



上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
Shanghai Research Institute of Building Sciences(Group)Co.,Ltd.

防雾霾建筑分析研讨会

公共建筑室内PM_{2.5}防控标准建立的思考

李景广

2015/3/20 同济大学

1. 标准提出背景

2. 公共建筑 $\text{PM}_{2.5}$ 防控标准制定思路

1. 标准提出背景

2. 公共建筑 $\text{PM}_{2.5}$ 防控标准制定思路

1. 室内空气质量

3 术语和定义

3.1 室内空气质量参数 (indoor air quality parameter)

指室内空气中与人体健康有关的物理、化学、生物和放射性参数。

- 来源: GB/T 18883
- 目标: 人员健康
- 因素:
 1. 物理: 温度等
 2. 化学: 甲醛、 PM_{10} , 未来 $PM_{2.5}$?
 3. 生物: 菌落总数等
 4. 放射性: 氡

3.21

Indoor air quality

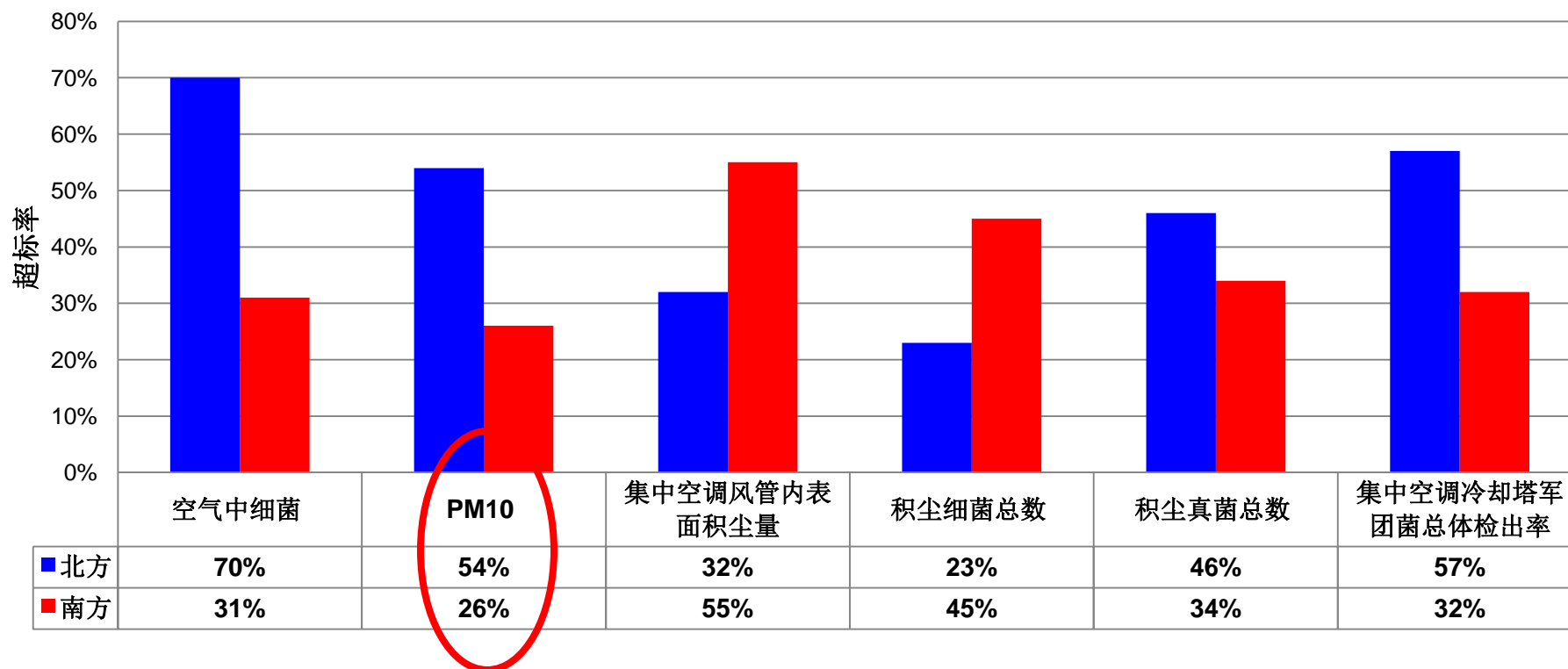
quality of air inside non-Industrial buildings, described in terms of odour, chemical and biological pollutants, is related to the ventilation rate, air distribution patterns and pollution sources to ensure human health, olfactory comfort and perceived comfort

- ISO 16813
- 目标
 1. 健康、舒适
- 因素：
 1. 气味
 2. 化学
 3. 生物

室内空气污染类型

污染分类	污染物种类
物理因素	略
化学因素	NO _x , SO _x 等
	甲醛、VOCs等
	SVOC等
生物因素	细菌
	霉菌等
电磁电离因素	氡(Radon)等
颗粒物	PM _{2.5}
	PM ₁₀ 、TSP等

我国大型公建微生物及颗粒物污染现状



来源:王清勤 “十一五”支撑课题调研数据

室内空气质量工程标准状况



设计标准

无

验收规范

GB 50325（民用建筑工程室内环境污染控制规范）

运营标准

GB/T 18883（室内空气质量标准）
GB 9663-GB 9673（各类公共场所卫生标准）

我国设计阶段缺少标准

工程设计标准



住房和城乡建设部文件

建标〔2013〕169号

住房城乡建设部关于印发2014年 工程建设标准规范制订修订计划的通知

国务院有关部门，各省、自治区住房城乡建设厅，直辖市建委（建交委）及有关部门，计划单列市建委（建设局），新疆生产建设兵团建设局，国家人防办，总局基建房产部，有关行业协会，有关单位：

为适应加快转变经济发展方式的需要，贯彻落实国家节能减排、资源节约利用、生态环境保护等要求，保障工程质量安全，促进工程建设领域技术进步，根据《工程建设国家标准管理办法》和《工程建设行业标准管理办法》的规定，结合工程建设、工业发展和城乡建设实际，经与有关部门、单位充分协商，我部

2014年工程建设标准规范制订、修订计划标准项目

序号	项目名称	制修订	适用范围和主要技术内容	主编部门	主编单位	参编单位	报批年限
123	公共建筑室内空气质量控制设计规范	制订	适用于新建、改建和扩建的公共建筑的室内空气质量控制设计。 主要技术内容：确定公共建筑室内空气质量控制设计参数；公共建筑通风设计；室外污染影响计算方法；选址要求；公共建筑新风风口位置选择；换气次数和换气效率的计算方法；空气净化计算方法；各种家具散发污染物种类及散发率确定方法；办公设备污染确定方法；公共建筑室内空气质量设计中建筑装饰装修材料、构配件污染计算方法；公共建筑室内空气质量设计流程。	住房和城乡建设部	上海市建筑科学研究院（集团）有限公司	清华大学、上海建科检测有限公司、华东建筑设计院、中国建筑材料科学研究总院	2016年
124	绿色建筑运行维护技术规范	制订	适用于包括公共建筑及居住建筑在内的涉及运行及维护的民用建筑。 主要技术内容包括：绿色居住建筑运行与维护；绿色公共建筑运行与维护。	住房和城乡建设部	中国建筑科学研究院	中国物业管理协会、天津城市建设学院	2016年
125	高性能混凝土评价标准	制订	适用于建筑工程用高性能混凝土相关技术性能的评价。 主要技术内容：高性能混凝土共性能技术要求；评价指标及要求；原材料评价指标、混凝土性能评价指标、配合比设计评价要求、生产与施工评价要求、评价方法、评价结果。	住房和城乡建设部	中国建筑科学研究院	清华大学、中冶集团建筑研究总院、上海市建筑科学研究院、中建商品混凝土有限公司、金隅混凝土有限公司、中国建筑材料科学研究总院、中国混凝土与水泥制品协会	2016年
126	住宅排气管道系统工程技术规范	制订	适用于住宅厨房或卫生间通风换气用排气道系统工程的设计、施工及验收，不适用于燃气、燃油热水器及户式燃油采暖锅炉等设备排放的有毒、有害气体排气道工程。 主要技术内容：排气道系统的设置条件、设置位置、设计尺寸等要求；排气道系统组成产品的材料要求、施工安装等规定；隐蔽工程验收、分项工程验收、竣工验收等。	住房和城乡建设部	中国建筑科学研究院、中国建筑设计研究院	北京金盾华通科技有限公司、中国人民武装警察部队学院、河北建设集团千秋管业有限公司、浙江省二建建设集团有限公司、廊坊凯博建设机械科技有限公司、江苏省紫微建筑技术研究所有限公司	2016年

《公共建筑室内空气质量控制设计规范》
2014年立项，2016年完成

- 保障建筑室内空气质量，满足广大人民的健康需求
- 完善在整个建设流程对建筑室内空气质量的控制，解决建筑室内空气质量“设计避免污染”
- 推动板材、构配件、过滤、净化、空调设备等产业的健康发展
- 完善我国室内空气质量标准体系，提升行业管理水平

标准主要考虑方向

- 在化学污染方向，一方面避免污染发生，另一方面通过建筑业发展需求推动建材业的更好发展
- 在颗粒物方向，一方面降低人员污染暴露水平，另一方面促进过滤、净化、空调设备等产业的发展

主要编制单位（目前）



- 研究院：
 - 上海市建筑科学研究院（集团）有限公司、中国建筑科学研究院
- 设计院：
 - 北京市建筑设计研究院有限公司、华东建筑设计研究总院、天津市建筑设计院、中国建筑西北设计研究院有限公司、上海建科建筑设计院有限公司
- 高校：
 - 清华大学、上海交通大学
- 建筑企业：
 - 朗诗集团股份有限公司、三湘股份有限公司
- 产品企业：
 - 大金（中国）投资有限公司、广东松下环境系统有限公司、康斐尔过滤设备（上海）有限公司

第一次工作会议

2014年5月9日 第一次工作会议



编制组成员

1. 标准提出背景

2. 公共建筑 $\text{PM}_{2.5}$ 防控标准制定思路

(1) 原理

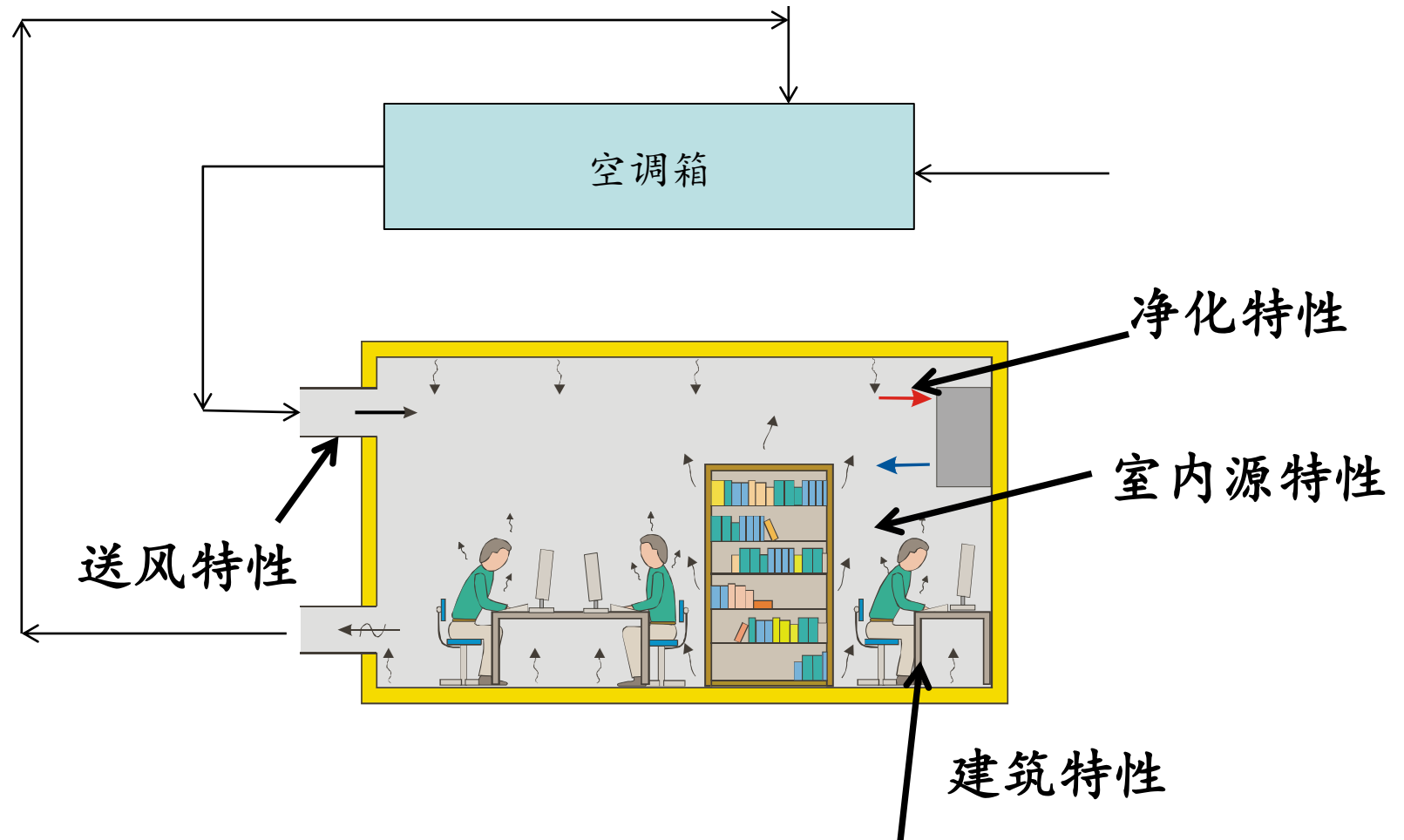
- 忽略碰撞凝聚作用、凝结、**沉降**等
- 完全均匀模型
- **目标**：在最低能耗下低于限值规定

$$\frac{dC}{dt} = R(t) + \alpha_i p C_{out} + \alpha_m C_s - (\alpha_i + \alpha_m) C - F(t)$$

$$C = \frac{R(t)}{\alpha_i + \alpha_m} + \frac{\alpha_i p}{\alpha_i + \alpha_m} C_{out} + \frac{\alpha_m}{\alpha_i + \alpha_m} C_s - \frac{F(t)}{\alpha_i + \alpha_m}$$

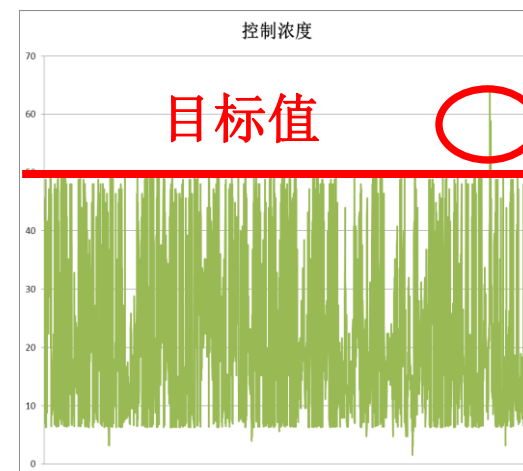
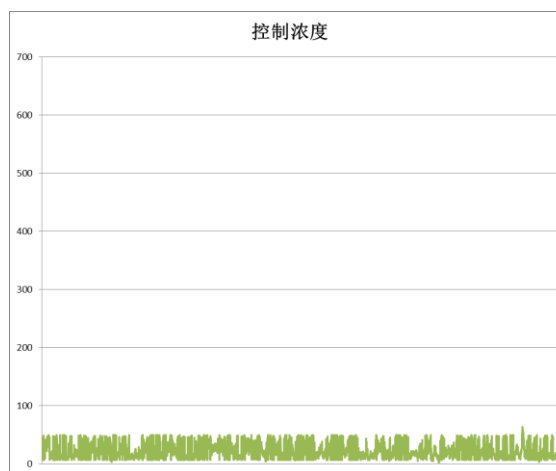
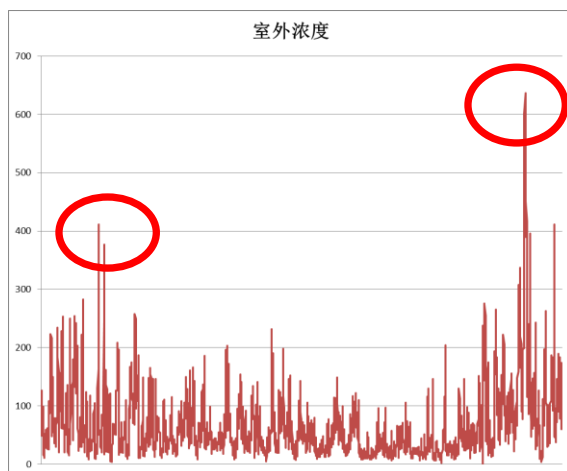
室内浓度=内部源+漏风影响+送风影响-净化影响

(1) 原理



(2) 室内外浓度选择

	PM _{2.5} (μg/m ³) (日均浓度)		
WHO过渡目标-1	75	75	GB 3095-2012二级
WHO过渡目标-2	50		
WHO过渡目标-3	37.5	35	GB 3095-2012一级
WHO准则值	25		



控制目标：浓度、保证时间等

(3) 内部源——人员影响

动作	发尘量
	粒/min*人 ($>0.5\ \mu\text{m}$)
立着	3.39×10^5
坐下	3.02×10^5
手腕上下移动	2.98×10^5
上体前屈	2.24×10^5
腕自由运动	2.24×10^5
头部上下左右运动	6.31×10^5
上体扭动	8.50×10^5
屈身	3.12×10^5
脚动	2.80×10^5
步行	2.92×10^5

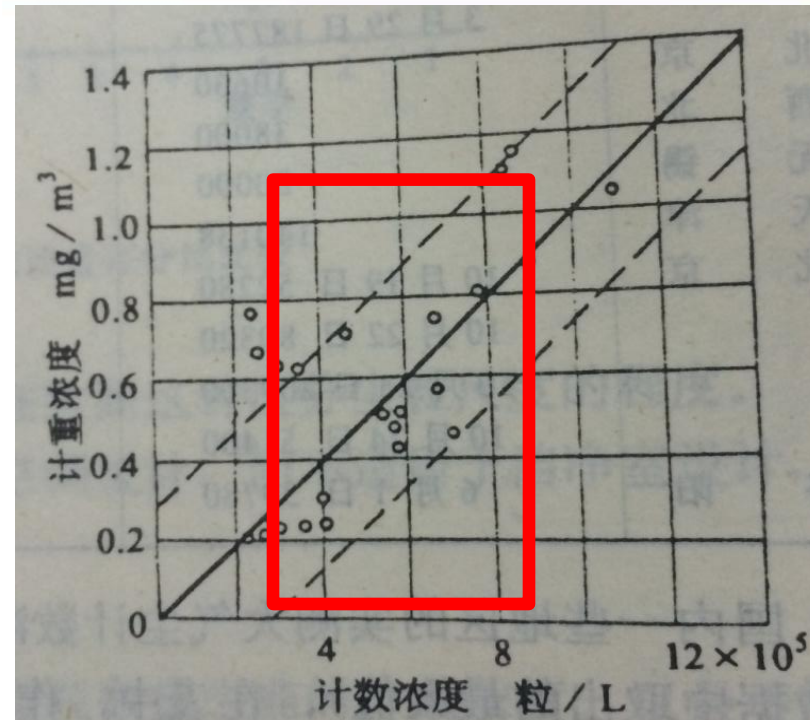


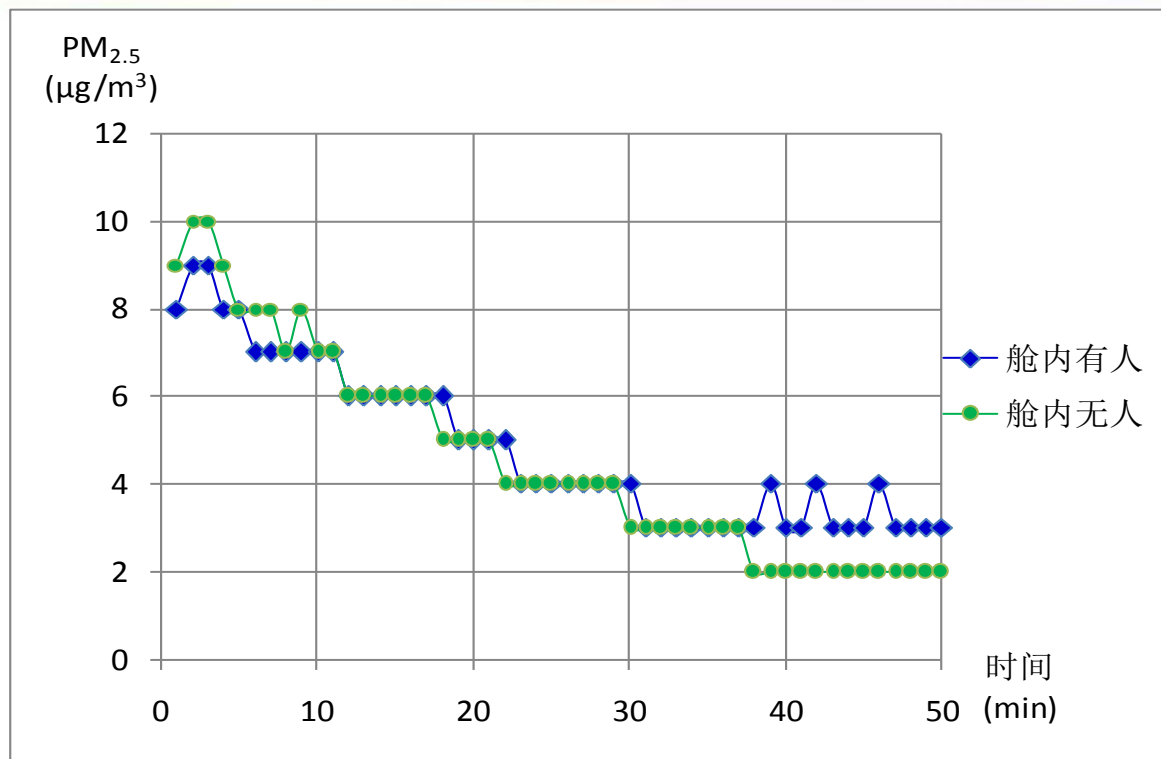
图 2-24 计数浓度与计重浓度的比较

- 估计结果:

- 如果人员密度是4平方米, 则浓度增加: $0.8\text{---}5.3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$

(3) 内部源——人员影响

- 7个人（坐、喝水等）
- 30立方米测试舱
- 1.03换气次数



- 实验结果：人员密度是1.7平方米，浓度增加 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

一般情况下人员发尘量可以忽略不计或很小
(不考虑吸烟等行为性污染)

(4) 内部源——打印设备等影响

1次换气次数

	发尘量 ($\mu\text{g/h}$)
每分钟打印5张	7
每分钟打印24张	39
每分钟打印38张	449

- 需要进一步实验验证

打印机等产生污染需要考虑

(2) 内部源——打印设备等负荷

6.1.5 对建筑物内放散热、蒸汽或有害物质的设备，宜采用局部排风。当局部排风达不到卫生要求时，应辅以全面排风或采用全面排风。气流组织设计时，宜根据污染物的特性及污染源的变化，进行优化。

6.10 Extract to outside is required in all office *sanitary accommodation*, washrooms and food and beverage preparation areas. In addition, printers and photocopiers in substantial use (greater than 30 minutes per hour) should be located in a separate room (to avoid any pollutants entering the occupied space) and extract provision installed. The extract flow rates should be no less than those specified in Table 6.1a.

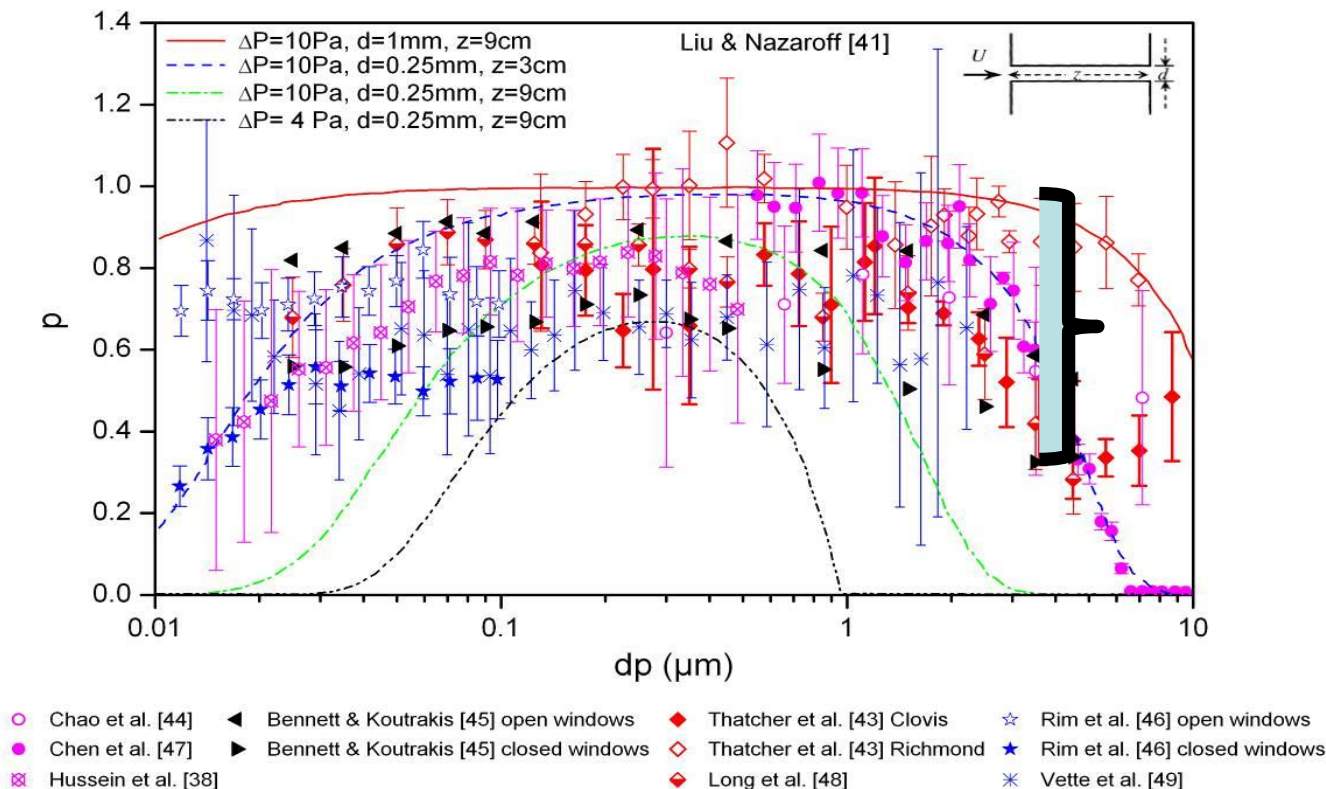
局部排风，等于零？

排风效率的验证

(3) 漏风影响

- 穿透系数
- 漏风量
- 室外浓度

(3) 漏风影响—穿透系数



2.5微米穿透系数在0.3—0.9之间

2.5微米以上穿透系数逐渐减小

(3) 漏风影响—穿透系数

粒径区间	数量		质量	
	全部	0.5以上为100	全部	0.5以上为100
0~0.5	91.68	—	1	—
0.5~1	6.78	81.49	2	2.02
1~3	1.07	12.86	6	6.06
3~5	0.25	3	11	11.11
5~10	0.17	2	52	52.53
10~30	0.05	0.65	28	28.28

大气尘数量和质量分布关系

许钟麟 空气洁净技术原理

PM2.5穿透系数约在0.1-0.7之间（进一步实验验证）

(3) 漏风影响—漏风量

表 2.12 实测住宅采暖季平均空气渗透量

Tab2.12 The average fresh air volume of the tested house in winter

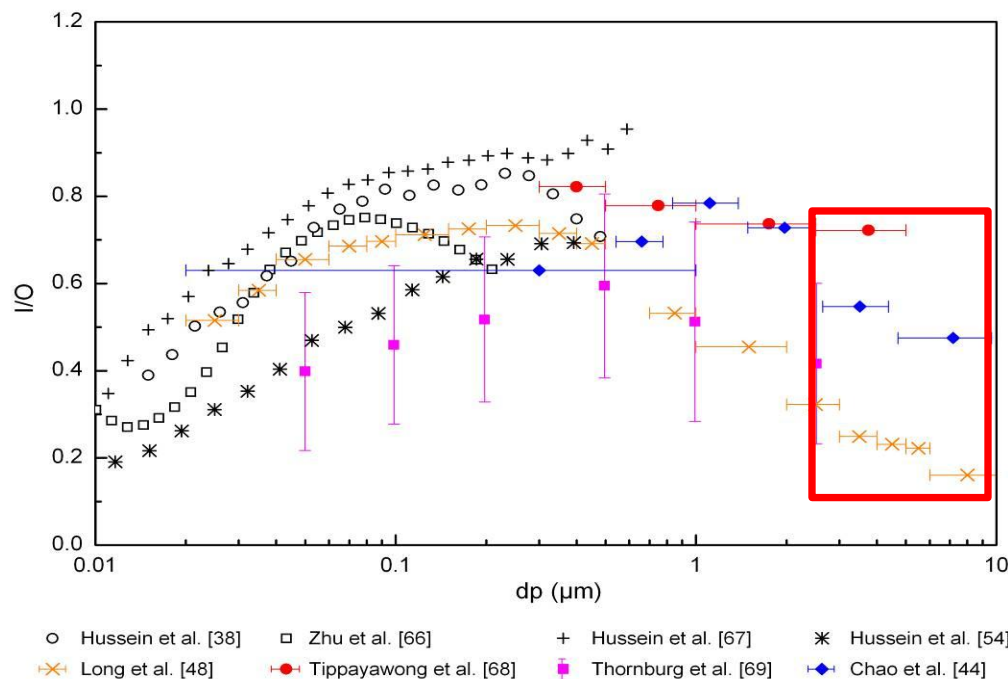
建筑编号	自然渗透量 m^3/h				换气次数 次/h		
	大连	沈阳	哈尔滨	ASHRAE 标准	大连	沈阳	哈尔滨
3#-1-402	27.21	17.51	14.62	35	0.47	0.30	0.25
3#-1-403	89.06	59.11	49.98	104	0.44	0.29	0.25
3#-1-501	104.22	69.22	58.54	116	0.45	0.30	0.25
3#-2-402	117.99	78.15	66.02	119	0.49	0.32	0.27
3#-2-401	99.21	65.71	55.51	103	0.50	0.33	0.28
7#-3-101	81.29	48.82	39.62	154	0.26	0.16	0.13
4#-1-1301	76.09	51.86	44.33	87	0.42	0.29	0.24
4#-1-101	94.91	62.3	52.43	87	0.52	0.34	0.29

- 换气次数：0.13次/h--0.5次/h
- 换气次数：0.09次/h--0.5次/h

漏风量：0.1--0.5次/h

- 季永明：硕士论文；王智超：住宅科技；

(3) 漏风影响



大约7倍
关系

邓启红 室内环境与健康研究进展报告

穿透系数	0.1	0.7
漏风量（换气次数）	0.1	0.5
漏风影响	在不考虑漏风的动态特征下，35倍！ <u>同时在一起发生概率、持续时间？</u>	

(3) 漏风影响

$$\frac{\alpha_i p}{\alpha_i + \alpha_m} C_{ou1}$$

- 当漏风量占总新风量比例越大，对室内浓度影响越大
- 穿透系数越大，对室内浓度影响越大

单位开启缝长
空气渗透量

分级	$q_1/[\text{m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{h})^{-1}]$	$q_2/[\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}]$
1	$4.0 \geq q_1 > 3.5$	$12.0 \geq q_2 > 10.5$
2	$3.5 \geq q_1 > 3.0$	$10.5 \geq q_2 > 9.0$
3	$3.0 \geq q_1 > 2.5$	$9.0 \geq q_2 > 7.5$
4	$2.5 \geq q_1 > 2.0$	$7.5 \geq q_2 > 6.0$
5	$2.0 \geq q_1 > 1.5$	$6.0 \geq q_2 > 4.5$
6	$1.5 \geq q_1 > 1.0$	$4.5 \geq q_2 > 3.0$
7	$1.0 \geq q_1 > 0.5$	$3.0 \geq q_2 > 1.5$
8	$q_1 \leq 0.5$	$q_2 \leq 1.5$

单位面积空
气渗透量

外门、外窗的气密性和建筑漏风量及穿透系数关系？

(4) 送风影响



- 送风量

- 总风量与设计风量的允许偏差不应大于10%，风口的风量与设计风量的允许偏差不应大于15%

GB50411-2007

- 送风浓度——净化装置、产品

- 技术类别
 - 效率
 - 能效
 - 时效
 - 经济性

核心问题：通风净化系统

(4) 送风影响——净化技术



- 技术分类
 - 催化氧化
 - 过滤
 - 臭氧氧化
 - 等离子体
 - 吸附
 - 紫外
 - 生物
 - ...
- 技术特点
 - 过滤 : PAQ
 - 吸附: 寿命
 - UVGI : 臭氧
 - 等离子: 臭氧, 中间产物, 能耗
 - 臭氧催化: 中间产物
 - 生物: CADR
 -

(4) 送风影响——净化技术

7.5.11 对于 II 类民用建筑工程的空调系统，应设置空气净化装置。对于 I 类民用建筑工程，可针对用途选择性设置。空气净化装置类型应根据人员密度、一次性投资、运行维护成本、环境要求等要求，进行综合比较后确定。

5 空气净化装置不应产生新的污染且应有检查口便于日常维护。

7.5.12 空气调节系统采用静电空气净化装置进行过滤处理时，应符合下列要求：

- 1 净化装置的迎风面风速不大于 2.5m/s；
- 2 应采取与风机有效联动和可靠的接地措施；
- 3 不得作为净化空气调节系统的末级净化设施。

来源:GB 50736

净化技术的选用和约束？

(4) 送风影响——效率



中国制冷空调工业协会 CRAA 430	欧洲标准 EN 1822	最易透过粒径 MPPS	国际标准 ISO	中国标准	美国环境科学技术学会 EST-RP-CC 001.4
超高效 ULPA	U17 U16 U15	99.999995% 99.99999% 99.99995% 99.9999% 99.9995% 99.999% 99.995% 99.99% 99.95% 99.9% 99.5% 99% 95%	ISO 75(U) ISO 70(U) ISO 65(U) ISO 60(U) ISO 55(U) ISO 50(U) ISO 45(U) ISO 40(U) ISO 35(U) ISO 30(U) ISO 25(U) ISO 20(U) ISO 15(U)	新国标 超高效 ULPA 高效 HEPA	0.1-0.2 μm 99.9999% 99.999% 99.995% 99.99% 99.97% 99.9% 99.5%
高效 HEPA	H14 H13	99.999995% 99.99999% 99.99995% 99.9999% 99.9995% 99.999% 99.995% 99.99% 99.95% 99.9% 99.5% 99% 95%	ISO 75(U) ISO 70(U) ISO 65(U) ISO 60(U) ISO 55(U) ISO 50(U) ISO 45(U) ISO 40(U) ISO 35(U) ISO 30(U) ISO 25(U) ISO 20(U) ISO 15(U)	新国标 超高效 ULPA 高效 HEPA	0.3 μm 99.9999% 99.999% 99.995% 99.99% 99.97% 99.9% 99.5%
亚高效 Sub-HEPA	Y12 Y11 Y10	99.999995% 99.99999% 99.99995% 99.9999% 99.9995% 99.999% 99.995% 99.99% 99.95% 99.9% 99.5% 99% 95%	ISO 75(U) ISO 70(U) ISO 65(U) ISO 60(U) ISO 55(U) ISO 50(U) ISO 45(U) ISO 40(U) ISO 35(U) ISO 30(U) ISO 25(U) ISO 20(U) ISO 15(U)	新国标 超高效 ULPA 高效 HEPA	0.5 μm 99.9999% 99.999% 99.995% 99.99% 99.97% 99.9% 99.5%
中效 Fine	F9 F8 F7 F6 F5 G4 G3 G2 G1	99.999995% 99.99999% 99.99995% 99.9999% 99.9995% 99.999% 99.995% 99.99% 99.95% 99.9% 99.5% 99% 95%	ISO 75(U) ISO 70(U) ISO 65(U) ISO 60(U) ISO 55(U) ISO 50(U) ISO 45(U) ISO 40(U) ISO 35(U) ISO 30(U) ISO 25(U) ISO 20(U) ISO 15(U)	新国标 超高效 ULPA 高效 HEPA	1.0 μm 99.9999% 99.999% 99.995% 99.99% 99.97% 99.9% 99.5%
粗效 Coarse	G1	99.999995% 99.99999% 99.99995% 99.9999% 99.9995% 99.999% 99.995% 99.99% 99.95% 99.9% 99.5% 99% 95%	ISO 75(U) ISO 70(U) ISO 65(U) ISO 60(U) ISO 55(U) ISO 50(U) ISO 45(U) ISO 40(U) ISO 35(U) ISO 30(U) ISO 25(U) ISO 20(U) ISO 15(U)	新国标 超高效 ULPA 高效 HEPA	2.0 μm 99.9999% 99.999% 99.995% 99.99% 99.97% 99.9% 99.5%

过滤（净化）设备选型

过滤器和空调箱，0.5微米和2.5微米，计数和计重

(4) 送风影响——能耗

表 5.3.26 风机的单位风量耗功率限值 $[W/(m^3/h)]$

系统型式	办公建筑		商业、旅馆建筑	
	粗效过滤	粗、中效过滤	粗效过滤	粗、中效过滤
两管制定风量系统	0.42	0.48	0.46	0.52
四管制定风量系统	0.47	0.53	0.51	0.58
两管制变风量系统	0.58	0.64	0.62	0.68
四管制变风量系统	0.63	0.69	0.67	0.74

表 1

净化能效等级	净化能效 η / $(m^3/(W \cdot h))$
节能级	$\eta \geq 5.00$
合格级	$2.00 \leq \eta < 5.00$

标准协调？

(5) 《公共建筑室内空气质量控制设计规范》初步目录



序号	大纲章节
1	总则
2	术语
3	室内空气质量设计计算
4	围护结构及室内装修
5	通风与空调
6	监测与控制

希望有更多的研究成果、基础数据加入支撑标准制定

lijingguang@vip.sina.com

13818335675

- 只有在霾的时候，我们才关心建筑室内空气质量吗？
- DDT---《寂静的春天》---全球环境保护
- 室内VOCs、PAEs、PCBs等？
- WHO（2010）： public health awareness on indoor air pollution has lagged behind that on outdoor air pollution.
- 建筑防霾仅仅是实现建筑健康环境的开始

谢 谢