



室内PM_{2.5}及复合污染与 健康风险研究进展

张寅平

清华大学 建筑环境与设备工程研究所 教授
清华大学 建筑环境检测中心 主任

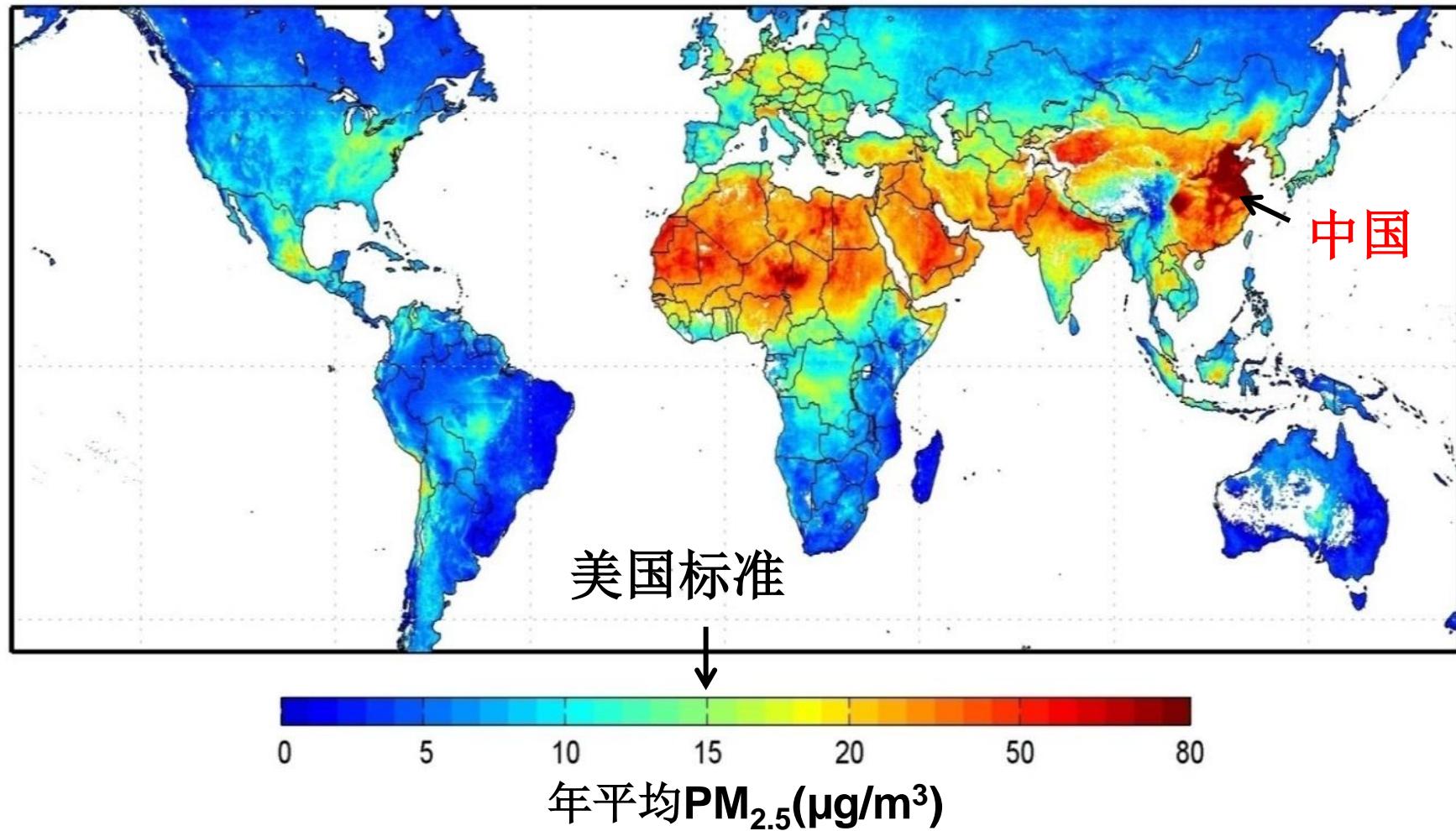
2015年3月20于同济大学

目录

1. 背景情况
2. 存在问题
3. 研究进展

1. 背景情况

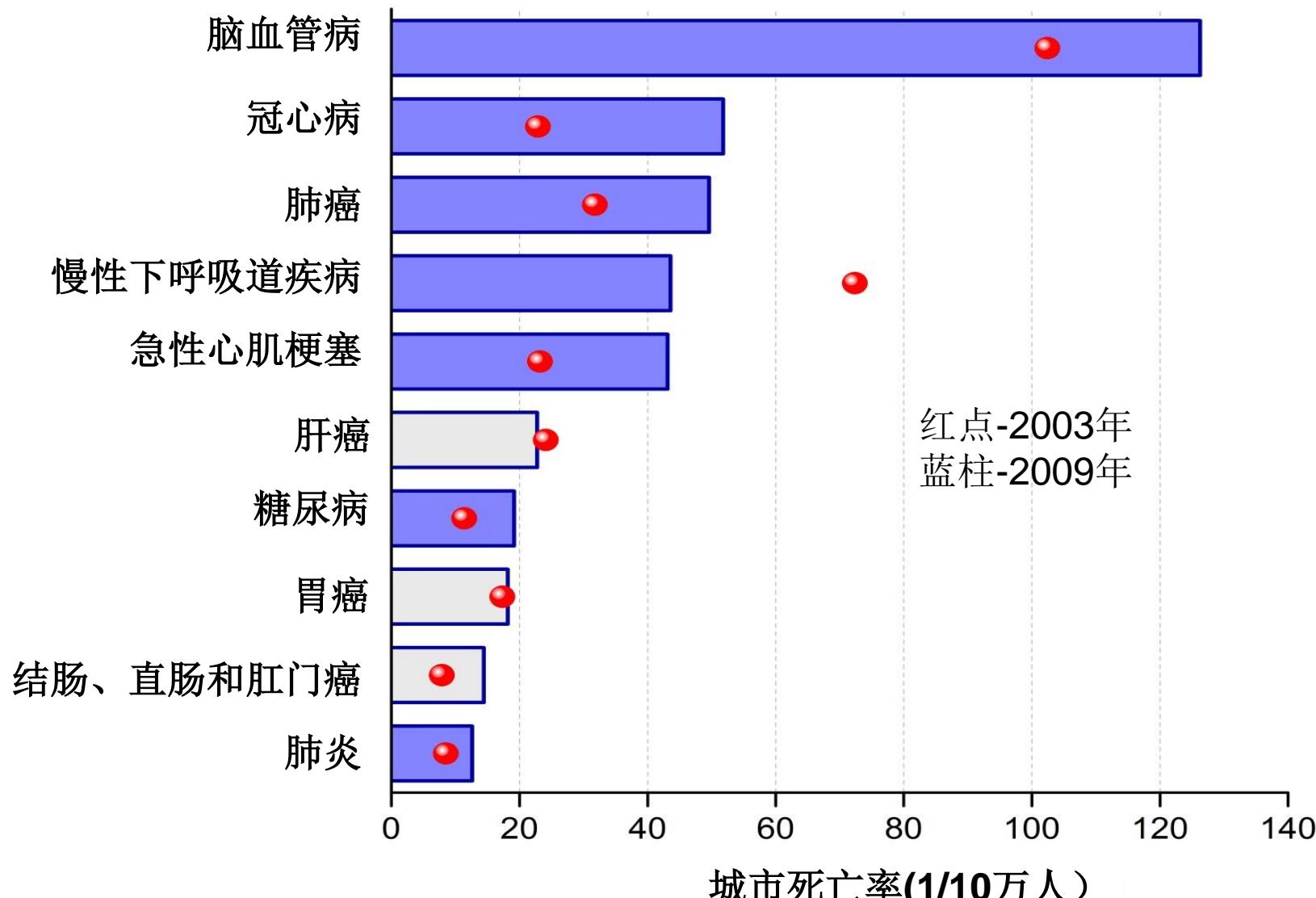
中国大面积PM_{2.5}污染,举世关注!



van Donkelaar et al, *Environ. Health. & Perspective.*, 2010.

PM_{2.5}, 指空气动力学当量直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物。

2009年我国城市人口前10疾病死亡率



源自：中国卫生统计年鉴2009

PM_{2.5}污染：举世关注！



2014年3月5日李克强总理在十二届全国人大二次会议的政府工作报告中指出：（近期政府）“以雾霾频发的特大城市和区域为重点，以细颗粒物（PM_{2.5}）和可吸入颗粒物（PM₁₀）治理为突破口”。

2. 存在问题

PM_{2.5}严重危害健康,但国际顶级期刊论文分析欠科学



Lim et al, *Lancet*, 2012, IF=36

根据大气颗粒物暴露的健康风险推算其引发的疾病负担在中国排第4位，年超额死亡**120万人**！

室内时间**>87%**，室内吸入的颗粒物占总吸入量**>70%**。

Klepeis et al. *J. of Expo. Ana. and Environ. Epide.*, 2001

大气颗粒物成分



进入



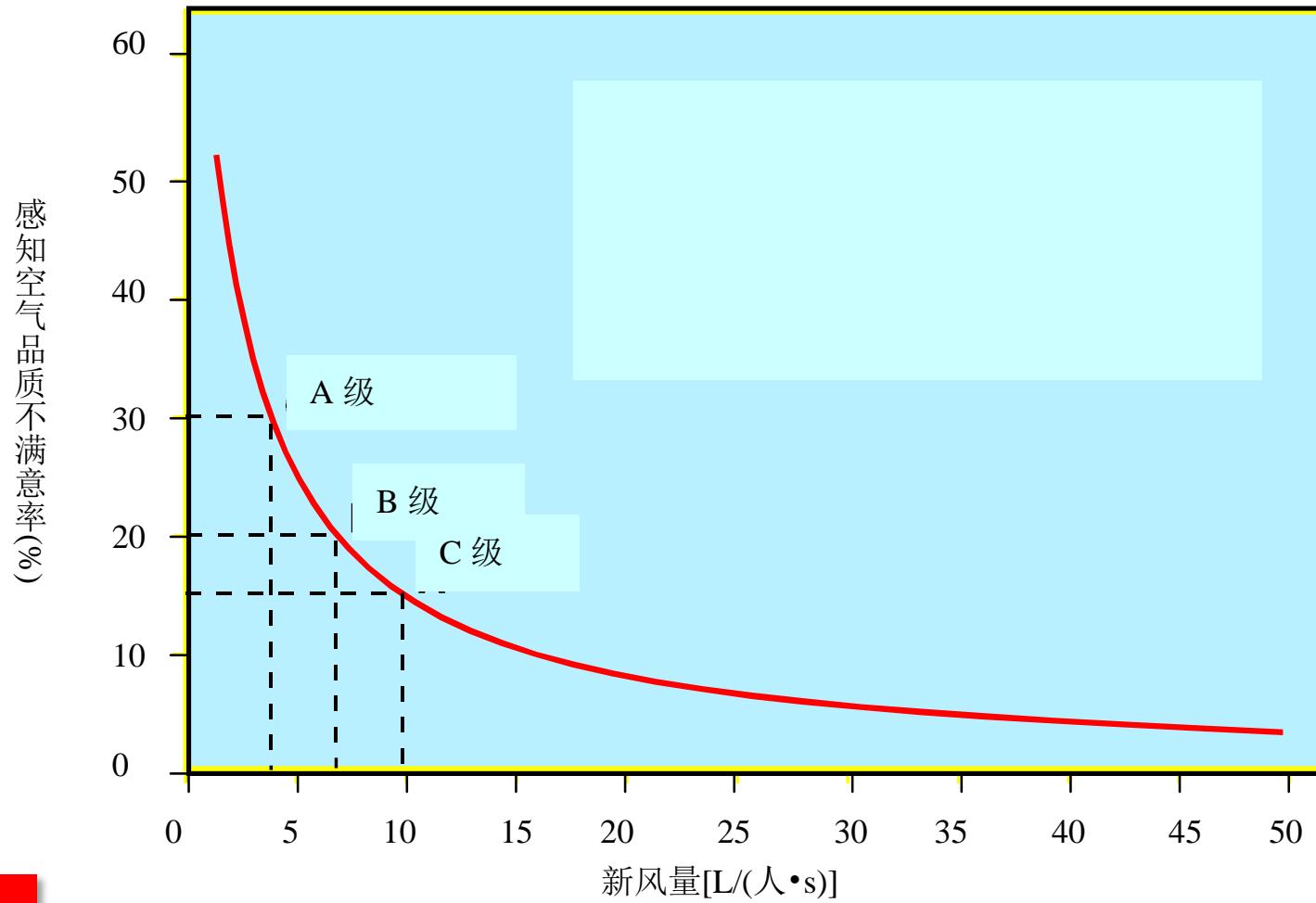
室内成分

室内颗粒物成分
=室外成分+室内成分

问题1

直接把大气颗粒物暴露与疾病死亡率关联**欠科学**！

通风和空气过滤或净化



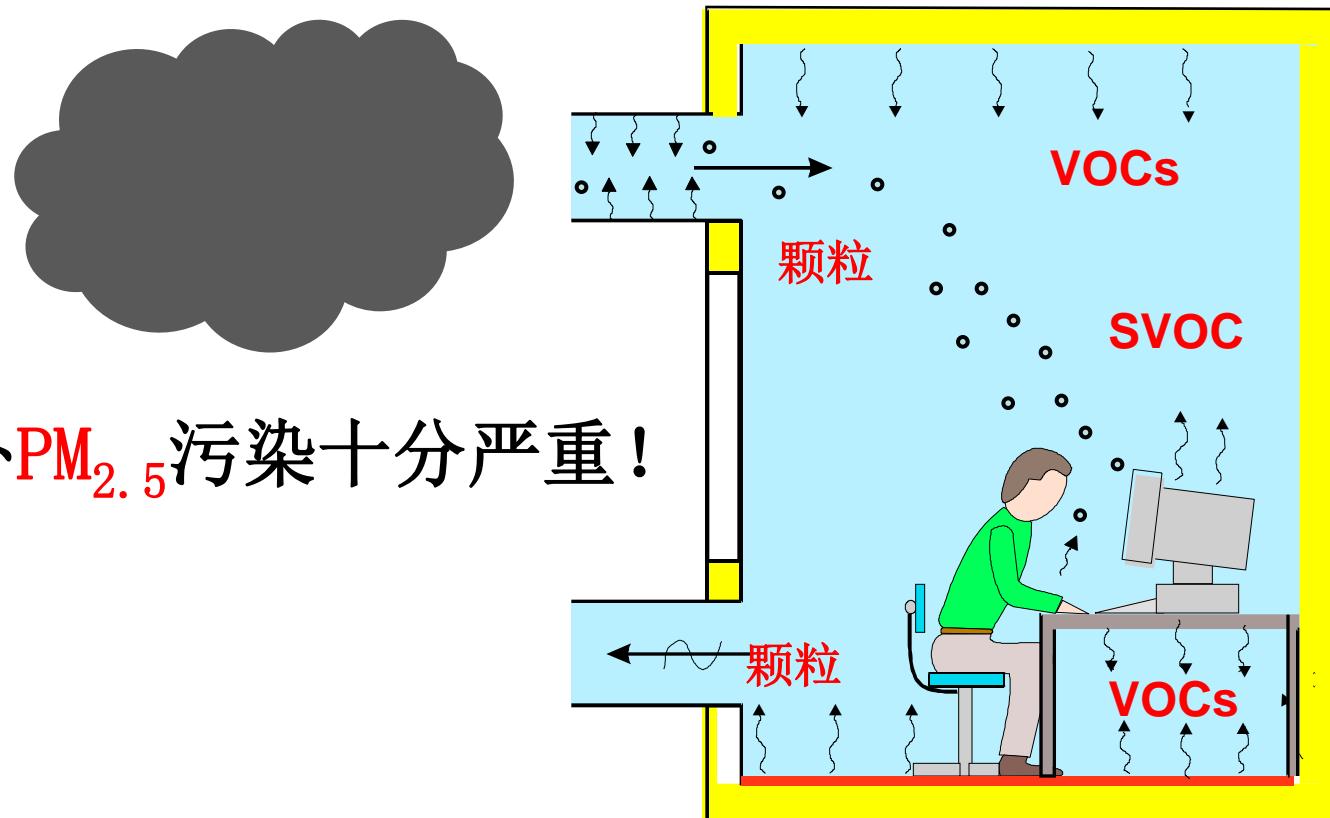
问题2

ASHRAE等建筑通风标准制订主要依据发达国家的情况，
不符合我国国情：我国室内、外空气污染物种类和水平；建筑
热舒适要求；通风系统形式；生活习惯等和发达国家很不一样。
我国**应该如何通风和净化室内空气**？

我国室内空气污染：内忧外患！

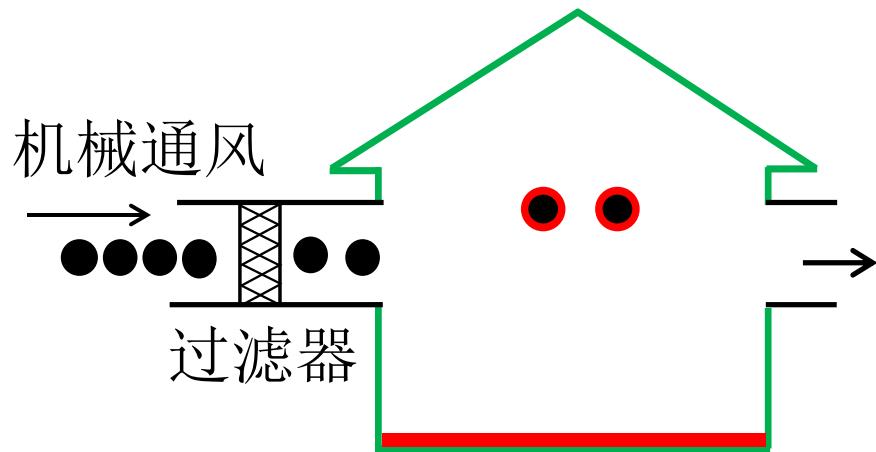
严重的室内空气VOCs、SVOCs污染要求从室外引入新风，稀释其室内空气污染浓度。

我国室外PM_{2.5}污染十分严重！

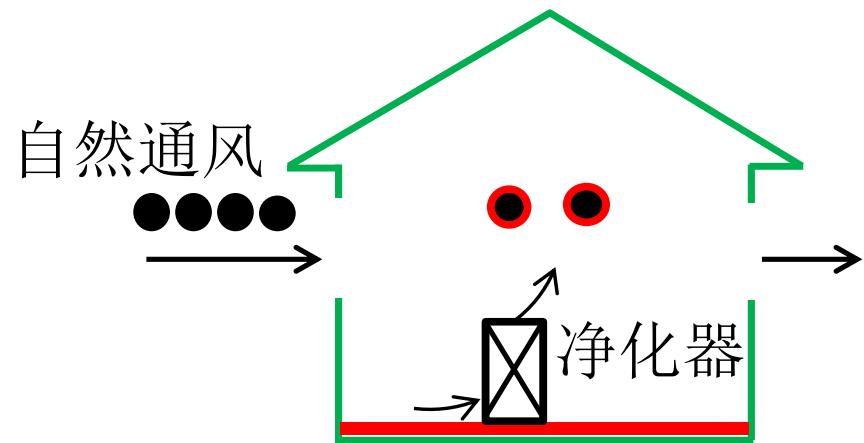


为跳出“内外夹击”困境，典型通风策略

(1) 机械通风+过滤器



(2) 自然通风+净化器



GB50736-2012: 7.5.9

1 舒适性空调，当采用粗效过滤器不能满足要求时，应设置中效过滤器。

那种效果较好？尚无定论。

目前新风过滤系统产生二次污染，但机理不明

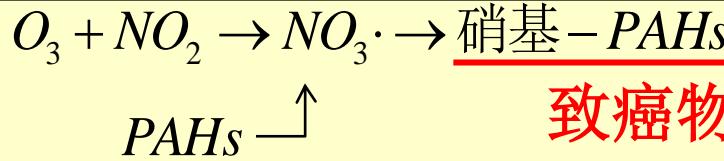
室外
空气

PM_{2.5}
O₃
NO_x
PAHs

过滤层



二次污染，例如：

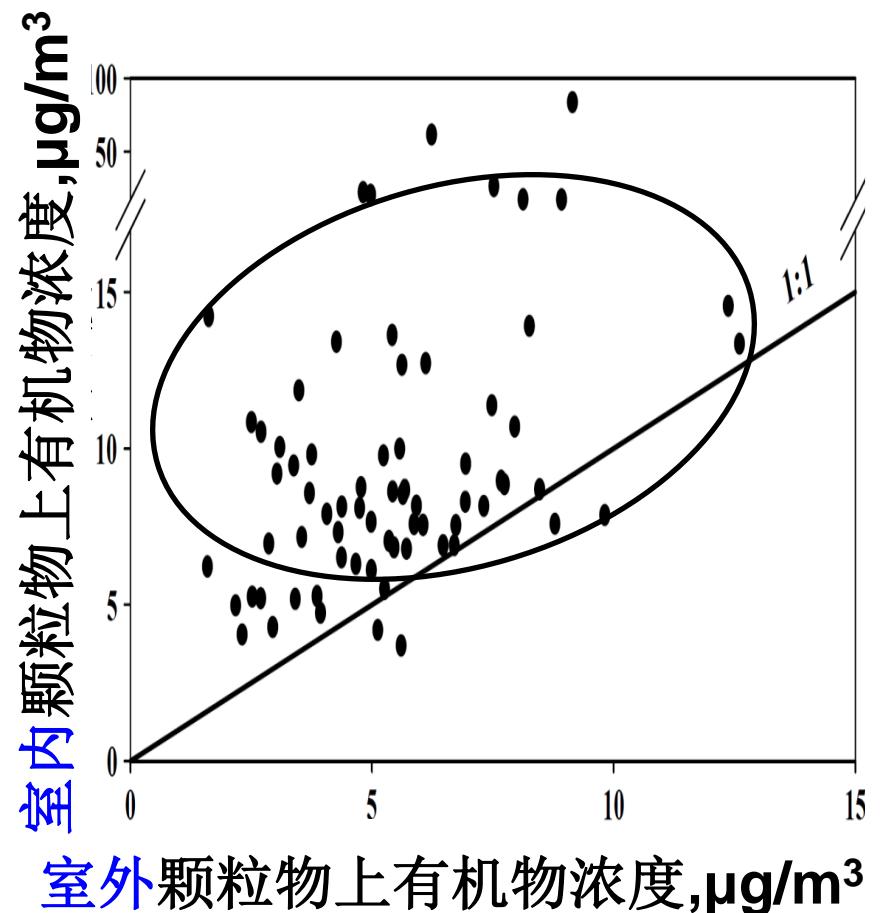
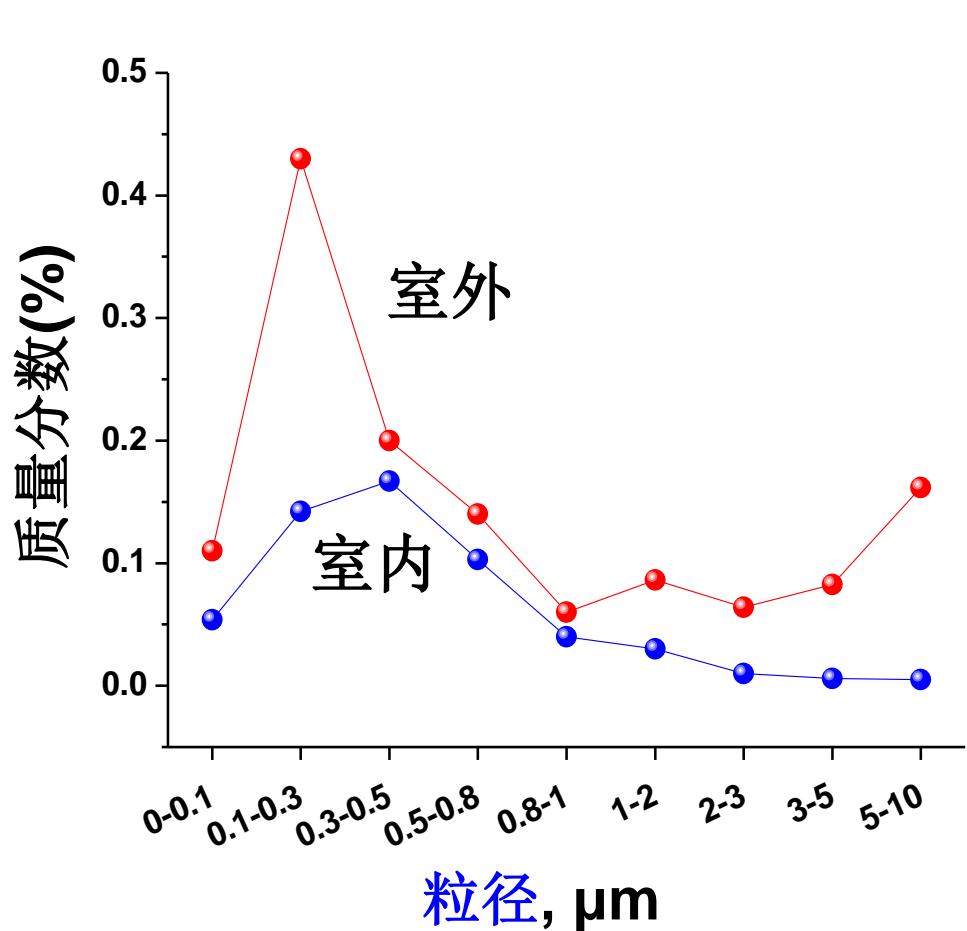


+ 未知污染物

问题3

室外PM_{2.5}, O₃等在过滤层与积累的污染物发生化学反应，产生二次污染，虽然净化后空气中目标污染物浓度降低，但感知空气质量也下降，二次污染物成分和产生机理不清晰。

室内外颗粒物特性(粒径分布和成分)差别显著

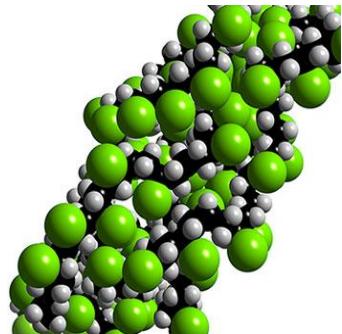


室内外颗粒物粒径分布不同

颗粒有机物浓度：室内>室外

$PM_{2.5}$ +室内半挥发性有机化合物(SVOC)形成复合污染

SVOC



增塑剂
阻燃剂等



从婴儿

到成年

- 我国增塑剂、阻燃剂消费量全世界第一！
- 我国室内 $PM_{2.5}$ +SVOC 形成的复合污染水平较发达国家高得多！

Wang et al., *Chinese Sci. Bull.*, 2010



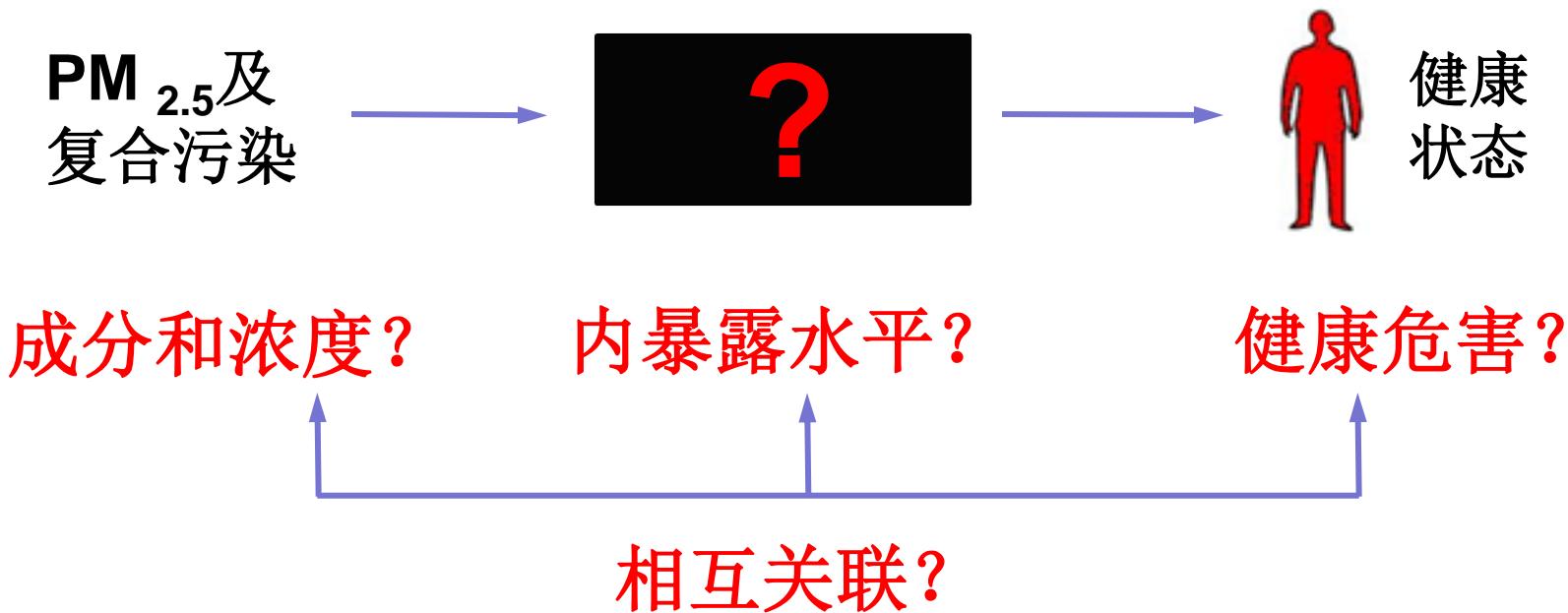
SVOC



问题4

室内环境中 $PM_{2.5}$ 和 SVOCs 吸附和传质过程特性不清晰，难以确定 $PM_{2.5}$ 和复合污染暴露水平。

PM_{2.5}及复合污染、内暴露水平及健康危害关联不清晰

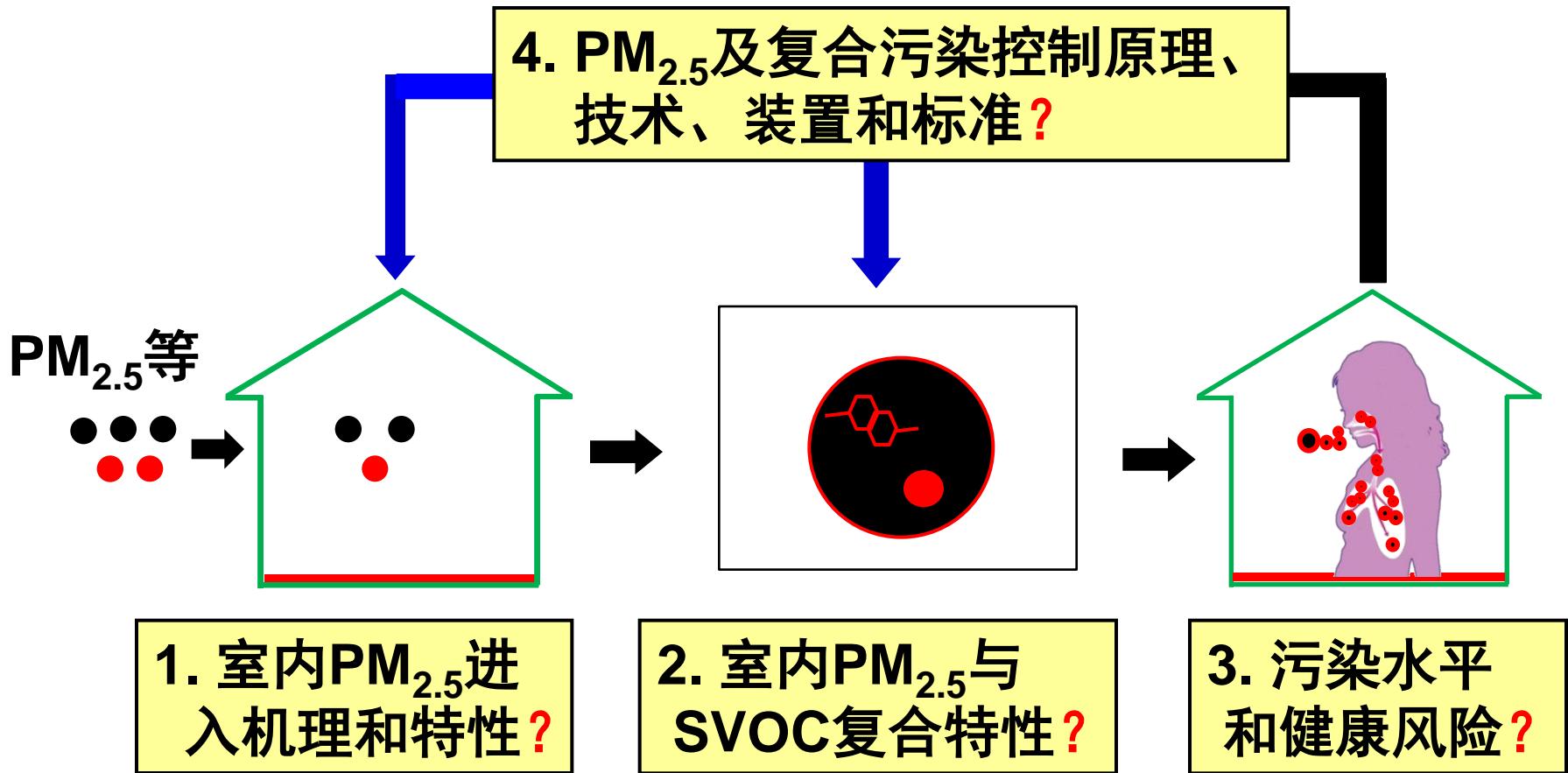


问题5

中国国情特殊：室外PM_{2.5}污染严重，室内空气中气相SVOC等污染也很严重，PM_{2.5}吸附SVOC后形成的复合污染从成分、暴露水平到健康危害都具有**特殊性**，而且其相互关联不清晰。

对多成分(包括未知成分)污染，仅用“浓度”难以反映其健康风险。

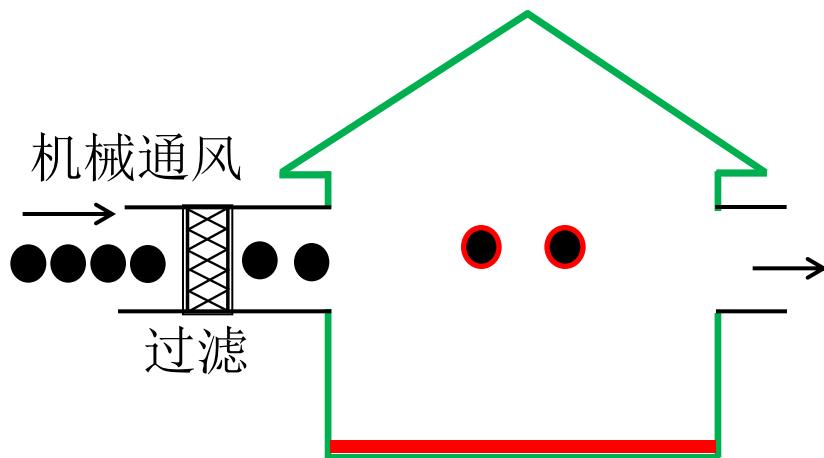
需解决的关键科学和技术问题



- 属于室内空气污染控制领域的重要机理问题，部分系多学科交叉问题！
- 不解决这些问题，室内PM_{2.5}与复合污染难以有效控制！

3. 研究进展-机理部分

室内PM_{2.5}进入机理和特性



粒径: 扫描
粒径谱仪



成分: 飞行时间
质谱仪+GC-MS

研究进展

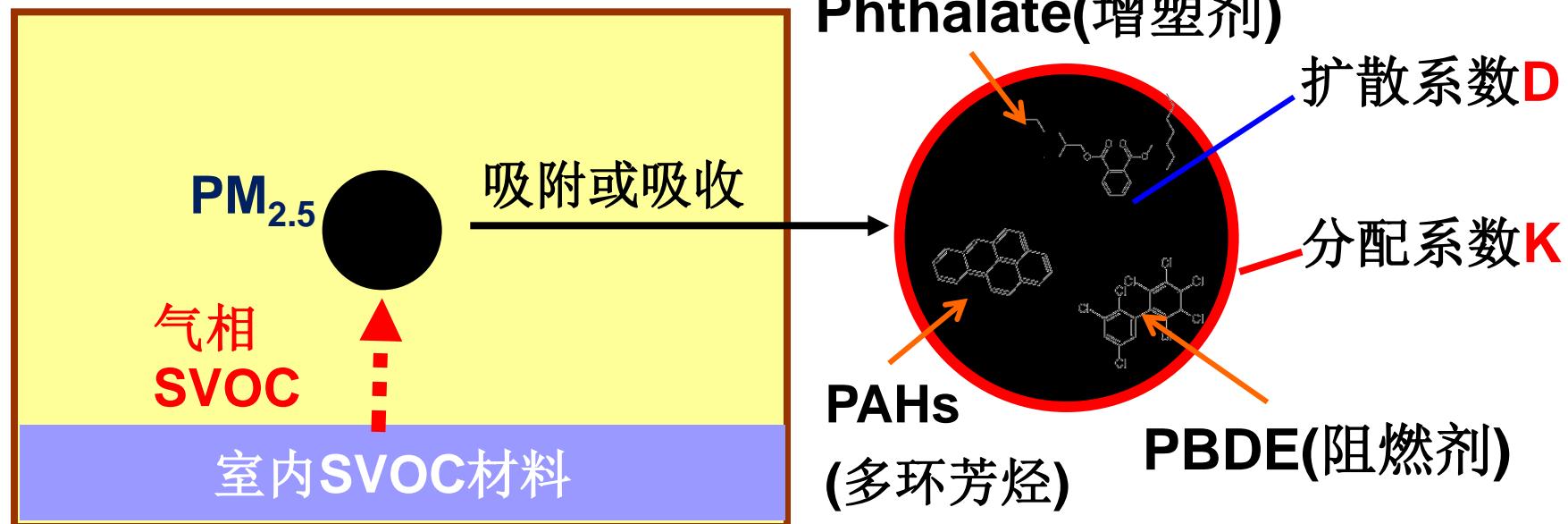
- 颗粒物进入室内过程中的粒径分布和成分变化机理。
- 二次污染物识别和产生条件。

技术路线
传质分析
+
化学分析

过滤器上、前、后颗粒
粒径分布和成分
• 二次污染物的识别
• 确定反应路径和反应系数

识别二次
污染物及
产生机理

室内PM_{2.5}与SVOC污染的复合特性



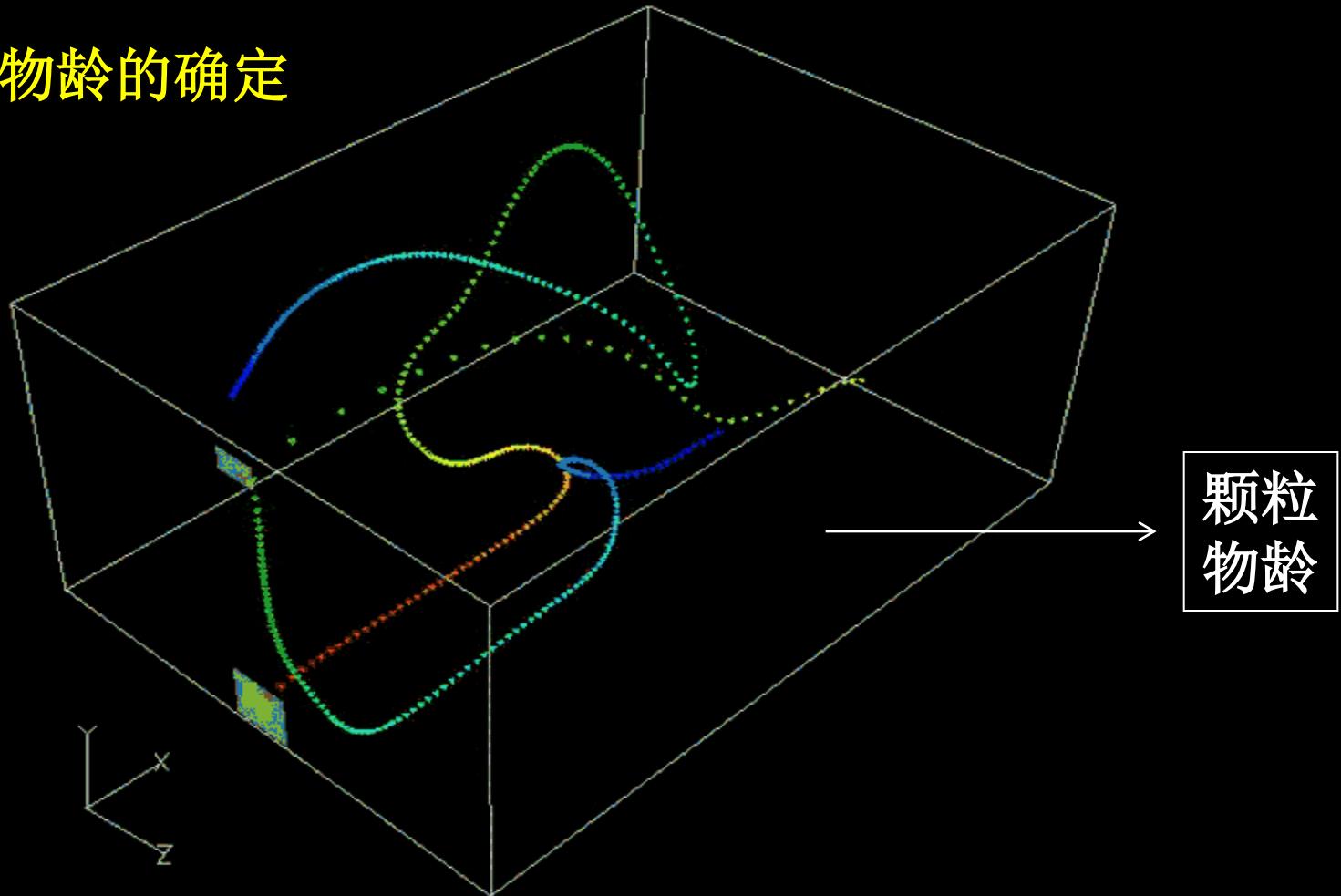
研究
进展

- 颗粒物龄：颗粒物在室内的停留时间
- 室内颗粒物吸附、吸收SVOCs的过程特性参数

技术路线

- 气溶胶力学
- 传质分析+实验测定：扩散系数D和分配系数K

颗粒物龄的确定



颗粒
物龄

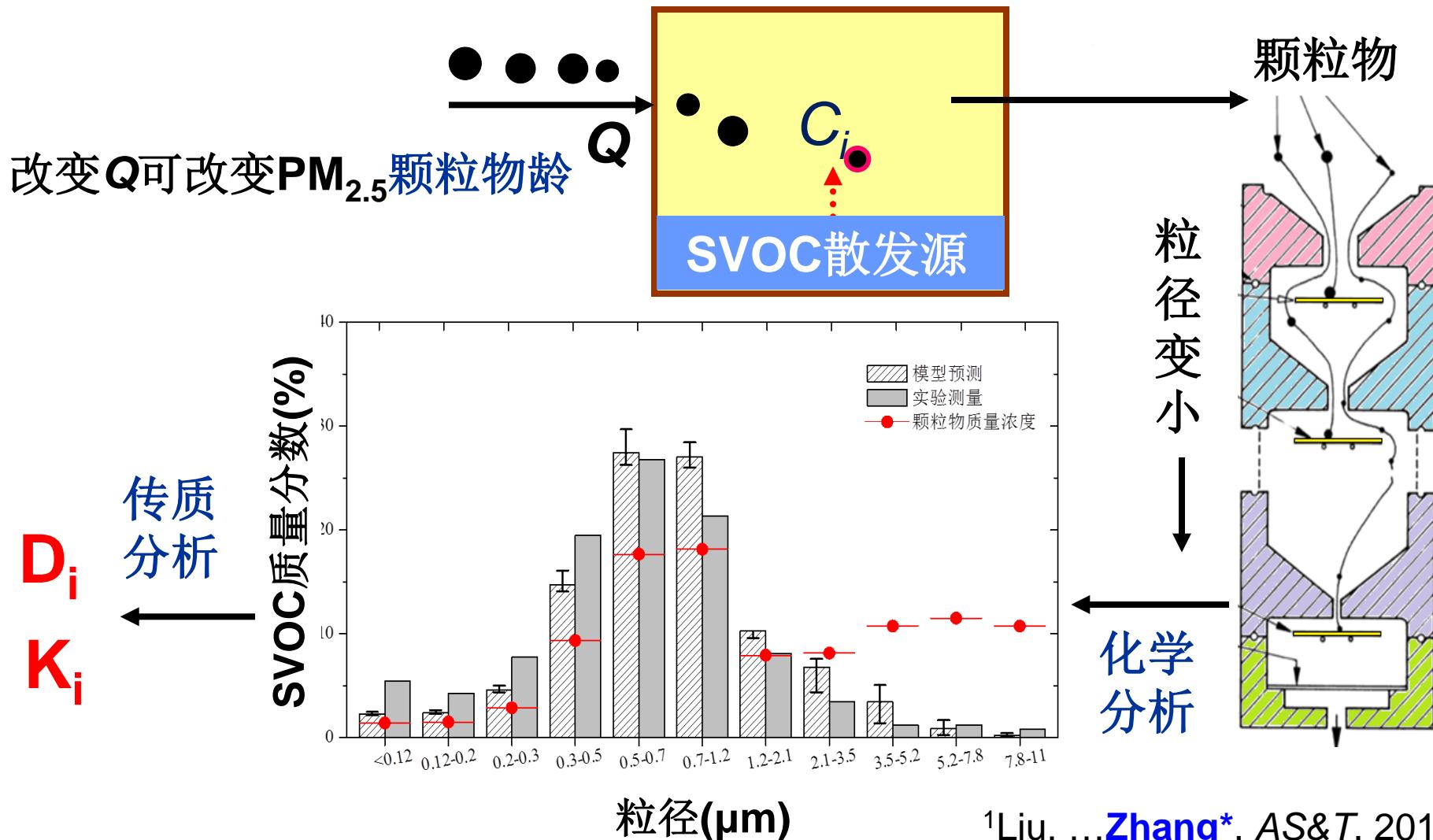
气溶胶力
学方程:

$$J = -(D + \varepsilon_p) \frac{\partial C}{\partial y} - \cos\theta v_s C + V_t C + V_{th} C + V_{dif} C$$

布朗和湍流扩散 重力沉降 湍流泳力 热泳力 扩散泳力

测定室内颗粒物吸附、吸收SVOCs的特性参数

研究表明¹：准确测定颗粒物对污染物i的扩散系数 D_i 和分配系数 K_i 值是确定逐时颗粒相SVOC浓度的关键。

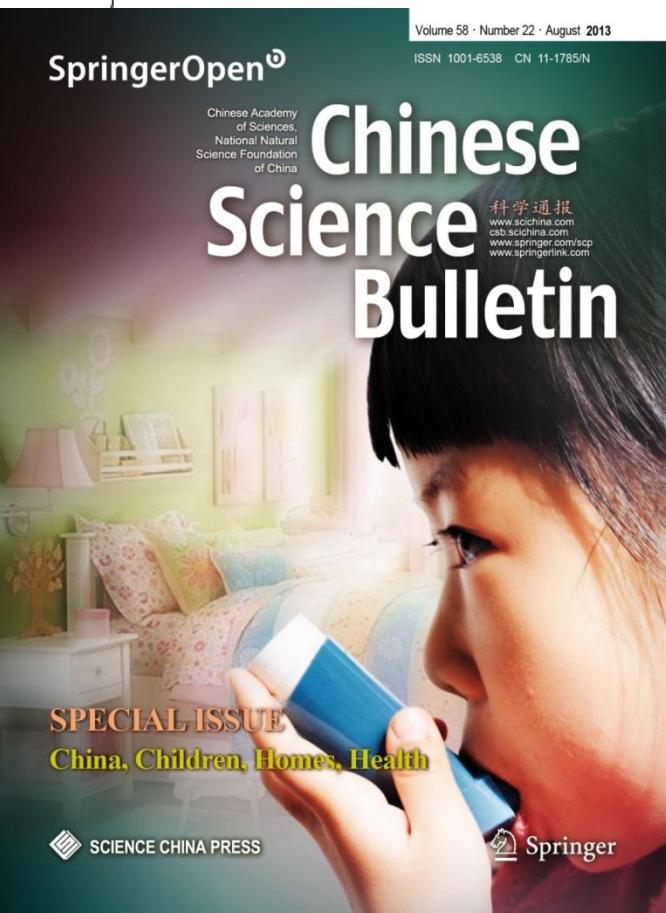


1. 进入机理...

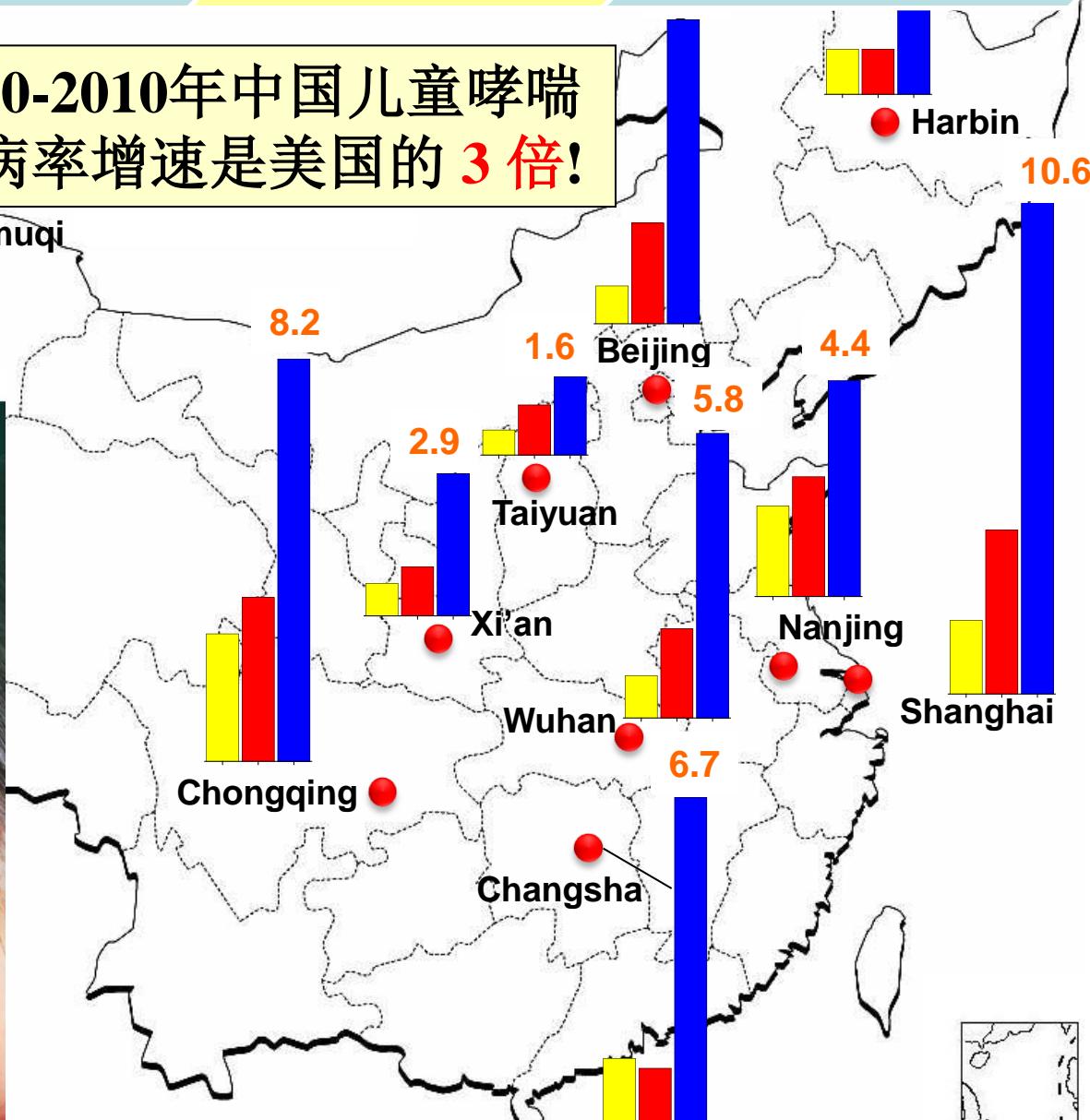
2. 复合机理...

3. 健康风险...

4. 污染控制...



1990-2010年中国儿童哮喘
发病率增速是美国的 3 倍!



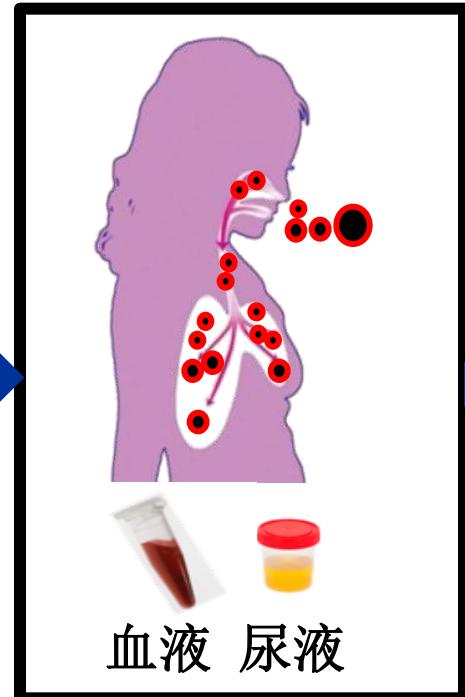
Zhang, et al., Chinese Sci. Bulletin, 2013.

室内PM_{2.5}及复合染暴露水平和健康风险

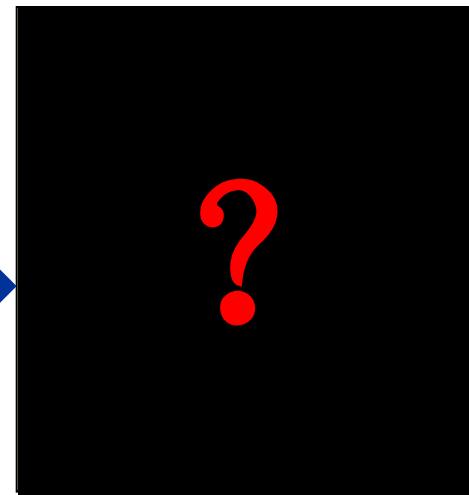
研究进展

- 室内PM_{2.5}及复合污染成分和水平、内暴露水平、健康风险及其**关联性**

PM_{2.5}及
复合污
染：成
分和浓
度



内暴露水平



不同健康风险
对应不同标志物



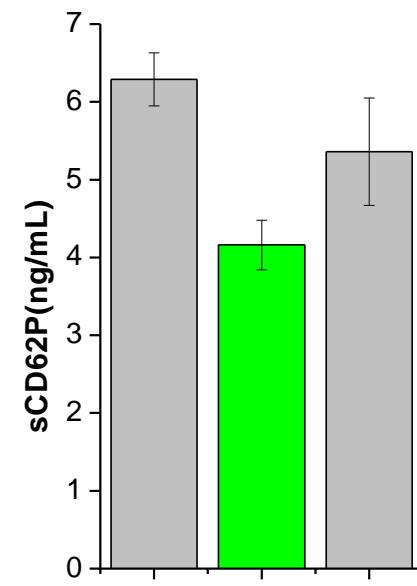
疾病

技术路线：采用**生物标志物**+控制实验

类别	生物标志物	来源
肺功能	肺活量测定	监测仪 实时测量
	脉冲震荡 (IOS)	
动脉僵硬度	脉搏波传导速度 (PWV)	
	反射波增强指数 (AI)	

很多生物标志物与健康风险已具有证实关联性，并被医学界临床试验采用。

血凝因子	血管性血友病因子 (vWF)	血液样品
血小板活化	可溶性CD40配体 (sCD40L)	
	可溶性P选择素 (sCD62P)	
全身性炎性	C反应蛋白 (CRP)	
	谷胱甘肽/氧化型谷胱甘肽比值 (GSH/GSSG)	
全身性氧化应激	8 -羟基-2'-脱氧鸟苷 (8-OHdG)	尿液样品
	丙二醛 (MDA)	

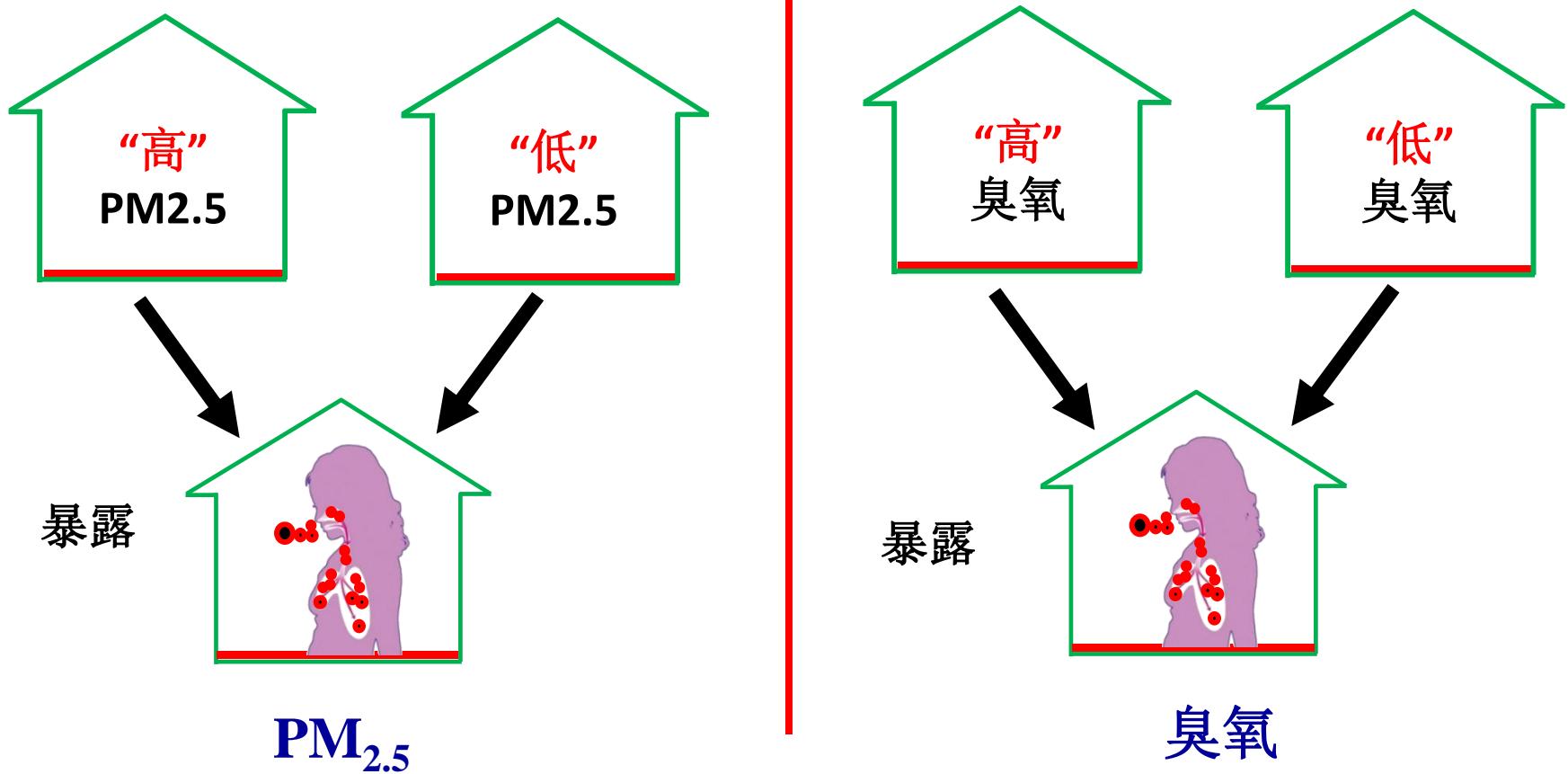


奥运会前后

Jim Zhang用此标志物确定了2008年北京奥运前后空气污染水平变化对人心血管疾病的影响。

...Zhang J*, JAMA, 2012

正在开展的干预研究



如何做？

生物标志物

- 尿液
- 血液
- EBC
- FENO
- SPIR
- VIC

室内空气污染物成分和浓度

- PM_{2.5}
- 臭氧
- NO_X
- SO₂
- VOCs等
- 超细颗粒

室外空气污染物数据从环保部网站
获得

受试者



清华大学和Duke大学的合作团队（部分）



结果？

正在计算？请耐心等待.....

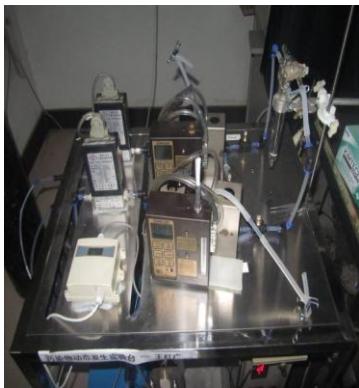


1.进入机理...

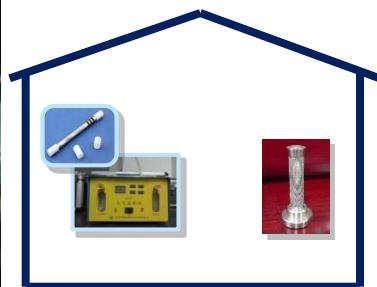
2.复合机理...

3.健康风险...

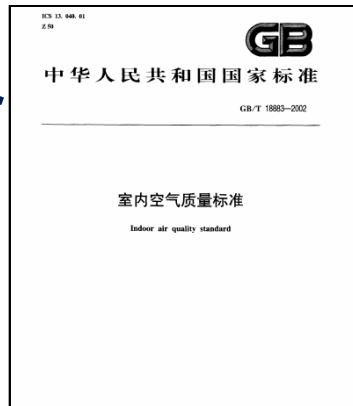
4.污染控制...



探测器筛选-
误差<20%



现场测试：
粒径、成
分、浓度



标准制/修订



空气净化器

+

新风换气机

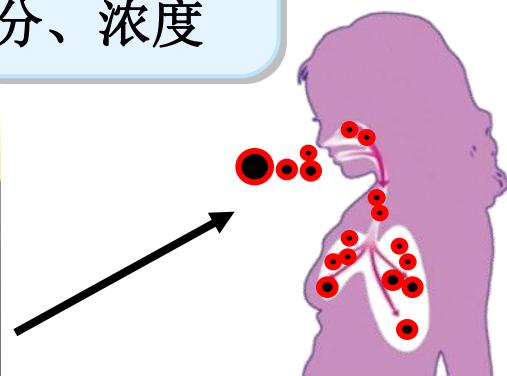
+

其他

研发和评价



SVOC源头控制



暴露控制

研究
进展

在上述环境开展了研
究，可指导确定：通风和
净化模式、源头控制、气
流组织和暴露控制方式等。

总体控制策略

在满足健康和热舒适的前提下，以能耗最小为约束条件。

3. 研究进展-应用部分

(1) 建筑环境空气质量监测

- 污染物在线测试设备

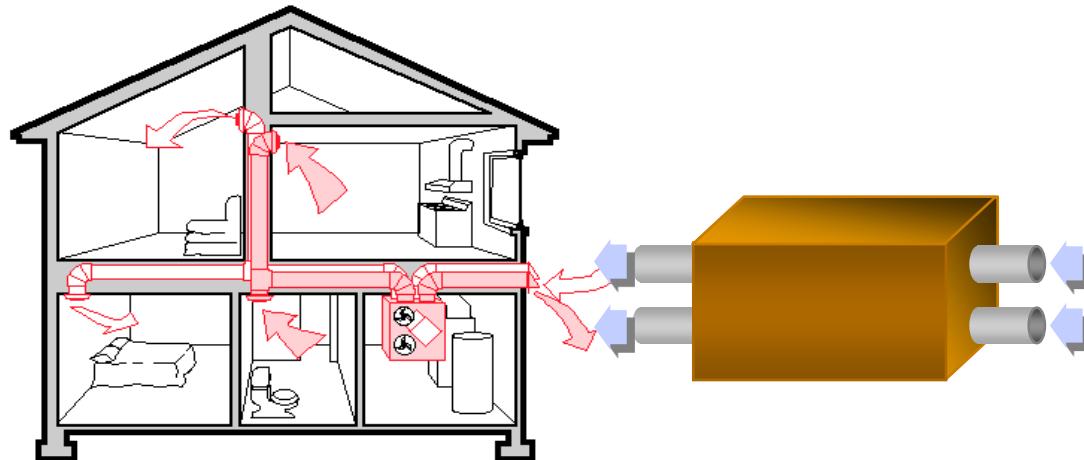


PM2.5传感器产品

多种污染物检测设备

(2) 智能节能型新风换气机

- 新风的洁净度控制：PM_{2.5}监测+除尘模块控制
- 臭氧控制：O₃监测+除O₃模块控制
- 膜式全热回收，有效排除室内VOC、维持室内温湿度

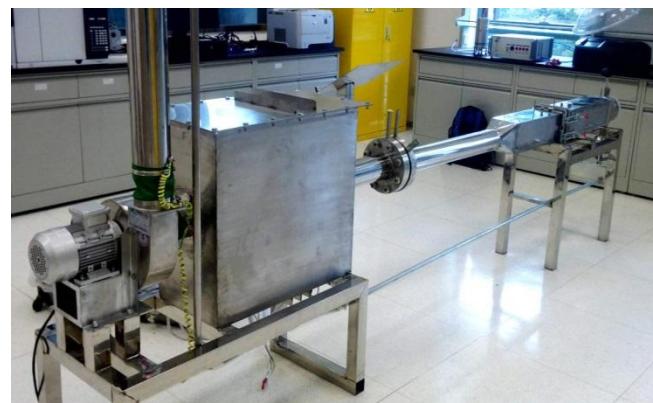


新风换气机 - 过滤、净化、全热回收

(3) 空气净化器或过滤器测试系统和装置(满足新国标)



环境舱（不锈钢、玻璃）



过滤器测试系统



污染物恒流源装置

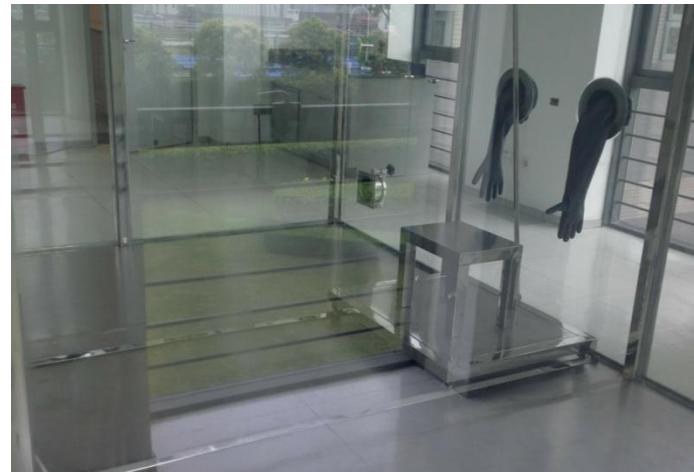


颗粒物发生投放装置

(4) 飞利浦IAQ创新研究实验室



净化器测试标准环境舱



操作口与测试样品
移动滑轨



35
舱内自净化管道及排放管道

清华大学建筑环境监测中心 -具有国家（国际）认可的检测资质



清华大学

建筑环境检测中心-空气室

Center for Building Environment Test Tsinghua University-IAQ

清华大学 | 网站地图

-----指导机构----- ▾

首页 | 关于我们 | 新闻动态 | 服务分类 | 仪器设备 | 专家建议 | 典型案例 | 研究成果 | 联系我们 | 下载查询 |

服务分类

- > 室内空气质量检测
- > 空气净化类产品测试评估
- > 室内材料物品散发测试
- > 电子元器件腐蚀防控
- > 气体散发分析
- > 环境舱设计制作



(2002)量认(国)字(F0583)号



中心资质 Qualification

中国国家认证认可监督管理委员会-计量认证



《中华人民共和国计量法》中规定：为社会提供公证数据的产品质量检验机构，必须经省级以上人民政府计量行政部门对其计量

新闻&媒体 News & Medias



> 我检测中心应邀参与湖南卫视节目
制

2013-04-08



> 关于室内空气检测室新旧网站交
善期的通生

典型案例



网址：www.tsinghua-iaq.com

典型案例

- 室内空气质量检测评估：8座奥运场馆、3000余座建筑
- 污染控制：神舟飞船、空间站攻关任务，宝马、大众设备机房
- 空气测控平台建设：航天城、飞利浦、东莞理工学院等

公建
项目
净化器

全国人大办公厅	外交部大楼	国家博物馆	教育部大楼	鸟巢	水立方
航天空间站净化	宝马车间净化	大众机房净化	北京家具污染标签	北京电视台·秦海公益 活动	长江7城市1500家庭污染检测

谢谢各位！

zhangyp@tsinghua.edu.cn