



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

居民建筑污染物跨户传播特性研究

高乃平

同济大学

Email: gaonaiping@tongji.edu.cn



热能与环境工程研究所
高效清洁能源课题组



目录 Contents

1 污染物跨户传播研究背景及若干问题

2 “户内→建筑外部空间→户内”的传播路径

3 “户内→建筑内部垂直通道→户内”的传播路径

4 思考与展望



目录 Contents

1 污染物跨户传播研究背景及若干问题

2 “户内→建筑外部空间→户内”的传播路径

3 “户内→建筑内部垂直通道→户内”的传播路径

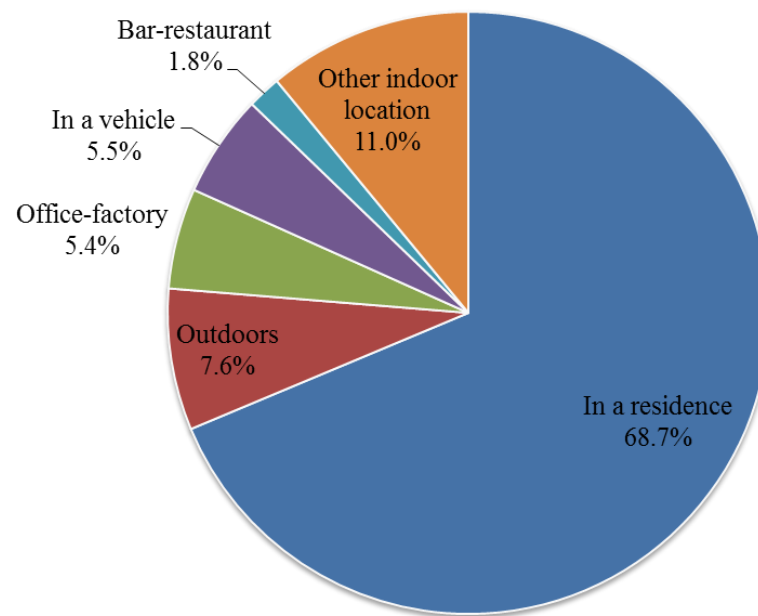
4 思考与展望



1. 污染物跨户传播特性研究背景简介

2010年东亚范围20个主要致病因素

High blood pressure	1
Tobacco smoking, including second-hand smoke	2
Diet low in fruits	3
Ambient particulate matter pollution	4
Household air pollution from solid fuels	5
Diet high in sodium	6
High fasting plasma glucose	7
Alcohol use	8
High body-mass index	9
Physical inactivity and low physical activity	10
Diet low in whole grains	11
Diet low in nuts and seeds	12
High total cholesterol	13
Occupational low back pain	14
Diet low in vegetables	15
Diet low in fiber	16
Diet low in seafood omega-3 fatty acids	17
Drug use	18
Iron deficiency	19
Occupational risk factors for injuries	20



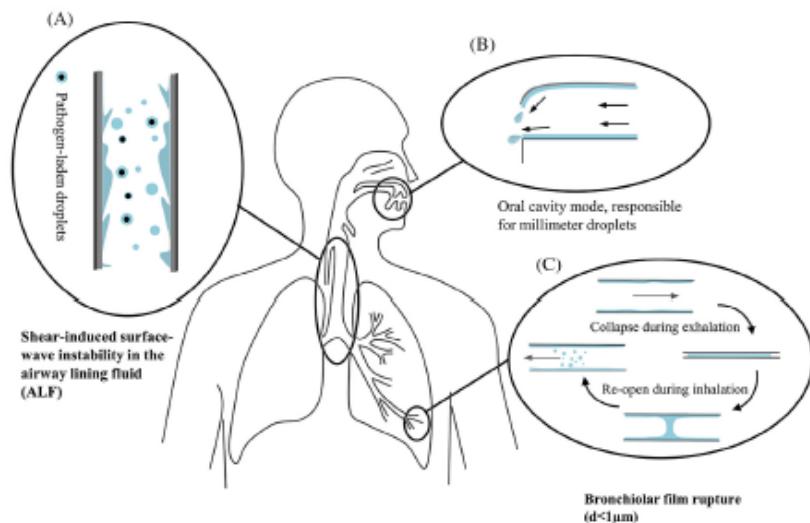
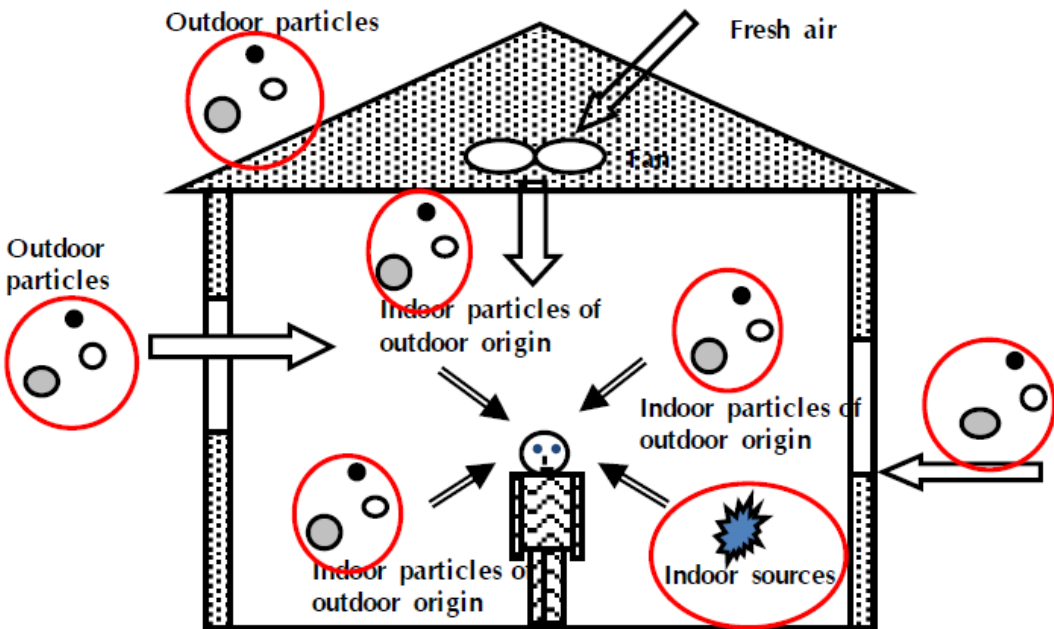
人们有80%~90%的时间在室内度过



Lim S S, Vos T, Flaxman A D, et al. Lancet, 2012, 380(9859):2224-60.

N.E. Klepeis, et al. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 2001, 11(3):231-52.

1. 污染物跨户传播特性研究背景简介

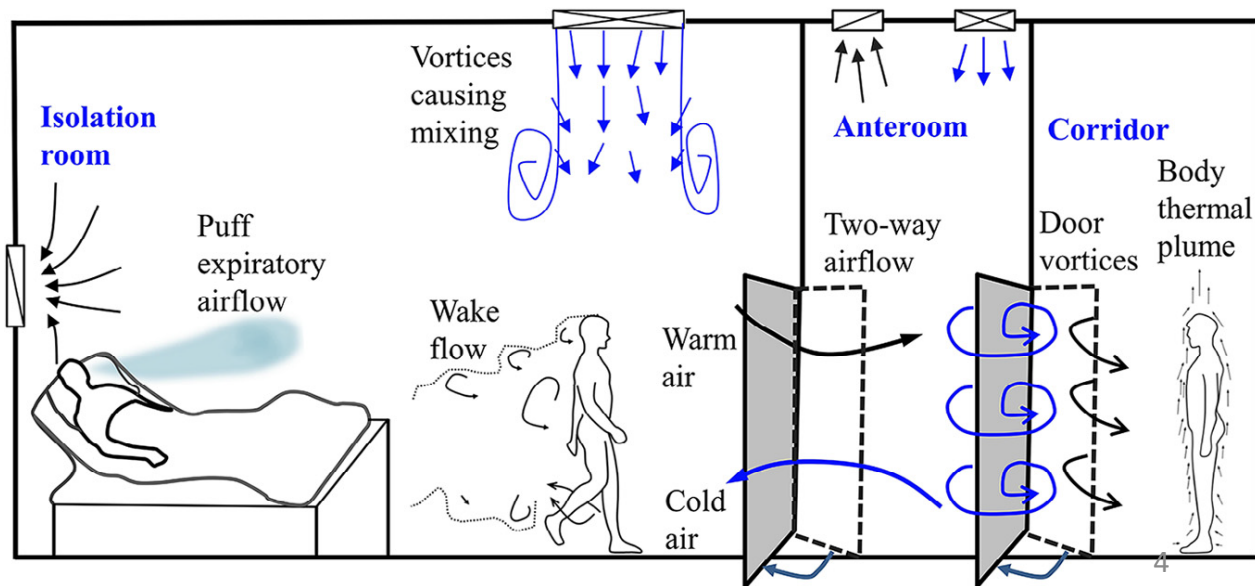


室内和室外的污染物origin

室内污染源 sources

通过空气传播

Airborne transmission



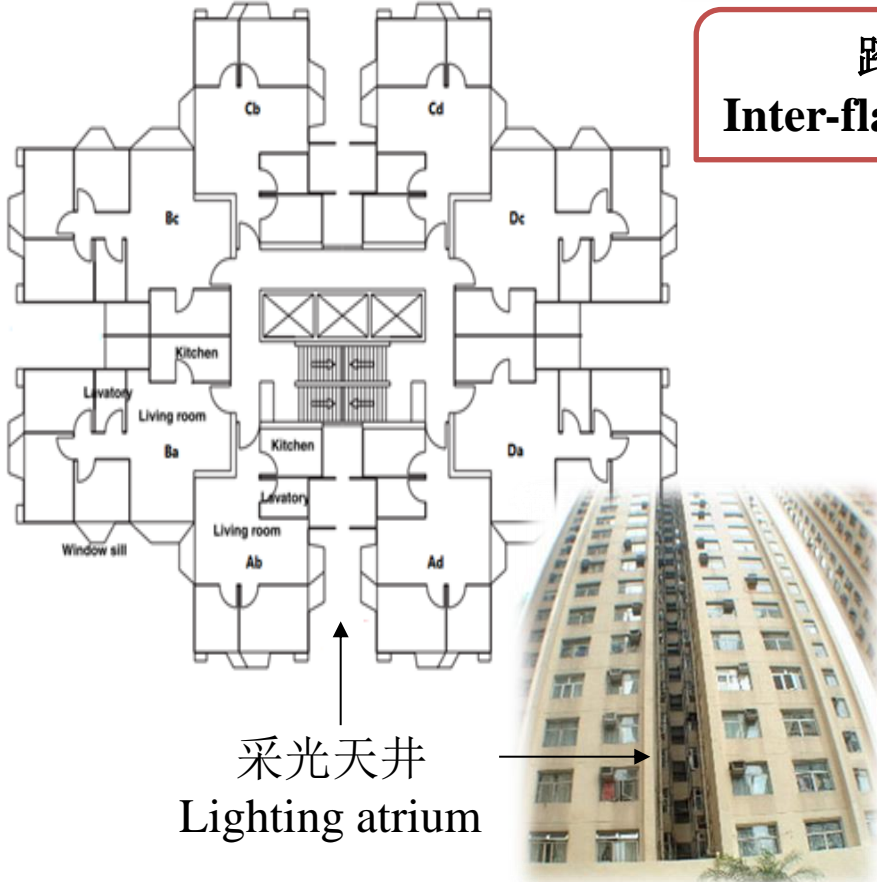
Source: Wei J, Li Y. *Ajic American Journal of Infection Control*, 2016, 44(9S):S102-S108.

1. 污染物跨户传播特性研究背景简介

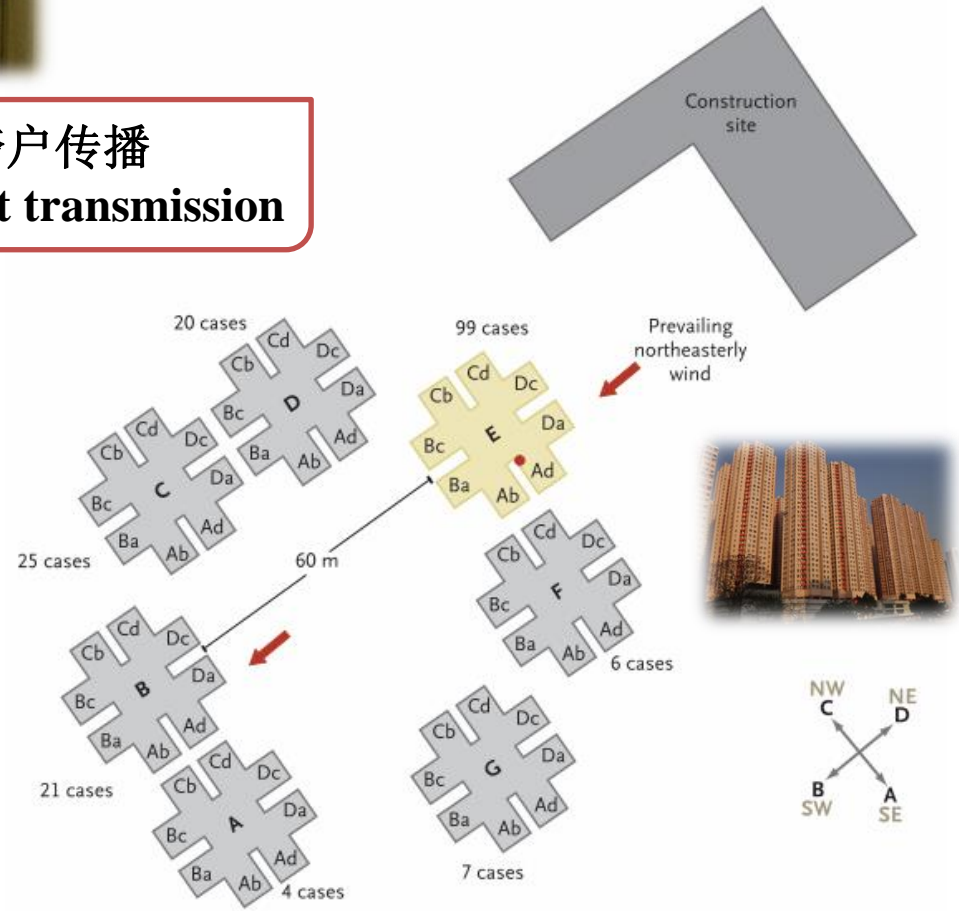


2003年香港淘大花园居民建筑A座到G座中SARS感染者的分布情况:

- 41%的患者居住在E座.
- 大多数患者在16层以上的单元Ad和Ab中.
- 最初的感染者在E座16层单元Ad.



跨户传播 Inter-flat transmission

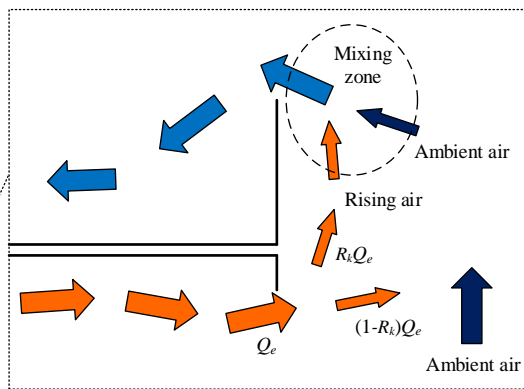
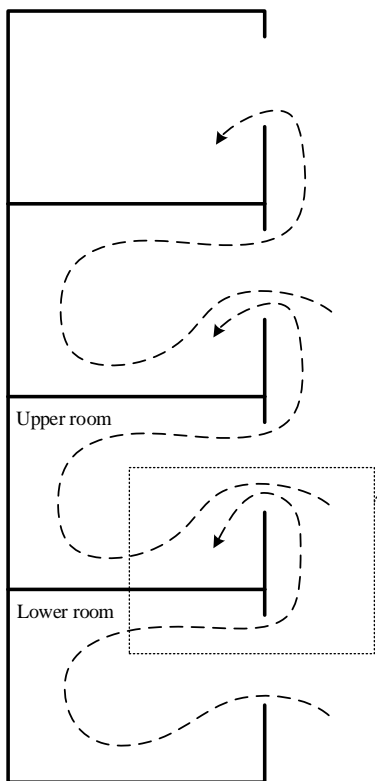


1. “跨户传播”的几个基本问题

两种路径

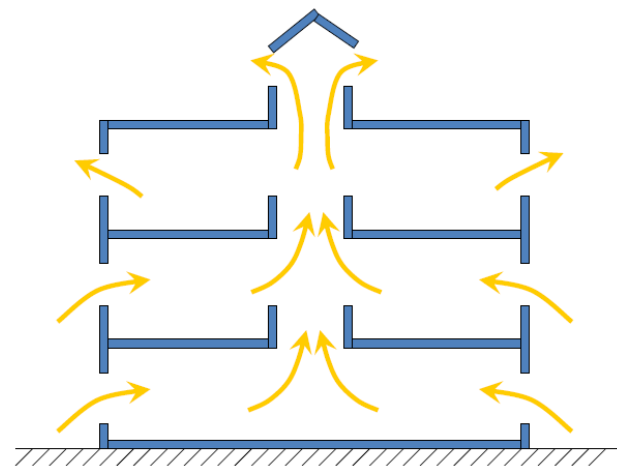
户内→建筑外部空间→户内

户内→建筑内部垂直通道→户内

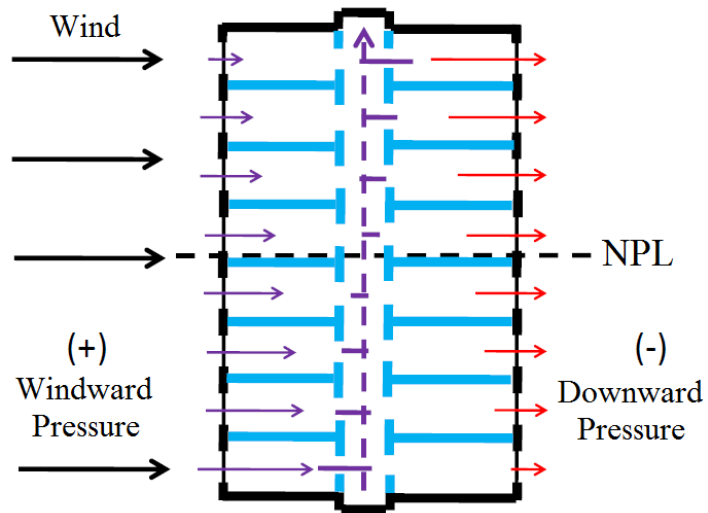


单侧自然通风下的热压作用*

*From Niu and Tung (2008)

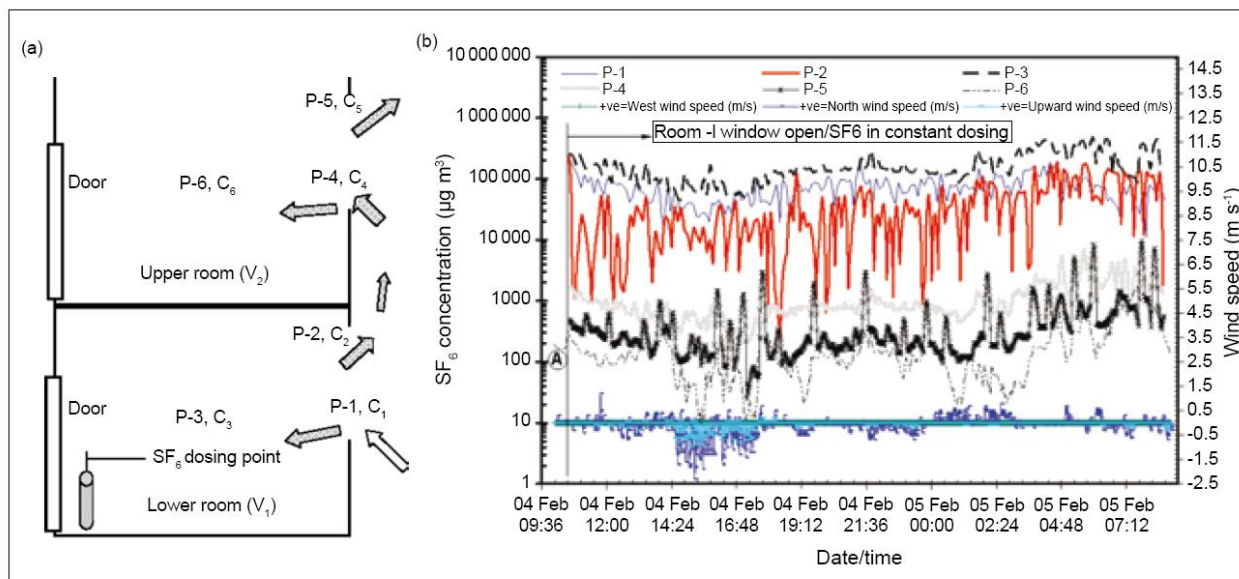


中庭/内部垂直通道烟囱效应



风压热压耦合作用下建筑内部垂直通道

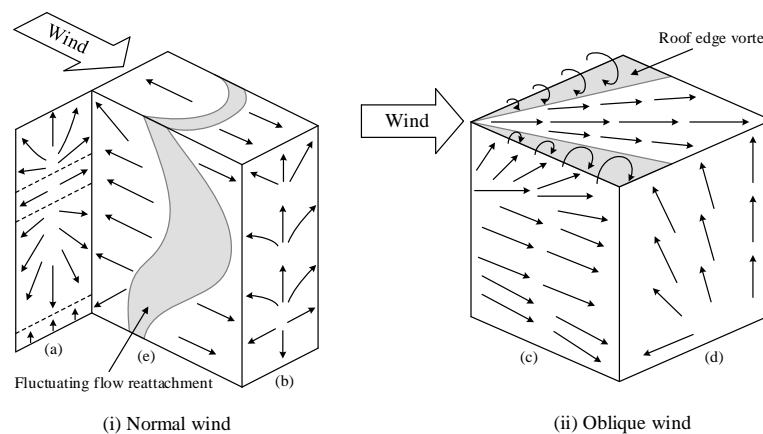
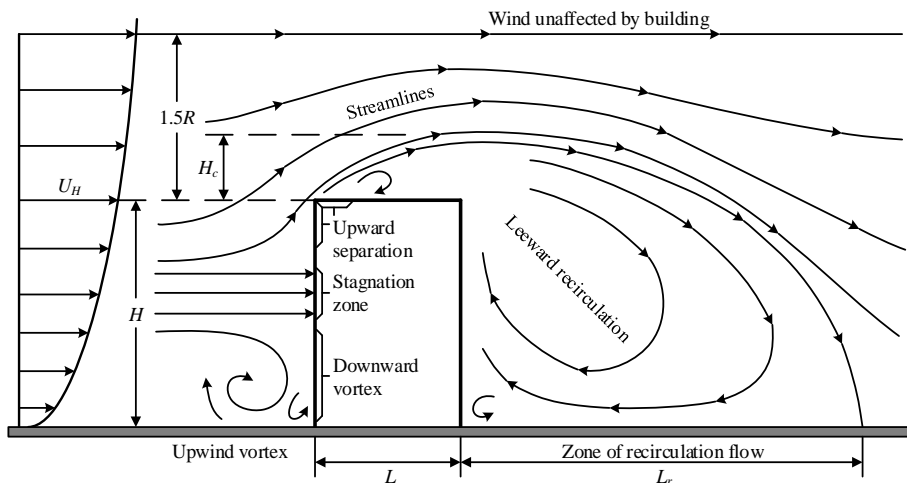
1. “跨户传播”的几个基本问题



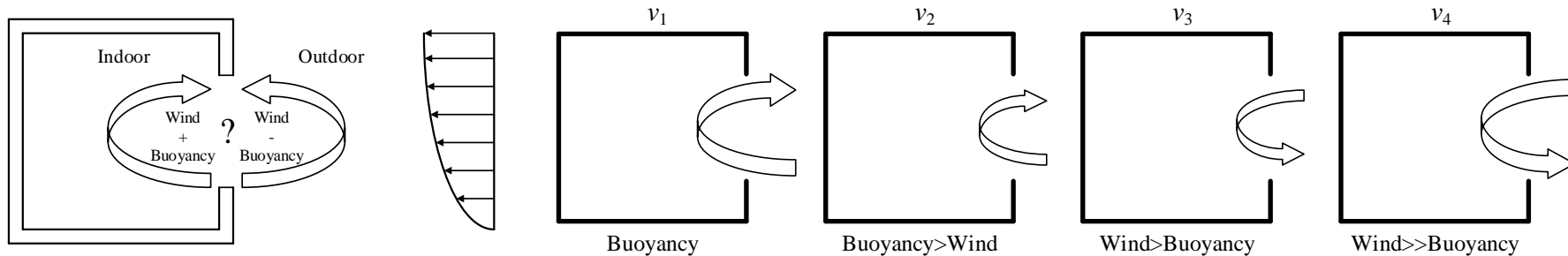
Wind speed (m/s)	M_{2-4}	M_{2-6}	$(ACH_1)/(ACH_2)$	Re-entry ratio k	No. of data set
≤0.03	0.070	0.029	1.64	0.048	4740
0.25	0.055	0.026	1.71	0.044	2080
0.45	0.050	0.022	1.73	0.038	1306
0.66	0.046	0.019	1.74	0.033	653
0.87	0.041	0.016	1.75	0.028	270
1.07	0.039	0.011	1.69	0.019	135
1.3	0.038	0.006	1.66	0.01	82
1.5	0.032	0.007	1.65	0.011	46
1.69	0.035	0.005	1.67	0.009	43
1.88	0.038	0.005	1.61	0.009	32
2.11	0.033	0.005	1.64	0.008	19
2.48	0.036	0.004	1.75	0.006	11

1. “跨户传播”的几个基本问题

驱动力, 气流组织



方体绕流及方体表面气流特征(ASHRAE 2015, 45.3)



单侧自然通风时风压与热压耦合作用下气流流动方向

(Allocca C, Chen Q, Glicksman L R. Energy & Buildings, 2003, 35(8):785-795.)



1. “跨户传播”的几个基本问题

影响因素

- 气象参数：来流风速，来流风向，大气温度，
- 建筑形态：建筑外形，建筑气密性，窗墙比，
- 污染源：位置，强度，物理特性，持续时间，
- 通风形式：单侧自然通风，穿堂风，渗透，
-

评价指标

✓ Mass fraction 浓度比

$$M_{i-j} = \frac{C_j}{C_i}$$

✓ Re-entry ratio 再入率

$$R_k = M_{i-j} \frac{V_j(ACH)_j}{V_i(ACH)_i}$$

✓ Wells-Riley 模型

$$P = \frac{C^*}{S} = 1 - \exp\left(-\frac{Iqpt}{Q}\right)$$



目录 Contents

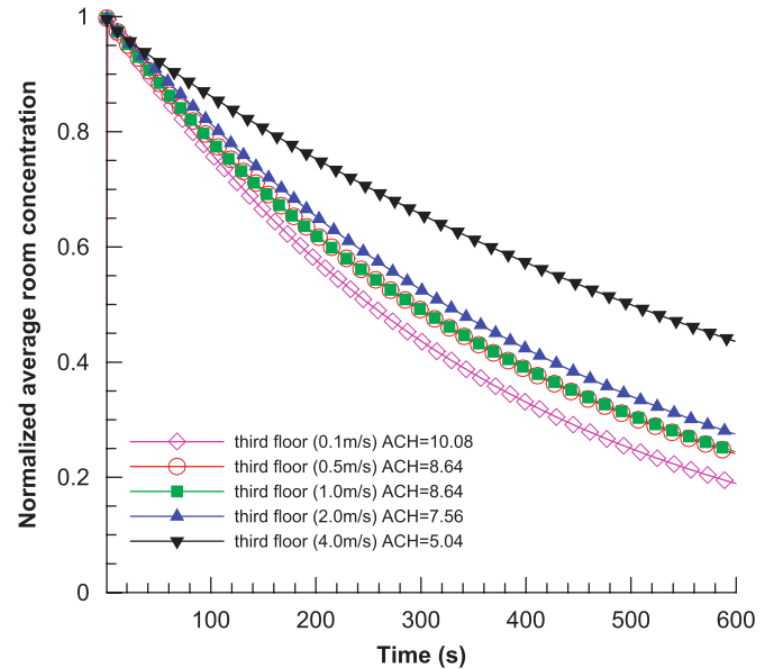
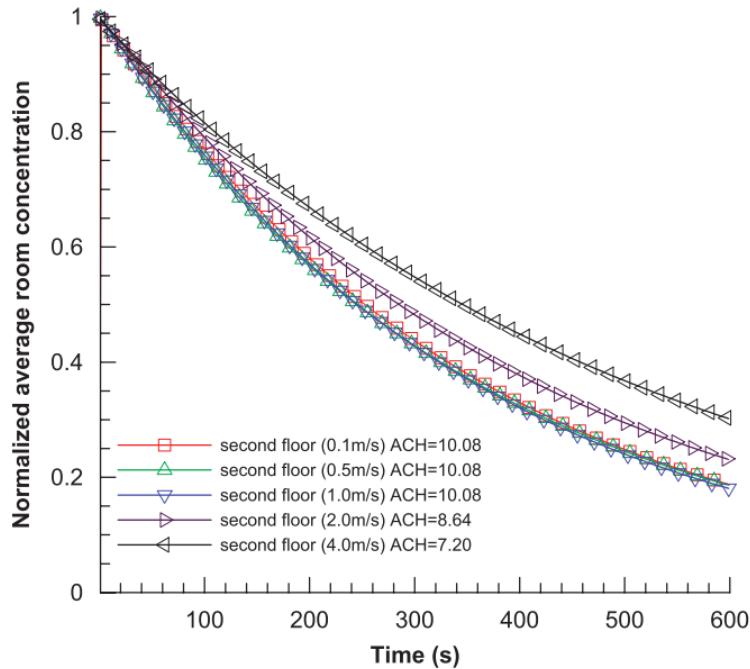
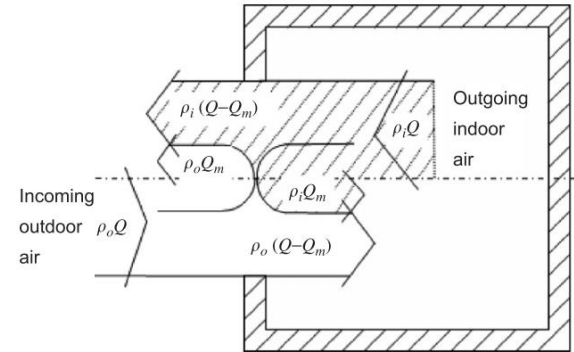
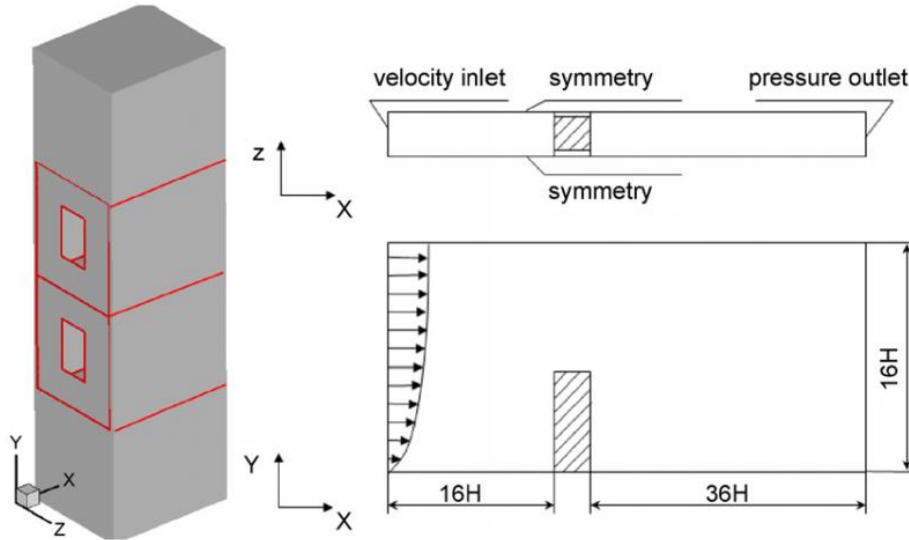
1 污染物跨户传播研究背景及若干问题

2 “户内→建筑外部空间→户内”的传播路径

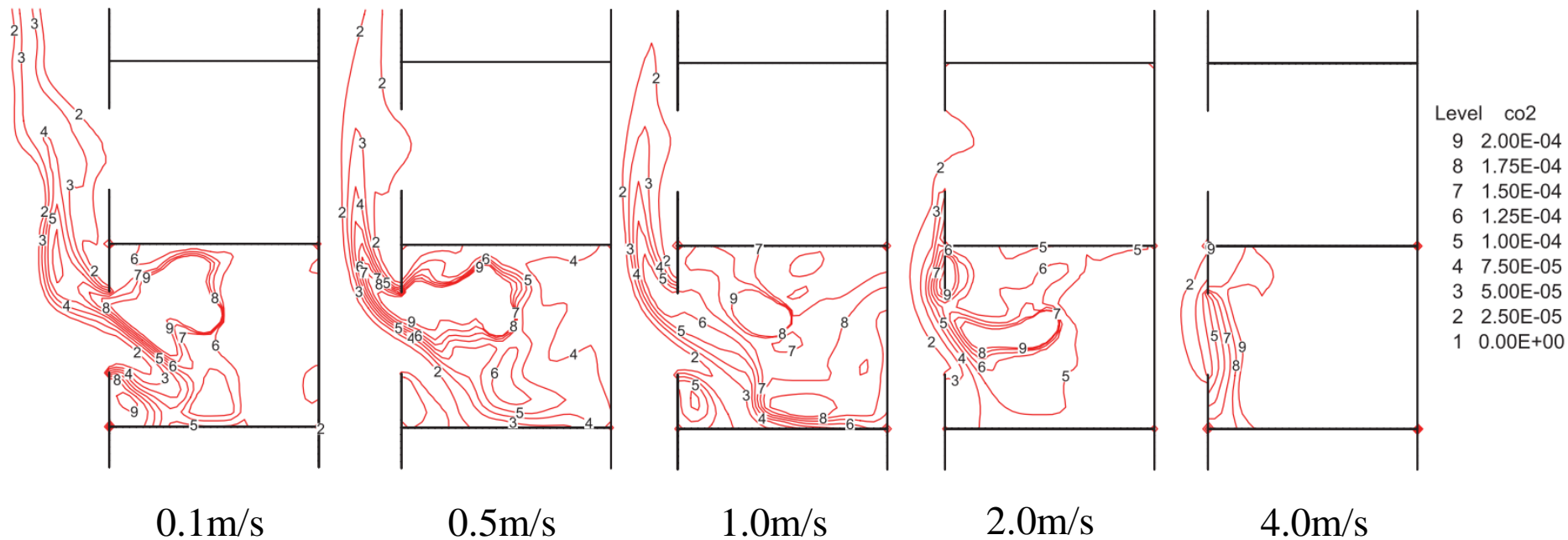
3 “户内→建筑内部垂直通道→户内”的传播路径

4 思考与展望

3. 户内→建筑外部空间→户内



3. 户内→建筑外部空间→户内



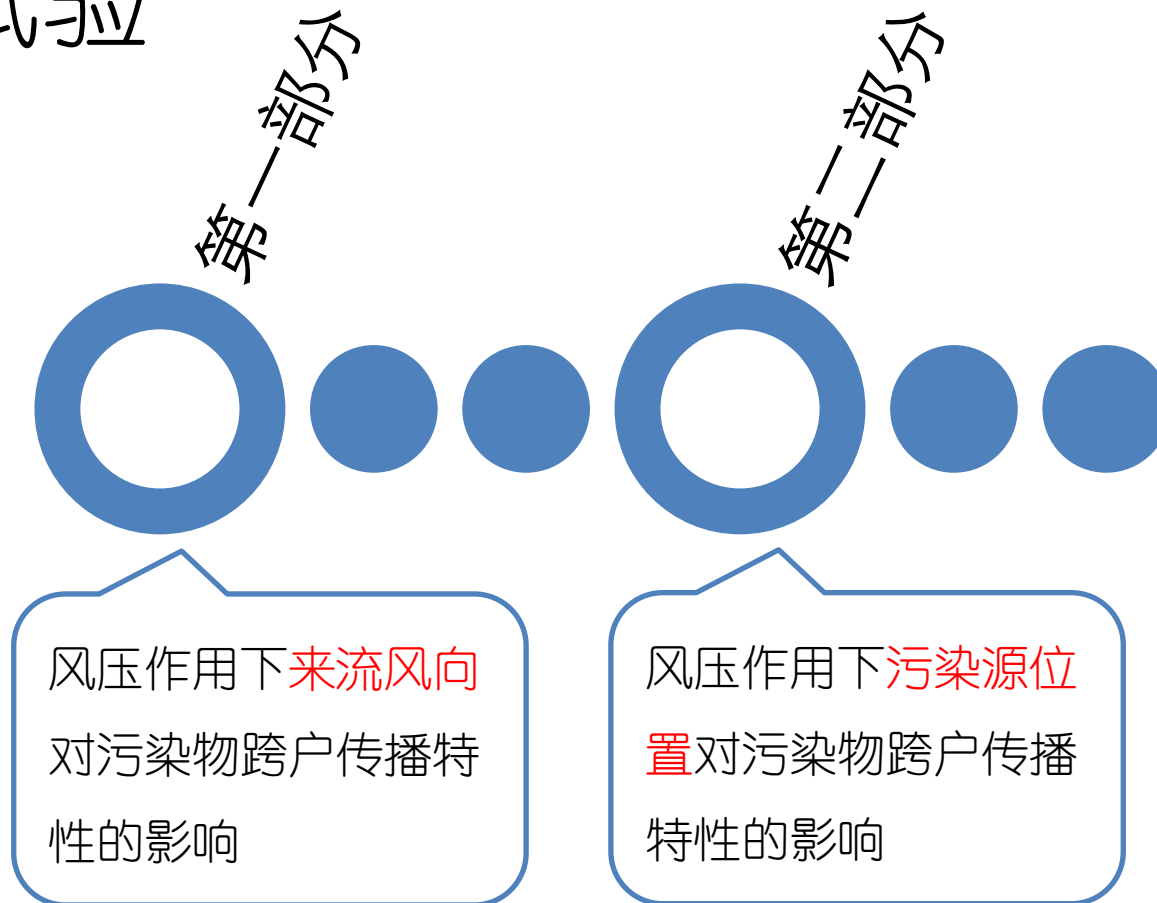
	0.1m/s	0.5m/s	1.0m/s	2.0m/s	4.0m/s
平均感染概率（二楼）（%）	30	28	29	31	46
平均感染概率（三楼）（%）	2.0	3.4	3.5	6.6	1.7
二楼排风进入三楼的百分比	7.5	9.6	10.9	16.3	3.5

热压和风压的耦合效应较为复杂，取决于两者的相对强度，尤其是这两个作用力在水平方向的分量大小。

3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内



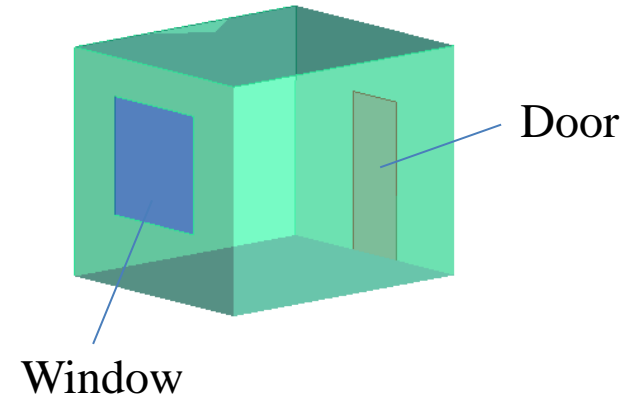
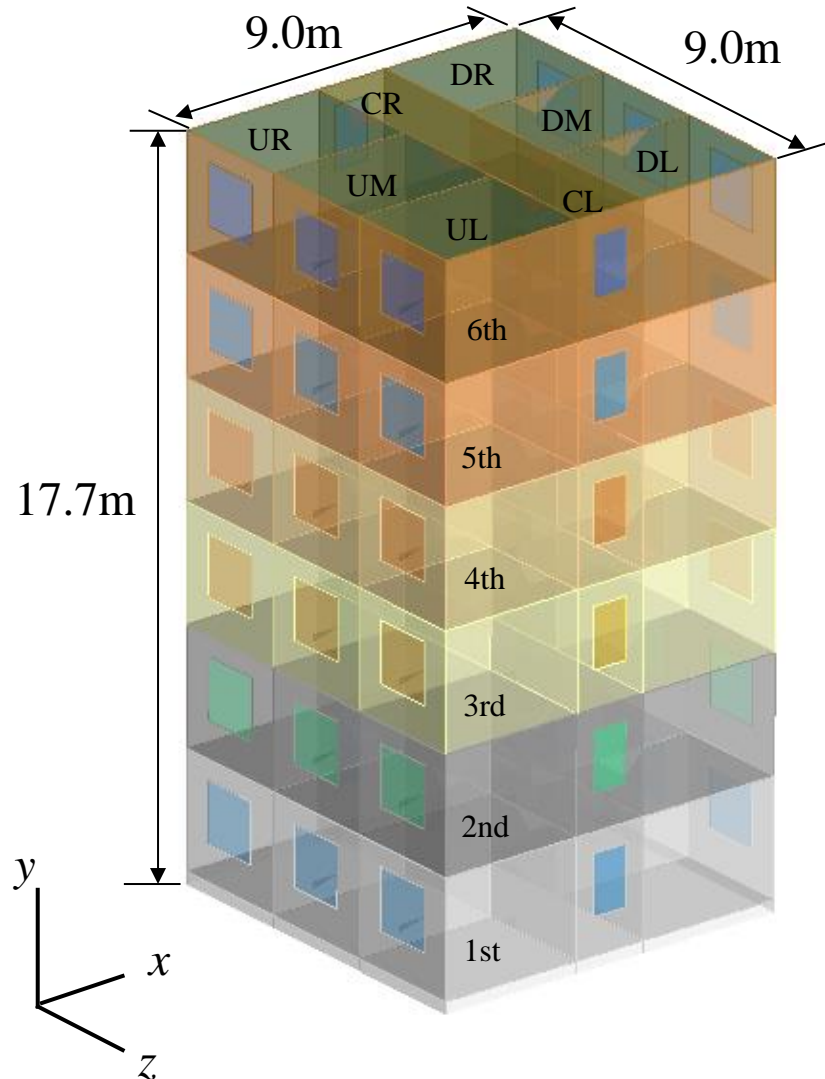
风洞试验



3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内



目标建筑物理模型及各层结构



3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内

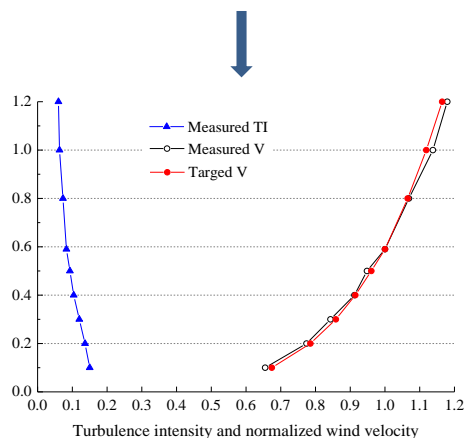
风洞实验设置

Mu D, Gao NP (2016) *Building and Environment*, Vol.108, pp. 159-170

Model A single-sided ventilation Windows are open, doors are closed,
Model B cross ventilation Windows are open, doors are open

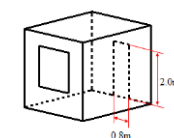
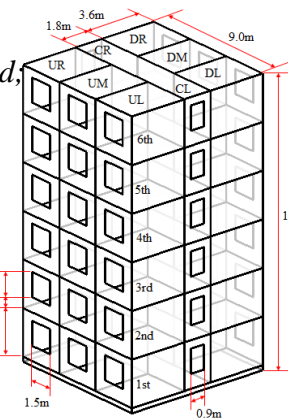
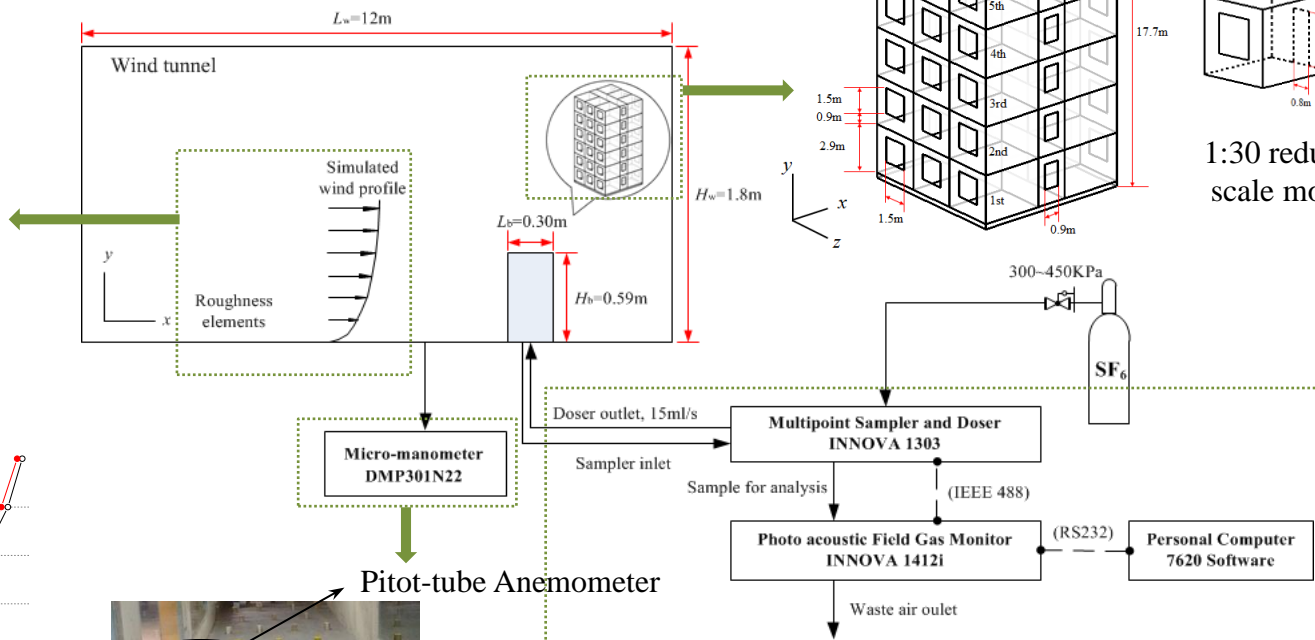


Power law exponent $\alpha=0.22$



$$\frac{U(h)}{U_{ref}} = \left(\frac{h}{h_{ref}}\right)^\alpha$$

Reynolds independence



1:30 reduced scale model



Pressure tap along building facade

3-D Cobra Probe



INNOVA 1303 and 1412i SF₆ releasing and sampling

3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内

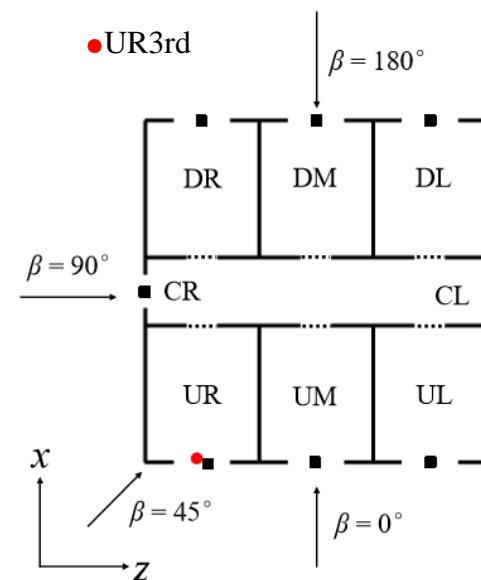
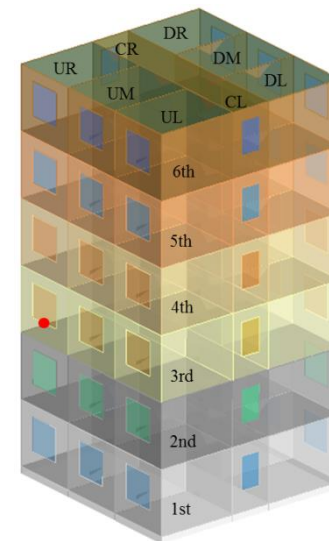
第一部分



第二部分

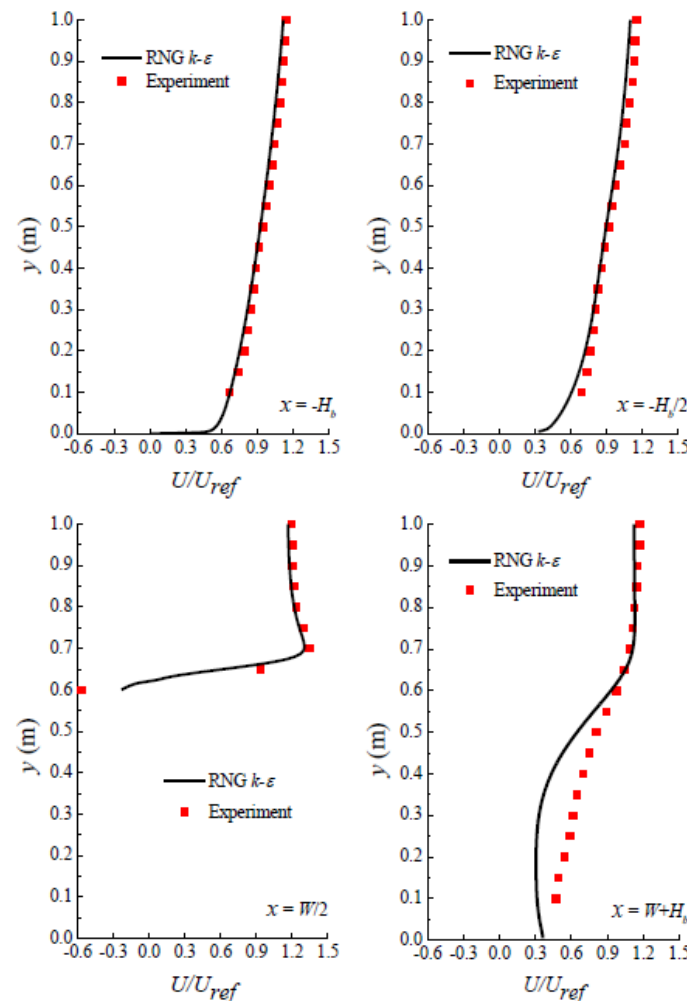
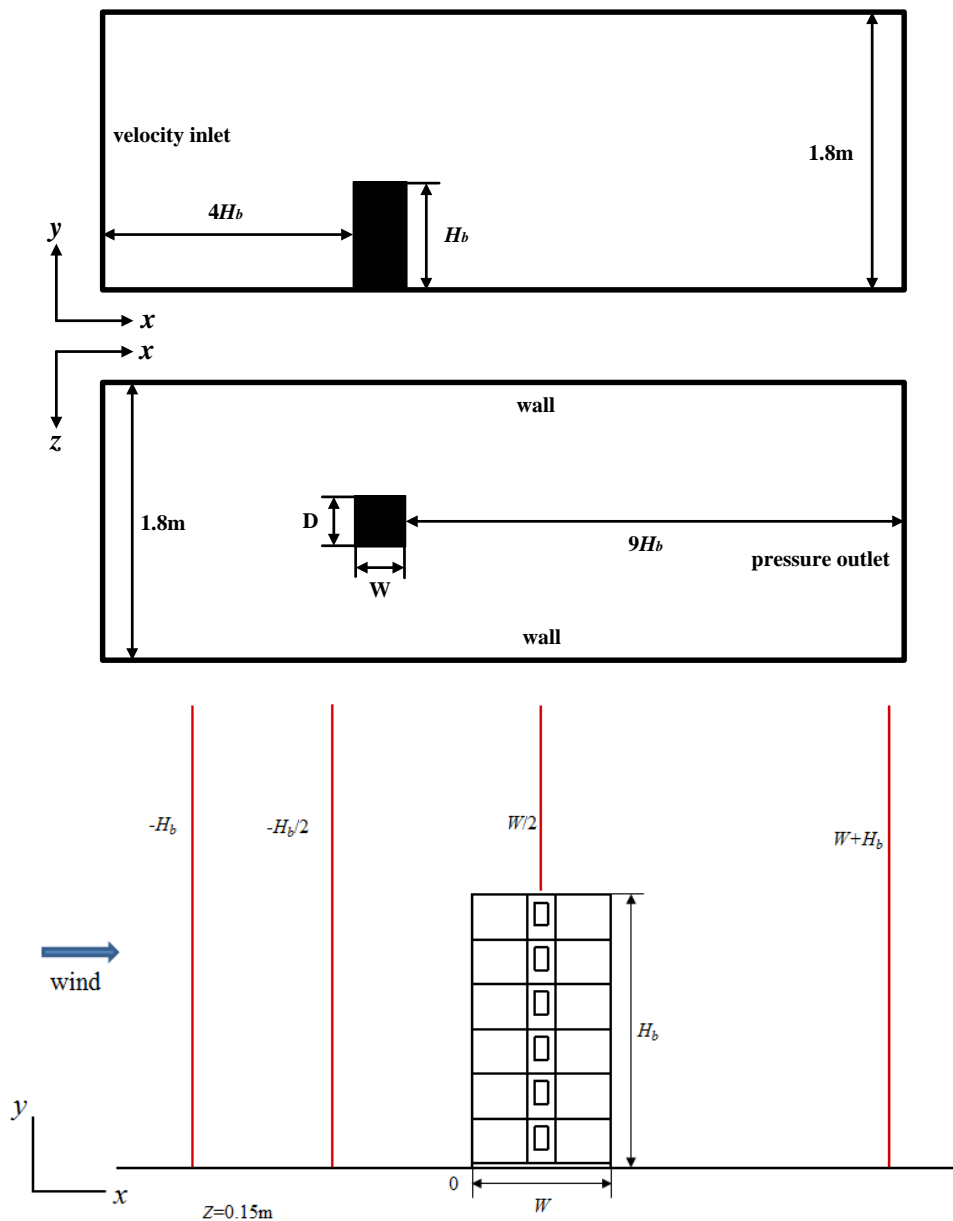
风压作用下来流风向
对污染物跨户传播特
性的影响

风压作用下污染源位
置对污染物跨户传播
特性的影响



Case No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Model	A	B	A	B	A	B	A	B
Wind direction, β	0°	0°	45°	45°	90°	90°	180°	180°

3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内



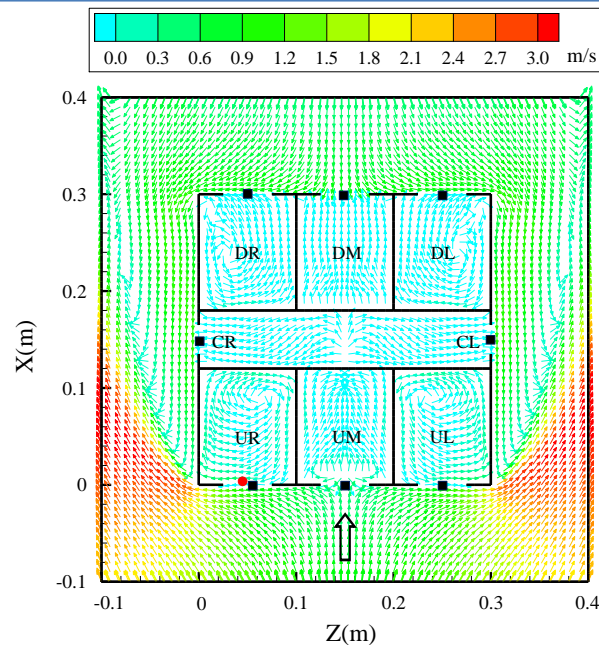
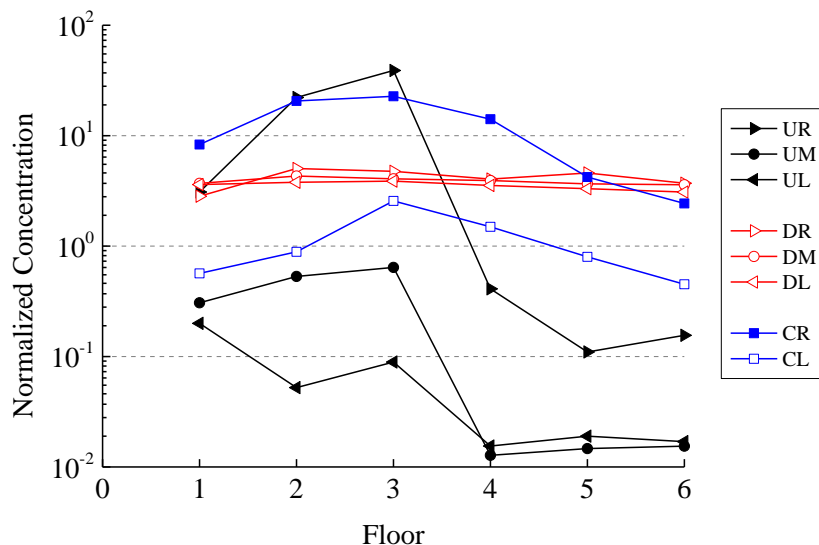
CFD计算出的可视化流场用于辅助风洞实验中污染物浓度分布的分析

3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内

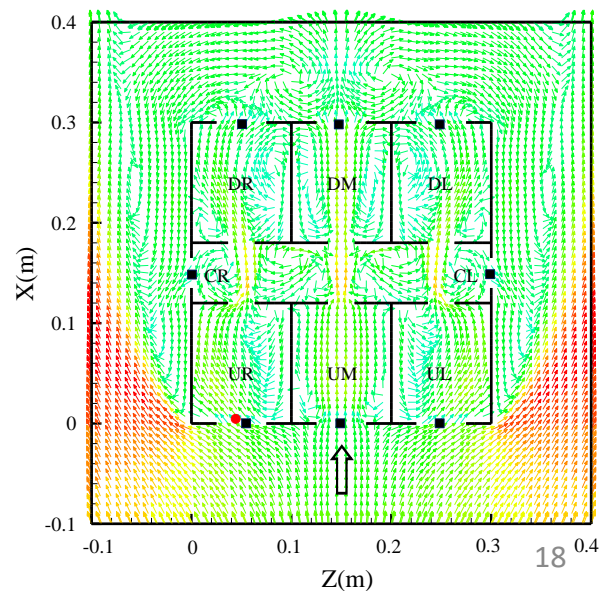
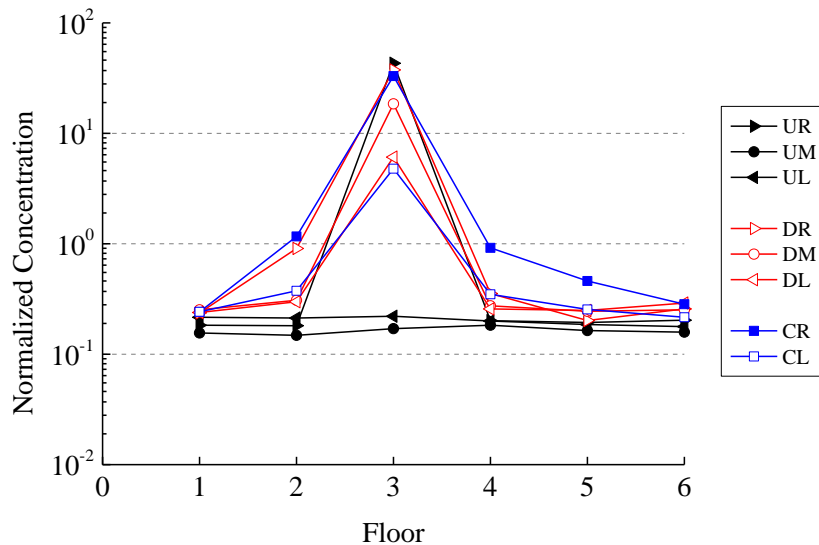
SourceUR3rd, $\beta = 0^\circ$

Model A
Single-sided

$$K = \frac{CU_{ref}H_b^2}{Q_s}$$



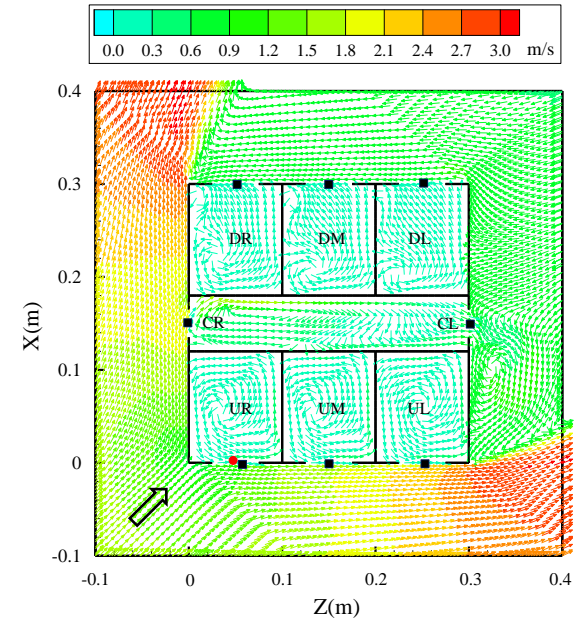
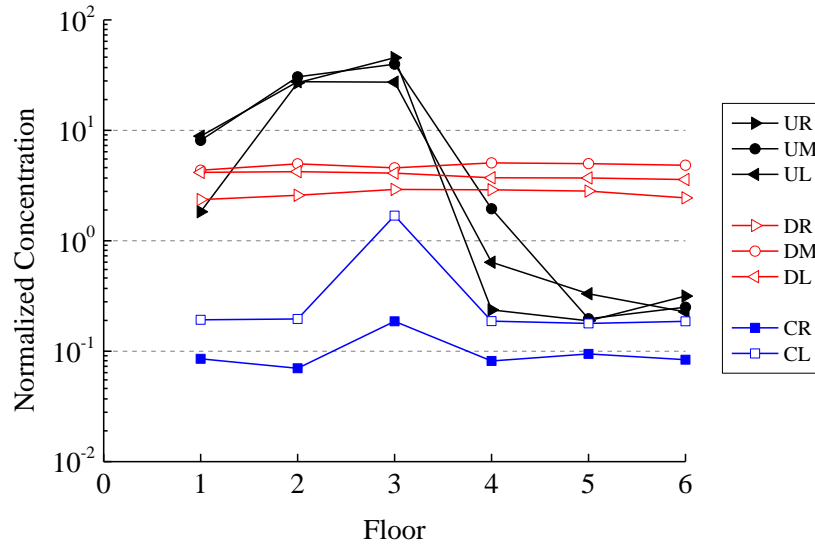
Model B
Cross



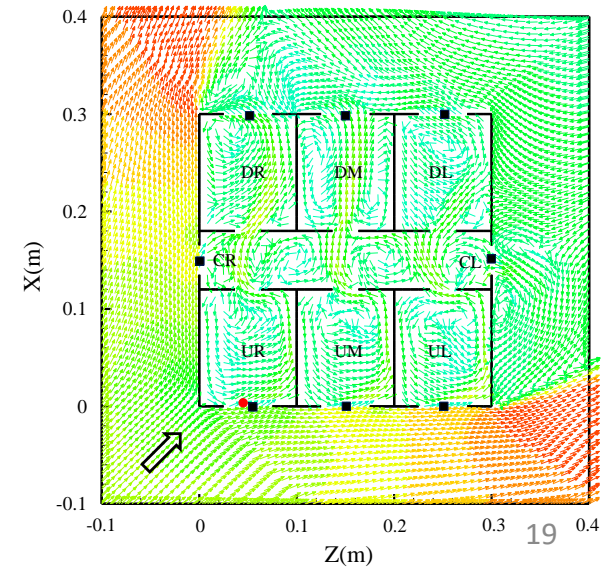
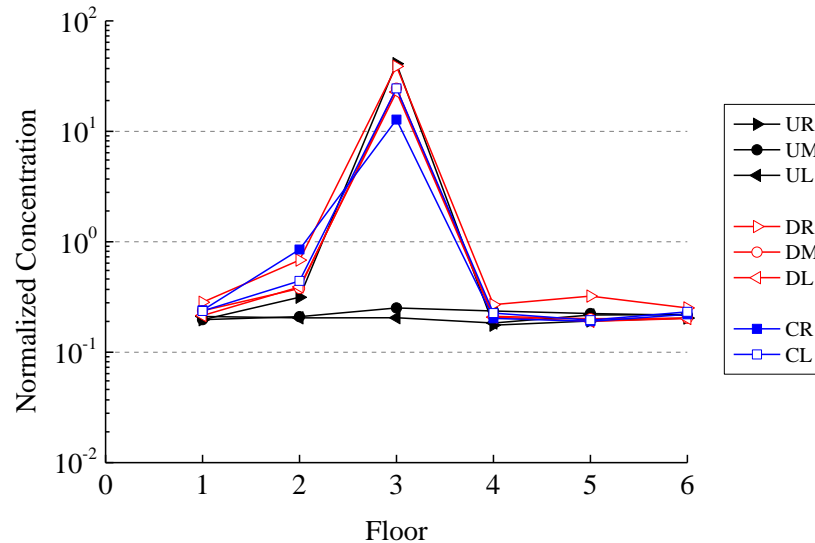
3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内

SourceUR3rd, $\beta = 45^\circ$

Model A
Single-sided



Model B
Cross

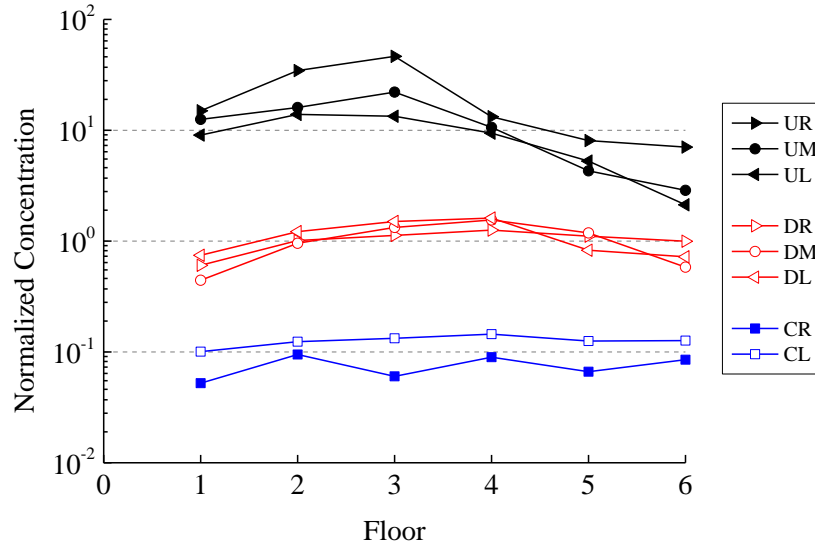


3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内

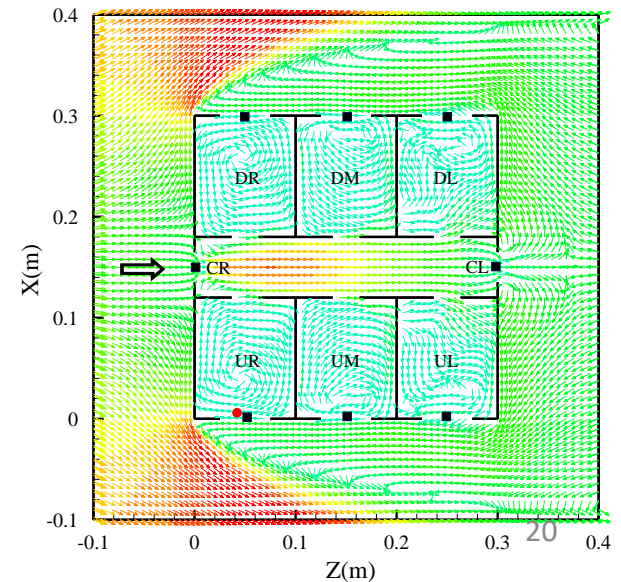
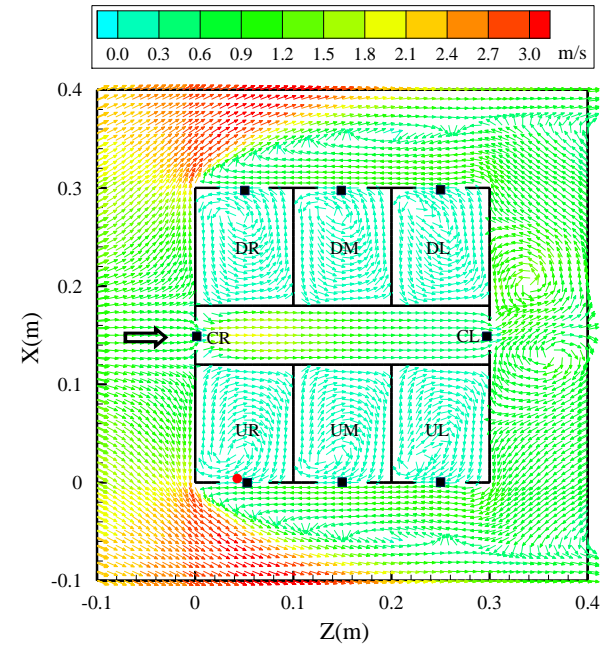
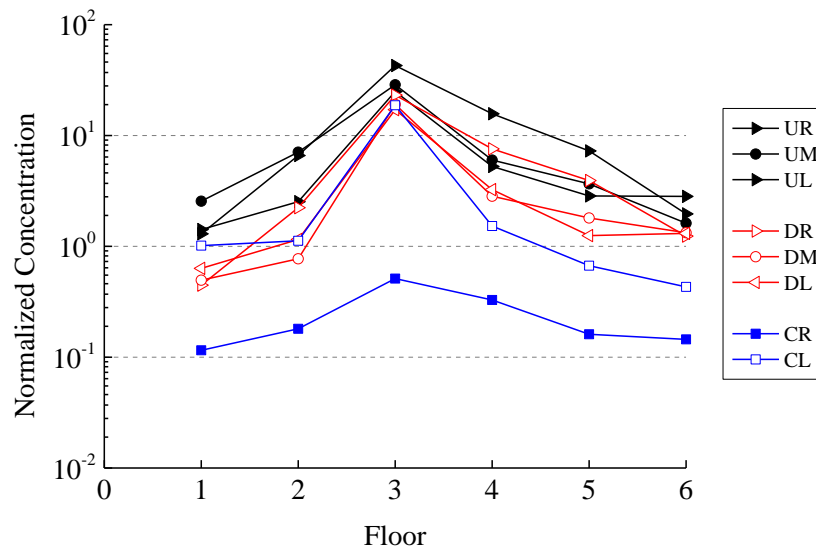


SourceUR3rd, $\beta = 90^\circ$

Model A
Single-sided



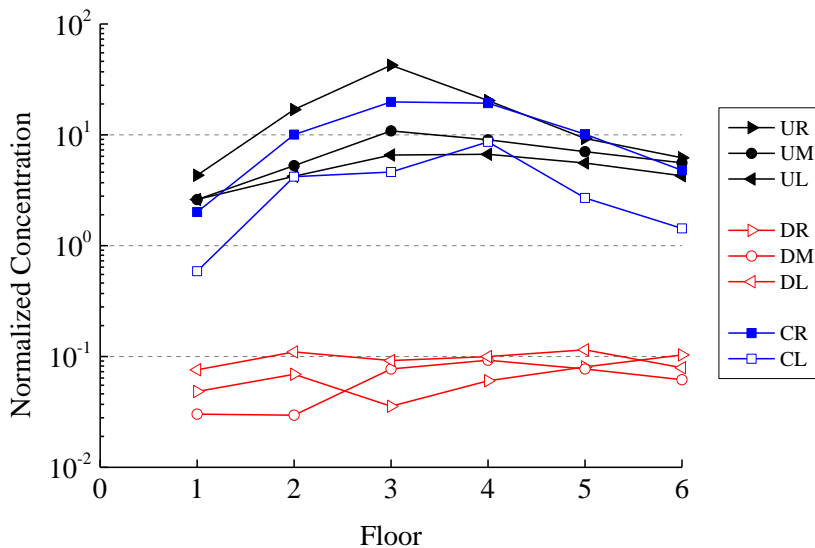
Model B
Cross



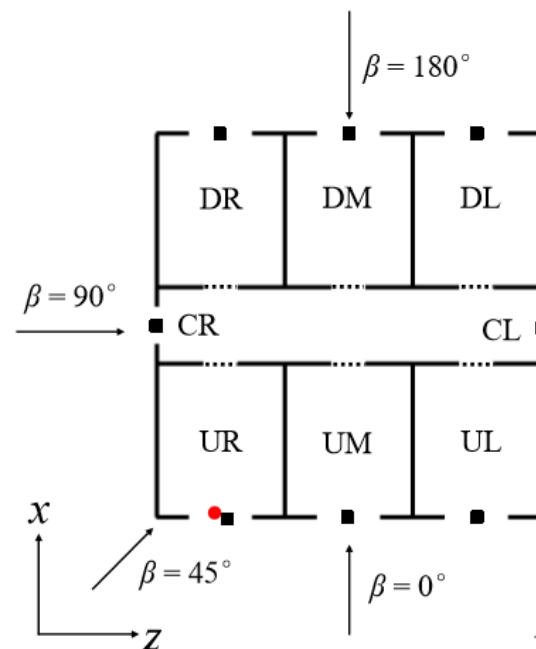
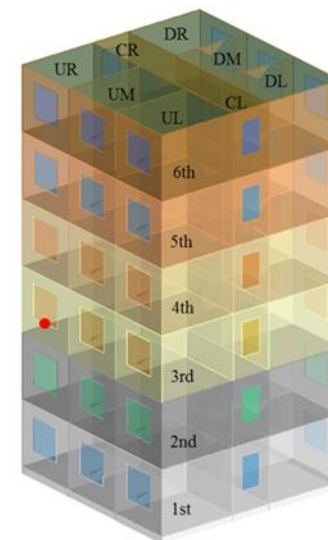
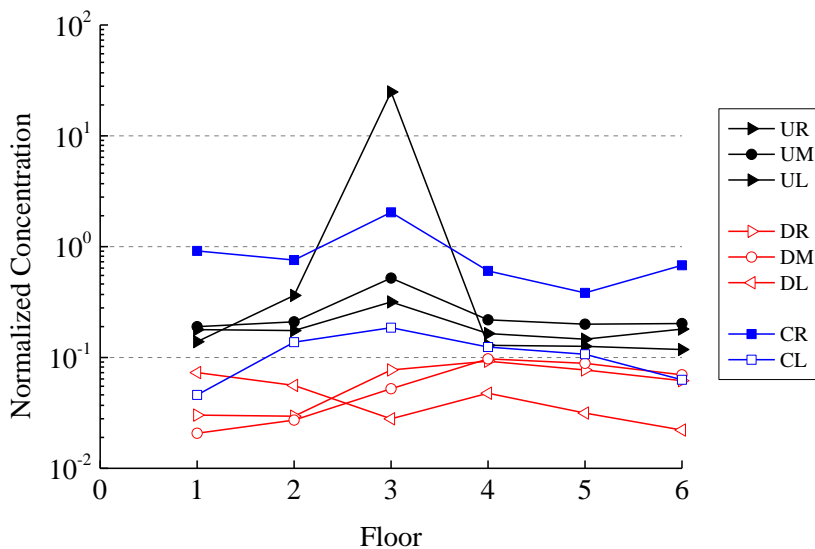
3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内

SourceUR3rd, $\beta = 180^\circ$

Model A
Single-sided



Model B
Cross



3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内

Mu D, Shu C, Gao NP (2016) Building and Environment

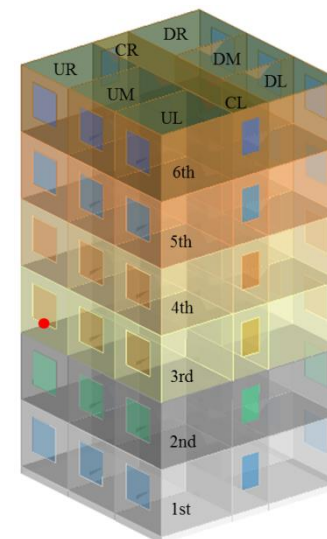
第一部分

第二部分



风压作用下来流风向
对污染物跨户传播特
性的影响

风压作用下污染源位
置对污染物跨户传播
特性的影响



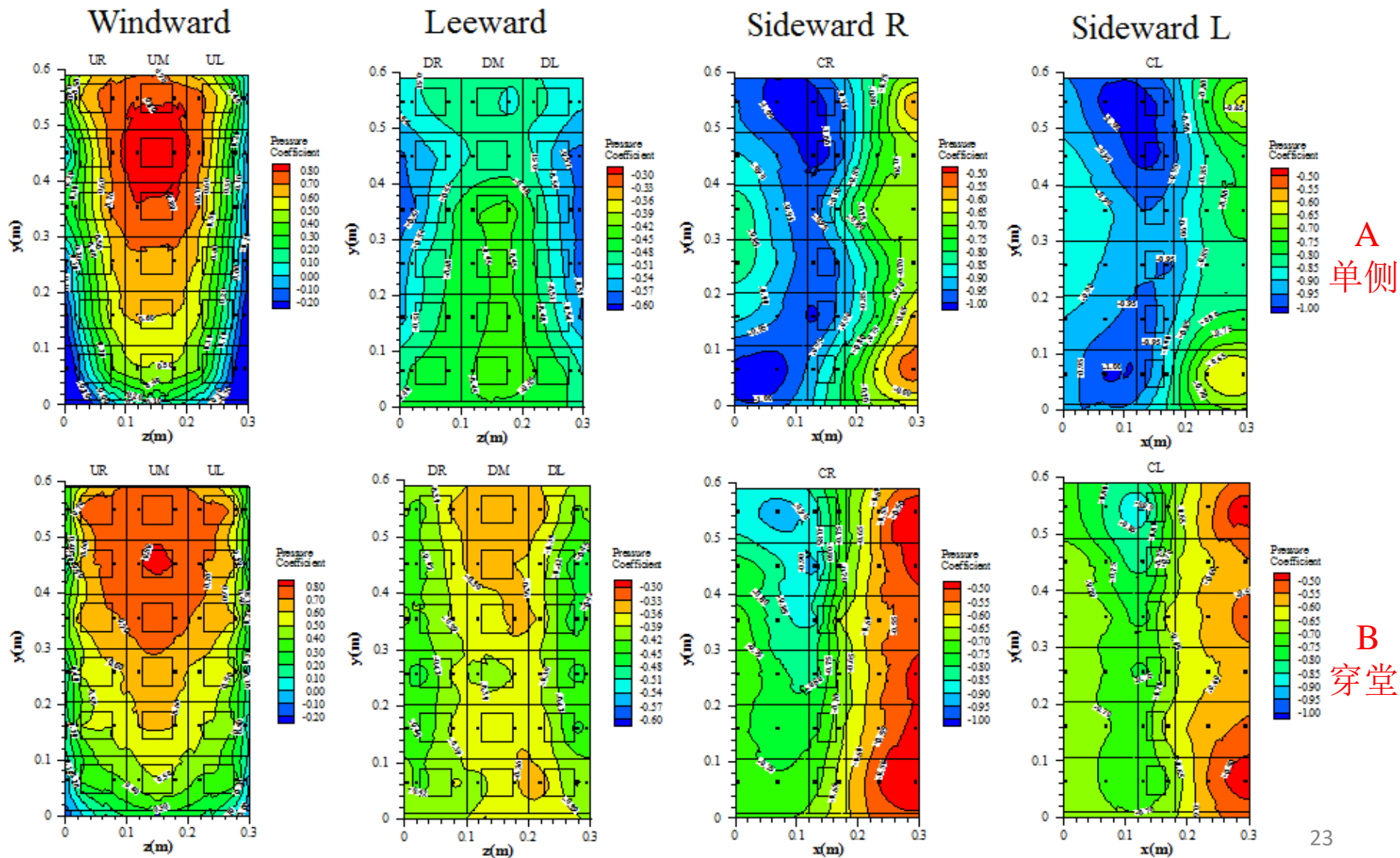
Case No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Source location	Model A Single-sided ventilation												Model B Cross ventilation			
	UM						UR						UM		UR	
	F1st	F2nd	F3rd	F4th	F5th	F6th	F1st	F2nd	F3rd	F4th	F5th	F6th	F3rd	F5th	F3rd	F5th

$$\beta = 0^\circ$$

3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内

❖ 建筑表面风压系数分布, $\beta = 0^\circ$

$$P_c = (p_s - p_{ref}) / 0.5\rho U_{ref}^2$$



3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内



单侧自然通风, $\beta = 0^\circ$

Mu D, Shu C, Gao NP (2016) Building and Environment

Normalized Concentration

(a)Case N1

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	1.87	0.86	0.74	0.76	1.66	3.51	3.30	3.03
F5	2.14	0.75	1.08	0.83	2.43	3.93	3.81	3.77
F4	4.51	0.64	1.02	0.70	3.85	4.52	4.37	4.54
F3	5.98	1.58	1.25	0.67	5.97	5.12	6.30	5.95
F2	11.85	2.01	1.83	0.73	9.57	8.99	8.51	9.05
F1	27.25	83.04	100.00	87.53	32.91	10.63	11.52	13.06

(b)Case N2

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	1.34	0.48	0.65	0.69	1.23	3.01	2.95	2.89
F5	2.47	0.50	0.71	0.55	3.00	3.21	3.37	2.96
F4	3.77	0.43	0.57	0.49	5.17	4.27	4.91	3.90
F3	6.97	0.74	1.06	0.48	7.06	5.57	5.80	5.61
F2	13.69	81.84	100.00	88.41	14.31	7.59	7.59	7.94
F1	21.25	43.57	75.13	44.48	23.99	10.20	9.84	9.36

(c)Case N3

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	1.39	0.28	0.43	0.17	2.52	3.43	4.44	4.67
F5	2.51	0.22	0.39	0.22	3.60	5.34	4.34	4.42
F4	4.58	2.47	0.79	1.94	5.91	5.81	5.68	5.81
F3	15.14	85.30	100.00	84.03	29.77	6.89	7.36	6.73
F2	18.28	47.80	76.47	52.67	16.98	7.97	8.19	8.08
F1	33.52	42.62	49.92	50.31	23.48	10.04	8.77	4.83

(d)Case N4

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	6.39	1.55	5.64	4.34	6.58	5.65	6.25	6.62
F5	11.94	8.54	19.25	11.12	12.34	6.53	6.39	6.97
F4	37.19	90.79	100.00	92.96	47.11	8.11	6.95	7.41
F3	19.76	55.09	81.08	66.32	19.84	7.26	8.05	8.51
F2	11.83	41.90	51.99	37.12	14.97	7.97	7.71	7.57
F1	11.37	17.55	28.70	24.69	10.33	6.45	7.87	7.72

(e)Case N5

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	11.96	25.89	54.20	30.10	12.99	6.88	6.55	6.32
F5	29.49	61.33	100.00	57.65	19.41	5.48	5.90	6.01
F4	19.94	49.73	75.83	33.07	17.88	5.11	4.82	5.42
F3	8.87	27.73	41.54	33.36	9.68	5.25	5.54	4.47
F2	8.27	16.65	9.84	11.84	3.57	5.22	4.86	4.27
F1	3.40	14.60	5.30	5.42	5.28	3.31	3.17	1.76

(f)Case N6

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	49.67	47.05	100.00	53.22	51.33	7.76	7.31	6.97
F5	3.61	0.58	4.87	0.52	5.16	4.36	4.05	5.10
F4	1.49	0.38	1.19	0.36	2.49	2.85	4.41	3.35
F3	1.47	0.38	0.75	0.36	1.44	2.33	2.82	2.81
F2	0.68	0.34	0.65	0.36	0.79	1.95	1.77	1.59
F1	0.61	0.35	0.47	0.36	0.64	0.58	1.16	0.63

Source: Windward UM column

Normalized Concentration

(a)Case N7

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	1.53	1.81	0.07	0.03	1.82	3.54	4.36	4.47
F5	4.27	0.73	0.14	0.04	3.46	4.90	5.30	5.86
F4	7.18	0.55	0.15	0.03	3.73	6.70	6.69	6.23
F3	14.22	0.58	0.14	0.09	5.37	8.91	8.61	9.19
F2	27.63	0.75	0.12	0.06	10.33	9.23	11.07	14.65
F1	58.17	100.00	0.46	0.14	13.41	12.41	16.51	6.12

(b)Case N8

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	2.89	0.99	0.03	0.03	2.06	5.54	6.47	7.07
F5	12.34	0.53	0.03	0.03	2.49	6.88	7.12	7.33
F4	17.13	0.46	0.05	0.03	5.35	8.43	8.34	9.56
F3	31.10	0.51	0.09	0.10	9.61	10.82	9.68	11.95
F2	49.01	100.00	1.21	0.33	18.41	10.46	12.20	11.87
F1	54.05	69.02	0.31	0.11	9.98	12.96	12.38	6.06

(c)Case N9

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	6.25	0.40	0.04	0.04	1.16	7.92	9.23	9.53
F5	10.84	0.28	0.04	0.05	2.05	8.50	9.39	11.80
F4	36.18	1.05	0.03	0.04	3.84	9.10	10.07	10.37
F3	58.36	100.00	1.65	0.23	6.59	9.94	10.44	12.21
F2	52.93	56.90	1.36	0.13	2.28	9.71	11.07	12.94
F1	21.33	7.93	0.79	0.51	1.45	9.26	9.49	7.26

(d)Case N10

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	16.05	0.94	0.10	0.03	4.00	7.28	8.21	9.67
F5	28.66	2.03	0.13	0.03	8.81	8.02	9.04	9.69
F4	39.27	100.00	1.00	0.41	13.69	8.22	8.18	9.79
F3	25.32	86.94	0.52	0.18	11.93	6.60	7.47	8.21
F2	12.40	6.67	0.26	0.11	5.75	4.53	6.07	5.42
F1	5.48	1.34	0.19	0.03	2.05	4.34	4.50	1.30

(e)Case N11

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	35.21	18.29	0.07	0.03	9.54	6.99	7.91	10.76
F5	56.91	100.00	0.61	0.22	49.19	6.16	7.55	8.65
F4	16.24	10.63	0.13	0.14	6.88	6.12	5.69	6.08
F3	3.79	1.37	0.04	0.05	3.42	4.28	5.31	4.14
F2	1.36	0.37	0.05	0.04	1.41	3.24	3.71	3.06
F1	0.47	0.17	0.06	0.07	0.83	1.81	2.35	1.04

(f)Case N12

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	55.91	100.00	0.18	0.08	49.31	6.64	7.57	9.70
F5	10.44	6.31	0.13	0.07	7.43	4.85	6.28	5.48
F4	3.54	1.35	0.16	0.10	3.03	4.01	4.11	3.47
F3	1.00	0.75	0.13	0.14	1.78	2.72	4.24	3.38
F2	0.48	0.64	0.21	0.08	1.08	2.83	2.98	2.20
F1	0.41	0.38	0.10	0.10	0.65	1.38	1.98	0.75

Source: Windward UR column

$$K = \frac{100C}{C_s}$$

3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内



穿堂风, $\beta = 0^\circ$

Normalized Concentration

(a)Case N13

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	0.27	0.41	0.52	0.52	0.27	0.37	0.48	0.31
F5	0.43	0.43	0.51	0.53	0.37	0.38	0.37	0.28
F4	1.08	0.46	0.51	0.53	0.53	0.50	0.34	0.34
F3	58.22	0.51	100.00	0.58	57.38	43.66	86.21	42.29
F2	0.71	0.49	0.39	0.57	0.35	0.53	0.91	0.46
F1	0.38	0.50	0.39	0.57	0.50	0.43	0.60	0.36

(b)Case N14

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	0.28	0.38	0.54	0.43	0.29	0.45	0.50	0.39
F5	59.92	0.40	100.00	0.45	60.79	44.37	90.01	45.58
F4	0.55	0.44	0.59	0.48	1.13	0.54	0.35	0.52
F3	0.39	0.41	0.60	0.53	0.45	0.46	0.39	0.40
F2	0.37	0.36	0.52	0.51	0.74	0.60	0.95	0.45
F1	0.52	0.38	0.49	0.52	0.40	0.50	0.63	0.55

(c)Case N15

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	0.66	0.47	0.37	0.41	0.50	0.67	0.58	0.60
F5	1.07	0.45	0.38	0.43	0.59	0.58	0.57	0.47
F4	2.13	0.47	0.42	0.46	0.81	0.60	0.64	0.82
F3	76.46	100.00	0.40	0.51	11.09	14.14	42.87	86.98
F2	2.70	0.42	0.34	0.49	0.87	0.69	0.71	1.10
F1	0.56	0.42	0.36	0.50	0.56	0.55	0.58	0.55

(d)Case N16

	CR	UR	UM	UL	CL	DL	DM	DR
F6	0.60	0.49	0.46	0.42	0.47	0.64	0.55	0.55
F5	76.29	100.00	0.49	0.38	13.32	14.83	44.35	85.75
F4	2.96	0.46	0.51	0.34	0.47	0.60	0.51	0.33
F3	2.17	0.49	0.43	0.39	0.40	0.58	0.52	0.71
F2	0.65	0.43	0.50	0.36	0.25	0.66	0.55	0.85
F1	0.67	0.44	0.41	0.36	0.51	0.60	0.50	0.41

3. 户内→建筑外部空间(&内部)→户内



- 污染源在建筑迎风侧或背风侧时，相较于单侧自然通风，穿堂风可抑制污染物的垂直跨户传播；
- 污染源在建筑侧面时，相较于单侧自然通风，穿堂风可增强污染物的水平跨户传播；
- 不论是在单侧自然通风还是穿堂风形式的建筑中，建筑背风侧的房间都较易受到影响，前者背风侧房间的污染物浓度低于污染源浓度1个数量级，后者背风侧房间的污染物浓度与污染源浓度在同一个数量级或低于污染源浓度1个数量级。



目录 Contents

- 1 污染物跨户传播研究背景及若干问题
- 2 “户内→建筑外部空间→户内”的传播路径
- 3 “户内→建筑内部垂直通道→户内”的传播路径
- 4 思考与展望



4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

热压作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

耦合作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

第二部分

第一部分

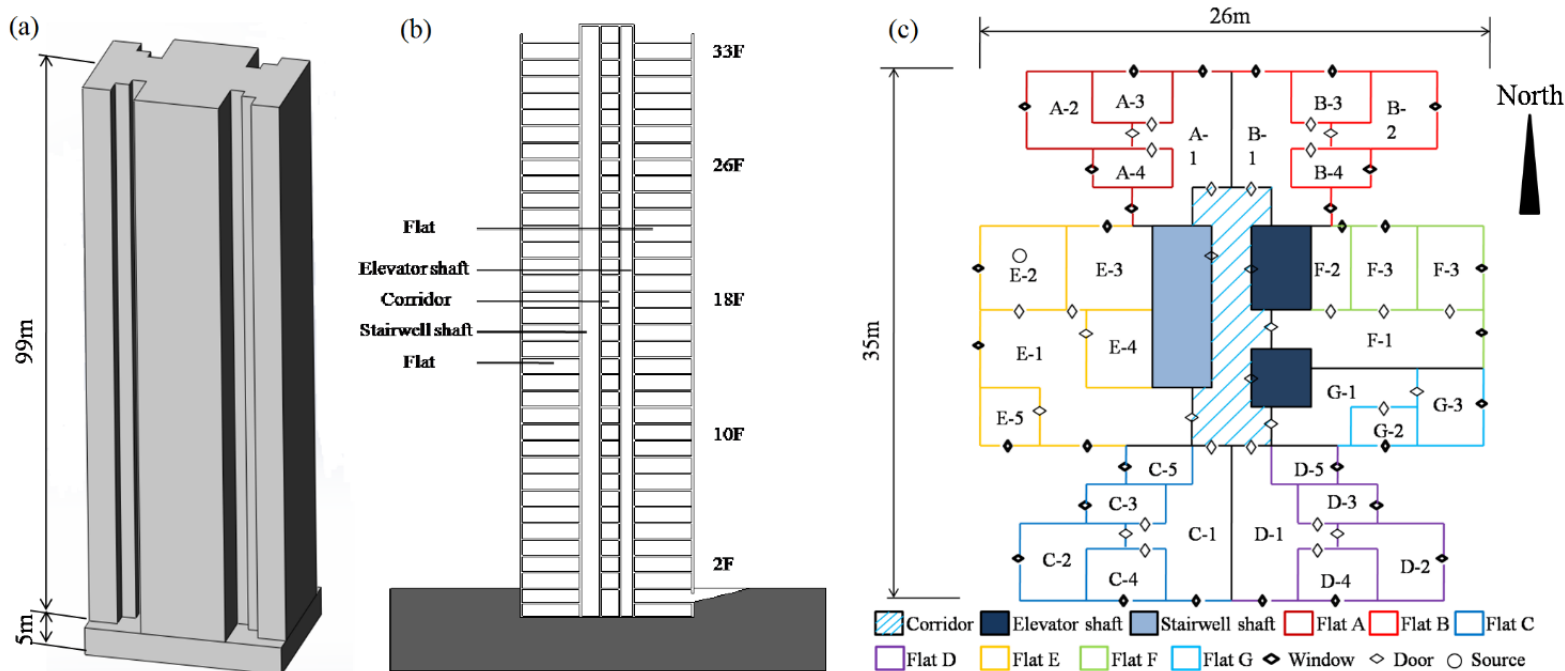
第三部分

风压作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

Mao JC, Yang WW, Gao NP (2015) *Building and Environment*, Vol.94, pp. 543-557.
Yang WW, Gao NP (2015) *International Journal of Ventilation*, Vol.14, no.2, pp. 191-208.

4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

❖ 目标建筑物理模型及各层结构



建筑各个部位的渗透系数

Item	Building component	Air leakage data	References
Exterior wall	Window	0.72cm ² /lms (ELA4)	(ASHRAE, 2005)
	Wall	0	/
Door	Swing door	430CMH at 50Pa	(Jo et al., 2007)
	Stairwell door	120cm ² /ea (ELA10)	(Jo et al., 2007)
	Elevator door	325cm ² /ea (ELA10)	(Jo et al., 2007)
	Residential entrance door	70cm ² /ea (ELA10)	(Jo et al., 2007)
	Internal door	21cm ² /ea (ELA4)	(ASHRAE, 2005)
Other	Top of the elevator shaft	Equivalent orifice area of 1.0 m ²	(Jo et al., 2007)

建筑各个位置的渗透系数是多区模拟 (CONTAM) 最重要的边界条件之一, 会对模拟的准确性产生重要影响。

4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

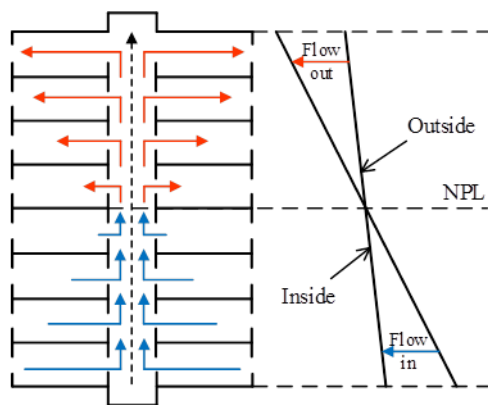
热压作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

耦合作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

第二部分

第一部分

第三部分

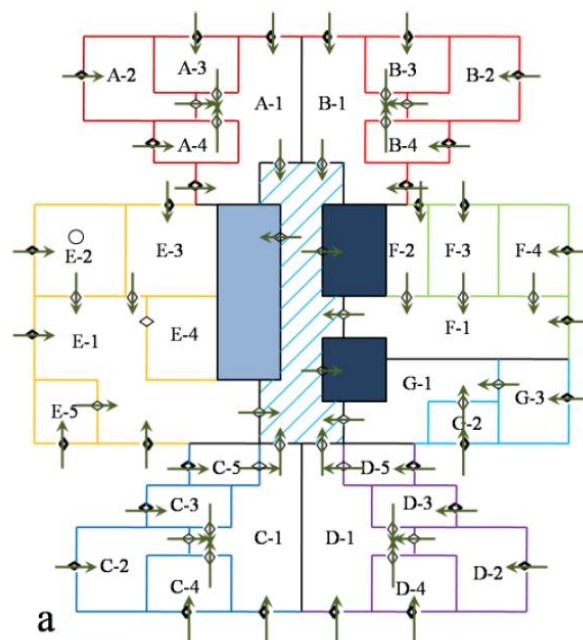
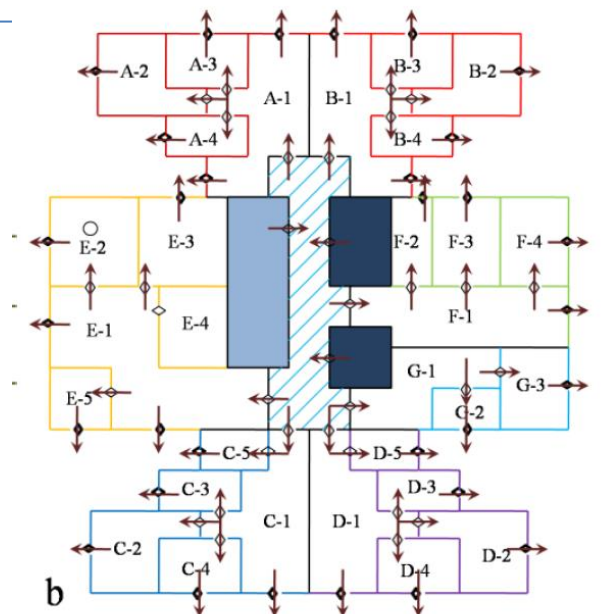
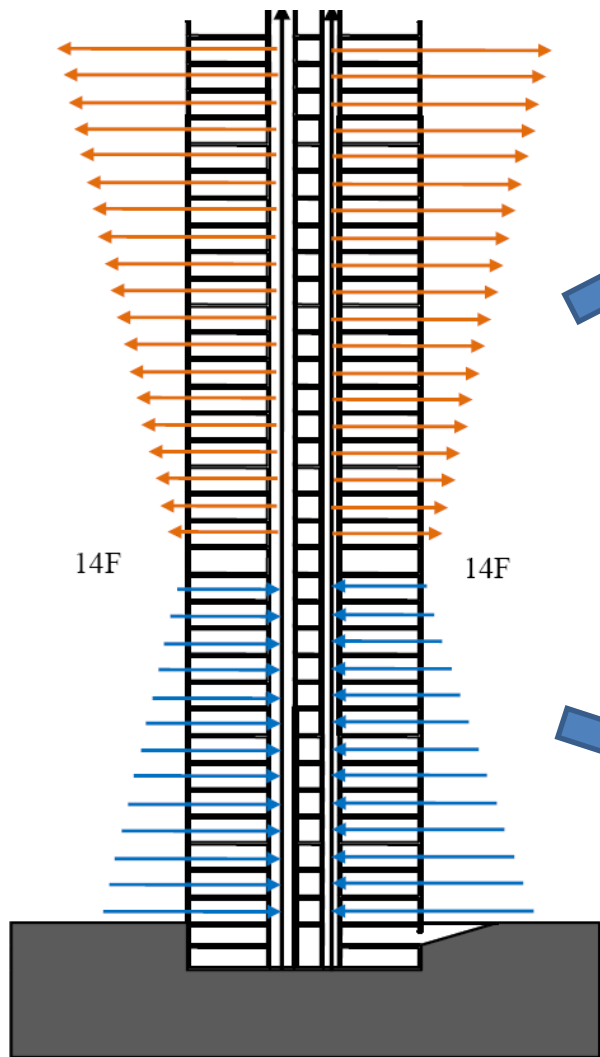


(a) Stack effect only

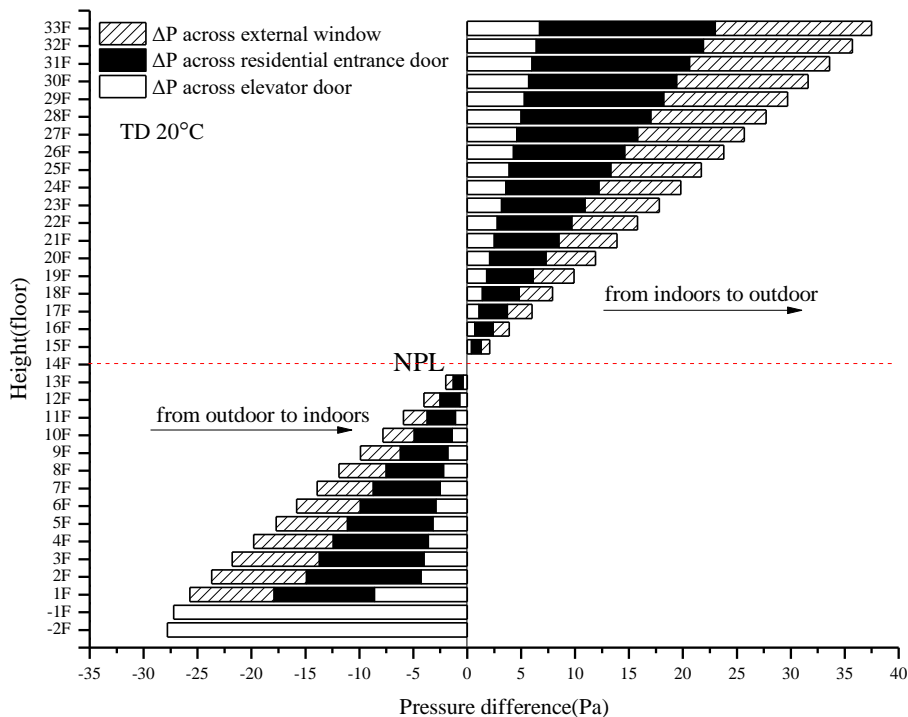
风压作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

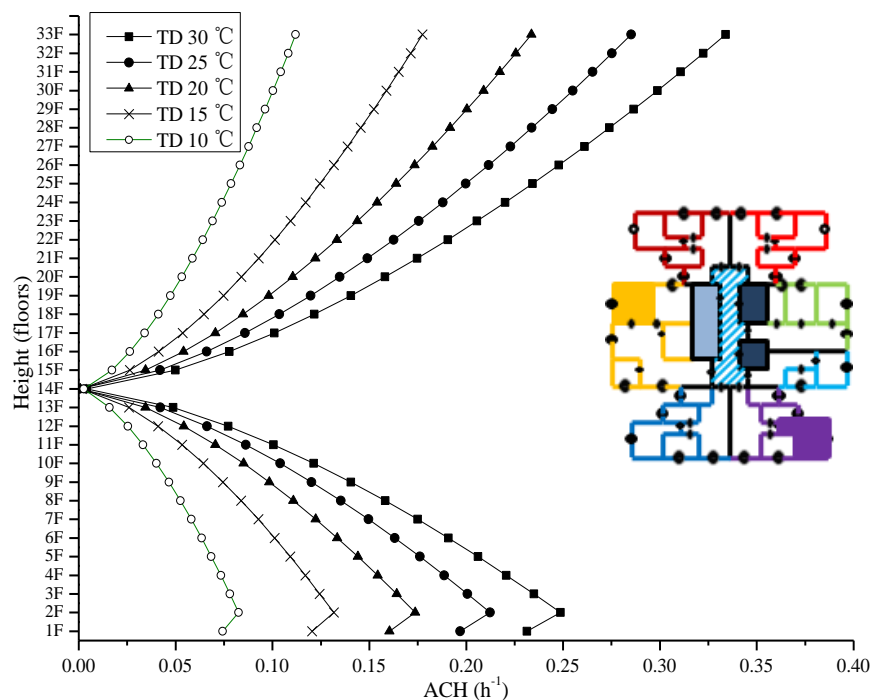
Part I: 热压作用



Part I: 热压作用



建筑各层不同部位的压差分布
(室内外温差20°C)



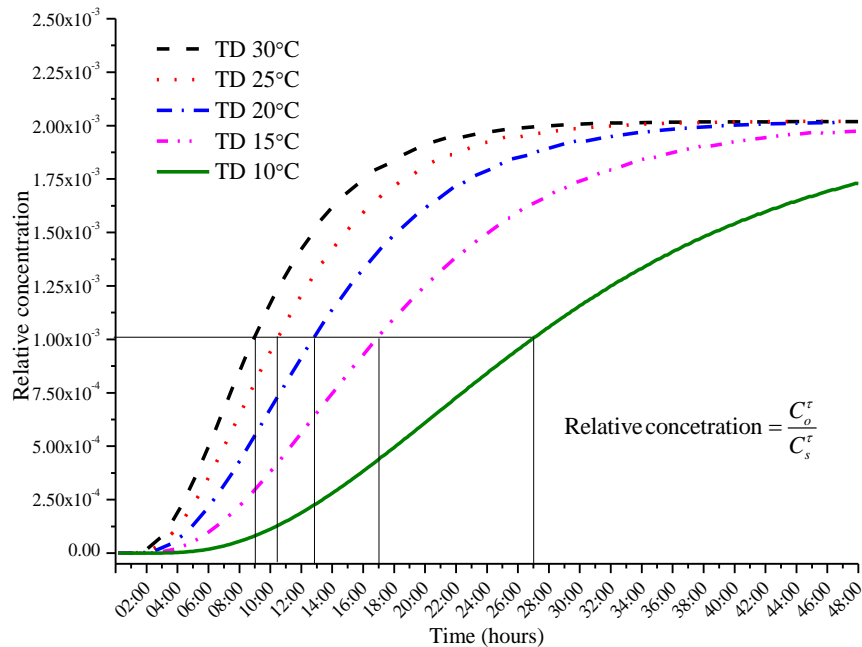
不同室内外温差下各层E-2房间内的换气次数

- ✓ 建筑各层不同部位的压差在竖直高度方向上线性增长，NPL（Neutral Pressure Level，压力中和面）在中间高度；
- ✓ 当门窗都关闭时，各层室内的换气次数ACH均小于0.5次/h。

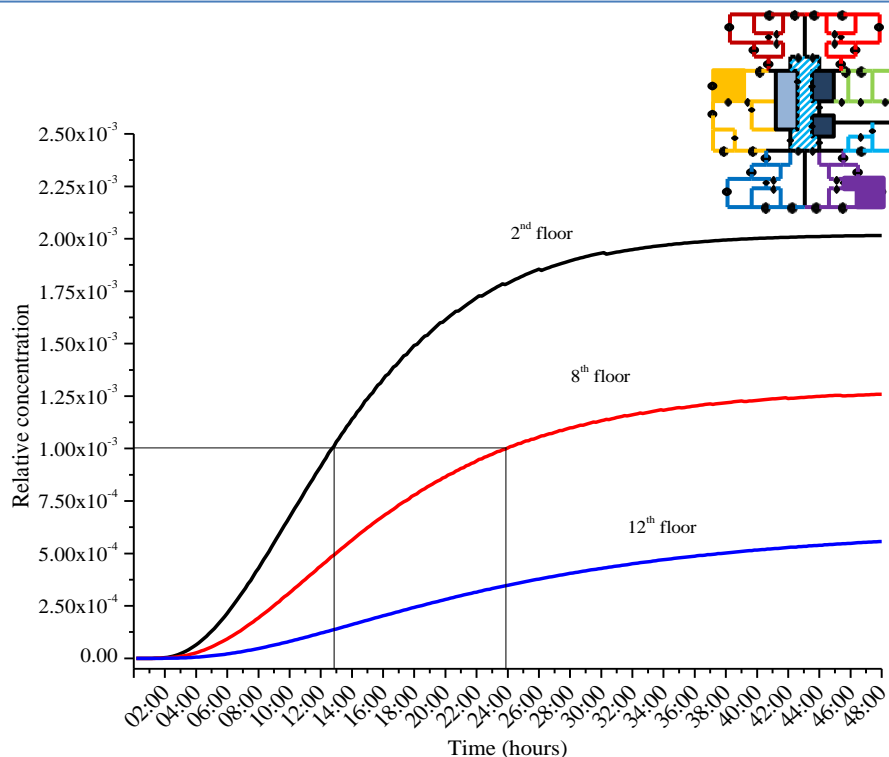
4. 户内→建筑内部垂直通道→户内



Part I: 热压作用



不同温差下顶层E-2房间中污染物浓度变化
(污染源位置: 2层的E-2房间)



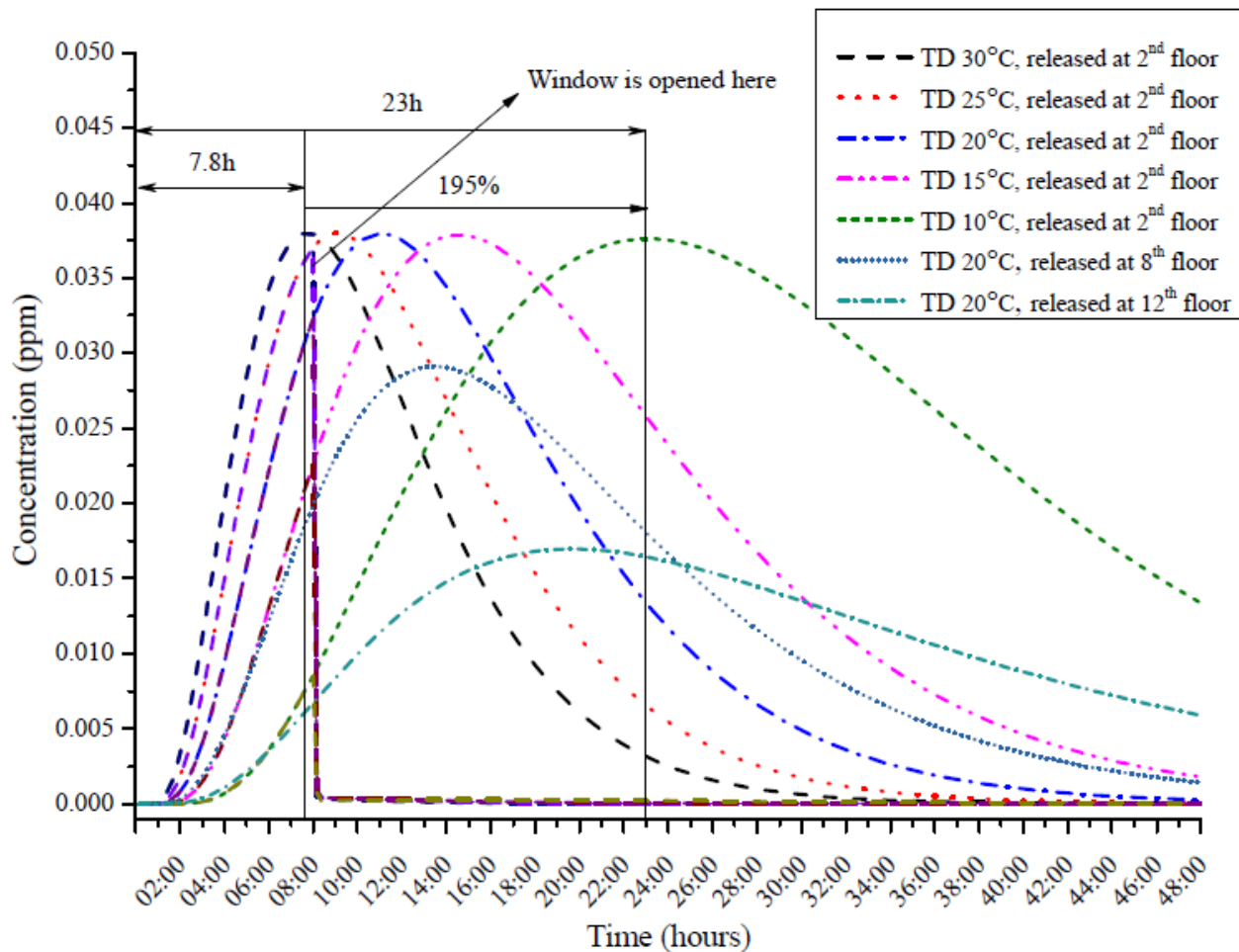
污染源位置不同时顶层E-2房间中污染物浓度变化
(温差TD=20° C).

持续性污染源

- ✓ 室内外温差的增大, 意味着更快的污染物传播速度和更低的污染物稳定浓度。
- ✓ 顶层E-2房间最终的污染物浓度低于污染源房间3个数量级。
- ✓ 污染源从2楼上升到12楼后, 目标房间内的污染物相对浓度降低了1个数量级。

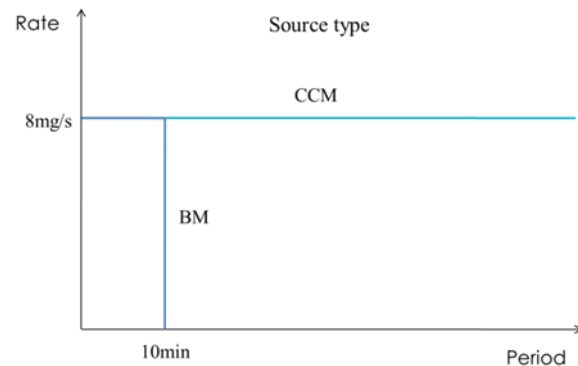
4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

Part I: 热压作用



顶层E-2房间中污染物浓度随时间的变化

(污染源位置: 不同楼层的E-2房间)



爆发性污染源

- ✓ 污染物浓度随时间分布呈现单峰状;
- ✓ 峰值大小仅取决于污染源位置高低, 而达到峰值浓度所需要的时间则与污染源位置和室内外温差均有关系;
- ✓ 开启外窗会在室内形成单侧自然通风, 能够使室内污染物浓度几乎立即降低到零。



4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

热压作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

耦合作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

第二部分

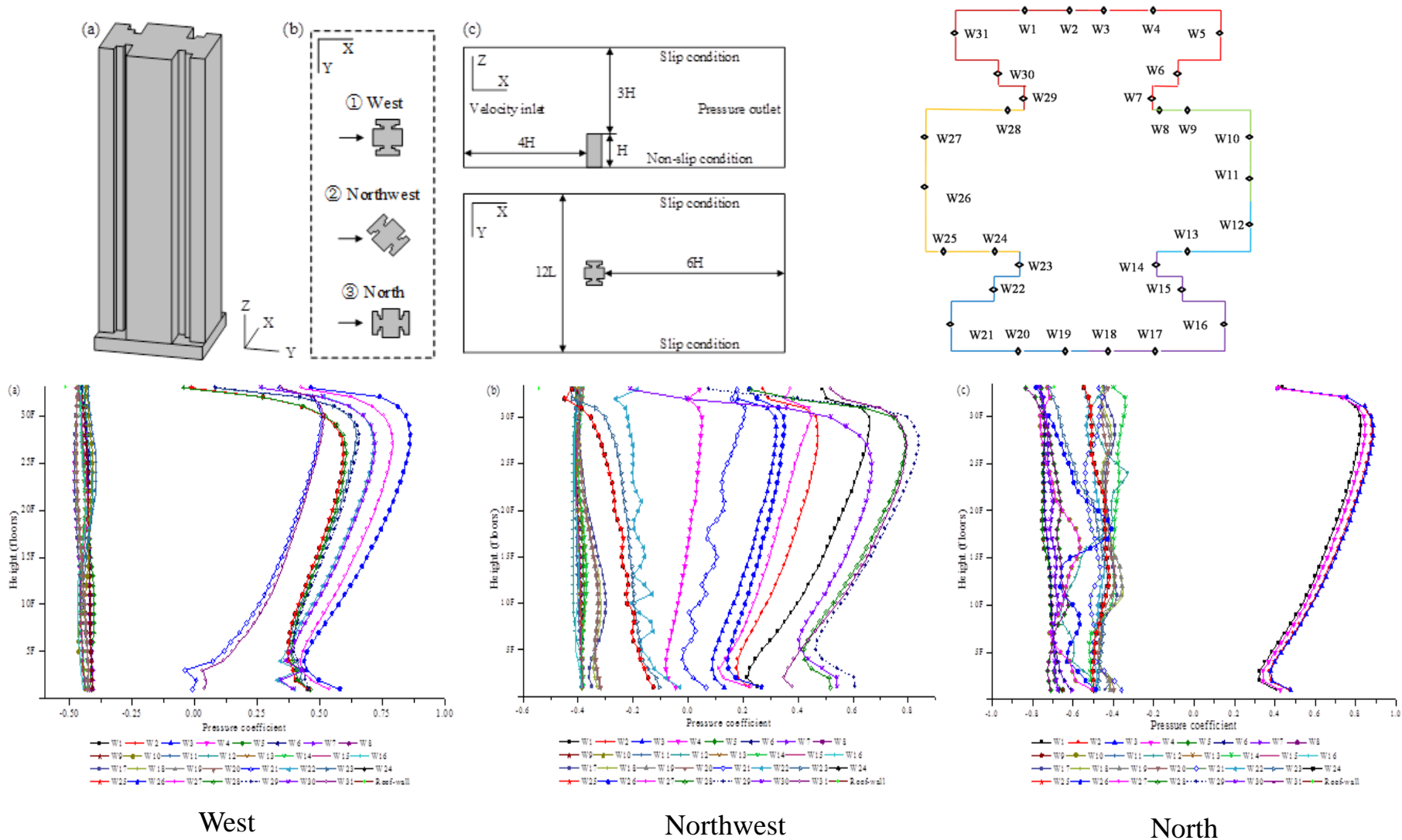
第一部分

第三部分

风压作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

❖ Part II: 风压作用

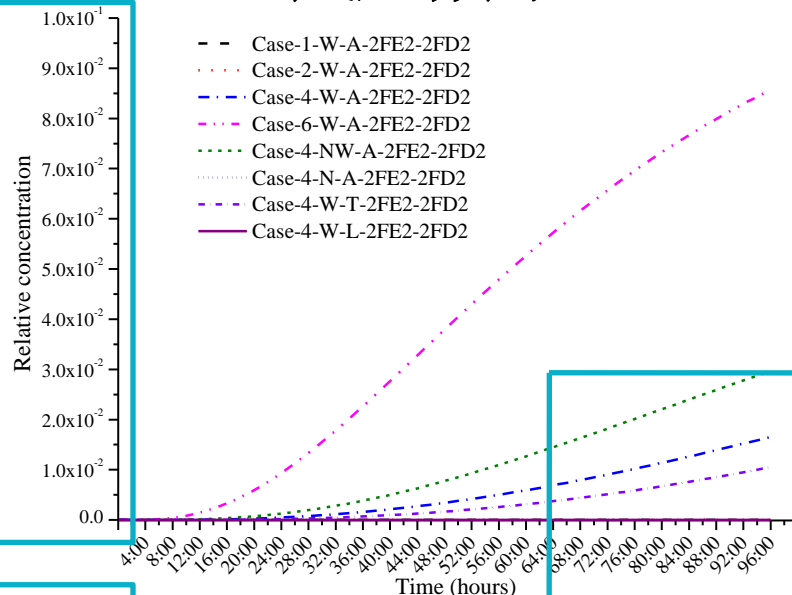


CFD计算建筑外窗风压系数作为CONTAM多区模拟的边界条件之一

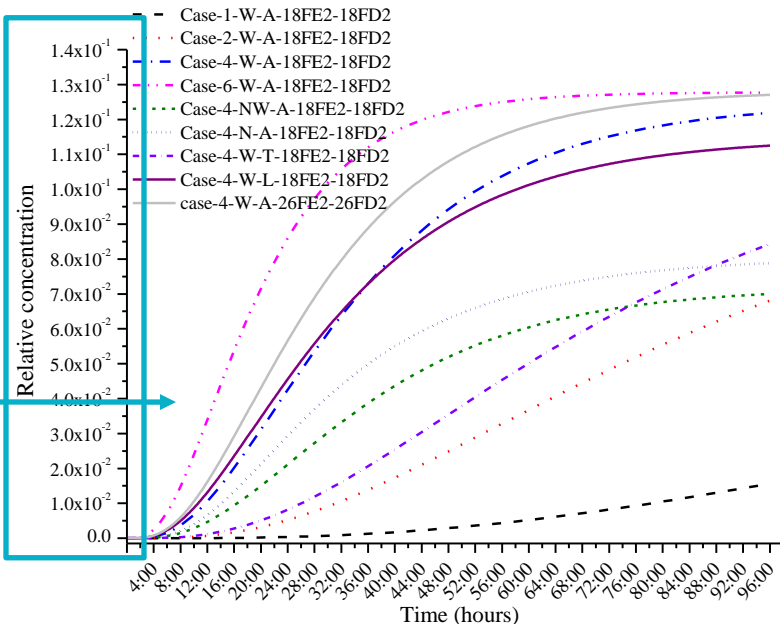
4. 户内→建筑内部垂直通道→户内



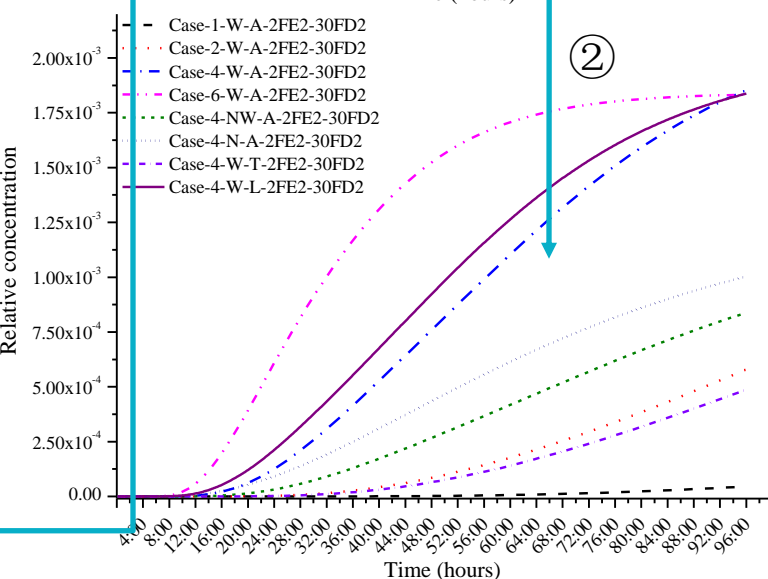
Part II: 风压作用



①



②

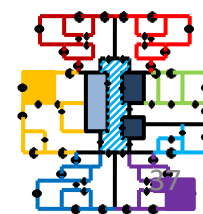


Case命名规则

Case-Velocity-Direction-Air tightness level-Source-Infected

对比①: 18FE2→18FD2 传播趋势强于 2FE2→2FD2

对比②: 2FE2→2FD2 传播趋势强于 2FE2→30FD2



4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

热压作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

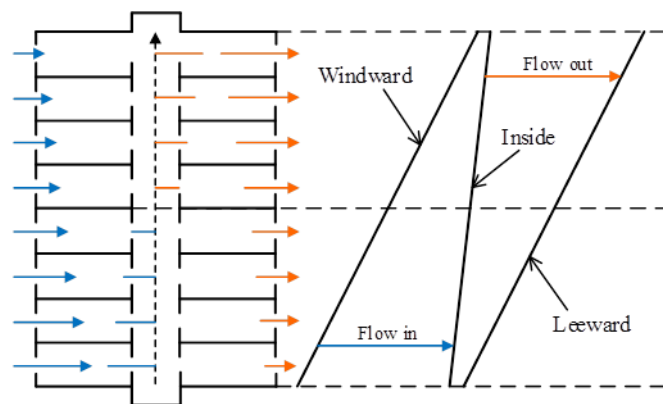
耦合作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究

第二部分

第一部分

第三部分

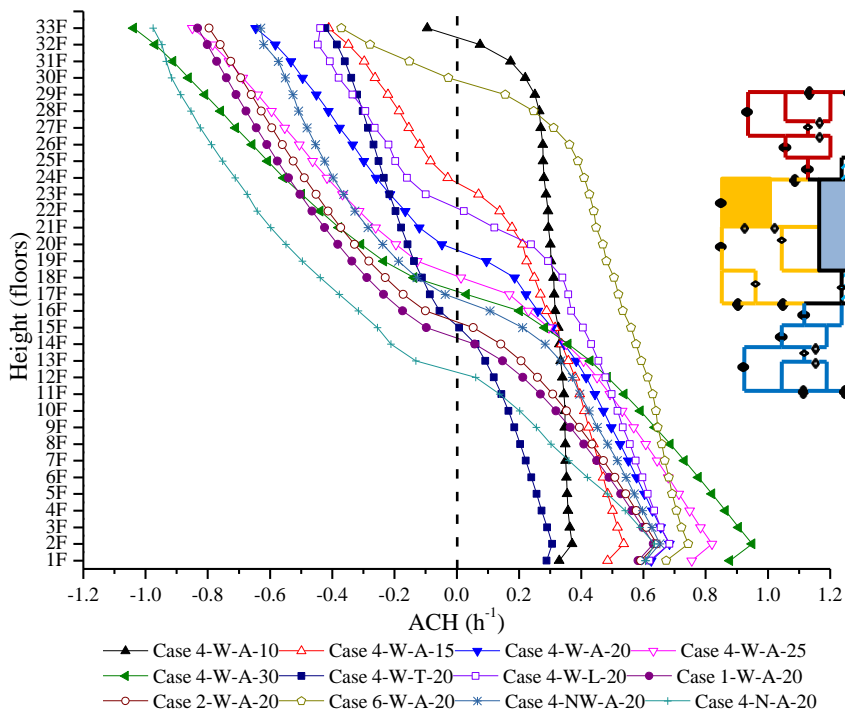
风压作用下建筑内部污染物跨户传播特性研究



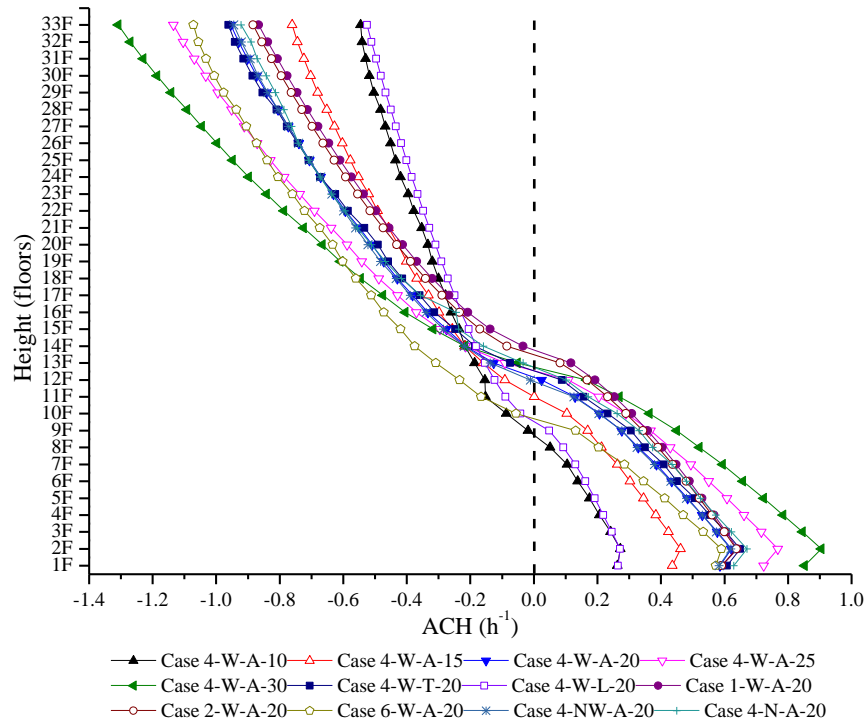
(b) Combined stack and wind effect³⁸

4. 户内→建筑内部垂直通道→户内

Part III: 耦合作用



各层 E-2 房间换气次数



各层 D-2 房间的换气次数

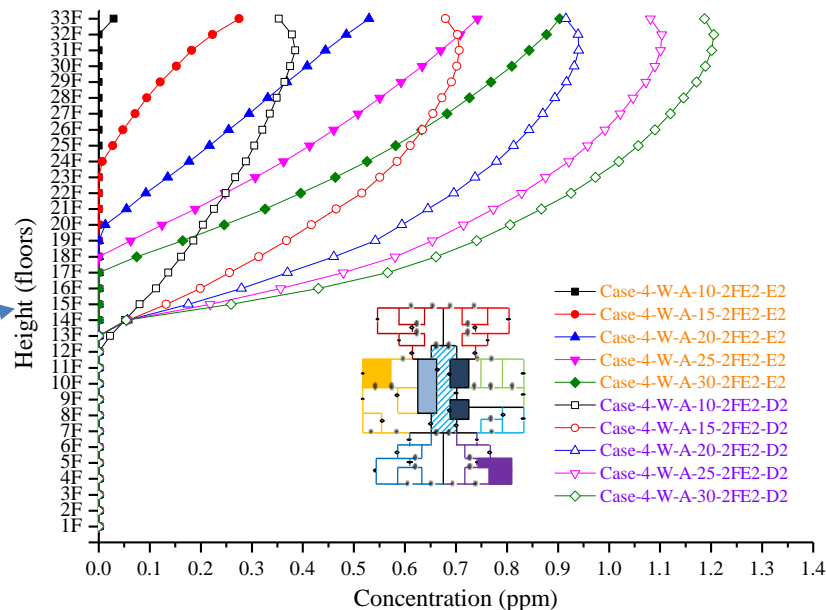
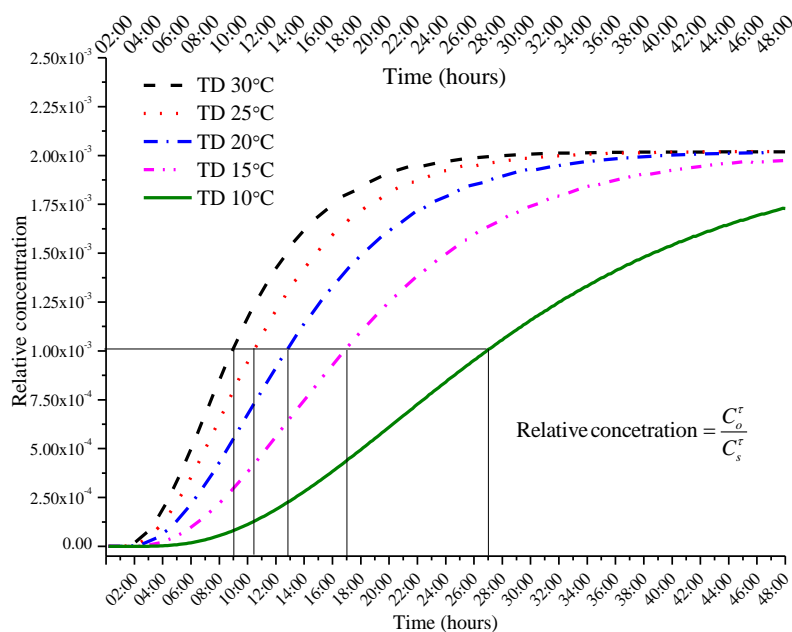
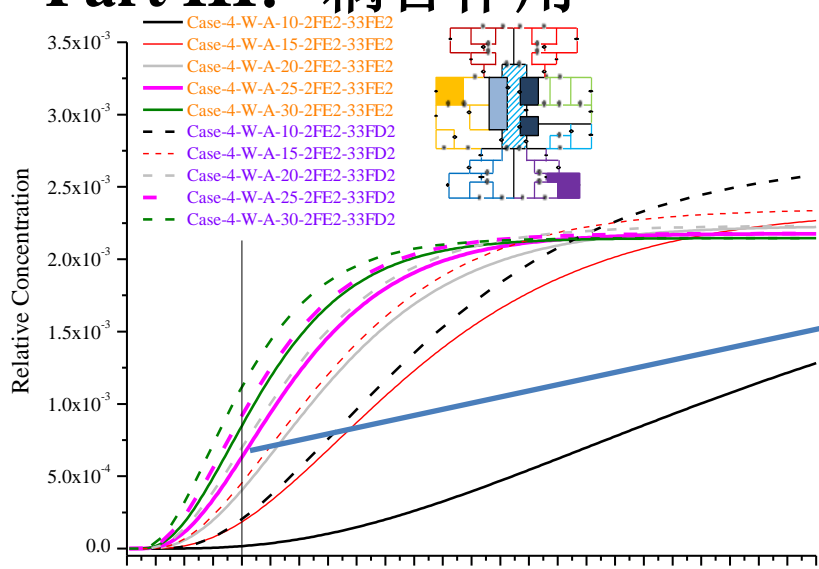
✓不同条件下迎风面上的压力中和面 (ACH=0) 位置变化较大, 而背风面上压力中和面位置变化较小; 相同条件下迎风面压力中和面位置高于背风面。

✓室内外温差增大, 建筑压力中和面位置下移; 室外风速越大, 建筑外墙的压力中和面位置升高, 建筑内房间的换气次数增加; 建筑外窗气密性的提高, 降低了压力中和面位置和室内换气次数。

4. 户内→建筑内部垂直通道→户内



Part III: 耦合作用



温差的影响

✓室内外温差越大，污染物传播速度越快，迎风面受传播的起始楼层越低；

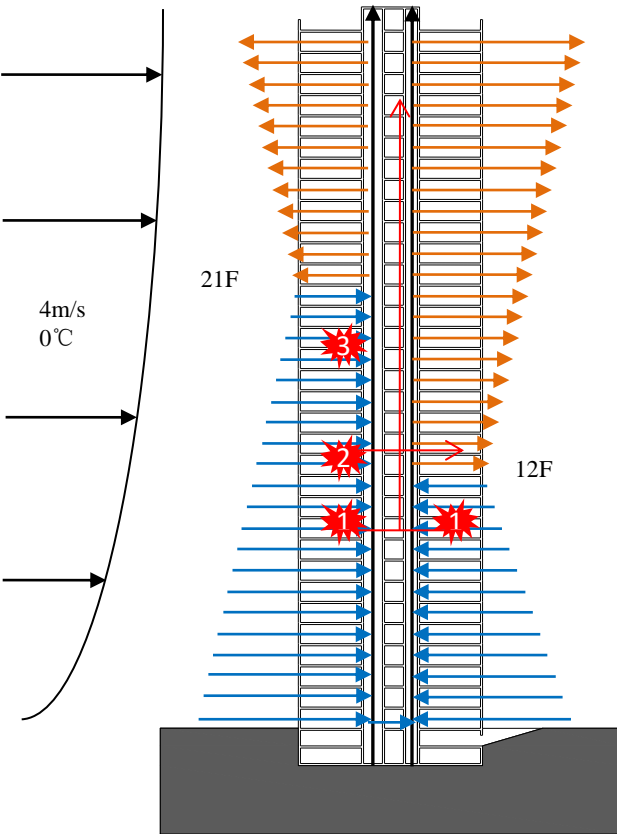
✓背风面污染物浓度大于迎风面污染物浓度；

✓顶层房间内污染物浓度比源房间低3~4个数量级，即在相同条件下与热压作用和风压分别单独作用下的跨层传播处于一个数量级，但是浓度值稍高，有加强传播作用。

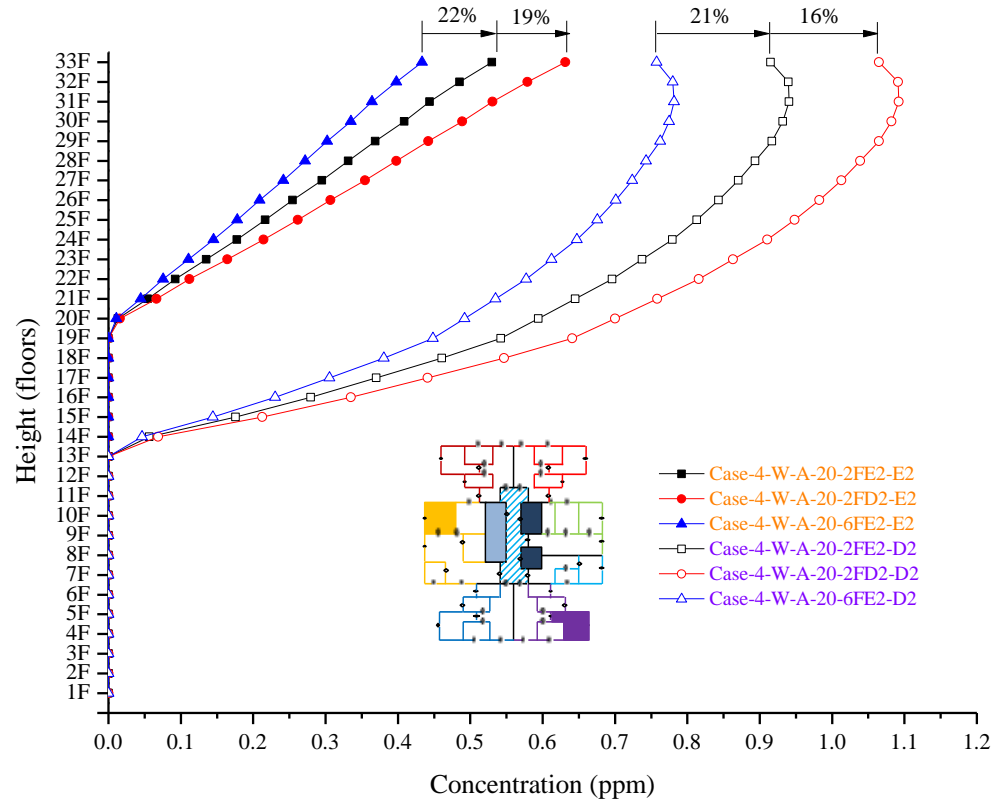
4. 户内→建筑内部垂直通道→户内



Part III: 耦合作用



★ source



污染源位置的影响

- ✓ 迎风面房间内污染物浓度低于背风面；
- ✓ 污染源位置从6F降低到2F后，室内污染物浓度升高了20%以上；
- ✓ 污染源位置从背风到迎风面后，室内污染物浓度升高了15%以上。

4. 户内→建筑内部垂直通道→户内



热压作用

- 当门窗都关闭时，各层室内的换气次数ACH均小于**0.5次/h**；
- **自下而上的垂直跨户传播**：顶层房间内污染物浓度比二层污染源所在房间低**3~4**个数量级

风压作用

- 各层室内的换气次数ACH小于**1次/h**；
- **迎风面至背风面的跨户传播**：目标房间内污染物浓度比源房间低**1~2**个数量级；
- **自下而上的垂直跨户传播**：高层目标房间内污染物浓度比低层源房间低**3~4**个数量级

耦合作用

- 各层室内的换气次数ACH均小于**1.5次/h**；
- **自下而上的垂直跨户传播**：顶层房间内污染物浓度比源房间低**3~4**个数量级，即在相同条件下与热压作用和风压分别单独作用下的跨层传播处于一个数量级，但是浓度值稍高，**有加强传播作用**



目录 Contents

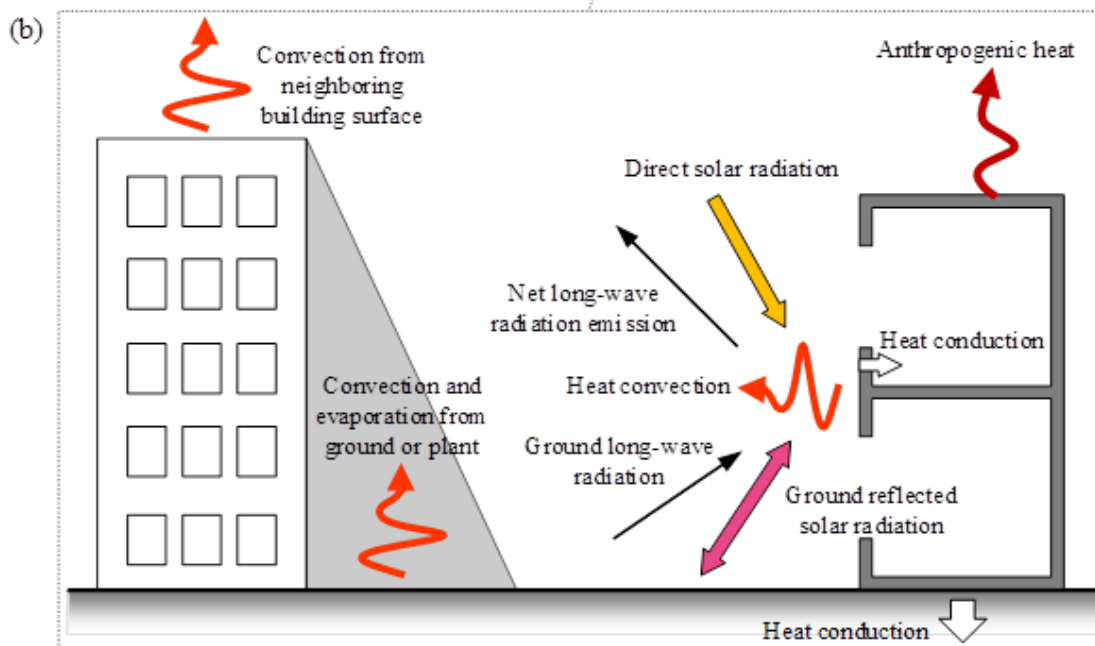
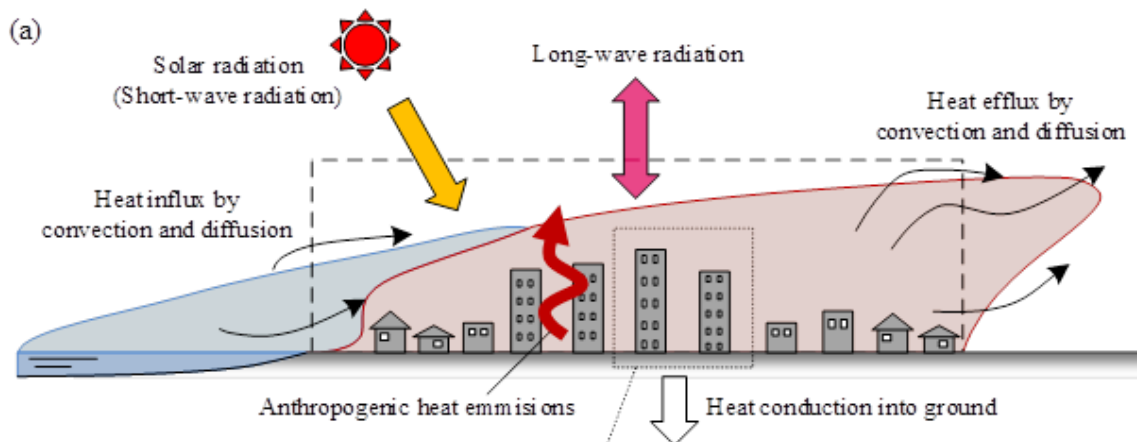
1 污染物跨户传播研究背景及若干问题

2 “户内→建筑外部空间→户内”的传播路径

3 “户内→建筑内部垂直通道→户内”的传播路径

4 思考与展望

4. 污染物跨户传播特性的若干思考和展望



- 室外环境的非稳态特性；
- 建筑热壁面引起的浮升力效应；
- 独栋建筑→建筑群。

a) Ooka R, Sato T, Harayama K, et al. *Boundary-Layer Meteorology*, 2011, 138(138):77-97.

b) Li X, Yu Z, Zhao B, et al. *Building and Environment*, 2005, 40(6):853-866.



Thank you
Q&A



热能与环境工程研究所
高效清洁能源课题组