

# 上海中信广场自然通风性能实测

日建设计 丁文婷<sup>☆</sup> 杜俊生 永濑修 胡睿  
同济大学 潘毅群

**摘要** 介绍了该建筑的自然通风设计、设计阶段对其自然通风性能的模拟计算和竣工后的实测。模拟计算结果表明,过渡季节室内通风换气次数可以达到  $0.8 \sim 3.1 \text{ h}^{-1}$ 。实测结果表明,开启所有自然通风口时,室内换气次数可以达到  $1.0 \sim 5.6 \text{ h}^{-1}$ ,基本上可以满足室内人员所需最低新风量的要求。测试结果与模拟计算结果接近,自然通风性能基本满足设计要求。

**关键词** 自然通风 实测  $\text{CO}_2$  气体示踪法 换气次数 模拟计算

## Field measurement of natural ventilation performance of Shanghai Zhongxin Square

By Ding Wenting<sup>★</sup>, Du Junsheng, Nagase Shu, Hu Rui and Pan Yiqun

**Abstract** Presents the natural ventilation design for Shanghai Zhongxin Square, simulation of ventilation performance during the design phases and field measurements after the building completion. The simulation results show that air change rate of the calculated space can reach to  $0.8$  to  $3.1 \text{ h}^{-1}$  during transition season. The field measurement results show that indoor air change rate can reach to  $1.0$  to  $5.6 \text{ h}^{-1}$  when all natural ventilation openings are opened, which can basically meet the minimum fresh air requirement of indoor occupants. Results of the field measurements are close to simulation results. Natural ventilation performance functions well as design expected.

**Keywords** natural ventilation, field measurement,  $\text{CO}_2$  tracer gas method, air change rate, simulation and calculation

★ NIKKEN SEKKEI Ltd., Tokyo, Japan

①

### 0 引言

近年随着节能环保意识的提高,高层建筑的通风开始受到瞩目。采用自然通风的高层建筑设计也有增加的趋势,如日本的汐留大楼<sup>[1]</sup>,关西电力大楼<sup>[2]</sup>及明治大学大楼<sup>[3]</sup>等。大楼使用人员在过渡季节开启外窗进行自然通风,将外部空气直接引入室内,不仅可以使室内人员感觉舒适,同时可以承担一部分室内空调负荷,达到节能的目的。在加班时间或者休息日,室内人员少,室内空调负荷也小,甚至可以不开启空调而仅通过自然通风实现室内良好的工作环境。

图 1 显示了上海地区气温  $18 \sim 26 \text{ }^\circ\text{C}$  时的风速频度分布<sup>①</sup>。一般认为风速不超过  $4 \text{ m/s}$  时适合进行自然通风。由图 1 可以看出,上海地区适合自

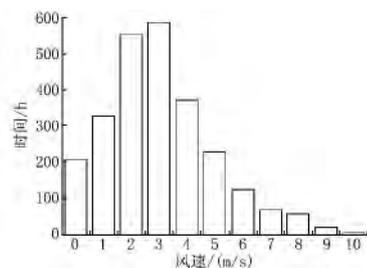


图 1 上海地区气温  $18 \sim 26 \text{ }^\circ\text{C}$  时的风速频度分布

然通风的时间为  $2\ 047 \text{ h}$ ,也就是说一年中有将近  $1/4$  的时间可以进行自然通风。因此合理进行自然通风的设计非常重要。

高层建筑物的自然通风效果究竟怎样,目前还

①☆ 丁文婷,女,1976 年 7 月生,博士  
102-8117 日本东京饭田桥 2-18-3  
81-3-52263030  
E-mail: wenting.ding@nikken.jp

收稿日期:2013-05-09

一次修回:2013-07-18

二次修回:2014-04-02

① International Weather for Energy Calculations(IWEC). [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata\\_sources.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_sources.cfm)

很少有这方面的实测资料。本文对上海中信广场的自然通风设计进行了介绍,并对其通风性能进行了实测,希望能给采用自然通风的超高层建筑物的围护结构设计提供一定的参考。

## 1 工程概要

上海中信广场位于上海市虹口区,为甲级租赁式办公楼,高 228 m,地上 47 层,地下 3 层,占地面积 15 135 m<sup>2</sup>,总建筑面积 131 621 m<sup>2</sup>,于 2010 年竣工。建筑物外观如图 2 所示。



图 2 建筑物外观

空调冷热源设备包括 3 台电动离心式制冷机(2 台 2 816 kW,1 台 1 408 kW)和 2 台直燃机(单台制冷量 3 520 kW,供热量 3 770 kW)。标准层空调采用单一风管变风量方式。

标准层的自然通风示意图见图 3。玻璃幕墙与自然通风口的设计效果图见图 4。图 5 显示了自然通风口外观,图 6 为自然通风口局部平面图。标准层面积大约为 1 800 m<sup>2</sup>,西、南、东 3 面外窗上总共设有 14 处自然通风口。每处通风口高 3 100 mm,宽 250 mm,开口率约为 50%。

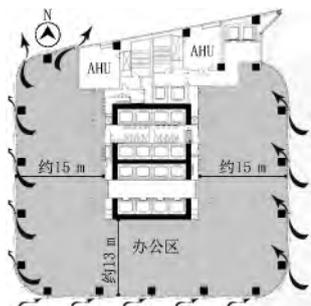


图 3 标准层自然通风示意图

## 2 模拟计算

设计时采用 EnergyPlus 对标准层进行了模拟计算分析。计算模型如图 7 所示。通风窗高 3 100

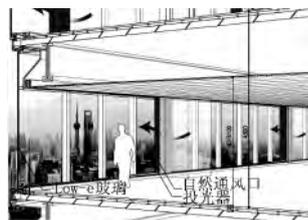


图 4 玻璃幕墙与自然通风口的设计效果图



图 5 自然通风口外观

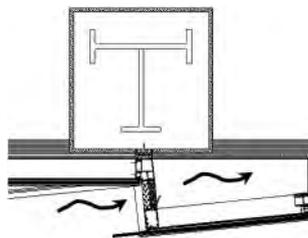


图 6 通风口局部平面图

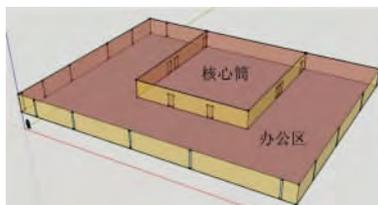


图 7 EnergyPlus 计算模型

mm,宽 250 mm,有效开口系数取 0.5,流量系数设定为 0.7。模拟楼层设定在大楼高度 100 m 处。通风计算条件设定如下:气象参数为 IWEC 上海气象数据<sup>①</sup>,室外气温为 20℃,室内发热量不考虑,所有窗户全开,所有走道门全开。

对不同风速和风向时的自然通风效果进行预测,结果如图 8 所示。由图 8 可以看出,风速 1 m/s 时换气次数可以达到 0.6~1.0 h<sup>-1</sup>,风速 4 m/s 时换气次数可以达到 2.1~3.9 h<sup>-1</sup>。

图 9 为上海地区气温适合于自然通风时的风

<sup>①</sup> International Weather for Energy Calculations(IWEC). [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata\\_sources.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_sources.cfm)

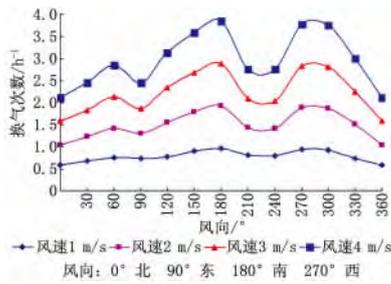
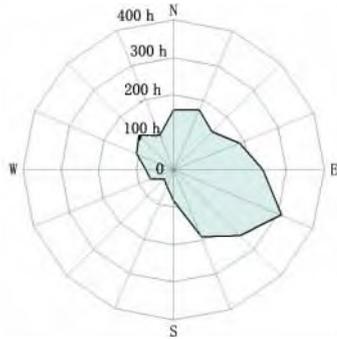


图8 不同风速和风向时的换气次数模拟计算结果



注:0~400 h为时间。

图9 上海地区风向玫瑰图(气温 18~26 ℃)

向玫瑰图<sup>①</sup>,可以看出主风向为 SE(风向 120°),从图 8 可以看出在此风向下的换气次数可以达到 0.8~3.1 h<sup>-1</sup>。

### 3 测试介绍

竣工后为了掌握大楼的实际通风性能,对标准层进行了实测。测试时间选在 6 月份。由于大楼已经处于运营状态,根据业主要求,对未出租的 11 层和 41 层进行了实测。

#### 3.1 测试方法

采用 CO<sub>2</sub> 示踪气体浓度衰减法预测房间的自然通风量。示踪气体浓度衰减法基于示踪气体质量守恒方程:

$$V \frac{dC}{d\tau} + Q(\tau)(C_r - C_{out}) = F(\tau) \quad (1)$$

式中  $V$  为房间体积, m<sup>3</sup>;  $C$  为示踪气体体积分数;  $\tau$  为时间, h;  $Q(\tau)$  为通风量, m<sup>3</sup>/h;  $C_r$  为瞬时测量的示踪气体体积分数;  $C_{out}$  为室外环境示踪气体体积分数;  $F(\tau)$  为示踪气体释放速率, m<sup>3</sup>/h。

示踪气体浓度衰减法是在被测试空间释放一定量的示踪气体,然后在整个实验过程中不再释放,即  $F(\tau)=0$ ,因此式(1)的解析解为

$$C_r = (C_0 - C_{out})e^{\frac{Q}{V}\tau} + C_{out} \quad (2)$$

式中  $C_0$  为释放一定示踪气体后房间气体混合均

匀时的示踪气体体积分数。

根据式(2)可以得到<sup>[4]</sup>

$$Q = 2.303 \frac{V}{\tau} \lg \frac{C_0 - C_{out}}{C_r - C_{out}} \quad (3)$$

#### 3.2 测试步骤

- 1) 关闭所有的外部开口(停止厕所、热水间等的排风机运行)。
- 2) 关闭空调机的新风管阀门使新风引入量为零。
- 3) 为了提高室内 CO<sub>2</sub> 浓度,将 CO<sub>2</sub> 气瓶放入空调机内,从气瓶释放出来的 CO<sub>2</sub> 通过空调机风管有效地扩散到室内。室内设置风扇搅拌空气促进 CO<sub>2</sub> 在室内的扩散。
- 4) 室内 CO<sub>2</sub> 体积分数上升到  $(2\ 000 \sim 2\ 500) \times 10^{-6}$  后停止释放 CO<sub>2</sub>。
- 5) 停止空调机和室内风扇。
- 6) 同时打开所有自然通风口。
- 7) 在室内 4 个点、室外 1 个点进行连续测试,测试时间间隔为 1 min。
- 8) 当室内测试点的 CO<sub>2</sub> 体积分数下降到  $(600 \sim 800) \times 10^{-6}$  后停止测试。

#### 3.3 测点分布

测点分布如图 10,11 所示。

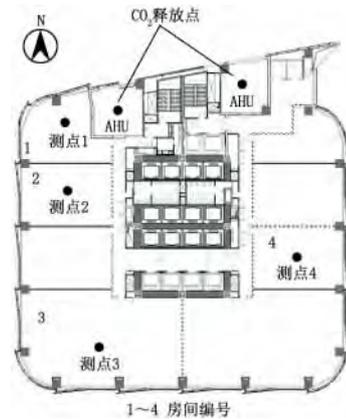


图10 测点分布(11层)

#### 4 测试结果

采用壁挂式 CO<sub>2</sub> 监测仪,测量范围:0~3 000 × 10<sup>-6</sup>;显示分辨率:0~1 000 × 10<sup>-6</sup> 时 1 × 10<sup>-6</sup>, (1 001~3 000) × 10<sup>-6</sup> 时 10 × 10<sup>-6</sup>;精确度:测定

① International Weather for Energy Calculations(IWEC). [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata\\_sources.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_sources.cfm)



图 11 测点分布(41层)

值的±5%或±75×10<sup>-6</sup>,两者取大值。由于篇幅有限,选取11层测点2的数据进行说明,测试结果如图12所示。测试过程中室外CO<sub>2</sub>体积分数基本保持不变,气瓶内的CO<sub>2</sub>通过空调机向室内扩散,在11:20开始实测(此时室内CO<sub>2</sub>体积分数达到2604×10<sup>-6</sup>),同时打开所有通风窗进行通风;

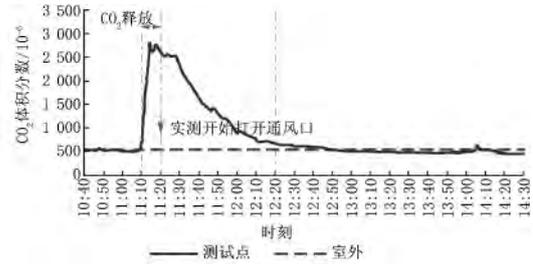


图 12 测试结果(11层2号房间)

12:20 测试结束,此时室内CO<sub>2</sub>体积分数下降到638×10<sup>-6</sup>。通过式(3)可以得出测试期间的通风量为992 m<sup>3</sup>/h。同样可以得出11层其他房间的通风量,结果如表1所示。表2为41层的测试结果。由于测试仪器发生故障,没能获得测试期间室外风速和风向的准确数据。作为参考,项目组从上海气象局购买了测试期间的气象数据。11层测试期间主导风向为WSW,风速2.7 m/s;41层测试期间主导风向为WSW,风速3.7 m/s。

表 1 11层测试结果

房间号	V/m <sup>3</sup>	τ/h	C <sub>1</sub> /10 <sup>-6</sup>	C <sub>0</sub> /10 <sup>-6</sup>	C/10 <sup>-6</sup>	Q/(m <sup>3</sup> /h)	换气次数/h <sup>-1</sup>
1	294	0.5	2 792	594	778	1 644	5.6
2	351	1.0	2 604	534	638	992	2.8
3	834	1.5	2 631	605	690	1 661	2.0
4	351	2.0	2 664	653	737	526	1.5

注: C<sub>1</sub> 为测试开始时室内 CO<sub>2</sub> 体积分数, C 为测试结束时室内 CO<sub>2</sub> 体积分数。

表 2 41层测试结果

房间号	V/m <sup>3</sup>	τ/h	C <sub>1</sub> /10 <sup>-6</sup>	C <sub>0</sub> /10 <sup>-6</sup>	C/10 <sup>-6</sup>	Q/(m <sup>3</sup> /h)	换气次数/h <sup>-1</sup>
1	645	0.5	1 759	457	643	2 446	3.8
2	1 185	0.5	2 462	594	737	6 041	5.1
3	1 185	0.5	1 954	614	966	3 142	2.7
4	573	1	1 808	670	1 116	590	1.0

11层被分隔成8个房间,每个房间在开门情况下的通风换气次数约为1.5~5.6 h<sup>-1</sup>。41层被分隔成4个房间,每个房间在开门情况下的通风换气次数约为1.0~5.1 h<sup>-1</sup>。

该大楼设计时考虑办公室人员密度为0.125人/m<sup>2</sup>,每人所需新风量按GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》<sup>[5]</sup>取30 m<sup>3</sup>/h,11层和41层所需最低新风量与实测通风量的比较如图13,14所示。由图13,14可以看出,11层所有房间的实测通风量均能满足所需最低新风量的要求,41层实测通风量除1个房间外基本上都能满足所需最低新风量的要求。

同时用EnergyPlus对41层进行了模拟计算分析,计算模型如图15所示。室外风向根据测试期间气象数据设定为西南向,风速3.7 m/s,室外

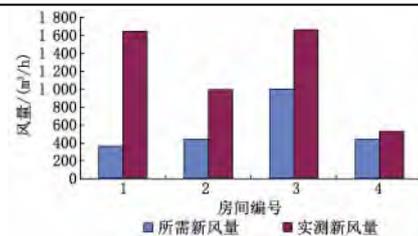


图 13 11层所需最低新风量与实测通风量的比较

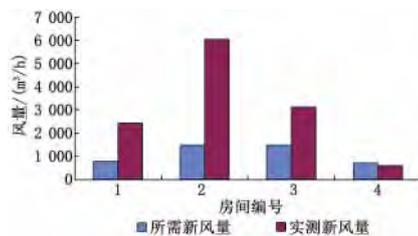


图 14 41层所需最低新风量与实测通风量的比较

气温为32℃,楼层高度180 m。各个房间的通风

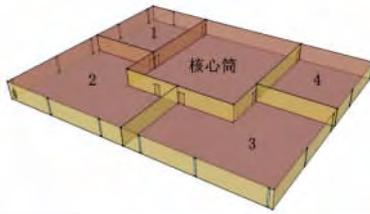


图 15 EnergyPlus 计算模型(41层)

表 3 41层模拟计算结果与实测结果的比较

房间号	房间体积/m <sup>3</sup>	实测通风量/(m <sup>3</sup> /h)	实测换气次数/h <sup>-1</sup>	计算通风量/(m <sup>3</sup> /h)	计算换气次数/h <sup>-1</sup>
1	645	2 446	3.8	2 204	3.4
2	1 185	6 041	5.1	5 353	4.5
3	1 185	3 142	2.7	3 319	2.8
4	573	590	1.0	0	0
合计	3 588	12 219	3.4	10 876	3.0

一个楼层考虑时实测换气次数为 3.4 h<sup>-1</sup>, 计算值为 3.0 h<sup>-1</sup>, 二者比较接近。

### 5 结语

本文介绍了上海中信广场的自然通风设计, 自然通风口的外侧采用了容易导入新风的竖向开口, 内侧采用了容易开启的手动控制装置, 便于使用者在需要时简单地开启与关闭自然通风口, 促进自然通风的利用。

设计时用 EnergyPlus 对其通风效果进行了预测, 竣工后对其通风性能进行了实测。测试结果表明, 在打开所有通风口的情况下, 室内换气次数可以达到 1.0~5.6 h<sup>-1</sup>, 基本上可以满足在室人员所需最低新风量的要求。测试结果与计算结果接近, 大楼竣工后的自然通风性能基本满足设计要求。

### 参考文献:

[1] 平岡雅哉. 汐留タワーにおける自然換気利用とエ

ネルギー有効利用計画[J]. ヒートポンプとその応用, 2005(68):8-13

[2] 田辺慎吾, 牛尾智秋, 三島憲明. 高層オフィスビルにおける自然換気設備の運用実績及び運用条件拡大の検討[C]// 日本建築学会大会学術講演梗概集. 広島, 2008:629-630

[3] 近本智行, 伊香賀俊治, 中村準二, 他. ボイドを有する高層大学校舎における自然換気ハイブリッド空調システムに関する研究(その3)省エネルギー効果に関する中央監視データによる運用実態解析[C]// 日本建築学会大会学術講演梗概集. 関東, 2001:581-584

[4] 田中俊六, 武田仁, 岩田利枝, 他. 最新建築環境工学[M]. 改訂3版. 東京都:井上書院, 2006:170-171

[5] 中国建筑科学研究院, 中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189-2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005

## 科技之春——暖通空调热能动力新技术研讨会召开

2014年4月2日, 由陕西省土木建筑学会暖通空调专业委员会及陕西省土木建筑学会热能动力专业委员会联合主办的科技之春——暖通空调热能动力新技术研讨会在西安召开。学会所有会员包括西安各大设计院的设计师, 西安交通大学、长安大学、西安建筑科技大学等院校的教师, 热力公司及部分企事业单位的代表等共 100 余人参加了本次专题研讨会。

本次研讨会是西安乃至西北地区近年来暖通空调及热能动力领域新技术的发展及应用的大型专业研讨会。大会主要就我国西北地区暖通空调领域实际存在的问题及未来

的发展前景等进行了探讨和技术交流。江苏启能新能源材料有限公司介绍了具有创新意义的中低温相变蓄热技术, 可应用在民用建筑的太阳能热储存、城市低谷电热储存以及工业余热、废热的储存等领域。广州市华德工业有限公司介绍了节能效果显著的蒸发冷凝空调机组, 该机组利用板管式冷凝器直接淋水冷却技术, 适合西北地区干燥的气候条件下使用, 相比传统的电制冷冷水机组具有显著的节能效果。大会的顺利召开为推动新的节能产品在西北地区的应用及发展作出了积极的贡献。

(本刊特约通讯员 王立峰)