

办公建筑中庭、边庭节能及多元通风设计的应用初探^{*}

中国建筑西北设计研究院 周 敏[☆]
西安交通大学 侯占魁

摘要 随着办公建筑共享空间的大量采用,中庭和边庭既提供了有利于人们身心健康的环境,也会产生能耗高、热舒适性不稳定等问题。介绍了该类建筑通风空调系统的设计、热舒适性的处理以及节能措施的采用。在某工程项目中结合多元通风、热回收、置换通风等技术的具体应用进行了测试及分析,为今后进一步完善并充分发挥中庭和边庭在建筑物内的作用提供了技术参考。

关键词 办公建筑 中庭 边庭 热舒适性 多元通风 热回收 置换通风

Hybrid ventilation application and energy saving design in the atrium and court side of office buildings

By Zhou Min[★] and Hou Zhankui

Abstract With the widely use of the shared space in office buildings, the atrium and court side provide occupants with benign spaces to their body and mind when bring about a high energy consumption, instable thermal comfort and other adverse effects. Presents the air conditioning system design, thermal comfort treatment and energy saving measures application in the building. Tests and analyses in a project with the technology of hybrid ventilation, heat recovery, displacement ventilation etc., provides a certain reference on the technical side for the further improvement and bringing the atrium and court side into full play in a building.

Keywords office building, atrium, court side, thermal comfort, hybrid ventilation, heat recovery, displacement ventilation

[★] China Northwest Building Design Research Institute, Xi'an, China

1 办公建筑中庭、边庭应用及问题

1.1 现代办公建筑中庭、边庭的应用

据统计,成年人一天中在工作场所度过的时间男性平均为 28%,女性为 22%^[1],随着全球(特别是中国)经济重心由制造业转向服务业,人们的工作场所也已主要聚集在了办公建筑内,所以,办公建筑的人性化也越来越引起关注和重视。办公建筑中的中庭和边庭彻底改变了人们对室内封闭建筑空间的传统认识,不仅给身处钢筋混凝土之中的人们提供了美好的视觉感受,厅内的大量绿化还提供给人们嗅觉和心理的自然清畅,厅内宽阔的空间还给人们提供了短暂交流和休憩的场所。

1.2 建筑的中庭和边庭

利用边庭最经典的超高层建筑项目之一是德国法兰克福的商业银行总部(1997 年建成,高度 298 m),每隔 8 层设置一个 4 层高的边庭;利用中庭最经典的高层建筑项目之一是日本东京的松下电子大楼(1996 年建成,高度 45 m);利用中庭最经典的低能耗多层建筑项目之一是英国北安普敦的巴克莱卡公司总部大楼(1996 年建成,高度约 15 m)。以上这些建筑的中庭、边庭以及自然采光和

^①☆ 周敏,男,1963 年 4 月生,硕士,教授级高级工程师
710018 陕西省西安市经开区文景路中段 98 号
(029) 68519200
E-mail:zhoumin1963@163.com

收稿日期:2011-07-16

修回日期:2012-03-12

^{*} 办公建筑(行政中心)专业集成技术研究(中建科研课题,编号:CSCEC-2008-Z-30-2)

自然或多元通风的利用,都是世界绿色建筑史上的经典案例。

在 GB/T 50504—2009《民用建筑设计术语标准》中,中庭(atrium)的定义是:建筑中贯穿多层的室内大厅。边庭的概念是由中庭派生而出的,是至少一侧临室外的中庭。中庭、边庭的主要建筑特点如下:

- 1) 在室内组成局部通透空间,通常形成高大空间;
- 2) 庭内栽植有各类花草等植被,一般作为工作小憩场所;
- 3) 边庭临外侧多数采用大面积通透玻璃幕墙;
- 4) 中庭、边庭多数设置在 1 层或带屋盖的顶部;
- 5) 对于可自然采光、大进深建筑的中庭和边庭,在临庭侧通常设置有无外窗的内房间;
- 6) 中庭和边庭的建筑功能——提供通透的视线、实现自然采光和自然通风、作为工作休憩场所。

1.3 中庭、边庭暖通特点及带来的问题

建筑中庭、边庭对建筑物内的通风空调及空气环境产生了一定影响,其主要特点和常出现的问题有:

- 1) 中庭、边庭内的单位面积冷热负荷较大,特别是夏季辐射热所占比例较大;
- 2) 庭内温度梯度大,冬季常出现下冷上热不适现象,夏季顶层屋面下空气温度较高(一般 40~50℃)会产生不适的热辐射现象;
- 3) 边庭因大量落地玻璃幕墙的使用,外围护结构处设置空调设备较难,冬季内外区温差明显,夏季外区负荷大;
- 4) 临庭的无外窗房间常年需供冷,通常房间内空气质量不佳,特别是过渡季室内温度也较高;
- 5) 中庭、边庭过渡季可充分利用被动式太阳能,达到自然通风降温的目的,多数工程采用机械通风,但效果不佳;
- 6) 中庭、边庭与相临房间有时出现相互串味的不利现象。

2 中庭、边庭多元通风及有关问题的处理

室内中庭和边庭的利用在改善人们单调、紧张工作环境的同时,也给建筑带来了能耗高(即冷热

负荷大和风机能耗高)、热舒适性和空气品质不佳以及利用自然通风难等问题。如何降低不利因素,保留有利条件是我们努力的方向,笔者多年来一直从事高大空间的工程设计和研究,以下主要针对办公建筑的中庭和边庭适宜采用的通风空调方式、系统及新技术等进行阐述。

2.1 中庭、边庭过渡季通风

早期建筑中庭和边庭的主要功能是消除建筑内的压抑感,将室外的自然光和自然风以及冬季的太阳能(热)引入到室内,这一点可以从相关(特别是绿色、生态方面)建筑书籍中得知。中庭和边庭的过渡季通风主要有机械通风、自然通风、机械通风+自然通风(通常称作多元通风或联合通风,本文称多元通风)三种通风方式,因室外风压和风向的不确定性,民用建筑中可利用的基本上是热压作用下的自然通风,建筑物中形成热压的热量来源主要有两种,即建筑物中产生的内热和室外的太阳辐射热。中庭、边庭的过渡季通风方式的确定及实施宜按以下进行:

- 1) 在周边环境及空气质量许可的情况下,应优先选用自然通风,自然通风要求中庭和边庭有一定的高度空间,有合理的进风渠道,且可充分利用太阳能加热出风,形成有效的烟囱效应。由于建筑物及室内气流的复杂性,自然通风设计应在 CFD 模拟的辅助设计下进行,以达到预测和优化的目的。

- 2) 在自然通风不能完全满足的条件下,可采用灵活的多元通风方式,可实行机械通风(送风或排风)与自然通风间歇运行,或在机械通风辅助下的自然通风运行。

- 3) 应尽可能避免全部采用机械通风形式,其主要存在通风能耗高、排风效果不理想(机械排风的排风点往往未设置在最高处)、排风机噪声大(因设置在屋面上,内外消声较难满足;或机械排烟与平时排风合用风机)、冬季中庭底部过冷(因顶部机械排风较难密闭,冬季强烈的热压引起大量冷风渗透)等问题,实际工程中使用效果常常不理想。

2.2 临庭无外窗房间的通风空调

建筑中庭、边庭为大量临庭无外窗的房间解决了因终日见不到阳光产生的心里压抑感,但该类房间最大的特点是——为解决内热需常年供冷,即需

解决过渡季的通风降温 and 冬季整个建筑物冷热需求的不同,对于此类房间的通风空调宜采用以下形式:

1) 优先采用置换式下送风与上回(排)风形式。在过渡季,VAV系统具有可充分利用室外新风的冷却能力、风机能耗低(下送风需要风量小)、室内空气品质高等特点,此部分内容详见松下电子办公楼(日本东京郊区)的技术分析^[2]。对于风机盘管加新风系统,新风系统宜独立设置,过渡季宜采用新风系统+自然通风的多元通风形式,置换式下送风与上排风(临庭处)具有冷却新风量小、送风易调节、室内空气品质好等特点。

2) 采用传统的上送风形式时,对于风机盘管加新风系统,新风系统应独立设置,且过渡季应加大新风量以满足室内通风降温的需求,采用机械通风形式。

2.3 中庭、边庭空调季热舒适性处理

建筑中庭、边庭具有通透、高大的空间特点,在满足舒适性的同时不增加能耗是决定空调方式的关键,空调宜采用的技术及系统如下:

1) 为消除或减缓夏季顶层屋面温度较高产生的热辐射,采用顶部开启排风(机械或自然)通风或顶部设辐射盘管吸收显热的措施;同时,顶部适时排风可减少庭内的异味和污浊空气,提高室内空气质量。

2) 为缓解冬季庭内下冷上热的不适现象,采用地板辐射供热和上部适时排除高温污浊空气的措施;同时,根据工程实践和理论分析,夏季地板辐射供冷可消除庭上部的辐射热,较好地提高人员的热舒适性。

3) 为降低边庭冬夏季玻璃外幕墙负荷大引起内外区温差大的不适和在不影响庭内美观的前提下,外幕墙上可设置幕墙散热器或地板散热器进行冬季供暖,也可选择在内墙侧地面下(上)设置地板风机盘管进行供冷、供热,消除部分外幕墙冷热负荷,缓解冬季内外区温差大引起的不适。

2.4 节能措施的采用

建筑中庭、边庭在改善工作环境的同时,能耗增加,为降低能耗,可以选用以下通风空调技术及方式:

1) 对于有外围护结构的中庭和边庭,冬季为降低高度方向的温度梯度,在提高上部热舒适性的同时减少围护结构(上部高温)传热负荷,在庭顶部设置通风系统,可将其热空气(略微有所污浊)经过空气-空气热回收装置后排至室外,或将其上部热空气接至地下车库用于冬季供暖。

2) 为排出夏季中庭、边庭顶上温度较高的污浊空气,减少此部分空气对庭内形成的对流和辐射冷负荷,可采用顶部设机械或自然(可适当控制)排风的方式;对于不便设排风的场所,可采用上部设辐射盘管的方式。

3) 中庭、边庭内采用地板辐射供冷、供热,由于平均辐射温度的作用,室内设计温度冬季可降低 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,夏季可提高 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,从而降低了冬夏季空调负荷;同时,由于辐射供冷空调供水温度的提高,制冷效率相应也可提高。

4) 建筑中庭、边庭当采用风机盘管加新风的空调系统时,宜选择节能型温度湿度独立控制空调方式,即:温度控制——地板辐射供冷、供热+干式风机盘管(地板或吊顶式),湿度控制——独立新风;当采用全空气空调系统时,宜采用大温差(温差大于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$)送风,减小送风能耗。

3 西安某行政办公建筑中庭、边庭节能设计及多元通风的应用

3.1 项目概况

项目建筑面积 $57\ 500\text{ m}^2$,建筑高度 28.6 m ,主要功能为政务办公、写字楼,会议中心及餐厅,2008年5月投入运行,图1为政务办公、写字楼区内的建筑中庭和边庭通风空调系统示意。办公室和边庭采用风机盘管加新风空调形式,边庭新风由办公室间接送入;中庭采用全空气空调形式。

3.2 中庭、边庭多元通风的应用

3.2.1 通风降温的适宜性

由图2可看出,西安地区室外干球温度 $\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间较长,即使在夏季,白天与夜间的温差也较大;由图3,4的CFD温度模拟图可看出中庭、边庭自然通风的适宜性,由此可知,西安地区的气候适宜于该类建筑物的通风降温方式。

3.2.2 中庭多元通风的应用

为保证中庭清新、舒适的空气以及节能的效果,各季节采用了不同功能、不同形式的通风:

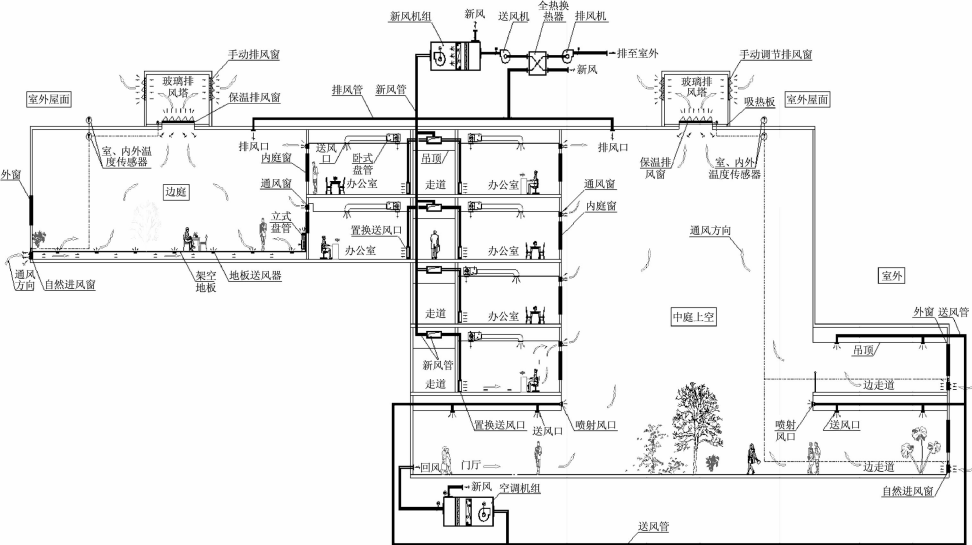


图1 建筑中庭和边庭通风空调系统示意

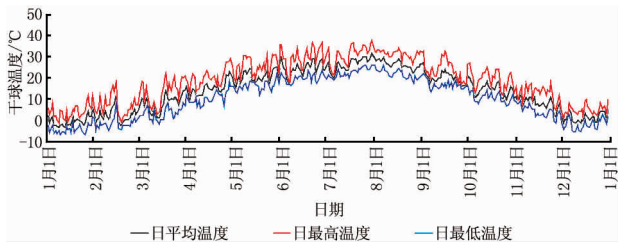


图2 西安地区室外全球温度统计图

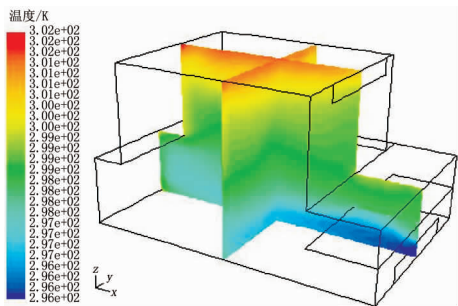


图3 中庭自然通风 CFD 三维温度模拟图

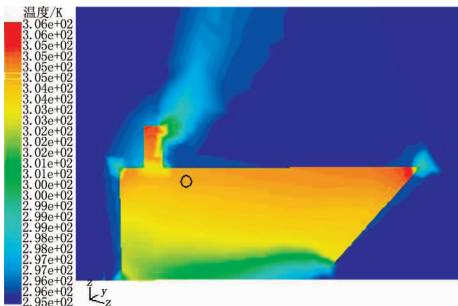


图4 边庭自然通风 CFD 剖面温度模拟图

2) 夏季通风——自然温控排风,机械空调新风补风;部分夜间采取自然排风、自然温控进风,实施预通风和预冷建筑物。

3) 过渡季通风——被动式太阳房自然热压、风压排风,自然进风。

3.2.3 边庭多元通风的应用(见图5)



图5 边庭现场照片

为保证边庭清新、舒适的空气以及节能效果,由于进风面积限制及边庭进深大的原因,该庭采用了地板下电动送风机(见图6)进行均匀补风和进风,条件允许时也可自然进风,边庭各季节的设计



图6 地板电动送风机

1) 冬季通风——采用机械热回收排风,机械空调新风补风。

通风功能及形式分别为:

1) 冬季通风——采用机械热回收排风,机械空调新风补风。

2) 夏季通风——自然温控排风,机械空调新风补风;部分夜间采取自然排风、自然进风,实施预通风和预冷建筑物。

3) 过渡季通风——被动式太阳房自然热压、风压排风,自然或机械进风。

3.3 中庭、边庭温度梯度的降低及节能设计

冬季采用空气-空气热回收装置排除顶部污浊空气、降低庭内温度梯度和顶部温度;夏季屋顶进行温控自动排风,降低上部空气温度($t \leq 28^\circ\text{C}$),达到舒适、健康、节能的目的。

3.4 临庭无外窗房间置换通风的应用

临庭无外窗房间普遍存在闷热、通风差的现象,为解决此问题,设计中针对风机盘管加新风系统采用了置换通风理念,在临庭侧设置可开启高侧窗,在非空调的春秋季和个别时间需供冷的冬季(风机盘管不开启时)新风由下部送入,这样温度较低的新鲜空气先经过人体,再通过高侧窗排出,起到置换通风的效果。对于风机盘管启用的夏季和冬季,室内仍呈现混合通风的气流组织形式。夏季人均新风量按 $30 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 选取,送风设计温度为 20°C ,室外新风处理后送至室内;冬季室内设计温度为 $20 \sim 24^\circ\text{C}$ 。新风经空气-空气热回收装置后,将 20°C 左右的新风送至室内,风机盘管根据需要启用;过渡季室外新风直接送至室内,新风量按人均 $60 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 选取。

3.5 被动式太阳玻璃房的夏季现场测试

中庭的被动式太阳玻璃房现场见图7,现场测试温度及局部风速见图8。由图8可看出,夏季在室外温度 31.5°C 时,24 m 高度的中庭上部(非最高点)侧排风窗在风速约 1 m/s 的条件下,排风温度已达 32°C ,同时,中庭内最高处室内温度为 38.8°C ,此时玻璃太阳房中的温度为 45°C 。由以上简单的现场测试可看出,高大中庭应在顶部设置必要的通风设施,在降低庭内部分冷负荷的同时,提高室内热舒适性。

4 建筑中庭、边庭通风空调的应用总结

4.1 前期设计

对于工程而言,设计是整个项目的前期,没有好的前期设计理念就无从谈起优质的工程项目,对



图7 被动式太阳玻璃房现场照片

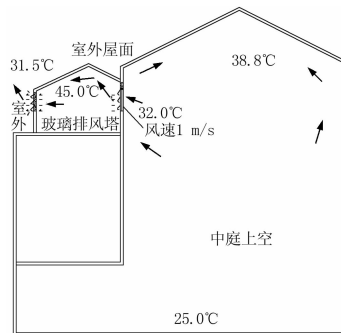


图8 太阳玻璃房及中庭测试示意图

于非常规项目及系统更是如此。中庭和边庭的通风空调设计应全面整体地考虑和确定方案,即应进行冬季、夏季及过渡季3个阶段的适宜性、合理性分析,应针对室内健康、舒适、节能以及实用几个方面进行思考,应对建筑物的通风、供暖、制冷进行系统综合,应对自然、绿色、可再生能源进行妥善处理。针对建筑物中庭、边庭的此类型项目,笔者在设计中有以下感受:

1) 对国内多数地区,应首先重点考虑中庭、边庭过渡季(非制冷期)的自然通风,其不仅使用的时间长、对室内各房间影响大(特别是临庭内房间)、而且因进出风需求与各专业协调量也大,即对建筑物使用影响大、设计难度大、节能效果明显;当自然通风不能满足时,宜选择合理、高效、低能耗的多元通风系统方式;中庭、边庭过渡季不宜选用机械通风方式,实际项目运行中,多因噪声大或通风能耗高,应用效果不理想。

2) 为提高中庭、边庭过渡季自然通风的效果,排风口(窗)应设置在中庭、边庭的最顶部,且尽可能设置太阳能玻璃房或太阳能井道,利用热压作用提高通风量,同时,进风口应设置在中庭、边庭的底部,且应确保一定量的有效进风面积。自然进排风口(窗)可根据具体项目情况,采用手动或电动开启

装置,进排风口(窗)的外侧应设置相应的阻止蚊虫、鸟进入的防护设施。

3) 为避免冬季中庭、边庭普遍存在的上热下冷不适现象,上部空气应有一定量的通风换气,其排出的风量应小于送入庭内的新风量;为避免冬季出现上部无组织漏风,引起庭内下部过量冷风渗入现象,中庭、边庭顶部的排风口(窗)及系统应设置手动或电动密闭装置。

4) 在中庭、边庭高处应设置自然或机械排风,其通风量应根据上部空气温度确定,一般宜取 $28\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5) 庭内地面宜设置辐射盘管,实现冬季供暖、夏季供冷;对于严寒和寒冷地区以及部分夏热冬冷地区,外幕墙内侧应设置散热器(幕墙或地板形式)或风机盘管(地板或落地形式),空调宜采用大温差送风系统,侧送风形式应考虑冬夏送风工况的差异,应采用手动或自力调风向(上下方向)的送风口。

4.2 中期实施

为确保中庭、边庭通风空调系统顺利实施,且保证使用效果,在施工阶段应重点关注如下问题:

1) 中庭、边庭顶部的排风口(窗)选用的产品应注重质量,现场操作机构应方便合理,否则极易

形成冬季的大量漏风或开闭操作不便以致影响使用。

2) 由于现场经常会因为施工进度或施工的复杂性,改变原设计中排风口(窗)设置在最高处的做法,这将影响通风效果和增加空调负荷,所以,设计师应关注实施现场。

3) 为保证自然通风的效果,设计师应关注现场施工中选用开启窗的种类和形式,以免进排风窗(口)的有效开启面积过小。

4.3 后期运行

为了更好地发挥中庭、边庭通风空调系统的作用,特别是用于自然或多元通风操作功能较多的手动或电动装置及系统,应对项目运行人员进行培训或运行技术交底,同时,也应对控制系统或运行功能进行全面验收,以便更好地理解设计。

参考文献:

- [1] 宋广生. 室内空气质量标准解读[M]. 北京:机械工业出版社,2003
- [2] 李华东. 高技术生态建筑[M]. 天津:天津大学出版社,2002
- [3] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专业气象数据集[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005