

制约离心式制冷机组 COP 值的参数分析

李新禹, 金星, 陈杰

(天津工业大学 建筑环境系, 天津 300160)

摘要: 利用方差分析方法分析了制冷机组实际运行负荷比例、机组导叶开度、冷冻水出口温度以及室外空气相对湿度对离心式制冷机组 COP 值的影响。当置信概率分别取 95% 和 99% 时, 一元方差分析表明, 机组导叶开度的检验统计量 F 值高于临界值 $F_{0.01}(r-1, n-r)$, 证明其对机组 COP 影响十分显著; 实际运行负荷比例、冷冻水出口温度的检验统计量 F 值高于临界值 $F_{0.05}(r-1, n-r)$, 说明对机组 COP 影响显著; 室外空气相对湿度的检验统计量 F 值低于临界值 $F_{0.05}(r-1, n-r)$, 则对制冷机组 COP 影响不显著。同时对冷冻水出口温度和室外空气相对湿度进行二元方差分析表明, 两者交互作用的检验统计量 F 值高于临界值 $F_{0.01}((r-1)(s-1), rs(c-1))$, 则证明两者交互作用制冷机组 COP 影响显著。依据分析结果调整机组运行参数, 在制冷量不变的情况下, 机组运行的 COP 值平均提高 6.885%。

关键词: 制冷机组; COP; 方差分析

中图分类号: TB494 文献标志码: A 文章编号: 1674-4764(2009)01-00103-07

Parameters Restricting the Coefficient of Performance of Centrifugal Refrigerating Units

LI Xin-yu, JIN Xin, CHEN Jie

(Department of Building Environment, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, P. R. China)

Abstract: We used the variance analysis method to analyze the effects of the proportion of the actual operated load, the pulse-on degree of guide baffles, the temperature of cold water of the outlet, and outdoor relative humidity on the coefficient of performance (COP) of centrifugal refrigerating units. When the confidence level is set as 95% and 99%, respectively, the results of single-factor variance analysis of the above four parameters show that the test statistic F of the pulse-on degree of guide baffles is higher than its critical value $F_{0.01}(r-1, n-r)$, which establishes that its influence on the COP is quite remarkable. The test statistic F of the proportion of the actual operated load and the outlet temperature of cold water are higher than their own critical value $F_{0.05}(r-1, n-r)$, which shows that their influence on the COP is remarkable. The test statistic F of outdoor relative humidity is lower than its critical value $F_{0.05}(r-1, n-r)$, which demonstrates that its influence on the COP is unremarkable. The results of the two-factor variance analysis of the cold water outlet temperature and outdoor relative humidity show that the test statistic F of their interaction is higher than its critical value $F_{0.01}(r-1, n-r)$, which indicates that influence of their interaction on the COP is very remarkable. The actual COP value of centrifugal refrigerating units can increase by 6.885% in average on the condition of the invariable refrigerating capacity after adjustment according to the analytical results.

Key words: refrigerating units; coefficient of performance (COP); analysis of variance

收稿日期: 2008-09-30

基金项目: 天津市教委科技发展基金资助项目(20041205)

作者简介: 李新禹(1964-), 男, 天津工业大学副教授, 博士, 主要从事空气调节与新能源开发研究, (E-mail) xinyuli7627@sina.com。

离心式制冷机组是大型中央空调系统常用的机组,其运行能耗最高可占企业总能耗的 40% 以上。控制离心式制冷机组的运行成本是大型空调系统节能的重要举措。在不同的运行环境及工况下,大部分离心式制冷机组的实际运行 COP 值低于设计值,使整个空调系统的能效比降低,加大了实际运行的能耗。经长期对实际运机组的运行能耗检测发现,同一机组若其运行的环境和工况不同,机组的实际 COP 值亦不相同。如果运行环境及工况调整合理可得到较理想的机组 COP 值,甚至可以高于设计标准的 COP 值,达到理想的节能效果。因此,本文用数值分析理论分析了可能影响机组实际运行 COP 值的因素,包括实际运行负荷比例、机组导叶开度、

冷冻水出口温度以及室外空气相对湿度等,并分析了各个影响因素的影响效果。结果表明,通过合理调整影响因素,可以提高机组实际运行的 COP 值,使空调系统达到节能降耗的效果^[1]。

1 数值分析理论^[2-7]

一个系统的影响因素很多,在这些影响因素中甄别其影响程度是分析问题的关键环节。

本文选取方差分析,可从实验数据出发,分析、判断影响因素。

1.1 一元方差分析^[8]

一元方差分析方法可判断某种因素对实验结果有无显著影响,其方差分析见表 1。

表 1 一元方差分析表

来源	离差平方和	自由度	均方离差	F 值
组间	$Q_A = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{X}_i - \bar{X})^2 = \sum_{i=1}^r n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	$r - 1$	$S_A^2 = \frac{Q_A}{r - 1}$	$F = \frac{S_A^2}{S_E^2}$
组内	$Q_E = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$	$n - r$	$S_E^2 = \frac{Q_E}{n - r}$	
总和	$Q_T = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2$	$n - 1$		

注: r 为选择子样水平数; n 为实验总次数。

式中: Q_A 为组间离差平方和,反映了各个水平之间指标取值的差异程度; Q_E 为组内离差平方和,反映了水平 A_i 的内部指标取值的差异程度; Q_T 为总离差平方和,被分解为组内离差平方和与组间离差平方和之和,即 $Q_T = Q_E + Q_A$; S_A^2 为组间均方离差; S_E^2 为组内均方离差; F 为检验统计量;

拒绝域为 $W: F = S_A^2 / S_E^2 > F_\alpha(r - 1, n - r)$

1.2 二元方差分析^[9]

二元方差分析则可判断两个因素及其交互作用对实验结果的影响是否显著,本文采用等重复实验的二元方差分析方法,该方法在每一种组合水平上进行重复实验多次,并且重复实验次数相同。其方差分析见表 2。

表 2 等重复实验的二元方差分析表

来源	离差平方和	自由度	均方离差	F 值
因子 A	$Q_A = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^c (\bar{X}_{i..} - \bar{X})^2 = r \sum_{i=1}^r (\bar{X}_{i..} - \bar{X})^2$	$r - 1$	$S_A^2 = \frac{Q_A}{r - 1}$	$F_A = \frac{S_A^2}{S_E^2}$
因子 B	$Q_B = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^c (\bar{X}_{.j.} - \bar{X})^2 = s \sum_{j=1}^s (\bar{X}_{.j.} - \bar{X})^2$	$s - 1$	$S_B^2 = \frac{Q_B}{s - 1}$	$F_B = \frac{S_B^2}{S_E^2}$
交互作用 I	$Q_I = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^c (\bar{X}_{ij.} - \bar{X}_{i..} - \bar{X}_{.j.} + \bar{X})^2$	$(r - 1)(s - 1)$	$S_I^2 = \frac{Q_I}{(r - 1)(s - 1)}$	$F_I = \frac{S_I^2}{S_E^2}$
误差	$Q_E = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^c (X_{ijk} - \bar{X}_{ij.})^2$	$rs(c - 1)$	$S_E^2 = \frac{Q_E}{rs(c - 1)}$	
总和	$Q_T = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^c (X_{ijk} - \bar{X})^2$	$rs - 1$		

注: r 为因子 A 子样水平数; s 为因子 B 子样水平数; c 为每种组合下的实验数。

式中: Q_A 为因子 A 引起的离差平方和; Q_B 为因子 B 引起的离差平方和; Q_I 为交互作用引起的离差平方和; Q_E 为误差平方和; Q_T 为总离差平方和,总离差平方和可以分解为因子 A 引起的离差平方和、因子 B 引起的离差平方和、以及误差平方和之和; S_A^2 为因子 A 引起的均方离差; S_B^2 为因子 B 引起的均方离差; S_I^2 为交互作用的均方离差; S_E^2 为均方误差; F_A 为因子 A 检验统计量; F_B 为因子 B 检验统计量; F_I 为交互作用检验统计量;

因子 A 的拒绝域 $W_A: F_A \geq F_{\alpha}(r-1, rs(c-1))$

因子 B 的拒绝域 $W_B: F_B \geq F_{\alpha}(s-1, rs(c-1))$

因子 A 与 B 交互作用的拒绝域 $W_I: F_I \geq F_{\alpha}((r-1)(s-1), rs(c-1))$

2 试验及分析

2.1 制冷机组运行方式

某厂空调系统实际离心式制冷机组采用并联配置,系统流程见图 1,各制冷机组型号见表 3。

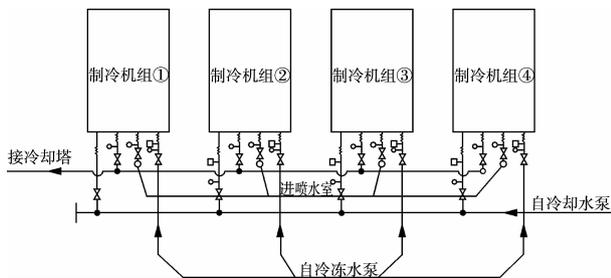


图 1 离心式制冷机组具体配置情况

表 3 制冷机组型号

机组编号	型号	制冷量/kW	电机功率/kW
1	LCS420-P	4 884	855
2	LCS360-P	4 219	795
3	LCS420-P	4 884	855
4	LC240-P	2 813	538

正常运行工况下,3#制冷机组是主要冷源(始终运行),其它机组的运行与否视负荷情况而定。若冷负荷的增加,则选择开启 2#或 4#机组。若两台机组(3#加 2#、或 3#加 4#)无法满足负荷要求,则同时开启 2#、3#、4#三台机组(这种运行方式只在个别极端天气下运行)。1#制冷机组为备用机组^[10-12]。

2.2 数值分析

2.2.1 一元方差分析

根据实际运行情况和采集的数据,对影响 3#机组的 COP 值的因素进行了一次方差分析。

置信概率为 95%,当影响因素 F 值大于其临界值(临界值 1)时,影响显著;置信概率为 99%,当影响因素 F 值大于其临界值(临界值 2)时,影响十分显著。

1)实际运行负荷比例对机组 COP 影响

水平数 $r=10$;总试验次数 $n=52$;

给定 $\alpha=0.05, W: F \geq F_{\alpha}(r-1, n-r) = F_{0.05}(9, 42) = 2.14$

给定 $\alpha=0.01, W: F \geq F_{\alpha}(r-1, n-r) = F_{0.01}(9, 42) = 2.89$

方差分析表见表 4。

表 4 实际运行负荷比例对机组 COP 影响方差分析表

来源	离差平方和	自由度	均方离差	F 值	临界值 1	临界值 2	显著	十分显著
因子 A	1.076 384 89	9	0.119 598	2.24	2.14	2.89	*	
误差 E	2.245 058 6	42	0.053 454					
总和 T	3.321 443 49	51						

2)导叶开度对机组 COP 影响

水平数 $r=7$;总试验次数 $n=27$

给定 $\alpha=0.05, W: F \geq F_{\alpha}(r-1, n-r) = F_{0.05}(6, 20) = 2.60$

给定 $\alpha=0.01, W: F \geq F_{\alpha}(r-1, n-r) = F_{0.01}(6, 20) = 3.87$

方差分析表见表 5

表 5 导叶开度对机组 COP 影响方差分析表

来源	离差平方和	自由度	均方离差	F 值	临界值 1	临界值 2	显著	十分显著
因子 A	2.057 737 63	6	0.342 956	7.48	2.60	3.87	*	*
误差 E	0.916 595 27	20	0.045 83					
总和 T	2.974 332 9	26						

3) 冷冻水出口温度对机组 COP 影响
 水平数 $r=3$; 总试验次数 $n=53$
 给定 $\alpha=0.05$, $W: F \geq F_{\alpha}(r-1, n-r) = F_{0.05}(2, 50) = 3.20$
 给定 $\alpha=0.01$, $W: F \geq F_{\alpha}(r-1, n-r) = F_{0.01}(2, 50) = 5.08$
 方差分析表见表 6

表 6 冷冻水出口温度对机组 COP 影响方差分析表

来源	离差平方和	自由度	均方离差	F 值	临界值 1	临界值 2	显著	十分显著
因子 A	0.474 599 33	2	0.237 3	3.92	3.20	5.08	*	
误差 E	3.026 675 11	50	0.060 534					
总和 T	3.501 274 44	52						

4) 室外空气相对湿度对机组 COP 影响
 水平数 $r=10$; 总试验次数 $n=81$
 给定 $\alpha=0.05$, $W: F \geq F_{\alpha}(r-1, n-r) = F_{0.05}(9, 71) = 2.00$
 给定 $\alpha=0.01$, $W: F \geq F_{\alpha}(r-1, n-r) = F_{0.01}(9, 71) = 2.70$
 方差分析表见表 7

表 7 室外空气相对湿度对机组 COP 影响方差分析表

来源	离差平方和	自由度	均方离差	F 值	临界值 1	临界值 2	显著	十分显著
因子 A	1.311 12	9	0.145 68	0.87	2.00	2.70		
误差 E	11.873 33	71	0.167 23					
总和 T	13.184 45	80						

一元方差分析表明: 当置信概率设为 95%, 即 $\alpha=0.05$ 时, 实际运行负荷比例的 F 值为 2.24, 大于临界值 2.14; 导叶开度的 F 值为 7.48, 大于临界值 2.60; 冷冻水出口温度的 F 值为 3.92, 大于临界值 3.20; 室外空气相对湿度的 F 值为 0.87, 小于临界值 2.00。可以判定机组实际运行负荷比例、机组导叶开度、冷冻水出口温度对离心式制冷机组 COP 值的影响显著, 室外空气相对湿度对离心式制冷机组 COP 值的影响不显著。为了进一步确认各参数的影响效果, 将置信概率提高到 99%, 即 $\alpha=0.01$ 时, 只有导叶开度的 F 值为 7.48, 大于 3.87, 证明机组导叶开度对离心式制冷机组 COP 值的影响十分显著。

一元方差确定了各个因素单独作用对机组 COP 的影响程度, 不能确定各影响因素之间的交互作用对机组 COP 值得影响程度。需对上述因素进行二元方差分析。

2.2.2 等重复实验的二元方差分析^[13-15]

对冷冻水出口温度与室外空气相对湿度两个因素的交互影响进行等重复实验的二元方差分析, 二元方差分析如下:

因子 A 为室外空气相对湿度, 取 4 种水平, 即 $r=4$;

因子 B 为冷冻水出口温度, 取 3 种水平, 即 $s=3$;

在每种组合下做 3 次实验, 即 $c=3$ 。

给定 $\alpha=0.05$,

$W_A: F_A \geq F_{\alpha}(r-1, rs(c-1)) = F_{0.05}(3, 24) = 3.01$;

$W_B: F_B \geq F_{\alpha}(s-1, rs(c-1)) = F_{0.05}(2, 24) = 3.40$;

$W_I: F_I \geq F_{\alpha}((r-1)(s-1), rs(c-1)) = F_{0.05}(6, 24) = 2.51$ 。

给定 $\alpha=0.01$,

$W_A: F_A \geq F_{\alpha}(r-1, rs(c-1)) = F_{0.01}(3, 24) = 4.72$;

$W_B: F_B \geq F_{\alpha}(s-1, rs(c-1)) = F_{0.01}(2, 24) = 5.61$;

$W_I: F_I \geq F_{\alpha}((r-1)(s-1), rs(c-1)) = F_{0.01}(6, 24) = 3.67$ 。

方差分析表见表 8

表 8 冷冻水出口温度与室外空气相对湿度对机组 COP 影响方差分析表

来源	平方和	自由度	均方离差	F 值	临界值 1	临界值 2	显著	十分显著
因子 A	0.135 492	3	0.045 164	0.93	3.01	4.72		
因子 B	0.555 703	2	0.277 852	5.73	3.40	5.61	*	*
A×B	1.610 805	6	0.268 468	5.54	2.51	3.67	*	*
误差 E	1.163 692	24	0.048 487					
总和 T	3.465 692							

等重复实验的二元方差分析表明,当置信概率设为 95%,即 $\alpha=0.05$ 时,室外空气相对湿度的 F 值为 0.93,小于临界值 3.01;冷冻水出口温度 F 值为 5.73,大于临界值 3.40;冷冻水出口温度与室外空气相对湿度交互作用的 F 值为 5.54,大于临界值 2.51。进一步证明冷冻水出口温度对机组 COP 影响显著,室外空气相对湿度单独作用对机组 COP 影响不显著,但冷冻水出口温度与室外空气相对湿度的交互作用对机组 COP 有显著的影响。为了进一步确认各因素的影响效果,将置信概率提高到 99%,即 $\alpha=0.01$ 时,冷冻水出口温度 F 值为 5.73,大于 5.61;冷冻水出口温度与室外空气相对湿度交互作用的 F 值为 5.54,大于 3.67。证明上述两种因素对离心式制冷机组 COP 值的影响十分显著。

3 各影响因素与机组 COP 值关系试验分析

为验证理论分析结果,在不同条件下对离心机组实际运行状况进行了大量的试验,试验曲线见图 2—5。图 2 为实际运行负荷比例对机组 COP 影响的曲线^[16],可以看出,4#离心式制冷机组的 COP 值在 3.25—4.88 之间变化,其 COP 值随实际运行负荷比例的增大而升高;2#离心式制冷机组的 COP 值在 4.76—6.35 之间变化,当实际运行负荷比例为 1 时,COP 值最高;3#离心式制冷机组的 COP 值在 4.77—6.11 之间变化,当负荷低于设计负荷 80%时,实际运行负荷比例越大,COP 值越高,当高于 80%时,COP 值会有所降低,达到 95%以上时,COP 值又继续升高。图 3 展示出导叶开度对机组 COP 值的影响。4#机组的导叶开度在 75%左右时,其 COP 值最高,导叶开度减小或增加都会使 COP 值降低;2#机组的导叶开度在 90%左右时,COP 值最低,导叶开度减小或增加都会使 COP 值升高;就 3#机组而言,当导叶开度在 70%—90%之间时,COP 值最低,当导叶开度在其它范围时,其 COP 值均较高。图 4 是冷冻水出口温度对机组 COP 值的影响。可以看出 4#机组,冷冻水出口温度在 9.7℃左右和大于 10.3℃时,机组 COP 值较低,冷冻水出口温度在 9.3℃与 10℃左右时,机组

COP 值较高;2#机组的 COP 值随冷冻水出口温度变化变化不大,一般都在 5.2~5.5 之间;而 3#机组在冷冻水出口温度大于 10.5℃时,机组 COP 值达到最大,在 7.9℃与 8.7℃左右时,机组 COP 值也较周围温度的高。

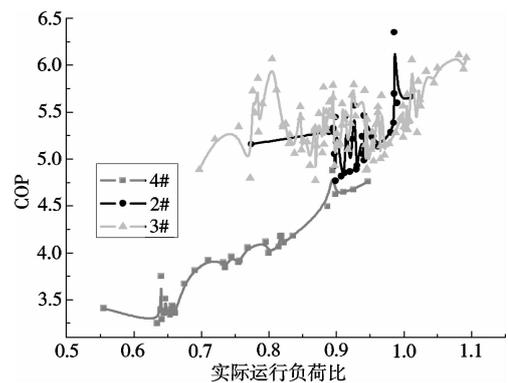


图 2 实际运行负荷比例对机组 COP 影响

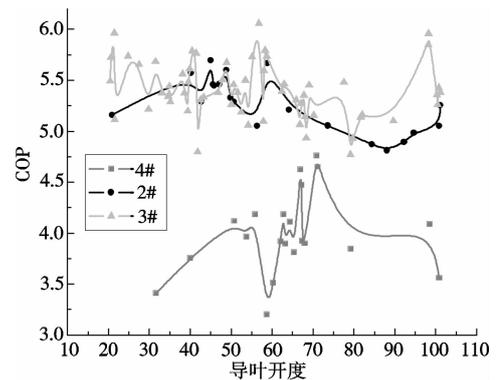


图 3 导叶开度对机组 COP 影响

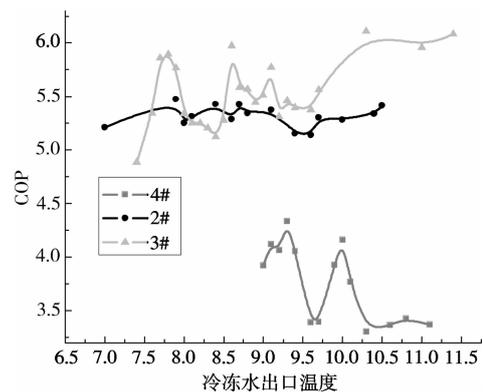


图 4 冷冻水出口温度对机组 COP 影响

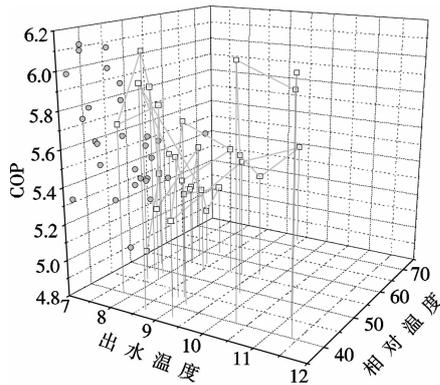


图 5 出口温度与室外空气相对湿度交互作用对 COP 影响

冷冻水出口温度与室外空气相对湿度交互作用对机组 COP 值的影响则在图 5。在冷冻水出口温度恒定时,室外空气相对湿度在 55% 左右时,COP 值较高;在不同湿球温度下,机组 COP 值随冷冻水出口温度变化规律不同。室外空气相对湿度在 40% 时,冷冻水出口温度在 8 °C 与 8.4 °C 时,机组 COP 值最低;室外空气相对湿度在 43% 时,冷冻水出口温度小于 8.5 °C 时,机组 COP 值最低,当大于 8.5 °C 时,机组 COP 值随冷冻水出口温度增加而升高;当室外空气相对湿度在 49% 时,冷冻水出口温度在 7.7 °C 时,低于 7.7 °C 时,机组 COP 值随出口温度降低而降低较多,当大于 7.7 °C,机组 COP 值在 5.5 上下波动;室外空气相对湿度在 52% 时,机组 COP 值随冷冻水出口温度增加而升高;室外空气相对湿度在 55% 时,冷冻水出口温度在 8.8 °C 左右机组 COP 值最低,低于或高于 8.8 °C 均可使机组 COP 值升高;室外空气相对湿度在 58% 时,冷冻水出口温度在 9 °C 左右机组 COP 值最高;室外空气相对湿度在 61% 时,冷冻水出口温度在 8.1 °C 左右机组 COP 值最低,低于或高于 8.1 °C 均可使机组 COP 值升高。

依据上述分析,对机组在不同工况下实际运行 COP 值的进行了优化处理的分析,在制冷量不变的情况下对机组进行优化调节,COP 值有很大的提高,提高幅度最低为 2.92%,最高可达 12.21%,见表 9。可见经分析优化后,同样的机组在不同的工况下,平均可提升 COP 值 6.885%。

表 9 优化处理前后 COP 值对照表

	3#与2# 联合运行	3#与4# 联合运行	3#、2#、4# 联合运行
未优化处理	5.51	5.42	5.19
高 COP 优化处理	5.67	5.60	5.44
增长率 %	2.92	3.38	4.78

	3#与2# 联合运行	3#与4# 联合运行	3#、2#、4# 联合运行
未优化处理	5.00	4.17	5.02
低 COP 优化处理	5.61	4.57	5.44
增长率 %	12.21	9.70	8.32

4 结 论

实际运行负荷比例、导叶开度、冷冻水出口温度对制冷机组 COP 值影响显著,冷冻水出口温度与室外空气相对湿度的交互作用对制冷机组 COP 值亦有影响。大功率离心制冷机组,其运行的 COP 值有两个高峰点,分别在实际运行负荷比例为 80% 和 95% 处。小功率机组实际运行负荷比例越大,COP 值越高。大功率机组导叶开度在 70%—90% 之间时 COP 值最低,小功率机组,导叶开度在 75% 左右时,COP 值最高。冷冻水出口温度越高,小型机组的 COP 值越低,大型机组冷冻水出口温度高不会使 COP 值降低,但冷冻水出口温度过低,COP 值会下降,如果低于 7 °C 会影响机组的正常运行。当冷冻水出口温度恒定时,室外空气相对湿度在 55% 左右时,机组的 COP 值较高。经分析优化处理后,在同样的制冷量下,机组的实际 COP 值有大幅度的提高,最低提高为 2.92%,最高可达 12.21%。

参考文献:

- [1] 董天禄. 离心式和螺杆式制冷机组发展综述[J]. 制冷技术, 2001(4):6-9.
DONG TIAN-LU. Trends of centrifugal and screw type refrigeration machine [J]. Refrigeration Technology, 2001(4):6-9.
- [2] 汪荣鑫. 数理统计[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1986.
- [3] DOGANDZIC ALEKSANDAR, NEHORAI ARYE. Generalized multivariate analysis of variance [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2003, 20(5):39-54.
- [4] JAY L DEVORE. Probability and statistics for engineering and the sciences [M]. Fifth Edition. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [5] KING J N, YE H F C, HEAMAN J C. Selection of growth and yield traits in controlled crosses of coastal Douglas-fir [J]. Silvae Genetica, 1998, 37(3-4):158-164.
- [6] SHEN E C, GAU C H, HSIEH Y D, et al. Periodontal status in post-menopausal osteoporosis: a preliminary clinical study in taiwanese women [J]. J Chin Med Assoc, 2004, 67(8):389-393.
- [7] MOHAMMAD A R, HOOPER D A, VERMILEA S G, et al. An investigation of relationship between systemic bone density and clinical periodontal status in post-menopausal asian-american women [J]. Int Dent J,

- 2003,53(3):121-125.
- [8] 祝国强. 方差分析的简易算法[J]. 数理医药学杂志, 2007,20(3):296-297.
- ZHU GUO-QIANG. The simple arithmetic of variance analysis[J]. Journal Of Mathematical Medicine, 2007, 20 (3):296-297.
- [9] MAMAT N J Z, DANIEL J K. Statistical analyses on time complexity and rank consistency between singular value decomposition and the duality approach in AHP: a case study of faculty member selection [J]. Mathematical and Computer Modeling, 2007,46 (7-8): 1099-1106.
- [10] CLARIDGE D E, TURNER W D, LIU M. Choosing the right parameter for single-duct constant air volume system supply air temperature reset [J]. Journal of Architectural Engineering, 2005, 11(3):76-80.
- [11] 彦启森. 空气调节用制冷技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [12] 田国庆. 离心式冷水机组选型分析[J]. 暖通空调, 2003, 33(3):75-77.
- TIAN GUO-QING. Selection of centrifugal refrigerating machines[J]. HV&AC, 2003, 33(3):75-77.
- [13] MAO S R, CHEN J M, WEI Z P, et al. Intranasal administration of melatonin starch microspheres [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2004, 272 (1): 37-43.
- [14] 辛益军. 方差分析与实验设计[M]. 北京:中国财政经济出版社,2001:49-65.
- [15] 刘晓莉. 试验设计中多元回归分析方法的研究[J]. 数理统计与管理, 2001,20(4):14-16.
- LIU XIAO-LI. The research for method of regression analysis on experiment design [J]. Application of Statistics and Management, 2001,20(4):14-16.
- [16] 刘莹,郑贤德,许新明. 冷水机组部分负荷性能分析[J]. 制冷, 2000,19(4):63-67.
- LIU YING, ZHENG XIAN-DE, XU XIN-MING. Performance analysis of partial load of water chilling unit[J]. Refrigeration, 2000,19(4):63-67.

(编辑 陈蓉)

(上接第 102 页)

- [8] CHUNG T W, WU H. Mass transfer correlation for dehumidification of air in a packed absorber with an inverse U-shaped tunnel [J]. Separation Science and Technology, 2000,35(10): 1502-1514.
- [9] FUMO N, GOSWAMI D Y. Study of an aqueous lithium chloride desiccant system: air dehumidification and desiccant regeneration[J]. Solar Energy, 2002, 72 (4): 351-361.
- [10] 杨英. 液体除湿性的实验研究[D]. 天津:天津大学, 1999.
- [11] 秦朝葵,徐吉浣. 氯化锂除湿转轮传热传质模型[J]. 暖通空调, 2004, 34(11):135-138.
- QIN CHAO-KUI, XU JI-HUAN. Heat and mass transfer model for LiCl rotary dehumidifiers [J]. HV&AC, 2004, 34(11): 135-138.
- [12] 刘晓华,江亿,曲凯阳,等. 叉流除湿器中溶液与空气热质交换模型[J]. 暖通空调, 2005, 35(1): 115-119.
- LIU XIAO-HUA, JIANG YI, QU KAI-YANG, et al. Heat and mass transfer model between air and liquid desiccant in cross-flow dehumidifiers [J]. HV&AC, 2005,35(1):115-119.
- [13] PATNAIK S, LENZ T G, LOF G O G. Performance studies for an experimental solar open-cycle liquid desiccant air dehumidification system[J]. Solar Energy, 1990, 44(3): 123-135.
- [14] ZURIGAT Y H, ABU-ARABI M K, ABDUL-WAHAB S A. Air dehumidification by triethylene glycol desiccant in a packed column [J]. Energy Conversion and Management, 2004, 45(1): 141-155.
- [15] 刘振学,黄仁和,田爱民. 实验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.

(编辑 陈蓉)