

技术交流园地

智能建筑的室内生态环境

同济大学 龙惟定 潘毅群 白玮

提要 从智能建筑和室内生态环境的概念出发,论述了保证智能建筑室内环境品质的基本原则,介绍了选用节能窗、建筑外遮阳板等被动式和采用置换通风、冷辐射吊顶等主动式方法,在智能建筑内创造良好的生态环境、保证室内环境品质的途径,提出对建筑自动化系统中环境品质控制的建议。

关键词 智能建筑 生态环境 室内环境品质 控制策略

Ecological environment inside intelligent buildings

By Long Weiding, Pan Yiqun and Bai Wei

Abstract Describes the principles for maintaining adequate indoor environment quality from the concepts of intelligent buildings and indoor ecological environment. Presents the ways to create a good ecological environment and to ensure IEQ in the intelligent building by using active methods such as energy saving windows and outside sun shading and passive methods such as displacement ventilation, cooling ceiling etc. Puts forward the control strategy of IEQ in a building automation system.

Keywords intelligent building, ecological environment, indoor environment quality, control strategy

Tongji University, China

0 引言

欧洲智能建筑集团(The European Intelligent Building Group)把智能化大楼定义为:“使其用户发挥最高效率,同时又以最低的保养成本,最有效地管理其本身资源的建筑”。智能化大楼应提供“反应快、效率高和有支持力的环境,使机构能达到其业务目标^[1]”。

这一定义反映了兴建智能建筑的宗旨:通过对建筑和建筑系统运营的优化管理,为建筑用户提供能提高工作效率(生产率)的环境。

智能建筑的工作环境包括硬环境和软环境。硬环境即智能建筑的硬件设施,如OA系统、CA系统和综合布线系统(PDS)。用户利用这些硬件设施,可以大大缩短时间、空间的尺度,提高工作效率。软环境即智能建筑内围绕着的生态环境,如声、光、热环境,空气环境和电磁辐射环境。软环境又是智能建筑硬环境能充分发挥效益的前提和条件。

所谓生态系统,是在一定空间内由生物和非生物要素组成的一个生态学功能单位。这些要素相互作用、相互影响。如果从人类的角度理解,生态系统是包括人类本身以及人类的生命支持系统在内的整个环境,即生态环境^[2]。自然界就是人类生存的大生态环境,而建筑物则形成一个

个相对封闭的小的生态环境。据统计,一个白领工作者一生中80%以上的时间是在室内度过。因此,智能建筑的室内生态环境是影响白领工作者生产率的直接因素。这些直接因素包括室内环境的物理因素和化学因素,如照明、色彩、温湿度、空气流速、室内空气品质、噪声、电磁辐射及个人工作空间布局等。这些因素中,尤以室内热环境和室内空气品质对人的生产率的影响为最大^[3]。

20世纪60年代美国建筑师保罗·索勒瑞(Paola Soleri)把生态学(Ecology)和建筑学(Architecture)两词合并为“Arology”,提出“生态建筑学”的新理念。“生态建筑”就是把建筑物的能源、环境与人的生理、心理甚至情感的需求综合起来考虑,在以人为核心的生态系统中达到一种供需平衡的建筑。所以,我们平时说的“绿色建筑”实际就是生态建筑的通俗称谓。

龙惟定,男,1946年11月生,工学硕士,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

我国目前兴建的智能建筑主要是智能化办公楼,其中又以高层和超高层办公楼为主。而按照人们的一贯认识,高层和超高层智能化办公楼必然是一个个全封闭的、完全靠空调和人工照明来维持室内环境而与自然界隔绝的人造生物圈。其实恰恰是这种人工环境,由于在许多方面违背了人的生物节律和自然规律,会使长期置身其中的工作者产生不舒适感、厌恶感和心理反感,甚至会引起各种“现代病”(如病态建筑综合症 SBS,大楼并发症 BRI 和多种化学物质过敏症等)。美国每年由 SBS 引起的误工、医疗、保险甚至诉讼所造成的经济损失高达 140 亿美元。世界银行的一份研究报告表明,我国目前每年由于室内空气污染造成的损失,如果按支付意愿价值估计,约为 106 亿美元。花费巨额投资、消耗大量能源,却换回更大的经济损失,真有点“花钱找病”的感觉。

一幢“智商”高的智能建筑必然能“知道”建筑内外所发生的一切,能“确定”以最有效的方式,为用户提供方便、舒适和富有创造力的室内环境;能迅速地“响应”用户的各种要求。因此,衡量建筑物智能化水平的主要标志不应该只是看它的硬件配置,更重要的是看它的室内环境品质。试想,如果一幢大楼的室内环境使人无法忍受,甚至影响工作者的身心健康,那么,这幢大楼的“智能”又从谈起呢?一个设计合理的 BA 系统,其主要功能就是建筑能源管理和室内环境管理,用较少的能源、可再生的能源或“废弃”的资源创造有利工作者健康、激发工作者创新能力的室内生态环境。美国国家职业安全与健康研究所(National Institute for Occupational Safety and Health)提出了室内环境品质的概念。室内环境品质是指室内生态环境诸因素对室内人员生理和心理上的单独和综合的作用的评价。有人提出,应将智能建筑的设计目标转到提高室内环境品质上来。在建造时多花一些资金用于改善大楼的室内环境品质,同时注重大楼的物业设施管理,从提高生产率的角度考虑,这将是最为经济的。

1 智能建筑室内生态环境的改善——被动式方法

用被动式措施改善室内生态环境,主要是解决好太阳辐射和自然通风问题。

1.1 针对太阳辐射采取的措施

太阳辐射对于建筑物既有利又有弊:一方面增加进入室内的太阳辐射可以充分利用昼光照明,减少电气照明的能耗,也减少照明引起的夏季空调冷负荷,减少冬季供暖负荷。另一方面,增加进入室内的太阳辐射又会引起空调日射冷负荷的增加。

选用节能玻璃窗。例如,在供暖为主的地区,选用内层有低辐射 Low-E 镀膜、中间充惰性气体的双层玻璃窗,能有效地透过可见光、遮挡室内长波辐射,发挥温室效应;而在供冷为主的地区,选用外层有 Low-E 镀膜的玻璃或单层镀膜玻璃窗,能有效地透过可见光、遮挡直射日射和室外长波辐射。最近国外还在研究用液晶技术或电泳技术的智能窗(又称开关窗, Switch Glassing),利用晶体在不同电压下改变排列形状的特性,可以根据室外日射强度改变窗的

透明程度。

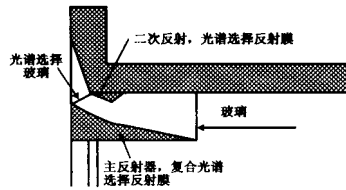


图 1 昼光反射遮檐

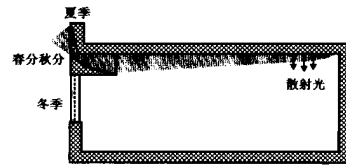


图 2 用昼光反射遮檐实现内区照明



图 3 通风窗

采用将可见光引进建筑物内区,同时遮挡对周边区直射日射的遮檐(见图 1,2)。

采用通风窗技术,将空调回风引入双层窗夹层空间,带走由日射引起的中间层内百叶温度升高的对流热量。中间层百叶在光电控制下自动改变角度,遮挡直射阳光、透过散射可见光(见图 3)。

利用建筑物中庭,将昼光引入建筑物内区。

利用光导纤维(光管, Lighting Pipe)将光能引入内区,而将热能摒弃在室外。

最简单易行但又是最有效的方法是设置建筑外遮阳板。也可将外遮阳板与太阳能电池(又称光伏电池)结合。不但降低空调负荷,而且还能为室内照明提供补充能源。

1.2 针对自然通风采取的措施

自从出现“智能建筑”之后,自然通风似乎成了低档建筑的代名词。特别是在高层或超高层智能化办公楼中,房间的密闭性、窗的不可开启成为通行作法。由于自然通风涉及建筑形式、热压、风压、室外空气的热湿状态和污染情况等诸多因素,设计有组织的自然通风是十分困难的。当然,现在的自然通风设计已经有了先进的工具,特别是计算流体力学(computerized fluid dynamics, CFD)软件和能耗分析软件,并有了自动控制系统。使得自然通风设计可以实现趋利避害。

开窗

在智能建筑中如果外窗能够部分开启,将会大大提高居住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。根据清华大学在全国范围作的一次调查,除睡眠时间外任何时候都喜欢自然风的人占被调查者总数的 75.5%;最喜欢自然风吹风方式的占 88.3%;最喜欢有自然风的凉爽环境的占 93.4%;与有空调的凉爽环境相比,有 84%的被调查者宁可呆在有点热但有自然风的环境下。清华大学的研究表明,自然风与机械风在频谱、湍流度等物理特性上有很大差别,因此,给人带来的舒适感也不同^[4]。另外,经过漫长的风道、空气处理装置、风口进入

室内的新风,其新鲜度肯定不及从窗户直接进入的自然风。可以用“空气龄(age of air)”来表征空气的新鲜程度。“空气龄”定义为“一定量的室外新风在建筑、区域或房间内停留的时间长度”。最“年轻”的空气是窗口或新风入口的空气,最“老”的空气是建筑排风口处的空气。

建筑中庭

在高层建筑中还可利用中庭(atrium)的热压作用实现自然通风。

例如,德国法兰克福商业银行总部大楼(见图4,1997年建成)是欧洲最高的超高层智能建筑,其高度为300 m,50层,总建筑面积120 736 m²。在其塔楼三角形平面中间有一个直通到顶的中庭。在三角形的每一边上各设计了4个12层高的单元,每个单元带有一个4层高的共享空间。共享空间里栽种各种植物,形成空中花园。通过中庭和共享空间组织自然通风气流。见图5。

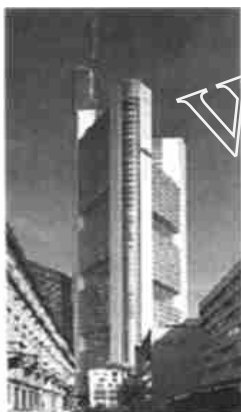


图4 德国法兰克福商业银行总部大楼

共享空间的设置,引入室外新鲜空气、阳光和绿色植物,充分体现了绿色建筑亲近自然、回归自然的设计理念。在这一点上,法兰克福商业银行总部大楼的设计是非常成功的。

自然通风可以在过渡季节提供新鲜空气和降温,也可以在空调供冷季节利用夜间通风,降低围护结构和家具的蓄热量,减少第二天空调的启动负荷。实验表明,充分的夜间通风可使白天室温降低2~4℃。但利用自然通风必须注意,第一,超高层建筑开窗是有一定危险的。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,室外空气污染十分严重。因此,超高层建筑能否采用自然通风,要视建筑位置、主导风向、周围环境等因素而定。

间接自然通风

在外窗不能开启和有双层或三层玻璃幕墙的超高层建筑中,可以利用间接自然通风。即将室外空气引入玻璃间层内,再排到室外(见图6)。这种结构不同于一般玻璃幕墙,双层玻璃之间留有较大的空间,被称为“会呼吸的皮肤”。冬季,双层玻璃间层形成阳光温室,提高建筑围护结构表面温度。夏季,利用烟囱效应在间层内通风,将间层内热空气带走。

间接自然通风

在外窗不能开启和有双层或三层玻璃幕墙的超高层建筑中,可以利用间接自然通风。即将室外空气引入玻璃间层内,再排到室外(见图6)。这种结构不同于一般玻璃幕墙,双层玻璃之间留有较大的空间,被称为“会呼吸的皮肤”。冬季,双层玻璃间层形成阳光温室,提高建筑围护结构表面温度。夏季,利用烟囱效应在间层内通风,将间层内热空气带走。

2 智能建筑室内生态环境的改善——主动式方法

某些大规模智能建筑特别是超高层建筑由于规模大和内部使用情况复杂,在多数气候区不可能完全靠被动式方法保持良好的室内环境品质。因此,要采用机械和电气的手法,在节能和提高能效的前提下,按“以人为本”的原则,改善室内生态环境。

在既要节能,又要保证室内环境品质的前提下,风量可调的置换式送风系统、冷辐射吊顶系统、结合冰蓄冷的低温送风系统以及除湿空调系统在智能化办公建筑中成为流行的空调方案。

2.1 置换式送风

背景空调与个人空调结合的下送风或桌面送风

这种形式又可以分成桌面可调球形风口(类似飞机空调送风口)和通过围挡屏静压箱的条缝风口送风两种形式。空调送风通过架空地板送到各工作站。一般每个工作站自带一台将送回风混合的循环小风机。根据各人的习惯和爱好可以调节桌面风口,以达到每个人最为满意的环境状态。工作站带有人体传感器,当人离开后经延时自动切断风机和工作照明的电源。

地板送风

可以采用地面送风柱(可带再热)送风和地板送风口送风。

置换式顶送顶回系统

这种方式是利用喷嘴将空气送到地板附近,形成“空气湖”,送风通过人体之后从上部灯具排走,起到置换作用。人可以通过遥控器控制风量和风温。

送风先经过人体,将人体周围的污染空气和热湿空气“置换”掉,提高了通风效率,缩短了“空气龄”。由于下送风只需保证人体周围(标高2m以下)的环境品质,因此也减少了空调负荷。

2.2 冷辐射吊顶系统

智能化办公楼中主要内热源是设备、照明形成的显热,而其中辐射成分又占了50%以上。因此,用辐射形式供冷可以平衡掉这部分热量。实验证明,辐射形式供冷可以提高人体舒适性。一种将辐射板与室内吊顶结合的冷辐射吊顶空调方式在欧洲得到广泛应用。图7是冷辐射吊顶的一种形式

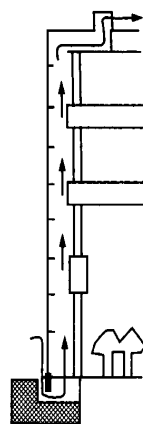


图6 间接自然通风

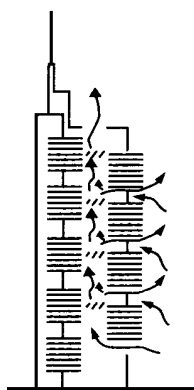


图5 法兰克福商业银行大楼利用中庭实现自然通风

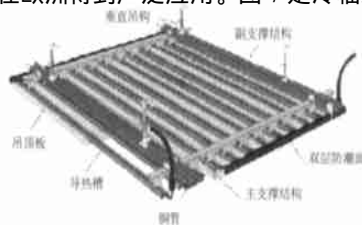


图7 冷辐射吊顶的一种形式

种形式。

冷辐射吊顶应结合置换式送风,采用下送风方式将新风(一次风)送入室内,既保证室内空气品质,又保证良好的室内热环境(见图8)。

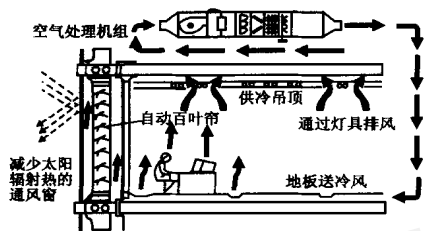


图8 冷辐射吊顶结合置换送风

冷辐射吊顶的应用有几个问题值得注意:第一,用冷辐射吊顶的房间,窗户必须采取外遮阳措施,以减少太阳辐射对室内的影响;

第二,在我国南方高温高湿地区,必须对围护结构、空调水系统以及自控等方面采取一系列技术措施,确保冷辐射吊顶不结露;第三,即使不采用置换送风,室内气流组织也应作仔细考虑。室内空气如果没有一点流动,居住者(尤其是在窗际处)也会产生不舒适感。

除湿空调(desiccant cooling)的原理很简单(见图9),室外新风先经过除湿转轮,由其中的固体除湿剂(硅胶)进行除湿处理,然后经过第二个转轮(热回收转轮),与室内排风进行全热或显热交换,回收排风能量。经过除湿降温的新风再与回风混合,经表冷器处理(此时表冷器处理基本上已是干冷过程)后送入室内。

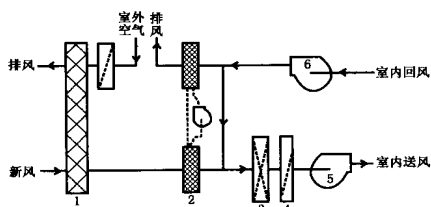


图9 除湿空调原理

- 1 除湿转轮 2 循环热回收 3 冷却盘管
4 加热盘管 5 送风机 6 回风机

除湿空调之所以在智能建筑中得到广泛应用,是因为:为保证室内空气品质,智能建筑对新风需求量增加;

为保证室内空气品质,智能建筑对室内湿度控制的要求提高;

为保证室内空气品质,智能建筑对室内湿度控制的要求提高;

固体除湿剂的再生,可以采用热电联产的余热、太阳能或天然气等可再生能源或清洁能源。

智能建筑室内相对湿度一般要求控制在60%以下(最好是50%以下),以防止霉菌的孳生。而夏季低湿度环境还可以提高人的舒适感。例如,人对27,35%环境的热感觉与对24,75%的热感觉是基本一样的。但目前很多智能建筑中,往往把空调作为“冷气”看待,BA系统也是只控温不控湿。导致耗费能量,将室温降得过低,却并不能满足用户的舒适感。

关于结合冰蓄冷的低温送风的优点,笔者已在10年前的专文中有过论述。总的来说,由于送风温度的减低,可以降低室内相对湿度,从而改善室内空气品质。

3 智能建筑室内生态环境的管理——技术加管理

智能化大楼的物业设施管理(facility management)要实现“以人为本”的宗旨,应把管理的重点转向建筑的能源管理和室内环境品质管理上来。本文重点在环境管理。

保证建筑室内良好的生态环境,可以通过以下途径:

- 污染源控制;
- 通风控制;
- 人员活动控制;
- 建筑维护。

以上措施已经不仅仅是技术问题,而是技术的和管理的综合性问题。

在通风控制中,目前已建智能建筑中存在不少问题。许多大楼物业管理部门对空调新风的风量都比较重视。根据我们的调查,上海高层建筑中空调新风量基本上达标,有的甚至远远高于ASHRAE 62-1989的推荐值。但新风却未能充分发挥效应,未能大幅度提高室内空气品质的可接受率,造成了能源的浪费。

因此,单靠增加新风量,并不一定能提高室内空气品质可接受率。还应该在空调系统上采取综合措施,提高新风的通风效率。最好是将新风直接送入室内。在BA系统中可采用CO₂传感器或人体传感器控制新风量。

在空气污染比较严重的大城市,应加强新风的净化过滤措施。也可在室内采用空气自净设备,如高效静电灭菌式空气过滤装置,它具有前置过滤、静电场灭菌集尘、活性炭吸附、释放负离子和新鲜氧(微量O₃)等功能;前置过滤网清除尘埃,过滤掉空气中的可见尘和较大的杂质;高压静电场灭杀致病菌群,清除香烟及尼古丁的烟雾、花粉及其他不可见的粒子;活性炭吸附异味、臭味和有机化学物气味,净化室内有害气体;负离子和新鲜氧可脱臭解毒,促进室内人员新陈代谢,提高免疫力。

4 结论

4.1 保证良好的室内环境品质即室内生态环境是智能建筑的主要内涵。首先应采取被动式,即建筑技术的措施,充分利用天然可再生能源,满足人们亲近自然、回归自然的需求。

4.2 合适的空调方式是主动式改善室内环境品质的主要环节。应积极研究置换送风、冷辐射吊顶、个性化空调、除湿空调等技术。

4.3 现代化的物业设施管理则是保证高品质室内环境的基础。

参考文献

- 1 龙惟定,程大章,等.智能化大楼的建筑设备.北京:中国建筑工业出版社,1997.
- 2 钱易,唐孝炎,主编.环境保护与可持续发展.北京:高等教育出版社,2000.
- 3 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).
- 4 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).