

技术交流园地

上海智能楼宇空调系统 对室内生态环境的影响

同济大学高等技术学院 龙惟定 潘毅群 白 玮

提要 在对上海 7 栋智能建筑的实测和调研中发现,对室内环境品质的主观问卷调查与客观实测数据之间没有明显的相关性,有的甚至大相径庭。分析表明,这些大楼空调系统的设计、安装和运行对室内环境品质的主观调查结果有很大的影响,主要影响因素有:室内设定参数,室内气流分布,新风供给方式,窗是否能开启,空气龄,楼宇自控理念等。提出了改善室内生态环境的建议。

关键词 空调系统 室内环境品质 楼宇自控系统 室内空气品质 智能建筑 生态环境

Influence of HVAC systems on indoor ecological environment of intelligent buildings in Shanghai

By Long Weiding , Pan Yiqun and Bai Wei

Abstract Provides the results of site measurement and surveying for IEQ in seven high rise intelligent buildings in Shanghai. It can be found that there is little relativity but even obvious difference between subjective questionnaire data and the surveying data. Design, installation and operation of the air conditioning system in the building strongly impact on the results of subjective evaluation. Main factors includes: setting values of indoor parameters, air flow patterns in the room, mode of fresh air supply, opening states of the windows on the outside wall, age of air and the BAS control conception etc. Puts forward some options on improving the indoor ecological environment.

Keywords air conditioning system, indoor environment quality, building automation system, indoor air quality, intelligent building, ecological environment

Tongji University, China

1 概述

从 1999 年开始,笔者一直从事高层建筑室内环境的测试与评价工作,得到几个数据。1999 年和 2000 年夏季测试了上海 7 幢智能办公楼,其简况见表 1。

测试内容包括:

室内空气温度、相对湿度和风速;

CO₂, CO, PM₁₀ (10 μm 以下粒径的可吸入尘), CFU (平皿菌落数), SO₂ 和 NO_x;

噪声和照度水平;

室内人员对环境品质的主观评价。

如果把围绕人的室内声、光、热和空气环境视为室内生态环境的话,笔者进行的测定范围涵盖了生态环境的主要

组成部分。

测定中最令人困惑的是主观评价与客观测试结果常常不相符,甚至相悖。根据笔者的分析,这种情况主要源于空调系统和楼宇自动化系统设计、运行中某些认识上的误区。

图 1 给出了室内生态系统的相互关系概念。建筑物室

龙惟定,男,1946 年 11 月生,硕士研究生,教授,博士生导师,系主任
200092 上海市赤峰路 71 号同济大学南校区
(021) 65980595

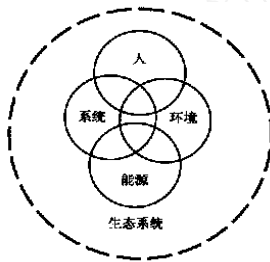
E-mail: weidinglong @online. sh. cn

收稿日期:2000 - 11 - 29

稿件修回日期:2001 - 03 - 29

表 1 被测办公楼的建筑和空调简况

建筑	建筑面积/m ²	层数	用途	空调系统	新风系统(办公楼部分)
A	300 000	88	办公楼+旅馆	VAV + FPB	新风集中处理后送至楼层空调箱
B	71 000	38	办公楼	VAV + FPB	新风集中处理后送至楼层空调箱
C	57 000	25	办公楼+购物中心	FCU + FA	新风集中处理后送至房间
D	12 158	19	办公楼	FCU + FA	新风集中处理后送至吊顶空间静压箱
E	19 000	14	办公楼	FCU + FA	新风集中处理送至风机盘管出风口
F	27 577	27	办公楼+旅馆	FCU + FA	新风集中处理后送至吊顶空间静压箱
G	104 876	28	办公楼	FCU + FA	新风集中处理后送至吊顶空间静压箱



内生态系统应以人为中心,空调系统和楼宇智能化系统是为人的服务的,因此,我们要设置“人的空调”,以人为本,而不是“建筑的空调”。而系统的设置又必须与环境、能源相协调,以最小的能源消费代价,满足人对环境的合理需求。为什么很

多拥有先进设施的办公楼,在运营中受到投诉最多的恰恰是室内环境和空调系统呢?这正说明了我们在空调以人为本的问题上陷入了一些误区。

2 不恰当的室内设定参数

表 2 给出被测的 7 幢大厦夏季室内参数的平均值。

表 2 被测大厦夏季室内热舒适参数测定值

建筑	室温/	相对湿度/%	空气流速/m/s
A	23.5(22.3/27)	46.6(41.9/60.6)	0.13(0/0.6)
B	24(22.7/26)	57.7(56/62.7)	0.03(0/0.22)
C	23.8(22.6/25.5)	65.2(58.6/71)	0.07(0/0.53)
D	24.3(22.5/26.8)	65.1(57.6/72.8)	0.07(0/0.5)
E	24.3(23.1/26.2)	59.5(52.3/64)	0.04(0/0.25)
F	24(21.4/25.9)	62.4(56.7/68.8)	0.14(0/0.42)
G	24.8(23.1/27.5)	69(56.6/76.9)	0.09(0/0.35)

注:括号内为最小/最大值

从表 2 可以看出,被测大厦室内参数平均值基本上处于 ASHRAE 舒适区的临界范围之内。建筑 C、D、F 和 G 的相对湿度最大值均超出舒适区,大楼 G 的相对湿度最大值甚至超过 75%。除了建筑 A 和 F 以外,其余 5 幢大楼的室内平均风速均低于 0.1 m/s。所有大楼的室内平均风速均小于 ASHRAE 的舒适条件 0.15 m/s。所有大楼的室内最低风速均为零。因此,尽管这些智能化办公楼室内温度都能满足甚至优于舒适标准,但主观问卷调研的结果却显示这里的环境并不被多数使用者所接受。

图 2 显示出室内相对湿度与使用者对热环境的不满意率之间存在一定的关系。

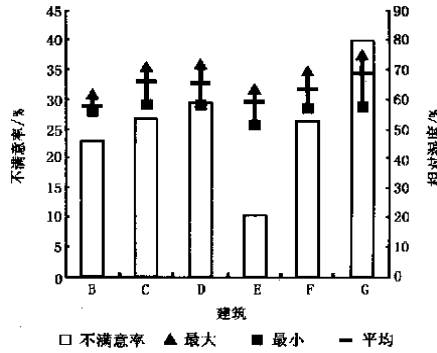


图 2 相对湿度与使用者不满意率之间的关系

笔者在大厦 G 中还进行了冬季供暖工况下的测试,测试得到的数据见表 3。

从表 3 可以看出,G 大楼的平均室温基本上在舒适区的上限,而且大多数楼层

均有超过 22 的房间,平均风速均低于 0.1 m/s,多数楼层的平均相对湿度低于 40%。

表 3 大楼 G 供暖季室内热环境测试数据

楼层	室内风速/m/s	室温/	相对湿度/%	ADPI/%
S6F	0.04(0/0.15)	22.5(21.4/25.6)	36.4(32.0/45.4)	73.0
S5F	0.06(0/0.23)	20.9(18.9/23.9)	31.7(27.5/33.7)	72.7
S4F	0.03(0/0.22)	21.7(20.9/22.3)	50.1(45.5/55.0)	71.4
S8F	0.037(0/0.23)	22.9(22.3/23.8)	48.3(46.3/50.2)	67.0
N6F	0.03(0/0.26)	21.7(21.0/22.8)	52.4(48.4/61.5)	69.9
N8F	0.02(0/0.35)	21.4(20.4/23.1)	52.0(50.0/53.6)	74.6
S3F	0.03(0/0.22)	20.9(19.8/21.4)	34.2(30.2/40.6)	68.9
S9F	0.03(0/0.13)	21.3(20.5/23.2)	36.2(30.5/38.6)	47.8
N9F	0.03(0/0.10)	20.7(20.4/21.7)	38.2(34.3/47.6)	-
S7F	0.03(0/0.16)	21.4(20.9/21.8)	49.5(48.7/50.5)	59.9

注:括号内为最小/最大值

上述测试结果说明:

大楼空调和楼宇自控的主要控制对象是温度,空调只是“冷气”、“暖气”,这与业主和设计人员对空调的理解有关。

在 7 幢大楼中,A 和 B 的夏季室内相对湿度最低。而这两幢大楼都是采用全空气系统(变风量+末端风机箱)。其余大楼全是风机盘管+新风系统。风机盘管机组由于先天不足(盘管排深小),不可能有较好的除湿能力。

建筑 A 采用了大温差系统。由于冷水供水温度为 5.6,因此处理湿度的能力较好。

大楼 G 的供暖温度均在 20 以上,而相对湿度则比较低。据了解,在上海的高层办公楼中冬季高温低湿的现象十分普遍。很多大楼的室温高于 25。上海地区冬季空调是否要设加湿,一直是有争议的问题。笔者认为,上海智能化办公楼冬季室温完全可以降到 20 以下,这样既可以节能,又可以使室内相对湿度提高到 40% 以上。G 大楼中有一间办公室测得室温只有 18,但使用者对室内环境的评价相当满意。

在上海不少大楼冬夏空调设定温度倒置。曾发现夏季 19 和冬季 27 的室温。按中国人的生活习惯,夏季穿着较少,冬季则穿得较厚实。中国大多数人的生活水

平还不可能形成所谓“空调链”(即一天的生活、工作、出行全部处于空调环境)。因此,办公楼冬季过高的室温和夏季过低的室温既浪费了能量,又不利于使用者的健康。笔者对 ASHRAE 标准和 ISO 7730 标准是否完全适合中国人持保留态度。这些标准完全是以白种人为试验对象得出的,中国人在体型、饮食结构、生活习惯上与欧美白种人有很大的不同,而在一定程度上与日本人相近。笔者在日本亲身体验到,日本办公楼的夏季室温几乎没有低于 26 的,而日本办公族的夏季穿着却是“衣冠楚楚”。在上海的办公楼中,到了下午许多使用者就会出现病态建筑综合症的症状。

3 低风速引起室内空气不流通感

从图 3 可以看出,在上海 6 幢办公楼中使用者抱怨室内空气不流通的比例很高。说明空气流速与室内环境的不满意率存在一定的相关关系。

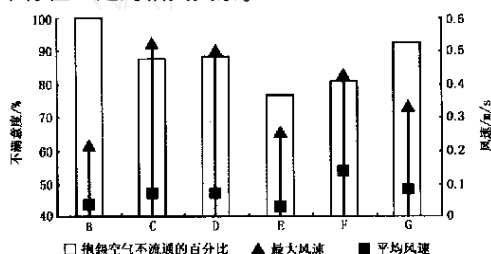


图 3 6 幢大楼中抱怨空气不流通的人数百分比与室内风速的关系

引起室内风速过低或不均匀的主要原因是：

室内散流器布置不当。这主要是在二次装修时许多装修单位没有空调专业技术人员,而物业设施管理单位的“空间管理”也没有到位。在某大楼里散流器甚至被安装在更衣柜里。

设计的自控程序不合理。某大楼有部分房间当室温达到设定值后,控制器首先关闭风机盘管的风机。由于室内没有了风速,使用者很快会感到气闷,于是使用者要么将温控器的设定值调低,启动风机,要么打电话投诉,管理人员强行启动风机。于是,使房间温度进一步降低。

现代大开间办公楼中,一般都采用围挡屏隔成个人工作站。上送上回方式很难在工作站内形成空气流动的通路。在测定中,风速为零的测点一般都位于工作站的桌面。而最大风速一般都出现在工作站之间的走廊中。多数测得的 ADPI 指标小于 80 % (见表 4)。因此,笔者认为,智能办公楼中最好的送风方式是置换式送风。

表 4 部分大楼的平均 ADPI 指标 (1999 年夏季)

大厦名称	ADPI 平均值/ %
B	56.8
C	63.6
D	87.5
E	64.3
G	67.2

注:表中 G 大楼数据为 2000 年数据。

现行的各种规范、标准中,都规定了室内风速的上限值。笔者认为还应规定下限值,至少应规定空调环境中室内微风速不得为零。

4 新风空气龄过“老”

风机盘管 + 新风系统目前在办公楼中仍是应用得最普遍的系统。室内新风风道布置一般有 3 种做法：

新风通过新风散流器直接送入室内；

新风送入吊顶空间(作为静压箱),然后通过风机盘管送入室内；

新风管插入带余压风机盘管的送风管。

3 种做法中,以第一种方法为最好。而如果在大开间办公室中采用方法 2,某些工作站由于远离新风入口,新风经过吊顶空间上部的一段长距离到达这些工作站上方的风机盘管时已经“老化”,即已经不新鲜甚至被污染了。很多办公楼夜间关机,新风系统同时关闭。吊顶内蓄积的 CO₂ 得不到充分稀释。第二天开机时风机盘管会将这部分高浓度 CO₂ 的空气重新送入室内。从表面上看,方法 1 似乎可以把新风送到离使用者最近的范围内,但实际上,新风管和风机盘管送风管连接三通处的风压很难平衡,方法 2 其实很难使新风和送风恰当地混合。

在笔者测定的 7 幢大楼内,除了建筑 D 以外,人均新风量均满足标准,室内 CO₂ 平均浓度也在良好的水平以上(见图 4)。但在 6 幢大楼的主观评价中,却有超过 50 %

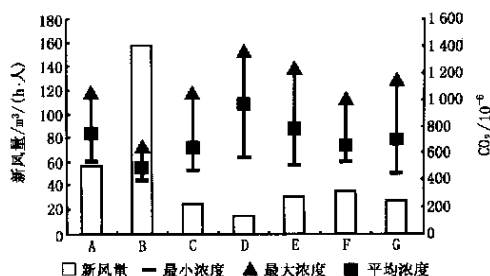


图 4 室内 CO₂ 浓度与人均新风量的关系

的人对室内空气品质不满意(见图 5)。

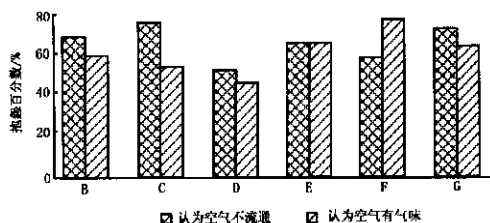


图 5 在 6 幢大楼里抱怨空气不流通和有异味的人数百分比

另外,在主观评价中,使用者主诉有病态建筑综合症(SBS)症状的比例也很高(见表 4)。

表 4 部分被测大楼中主诉 SBS 症状的人数百分比 (1999 年夏季)

办公楼	症状				%
	眼睛疲劳	头痛	胸闷气短	呼吸道疾病	
C	86.9	78.2	69.5	30.4	
E	68	48	60	46	
F	90	90	50	90	
G	100	79.9	73.4	73.3	

对上述测试结果与主观评价相互矛盾情况只有一个解释,即通风效率低、新风没有被很好地利用。笔者认为,在空调系统新风设计中,除了考虑新风的“量”外,还应进一步考虑通过精心布置风道和风口,提高新风的“质”。

5 开窗

在上述测试结果中可以注意到一个反常现象:大楼 D 的新风量和空气品质数据都是较差的,但其主观评价结果却不差。笔者分析,原因之一是 D 大楼的外窗可以部分开启。清华大学在全国范围作的一次调查显示,有 80% 以上的被调查者宁可呆在有点热但有自然风的环境下^[2]。

在智能建筑中如果外窗能够部分开启,将会大大提高使用者对室内环境的主观评价。这首先是在心理上满足了人们亲近自然的需求。其次,从窗口引进的新风空气龄小,有助于消除使用者对室内空气不流通、有异味和陈腐的感觉。但是,超高层建筑开窗是有一定风险的。第一,开窗不合理会造成紊流和强烈气旋;第二,在上海等高湿度地区,如果将高湿度空气引入室内,会造成不舒适感或反而加大空调负荷。第三,我国大城市由于以煤为主的能源结构,汽车尾气未得到彻底治理,大面积的建筑工地,以及近年来频繁出现的沙尘暴等原因,室外空气已经被污染。笔者在对部分临街建筑测试时也发现了通过新风系统引进室内的 NO_x、CO 和 SO₂ 等室外污染物。因此,超高层建筑能否利用自然通风,要视建筑位置、主导风向、周围环境等因素而定。

6 智能控制的人性化

近年楼宇智能化技术发展非常迅速,系统自动化、集成化程度越来越高。但与此同时,使用者对智能化的认同度却越来越低。美国的一位学者 E. Tenner 在他的《技术的报复》一书中就曾用大量事例说明,对人来说技术并非越先进越好^[1]。

笔者调研的智能建筑中就有这样的问题存在。有的大楼风机盘管系统全部集中控制,使用者没有一点“自主权”,感到闷热时只能打电话投诉,感到太冷时只能穿上常备在办公室里的衣服。有的大楼里的设施需要复杂的程序才能启动,初来乍到者无所适从、手足无措。使用者会产生自己被管制、被控制的感觉。因此,尽管带有自控的集中式空调系统各方面都优于家用空调,但许多人还是青睐家用空调。他们喜欢的恐怕主要是家用空调使用中那份自由自在的感觉。对智能建筑环境主观评价不佳的原因,有部分是由于人们由于“机器控制人而不是人控制机器”而引发的逆反心理。

在楼宇自动化(BA)系统的设计中,也应更多地以人为本。比如风机盘管系统就完全没有必要集中控制,人们更倾向于使用房间温控器和三档调速开关。智能建筑的空调系统控制应实现个性化和个人化。有的大楼管理者担心,把风机盘管的控制权交给用户,会造成能耗的增加,这种担心是多余的,绝大多数用户会根据自己的实际需要来调节空气。而系统无谓的耗能(standby loss,比如当房间无人时的空耗)倒应该成为控制的重点。对现代 DDC 控制的 BA 系统,这是不难的。

7 结论

笔者根据近两年的测试和调研,对上海智能建筑空调系统与室内生态环境的关系作了初步的分析。建筑物室内生态环境是以人为中心的整个室内环境^[3]。因此,智能建筑中的空调系统或智能系统都应以人为本。以前无论是设计者还是管理者,认为只要空调系统的调试测试能够符合标准规范,自己的工作就算做到家了,对客户的主观评价一般不很重视。可以说我们只是在做“建筑空调”而不是“人的空调”。现在应该把目标调整到保证室内环境品质上来。当然,从另一方面来说,空调系统又不可能或不应该去满足所有人的需求。即使是衡量热环境的 PMV 指标,也是建立在一定百分比的不满意率的基础上的。笔者也了解到,少数“特殊”人物对室内环境也会提出特殊化的不合理要求。以人为本应该是以大多数人为本。现在的问题是为了满足少数人的需求(例如,要求过高或过低的室温,将室内温控装置设在 VIP 的房间里等等)而牺牲多数人利益。

本文的分析可能会有片面或偏颇之处,希望就空调与室内生态环境的关系问题展开进一步的深入研究。

参考文献

- 1 (美)爱德华·特纳,著.技术的报复——墨菲法则和事与愿违.徐俊培,等译.上海:上海科技教育出版社,1999
- 2 贾庆贤,等.吹风对舒适性影响的主观调查与客观评价.暖通空调,2000,30(4)
- 3 龙惟定,潘毅群,白玮.智能建筑的室内生态环境.暖通空调,2001,31(5)
- 4 白玮,龙惟定.影响生产率的要素——室内环境品质.暖通空调,1999,29(2)
- 5 潘毅群,白玮,龙惟定,等.上海某大商场空气品质调查.暖通空调,2000,30(3)

书讯

中国建筑科学研究院空调所许钟麟研究员新著《药厂洁净室设计、运行与 GMP 认证》将于 2001 年 12 月出版。该书通过对国外 GMP、人药 GMP(1998)和兽药 GMP(2001)的对比,提供了具体的技术改造措施和验证认证细节。全书 15 章,内容如下:1 空气洁净技术与 GMP 的关系;2 厂区环境;3 平面布局;4 设计参数;5 净化空调系统与设备;6 室内气流组织;7 针剂和瓶装输液生产的净化措施;8 片剂生产的净化措施;9 原料药生产的净化措施;10 生物制品与生物安全的净化措施;11 药包材生产的净化措施;12 建筑装饰与系统安装;13 厂房与空调净化设施的验证;14 维护管理;15 药品 GMP 的认证;附录。

该书 50 余万字,为 16 开双胶纸印刷,精装。每本定价 48 元,邮寄费 5 元。

欲订购者请从邮局汇款至北京百万庄建设部电教中心,邮编 100835,电话:(010) 68393635(带传真)或 68319526,联系人:吴金龙。款到即寄书与发票。