

文章编号:1004-1478(2011)05-0001-04

# 陈列柜冷辐射对超市空调系统设计参数的影响

张文慧, 聂雪丽, 龚毅, 吕彦力

(郑州轻工业学院 机电工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**从人体舒适性及节能的角度出发,分析了陈列柜冷辐射对超市空调系统设计参数的影响,以此确定了合理的超市空调系统设计参数:夏季空调系统设计参数选择温度 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $60\%$ ;冬季空调系统设计参数选择温度不大于 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $30\%$ .这两种状态下,节能效果和热舒适性较好.

**关键词:**超市空调系统;热舒适;节能;陈列柜冷辐射

**中图分类号:**TU831.3      **文献标志码:**A

## Influence of display cabinet radiation to parameter setting of supermarket air conditioning

ZHANG Wen-hui, NIE Xue-li, GONG Yi, LV Yan-li

(College of Mech. and Electr. Sci., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** From the points of comfort and energy saving, the display cabinet radiation should be taken into consideration when the parameter of HVAC system in supermarkets was set. And an experimental investigation was undertaken in test room. The results showed that: when  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $60\%$  of humidity in summer and  $\leq 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $30\%$  of humidity in winter was set as the parameter of air conditioning in supermarket, the good energy saving and thermal comfort could be met.

**Key words:** supermarket air conditioning; thermal comfort; energy saving; display cabinet radiation

## 0 引言

超市是能源消耗密集的场所,在美国和法国,大型超市的耗电量占整个国家电力消耗的 $4\%$ ,而空调系统和冷柜制冷系统的耗电量又占整个超市耗电量的 $50\% \sim 70\%$ .在中国,据不完全统计,制冷系统和空调系统的能耗占超市总能耗的一半以上<sup>[1]</sup>.冷冻冷藏陈列柜在运行时有一半以上的制冷负荷来自周围热空气的渗透,不同冷柜热渗透占制

冷负荷的百分比情况分别为:开式低温冷冻陈列柜在 $70\%$ 以上,开式中温冷藏陈列柜在 $65\%$ ,岛式柜在 $50\%$ 左右,闭式陈列柜在 $35\%$ 左右<sup>[2]</sup>.由于空调空间的空气与冷冻冷藏陈列柜进行着持续的热、湿交换,使得空调系统的运行与冷冻冷藏陈列柜、超市内环境存在直接而密切的联系.

超市空调系统设计参数对陈列柜运行特性有很大影响,室内温度和相对湿度都是影响陈列柜性能的重要因素<sup>[1-3]</sup>.文献[4]指出,在其他条件确定

收稿日期:2011-03-22

基金项目:国家自然科学基金项目(21076200)

作者简介:张文慧(1980—),女,河南省温县人,郑州轻工业学院讲师,硕士,主要研究方向为食品冷冻冷藏.

的情况下,陈列柜与室内空气总的热交换量随着相对湿度的增加而增加.同时,陈列柜特别是敞开式陈列柜的运行也会给超市空调系统制冷效果带来较大的影响.冷冻冷藏陈列柜特别是敞开式陈列柜的使用,会使其周围温度较高的空气被吸入陈列柜空气幕的射流空气中,与此同时,冷柜中的冷空气则溢出到周围过道中,降低过道内的空气温度,形成冷过道效应.许多学者对其进行了数值模拟,得到了过道内的温度分布:地面处温度为 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,而在地面以上 $1.2\text{ m}$ 处温度达 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温差 $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[5]</sup>,造成脚凉头热的感觉,预测平均不满意度 $PPD = 100\%$ .这种冷热空气的热湿交换在一定程度上也会影响空调负荷.

另外,在符合热舒适性条件的环境温度范围内,人体散热主要靠对流和辐射,其中对流占 $30\%$ ,辐射占 $45\%$ ,其他散热方式占 $21\%$ <sup>[6]</sup>.由于辐射在人体换热过程中所占比重较大,且冷冻冷藏陈列柜特别是敞开式陈列柜柜内温度较低,所以这种冷辐射很大程度上会增加人体的冷感觉,从而影响超市员工、购物者的热舒适度.鉴于此,本文拟从节能角度考虑空调系统设计中冷辐射的影响,以确定合理的室内设计参数(干球温度和相对湿度),以期在满足人体热舒适性的同时降低空调系统和陈列柜制冷系统的总能耗.

## 1 超市热舒适性

目前,超市空调系统大多采用同一组系统设计参数,这样不仅会使冷冻冷藏区产生严重的冷过道效应,而且陈列柜冷辐射也会给人带来较强的冷感觉,从而影响此区域人员的热舒适度.

最近几年,许多研究人员致力于降低或消除冷过道效应方面的研究,取得了一些成果<sup>[3,7]</sup>.例如应用地板辐射采暖技术,或者用风机将冷过道底部的冷空气抽走等.特别是CFD软件的出现,使得这方面的研究取得了进一步的发展.

使用地板辐射采暖技术时,为了消除冷过道效应,要在放置冷柜区域的地板下面布置较多的换热管,虽然这种方式已经获得了广泛的应用,但A. Tassou Savvas等<sup>[7]</sup>用CFD模型对这种采暖方式下冷柜周围空气的温度进行的数值模拟结果显示,地板附近温度会有 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的回升,但竖直方向上的温度梯度并没有明显变化,特别是陈列柜附近温度仍

保持在 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右.因此,采用地板辐射采暖后冷过道效应并没有多大的改观,并且地板的辐射作用会使柜内货物表面温度升高 $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,中心温度升高 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,会增加冷柜冬季运行的负荷.

此外,在陈列柜底部设风机,将冷空气抽走,CFD模型显示, $0\sim 1.2\text{ m}$ 高度上温差降低 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,效果比地板辐射采暖要好,并且冷柜内货物温度不会受到影响<sup>[7]</sup>.这种方式在改善冷过道效应上取得了很好的效果,但是由于夏季冷量被白白抽掉,造成了能源的浪费.之后,A. Tassou Savvas等<sup>[7]</sup>又提出夏季将冷风抽走,送至其他商品区用来制冷,而冬季采用电加热器或热水将冷空气加热,然后由过道顶部采用条缝型出风口以较低的风速送出.CFD模拟结果显示,采用这种方式,可将 $0\sim 1.2\text{ m}$ 高度的温差降为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,基本消除了冷过道效应.

以上方式在不同程度上提高了冷柜周围人体的热舒适度,也与超市空调系统有了一定程度的结合,使能耗有所降低,但是并没有提出陈列柜冷辐射对空调系统设计产生的影响,以及如何改变空调系统的参数,使之更好地适应节能的要求.

## 2 陈列柜冷辐射对空调系统设计参数的影响

本试验采用一台中温冷藏陈列柜,尺寸为 $1\ 800\text{ mm}\times 800\text{ mm}\times 1\ 960\text{ mm}$ ,使用温度为 $3\sim 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .将此陈列柜布置在恒温恒湿空调房间内,房间尺寸为 $4.2\text{ m}\times 3.6\text{ m}\times 3.6\text{ m}$ ,空调送风方式为上送下回.陈列柜在试验室中的位置如图1所示.在陈列柜关闭时,其前纵平面内水平风速必须保持在 $0.1\sim 0.2\text{ m/s}$ (如图2所示),以模拟超市人员扰动.

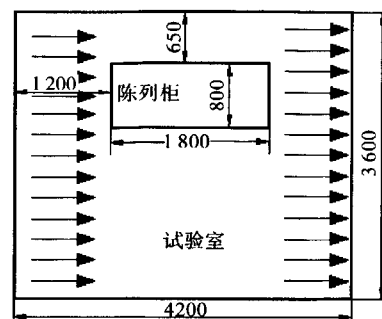


图1 陈列柜布置示意图/mm

### 2.1 夏季空调系统设计参数

**2.1.1 设计温度** 住房和城乡建设部印发了《公共建筑室内温度控制管理办法》,规定公共建筑夏

季室内温度不得低于26℃,冬季室内温度不得高于20℃.不同国家研究者根据本国人种也做了不同的实验,发现:在基本无风(风速低于0.15 m/s),相对湿度为50%的环境内,人员穿着棉质长袖衬衫和长裤,处于静坐工作状态时,丹麦人、美国人、日本人的中性温度分别为25.7℃,25.6℃和26.3℃<sup>[8]</sup>,而清华大学进行的人体热舒适实验发现中国人的中性温度在26℃附近<sup>[9]</sup>.

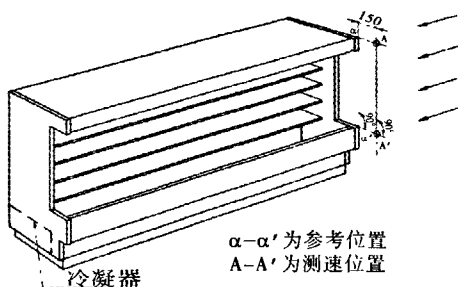


图2 陈列柜前纵平面内风速测点

在满足人体热舒适感(预测平均评价PMV相同)的要求、其他条件不变的情况下,室内平均辐射温度的变化与室内空气温度的变化关系为<sup>[6]</sup>

$$\overline{\Delta t_r} = -\Delta t_a$$

式中, $\overline{t_r}$ 为平均辐射温度/℃, $t_a$ 为室内空气温度/℃.室内平均辐射温度每下降1℃,空气温度可增加1℃,而获得的人体热舒适感相同.所以,在保证同等舒适度条件下,超市冷冻冷藏区陈列柜的使用会引起平均辐射温度的降低,因此可改变室内温室设计标准,实现节能.超市空调系统设计参数选择 $t_a=26℃$ 时, $\overline{t_r}=25℃$ .文献[10]提出夏季室内设计干球温度每升高1℃,空调能耗降低8%左右.

因此,考虑到陈列柜冷辐射的影响,夏季超市冷冻冷藏区空调系统设计参数可选取为27℃.图3

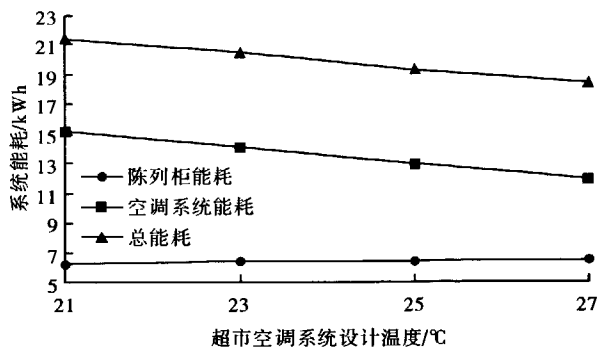


图3 夏季系统能耗随超市空调系统设计温度变化曲线图

为夏季室外温度为36℃,相对湿度为65%时,取室内相对湿度为60%,系统能耗随超市空调设计温度的变化曲线.从试验结果可以看出,空调系统能耗随着超市空调系统设计温度的增加呈下降趋势,但是陈列柜能耗随超市空气温度的上升呈增加趋势,在该试验条件下,系统总能耗在27℃时比25℃时降低4.8%.

**2.1.2 相对湿度** 多项研究表明,周围环境对冷冻冷藏陈列柜的运行特性有很大影响,而相对湿度是其中影响最大的因素.所以,在满足人体舒适性的前提下,应尽量降低超市内的相对湿度.降低相对湿度可以降低进入陈列柜的潜热负荷,减少蒸发器的结霜和冷柜壁面的凝露,从而减少融霜能耗和防露加热器能耗,并且提高柜内货物温度的稳定性.研究表明,当相对湿度从55%降低到35%时,陈列柜能耗会降低5%~29%,但是空调负荷会相应增加<sup>[4]</sup>.那么,一定存在最佳的相对湿度值,使冷柜和空调系统的总能耗最小. Mattieu Orphelin等<sup>[11]</sup>通过实验和数据分析得出,法国夏季相对湿度为40%时,系统总能耗最小.这个数据是否适用于中国还需要进一步的研究证明.

若保持室内空气温度为27℃,室外空气温度为36℃,相对湿度为20%,在试验条件下,试验结果如图4所示.

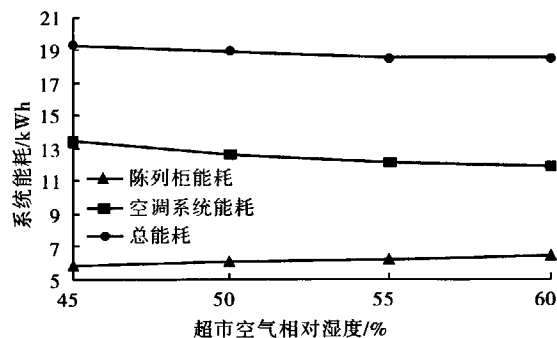


图4 夏季系统能耗随超市空调系统设计相对湿度变化曲线图

超市空调系统能耗随相对湿度的增加而降低,陈列柜能耗随着相对湿度的增加而增加,而总能耗在相对湿度为60%时较小.所以,结合空调设计标准,可取相对湿度为60%.但是,由于超市空间大小、陈列柜数量与种类不同等因素的影响,可能出现不同结果.

**2.2 冬季空调系统设计参数**

**2.2.1 设计温度** 在冬季,由于空调系统必须使用

额外的热量来补偿陈列柜的冷量溢出,冷冻冷藏区空调系统的热负荷会有所增加,因此在进行空调系统负荷计算时必须考虑陈列柜冷量溢出对空调负荷的影响.并且冷辐射会增强人体的冷感觉,从而降低冬季空调系统的热效应.

若选取空调系统冬季室内设计温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,考虑到冷辐射的影响,平均辐射温度降低,在该试验条件下, $\bar{t}_r = -0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,因此冬季超市冷冻冷藏区空调系统设计参数可设置为 $t_a = 20.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\phi = 30\% \sim 60\%$ .如果既要满足购物者和超市工作人员的舒适性要求,又要消除陈列柜带来的冷辐射影响,超市空调系统的负荷就要相应增加,而空气温度的增加也会造成陈列柜负荷的增加(试验结果如图5所示).因此,冬季空调系统设计温度可在不大于 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内选取.

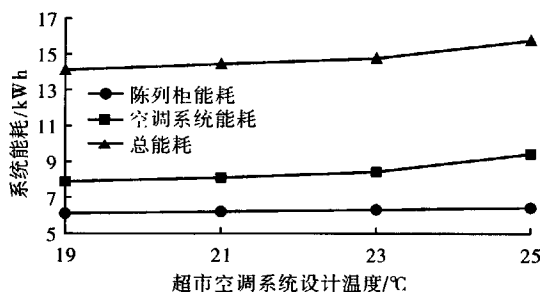


图5 冬季系统能耗随超市空调设计温度变化曲线图

**2.2.2 相对湿度** 由于冬季室外空气相对湿度较小,要满足热舒适性要求,空调系统必须对空气进行加湿,而随着室内相对湿度的增加,空调系统和陈列柜的负荷都会相应增加,所以在满足热舒适性要求的前提下,冬季室内空气设计相对湿度越低越节能,可取 $\phi = 30\%$ 。

### 3 结论

在保证超市环境热舒适性的前提下,分析了冷冻冷藏区陈列柜的使用对超市空调系统设计参数造成的影响.分析试验结果表明:在本试验条件下,

夏季空调系统设计参数选择温度 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $60\%$ 时,不仅可以消除陈列柜冷辐射对人体造成的影响,还可以节约能源;冬季空调系统设计参数选择温度不大于 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $30\%$ 时,节能效果和热舒适性较好.

#### 参考文献:

- [1] Kosar Douglas, Dumitrescu Octavian. Humidity effects on supermarket refrigerated case energy performance: A database review [J]. ASHRAE Transaction, 2005, 111(1): 1051.
- [2] Pitzer R S, Malone M. Calculating case credits [J]. ASHRAE J, 2005(2): 46.
- [3] Pitzer R S, Malone M. Case credits & return air paths for supermarket [J]. ASHRAE J, 2005, 47(2): 42.
- [4] 徐洪涛,李国强,李蒙沂,等.空气相对湿度对冷藏陈列柜运行能耗的影响[J].制冷与空调,2000(4):30.
- [5] 蔡芬,胡平放.超市内冷藏柜的冷过道效应的数值模拟[J].建筑热能通风空调,2004(10):93.
- [6] 葛凤华,刘巽俊,王春清.平均辐射温度与辐射供暖、辐射供冷[J].吉林建筑工程学院学报,2006,23(2):45.
- [7] Tassou Savvas A, Xiang Weizhong. Interactions between the environment and open refrigerated display cabinets in retail food stores—design approaches to reduce shopper discomfort [J]. ASHRAE Transaction, 2003(1): 299.
- [8] 清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告[R].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [9] 夏一哉,赵荣义,牛建磊,等.温热环境中紊动气流对人体热感觉的影响[J].清华大学学报:自然科学版,2000,40(10):100.
- [10] 殷平.室内空气计算参数对空调系统经济性影响[J].暖通空调,2002,32(2):21.
- [11] Orphelin Mathieu, Marchio Dominique, Shanta L D'Alanzo. Are there optimum temperature and humidity set points for supermarkets [J]. ASHRAE Transaction, 1999, 105(1): 497.