_c \leq 1\,163 \text{ kW}$	5.50	5.10	4.70	4.30	4.00
	$Q_c > 1\,163 \text{ kW}$	6.10	5.60	5.10	4.60	4.20

表 2 GB 19576—2004 规定的能效指标

类型	能效等级				
	1	2	3	4	5
水冷式(不接风管)	3.20	3.00	2.80	2.60	2.40

级》指标。

下面根据两个实例计算两种方案的能耗和能

表 3 例 1 风冷和水冷方案设备选型参数

设备类型		参数	数量/台	功率/(kW/台)	功率合计/kW
风冷方案	风冷机房空调	制冷量 100 kW	15	35.9	538.5
水冷方案	冷水机组	制冷量 820 kW	2	174.5	349
	室内冷水机房空调末端	供冷量 120 kW	13	8.4	109.2
	冷水泵	流量 142 m ³ /h	2	18	36
	冷却水泵	流量 170 m ³ /h	2	17	34
	冷却塔	流量 205 t/h	2	5.5	11

冷水机组制冷量为 820 kW, 对应国标冷水机组制冷量在 528 kW < Q_c ≤ 1 163 kW 区间。

经计算, 风冷方案能效比为 2.79, 水冷方案能效比为 2.77(水冷方案制冷量需要在冷水机组制冷量基础上减去空调末端风机功耗和冷水泵

表 4 例 2 风冷和水冷方案设备选型参数

设备类型		参数	数量/台	功率/(kW/台)	功率合计/kW
风冷方案	风冷机房空调	制冷量 100 kW	60	35.9	2 154
水冷方案	冷水机组	制冷量 2 185 kW	3	428.4	1 285.2
	室内冷水机房空调末端	制冷量 120 kW	50	8.4	420
	冷水泵	流量 380 m ³ /h	3	45	135
	冷却水泵	流量 450 m ³ /h	3	45	135
	冷却塔	流量 540 t/h	3	16.5	49.5

冷水机组制冷量为 2 185 kW, 对应国标冷水机组制冷量 $Q_c > 1\,163 \text{ kW}$ 。

经计算, 风冷方案能效比为 2.79, 水冷方案能效比为 2.96。两个算例的能耗和能效比见表 5。

表 5 算例 1, 2 的能耗和能效比对比

		能耗/kW	能效比	能效对比/%
例 1	风冷方案	538.5	2.79	
	水冷方案	539.1	2.77	-0.7
例 2	风冷方案	2 154.0	2.79	
	水冷方案	2 024.8	2.96	6.0

从以上两个案例可以看出, 水冷方案采用大容量高效冷水机组时能效略高于风冷方案, 但也仅仅节能 6%, 在采用小容量冷水机组时, 由于能效比略低, 与风冷方案相当。

以上计算的是在国标规定的额定工况下的能

效比。为简化计算, 不考虑湿度控制因素。为统一对比条件, 边界条件均按国标的相关规定选取。风冷机房空调、水冷冷水机组的能效比均按使用较多的国标三级能效进行比较; 室内干球温度取 24 °C, 湿球温度取 17 °C; 风冷方案室外温度按国标规定的 35 °C 取值; 水冷方案的冷却水进出水温度为 30 °C/35 °C, 冷水机组的进出水温度为 12 °C/7 °C。

例 1: 长沙 Z 公司机房, 面积为 2 200 m², 根据计算书得到冷负荷为 1 500 kW, 风冷方案和水冷方案的设备选型见表 3(不含备用机组)。

功耗)。可以看出, 风冷方案的能效比大于水冷方案。

例 2: 西安 S 公司新建数据中心大楼, 面积 10 000 m², 冷负荷为 5 980 kW。风冷方案和水冷方案的设备选型见表 4(不含备用机组)。

效比, 但数据中心与普通建筑不同的是需要全年供冷, 所以需要考虑全年运行的能耗。

1.2 全年运行工况下的能效比分析

数据中心空调系统全年连续制冷运行, 在不同的室外工况下的能效比是不同的, 而且不同的方案有较大差异, 所以要评估空调方案的节能性, 还需要评估全年运行工况的能效比。

GB 19413—2010《计算机和数据处理机房用单元式空气调节机》标准中采用 AEER 评价数据中心空调设备的能效, AEER 就是全年能效比。考虑到数据中心需要全年空调的情况, 对不同室外温度的能效进行综合考虑, 使其更能反映数据中心空调系统的实际能效水平。GB 19413—2010 对 5 个室外温度点(35, 25, 15, 5, -5 °C)的能效比进行综合计算, 每个温度点的权重见表 6。

表6 GB19413—2010规定的不同城市的温度分布系数

	温度分布系数				
	$t_a=35\text{ }^\circ\text{C}$	$t_b=25\text{ }^\circ\text{C}$	$t_c=15\text{ }^\circ\text{C}$	$t_d=5\text{ }^\circ\text{C}$	$t_e=-5\text{ }^\circ\text{C}$
北京	7.2	28.1	23.1	21.0	20.6
南京	7.7	29.8	26.9	27.6	7.9
广州	12.7	54.0	28.3	5.1	0.0

全年能效比 $A E E R$ 的计算式为

$$A E E R = t_a E E R_a + t_b E E R_b + t_c \cdot E E R_c + t_d E E R_d + t_e E E R_e \quad (1)$$

式中 $E E R_a \sim E E R_e$ 分别为 a~e 工况条件下的能效比; $t_a \sim t_e$ 分别为 a~e 工况下的温度分布系数。

所以根据空调系统在 5 个不同室外温度下的能效比就可以计算出全年能效比 $A E E R$ 。

对于例 1, 2, 可以计算其全年能效比, 为简化计算, 假定数据中心冷负荷不变。

对于风冷方案, 风冷机房空调机组在不同温度下的能效比见表 7(参考艾默生测试数据)。

表7 风冷机房空调机组在不同温度下的能效比

	能效比				
	$t_a=35\text{ }^\circ\text{C}$	$t_b=25\text{ }^\circ\text{C}$	$t_c=15\text{ }^\circ\text{C}$	$t_d=5\text{ }^\circ\text{C}$	$t_e=-5\text{ }^\circ\text{C}$
例 1/例 2	2.79	3.34	3.82	3.95	3.95

对于水冷方案, 需要先计算出冷水机组的全年能效比。冷水机组在不同室外温度下的能效比见表 8(参考莱富康压缩机选型软件)。

表8 冷水机组在不同温度下的能效比

	能效比				
	$t_a=35\text{ }^\circ\text{C}$	$t_b=25\text{ }^\circ\text{C}$	$t_c=15\text{ }^\circ\text{C}$	$t_d=5\text{ }^\circ\text{C}$	$t_e=-5\text{ }^\circ\text{C}$
例 1	4.7	6.1	6.8	6.8	6.8
例 2	5.1	6.6	7.3	7.3	7.3

根据以上数据, 可以计算出风冷机房空调和水冷冷水机组对应的全年能效比 $A E E R$, 结果见表 9。

表9 风冷机房空调和冷水机组全年能效比

	$A E E R$		
	北京	南京	广州
例 1/例 2 风冷机房空调	3.67	3.64	3.44
例 1 水冷冷水机组	6.45	6.42	6.16
例 2 水冷冷水机组	6.94	6.91	6.64

根据空调机组的全年能效比可以计算出前述两个例子中空调方案的全年能效比, 假设数据中心冷负荷全年保持不变。计算结果见表 10。

表10 风冷方案和水冷方案全年能效比

	额定工况	全年能效比		
	能效比	北京	南京	广州
例 1/例 2 风冷方案	2.79	3.67	3.64	3.44
例 1 水冷方案	2.77	3.36	3.35	3.27
例 2 水冷方案	2.96	3.56	3.55	3.47

从全年能效比看, 北京和南京地区风冷方案能

效最高; 广州地区, 例 2 的水冷方案能效最高。北方地区风冷方案有优势; 大容量水冷方案比小容量水冷方案能效更高。

2 理论分析

风冷方案和水冷方案本质上都是压缩机机械制冷, 其压缩机在冷凝温度和蒸发温度相同时能效比是非常接近的。

但风冷机房空调在额定室外工况 ($35\text{ }^\circ\text{C}$) 下, 冷凝温度一般在 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 而水冷冷水机组采用水来冷却, 额定工况下冷凝温度一般在 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 所以在额定工况下, 水冷冷水机组能效高于风冷机房空调, 但是由于水冷方案还需要增加制冷剂和水的换热过程, 额外增加了泵和风机的能耗, 很大程度上削弱了压缩机制冷系统冷凝温度较低带来的能耗减少。

随着室外温度的降低, 风冷方案和水冷方案压缩机的冷凝温度都会下降, 但由于压缩机本身对冷凝温度有下限要求, 在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。考虑到空调系统的安全余量, 冷凝温度一般高于 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 。所以随着室外温度的降低, 在室外温度 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 水冷方案的冷凝温度趋于稳定, 风冷方案的冷凝温度在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 左右趋于稳定。所以在室外温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 水冷冷水系统压缩机的能效比和风冷系统压缩机的能效比差别不大, 冷水方案的优势变为劣势, 由于通过水作为媒介换热, 增加了水泵和风机功耗, 能效反而低于风冷机房空调方案, 所以低温时间越长, 风冷方案在全年制冷运行时越有优势。这也是本文实例计算的结果。

3 其他因素说明

目前在数据中心采用的水冷冷水方案中, 为提高效率, 在冷水侧经常采用高水温设计, 如 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 出水、 $15\text{ }^\circ\text{C}$ 回水, 同时提高空调末端的回风温度。这是非常有效和简单的提高能效的方法。直接蒸发型风冷空调也同样在逐步提高蒸发温度以提高能效, 目前国内的三大电信运营商中国移动、中国电信、中国联通采购的 3.0 能效比直接蒸发型风冷空调比例越来越大。所以两种方案的能效在近期和未来会逐渐提升。

在数据中心投入运行初期, 热负荷较小, 水冷方案中冷水机组单台制冷量较大, 能效较低, 风冷方案单台制冷量小, 能效受影响较小。

(下转第 39 页)

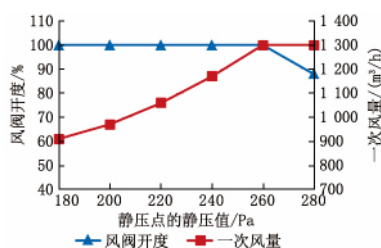


图5 21号 VAV box 一次风量和风阀开度随静压变化趋势

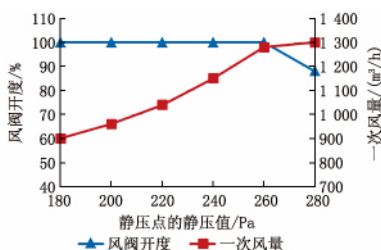


图6 22号 VAV box 一次风量和风阀开度随静压变化趋势

一次风量逐步增加,依次达到最大一次风量设计值。

2) 在静压传感器的反馈静压值达到约 240 Pa 时,19号、21号和 22号 VAV box 均达到最大一次风量设计值的 90%左右。

3) 在静压传感器的反馈静压值达到约 260 Pa 时,19号、21号和 22号 VAV box 均达到最大一次风量设计值,一次风阀基本处于全开状态;20号 VAV box 达到最大一次风量设计值的 90%。

4) 直到静压点的反馈值达到 280 Pa 时,19号、21号和 22号 VAV box 均达到最大一次风量

(上接第 31 页)

如果考虑自然冷却,如水冷方案冬季采用冷却塔供冷,或者风冷方案冬季采用泵或热管循环制冷剂来冷却机房,就要根据项目的实际情况来进行详细计算和分析比较。

对于两种方案的成本,一般水冷方案成本略高,数据中心可用性等级要求越高,水冷方案成本高出风冷方案的就越多。具体在项目设计中选择哪种方案,在能效之外也需要考虑其他因素。

4 结论

巨型数据中心(一般机房面积在 8 000 m² 以上)采用水冷方案,在南方(广州)地区全年能效比略高于风冷方案,在北方(南京/北京)地区略低于风冷方案。大中型数据中心(机房面积小于 8 000 m²)采用风冷方案更具有节能优势,其全年能效比

设计值,一次风阀处于 80%~90% 的开度;20号 VAV box 达到最大一次风量设计值,一次风阀基本处于全开状态。

根据现场改进调试法,该系统的静压设定值应设为 260 Pa,这和现场调试法确定的静压设定值是相同的。由此可见,对于绝大多数变风量空调系统,两种方法都是适用的。另外,对于该系统来说,最后达到最大一次风量设计值的是 20号 VAV box,这表明,由于设计和施工的原因,系统实际的最不利环路并不一定是最长的管路,而是实际阻力最高的环路。

4 结论

通过对实际项目的分析,发现对于绝大多数定静压控制的变风量空调系统,现场调试法和现场改进调试法均能够科学准确地确定系统所需要的静压设定值,在此设定值下能保证系统运行的稳定、高效和节能。相比较而言,对于复杂程度较高的变风量空调系统,现场改进调试法确定的静压设定值更准确。

参考文献:

- [1] 陆耀庆.实用供热空调设计手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2008:1853-1855
- [2] 李可欣,叶大法,杨国荣,等.VAV空调系统初探[J].暖通空调,1997,27(3):8-14
- [3] Hydeman M, Taylor S, Stein J, et al. Advanced variable air volume VAV system design guide[M]. PIER,2005: 140-141

较高。从地域来看,北方地区采用风冷方案有利,南方地区采用水冷方案有利。那种认为水冷方案比风冷方案节能的观点不正确,大部分情况下风冷方案比水冷方案更具有节能优势。

参考文献:

- [1] 艾默生网络能源有限公司,合肥通用机械研究院,广东吉荣有限公司.GB 19413—2003 计算机和数据处理机房用单元式空气调节机[S].北京:中国标准出版社,2011
- [2] 中国标准化研究院,合肥通用机械研究所,天津大学.GB 19576—2004 单元式空气调节机能效限定值及能源效率等级[S].北京:中国标准出版社,2004
- [3] 中国标准化研究院,合肥通用机械研究所,天津大学.GB 19577—2004 冷水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