

同济大学研究生毕业论文

题目：空气清净器的评价与性能研究

研究生姓名：许鹏

导师姓名：范存养

研究方向：空气洁净技术

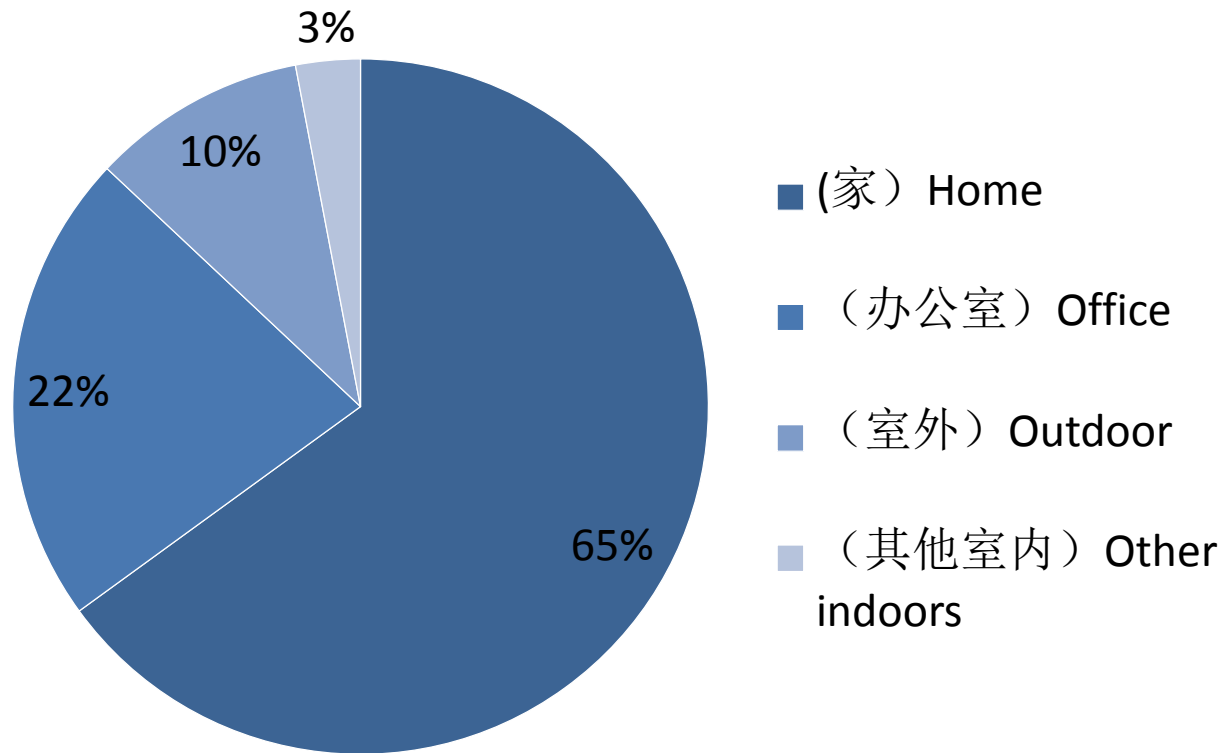
学制：两年半

一九九五年三月

室外干净还是室内干净？

新风？

Fresh Air ?



Time Use on Average American Employed Person between 25-45 ages with Children
美国25-54岁有孩子有工作的成年人平均时间使用

Source: Charts from the American Time Use Survey, Bureau of Labor Statistics
2015/3/19



许鹏 教授 博士 博导

同济大学机械与能源工程学院

Peng Xu Professor, PhD, PE, MBA

Tongji University

College of Mechanical Engineering

室外雾霾与室内空气质量联动关系

同济大学研究生毕业论文

题目：空气清净器的评价与性能研究

研究生姓名：许鹏

导师姓名：范存养

研究方向：空气洁净技术

学制：两年半

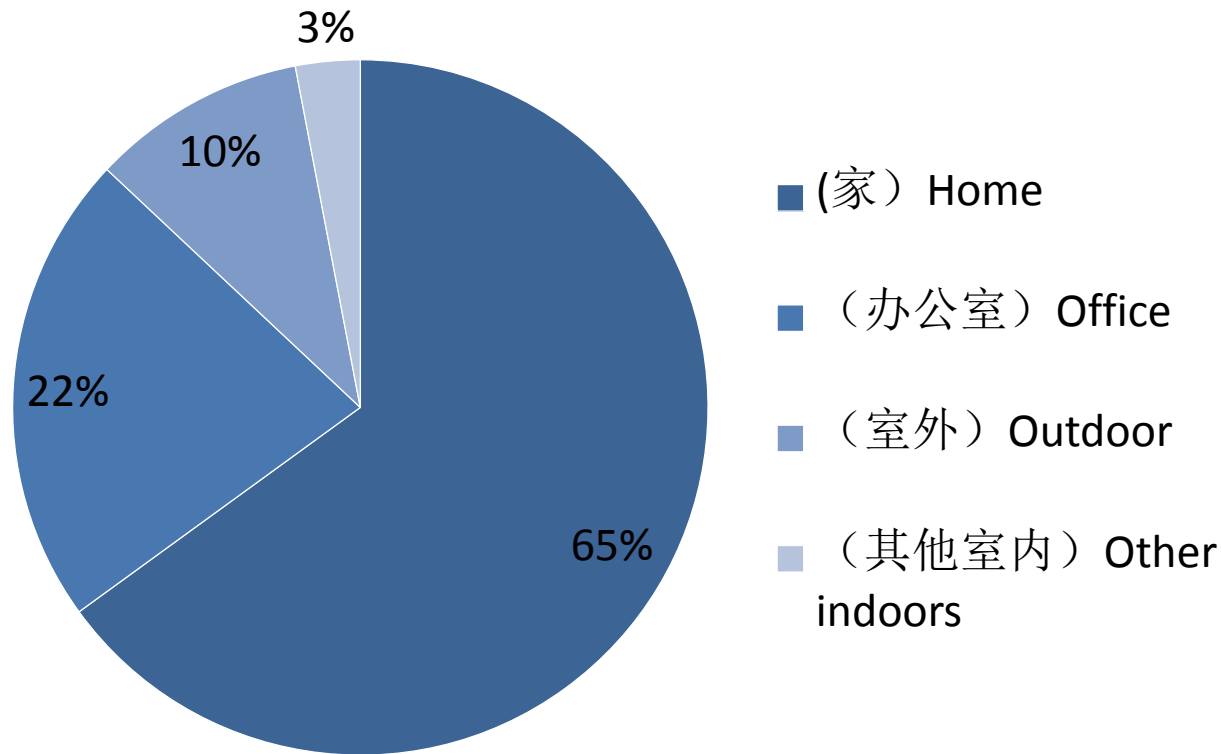
一九九五年三月

室外干净还是室内干净？

新风？

Fresh Air ?

90% 的时间我们在室内



Time Use on Average American Employed Person between 25-45 ages with Children
美国25-54岁有孩子有工作的成年人平均时间使用

普通民众

雾霾来临， 是否应该待在室内？

住家， 到底是否需要购买空气净化器？

办公室， 是否需要空气净化器？

业主、开发商、设计师

住宅怎样才能防雾霾？

办公楼空调通风系统是否需要改进设计？

45个城市发生重度空气污染

2013.12.26

本报北京12月25日电 (记者刘世昕) 持续时间长、波及范围大的灰霾污染再次袭来。环保部今天通报, 12月16日至24日, 全国有45个城市发生重度及以上的空气污染。

其中, 石家庄、邢台、衡水连续9天发生重度及以上污染; 哈尔滨、西安、武汉、邯郸、保定有8天重度及以上污染; 郑州市发生7天重度及以上污染; 长春、合肥、淮安发生6天重度及以上污染; 沈

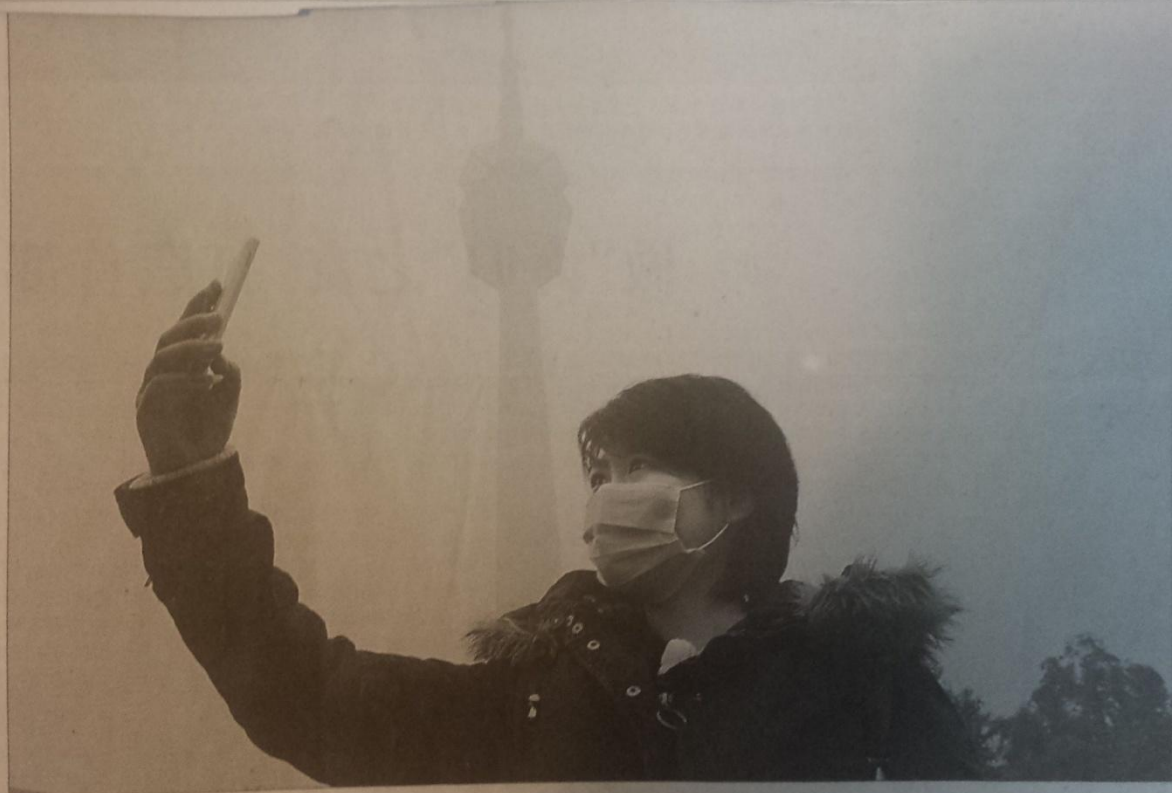
阳、长沙、沧州、廊坊发生5天重度及以上污染; 天津、济南、太原发生4天重度及以上污染; 南京、南宁、唐山、连云港、徐州、宿迁发生了3天重度及以上污染, 主要污染物为PM_{2.5}和PM₁₀。

环保部要求各地加大空气质量信息发布力度, 主动回应公众需求, 及时启动重污染天气应急预案, 尽可能降低空气污染对人民群众健康的影响。

近期, 空气污染较重的地区大多启动

了应急预案。北京市发布空气重污染IV级蓝色预警, 提醒小学及幼儿园的学生减少户外活动。天津市部分高炉全面停产, 停止一切土石方开挖、回填等室外建筑施工作业, 暂停学生集体户外活动。

在重污染城市密集的河北省, 石家庄加大对重污染期间偷排超排行为的处罚力度, 部分机动车限行; 邢台市工业企业减排污染物30%以上, 关停20吨以下工业燃煤锅炉, 建筑工地、拆迁工地停止施工; 机动车实行单双号限行; 邯郸市机动车限行, 采取党政机关、企事业单位室内空调温度不高于19℃, 停止开放景观灯光等措施减少能源消耗。



2013.12.26 中国 全国多地出现雾霾天气

2013年12月25日, 西安电视塔下, 一名大学生用手机自拍, 身后不远处, 依稀可见雾霾笼罩下的电视塔与拼命拨开“日”的太阳凄惨相伴。当日, 西安空气质量指数颗粒物PM_{2.5}:596, 颗粒物PM₁₀:887, 属严重污染。

12月24日~25日, 据中央气象台消息, 我国中东部地区大范围的霾天气明显加重, 北京、上海、山东、河北、江苏等多地出现雾霾天气。

CFP供图

359.9 ~ 360 mg/m³ → AQI 407

申城空气从优一跤跌到严重污染

市民呼吁长三角联防联控 政协委员提治理雾霾建议

本报讯 (记者 郭剑峰 李一能)昨天,申城空气质量仿佛坐上过山车,一天之内经历一级优到六级严重污染,是入冬以来首次触碰到最高级别污染——严重污染。幸好,下半夜开始,空气质量又迅速好转起来。截至今天上午10时,首要污染物PM2.5小时浓度为77.4微克/立方米,实时空气质量指数(AQI)为103,达三级轻度污染。

两会会场外 市民问空气何时不靠吹

昨天下午,本市出现中度霾和大雾,17时20分和17时45分,本市分别发布了霾黄色预警信号和大雾黄色预警信号。而此前本市空气质量一直为优良,清晨时分的PM2.5小时浓度仅为20多微克/立方米。至15时,已踏入五级重度污染;18时,突破六级严重污染线;20时,达到最高峰,PM2.5小时浓度359.9微克/立方米,实时空气质量指数(AQI)达407。至今天早上6时和7时45分,霾黄色和大雾黄色预警已分别解除。

根据长三角区域环境空气质量预报,明天起连续4天,长三角都处于高压底部,整体优到良。市民将可以享受一段空气清新的日子了。

根据环保部门分析,此次空气污染主要原因是高湿度,加上小风静稳天气,造成污染物短时间内积

聚,难以扩散。不少市民表示,目前本市空气质量基本靠吹,风力小,空气就差;冷空气或东南风来了,才会转好。那么,长三角联防联控体现在哪里?环保部门表示,目前,长三角联防联控协作机制已正式启动,下一步要加快协调来落实,但成效不会一蹴而就。

两会会场内 委员就政策理念提建议

在两会会场之内,空气污染也成为政协委员们热议的焦点。

今天上午9时,市政协召开专题分组会议,在第六组名为“加大环境保护力度,提高生态文明水平”的分组会议中,政协委员们纷纷提出了治理雾霾的建议。

上海核工程研究设计院院长郑明光委员表示,火力发电是造成雾霾的重要原因之一,他建议继续推进安全高效的核电。政府部门应当围绕这一目标加以引导,并加大研发投入,提供政策支持。

华东师范大学数学部教授金志明委员认为,治理雾霾的关键是要减少机动车出行,提倡使用公共交通,应当从对孩子的教育上传播这一观念。

上海交大安泰经济与管理学院院长党委书记田新民委员建议,运用税收等经济杠杆来推进环保政策的落实,改变公众生活习惯,提高全社会的环保意识。



■上海中心气象台昨天先后发布霾黄色预警和大雾黄色预警,申城空气质量急转直下

本报记者 陈梦泽 摄

本周气温缓降 至少5天有雨

本报讯 (记者 马丹)据上海中心气象台预报,受到北方冷空气的持续输送影响,本周气温将乘“慢速电梯”逐级下降,周五最高气温会跌至本轮降温的最低点,为6℃左右。

受冷暖空气交锋影响,申城今起开启“阴雨模式”,预计雨日至少有5天。

长江口现今年首波咸潮 青草沙陈行取水未受影响

本报讯 (记者 张欣平)较往年稍有推迟,连日来,长江口水域出现今年首波咸潮。得益于本月上游来水较为充裕,目前青草沙、陈行两大取水口未受首波咸潮的影响,全市供水平稳正常。

据供水部门的监测,由于本月上游来水较为充足,流量较往年增

加一半左右,目前青草沙、陈行两水口的氯化钠浓度均远低于25毫克/升的国家标准,首波咸潮并未对两大取水口造成影响。

供水部门表示,咸潮期间将持续加大对本市取水口的监测力度,采取相应的手段确保市民用水安全。

雾霾围困下的郑州官民互动

市民致信市长指责治霾不力 言辞激烈引网友热议 市长回信称“心情沉重”



10月10日,郑州市民在雾霾中晨练。

IC 图

早报见习记者 许梦娜
 顾晓君 段锐超



“你管好了天空,将功德无

“我们这些普通市民,不瞒你说,

‘今’市长。这是我不该犯的错误。”

早报记者在李国发朋友的空间中找到的公开信最初版本发现,这封信一开始确实是写给“尊敬的郑州市

大市民对宜居生活的环境和群众的期盼还有很大的差距。”

“虽然治理大气污染是一个历史过程,但政府责无旁贷。”马懿写道“我们愿进一步科学论证雾霾大

西藏墨脱: 白鹤豹猫遭猎杀 照片拍摄于广西

早报讯 新华社记者昨日从西藏墨脱县政府获悉,近日网传“西藏墨脱野生动物遭猎杀”属不实信息。

日前,有微博爆料称:“近日听闻西藏墨脱县向导说有打猎人在该县雅鲁藏布大峡谷核心区布下大量钢丝套,猎杀国家一级保护野生动物白鹤和西藏自治区二级保护野生动物豹猫。”

这条微博还配有4张图片,其中一张图片显示:猎人一手掐住白鹤的脖子,另一只手拉着白鹤的翅膀,满脸笑意,像是在炫耀自己的成果。其余3张为猎杀的豹猫,图中的豹猫已经死亡,用绳子捆绑在摩托车后。微博一经发出,又经微信转发,迅速引起社会各界广泛关注,网民纷纷谴责并声讨不法分子的恶行。

经墨脱县林业部门调查,微博中所发生的猎杀行为确有其事,但并非发生在墨脱县境内。墨脱县县长扎西23日下午通过电话告诉新

北京发布霾黄色预警 建议减少外出

正文

我来说两句(0人参与)

扫描到手机

2015-03-16 14:58:04 来源: 综合 作者: 新京报

手机看新闻 | 保存到博客 |  | 

新京报快讯(记者邓琦)北京市气象台今日14时15分发布霾黄色预警信号,预计今天下午至夜间,北京大部分地区有中度到重度霾,能见度较差,请市民注意防范。

14时PM2.5浓度显示,城六区(东城、西城、朝阳、海淀、丰台、石景山)为260微克/立方米,其余地区小时浓度均超过200,处于重度污染级别,建议减少外出。

室内PM2.5来源

室内颗粒物的运动以及分布情况是评价室内空气品质的重要指标。在室外雾霾大环境下，建筑室内环境中的颗粒物及气体有害物质有室内和室外两种来源。室外来源对于住宅建筑多为通过建筑维护结构渗透进入内，或是由空调系统的新风带入室内，室内来源为人体散发、室内微生物颗粒物的气溶胶化以及其他物质的相变、凝结和转化等过程。建筑室内颗粒浓度的其他影响因素有通风过滤、颗粒物沉积、颗粒物转化以及再悬浮过程。

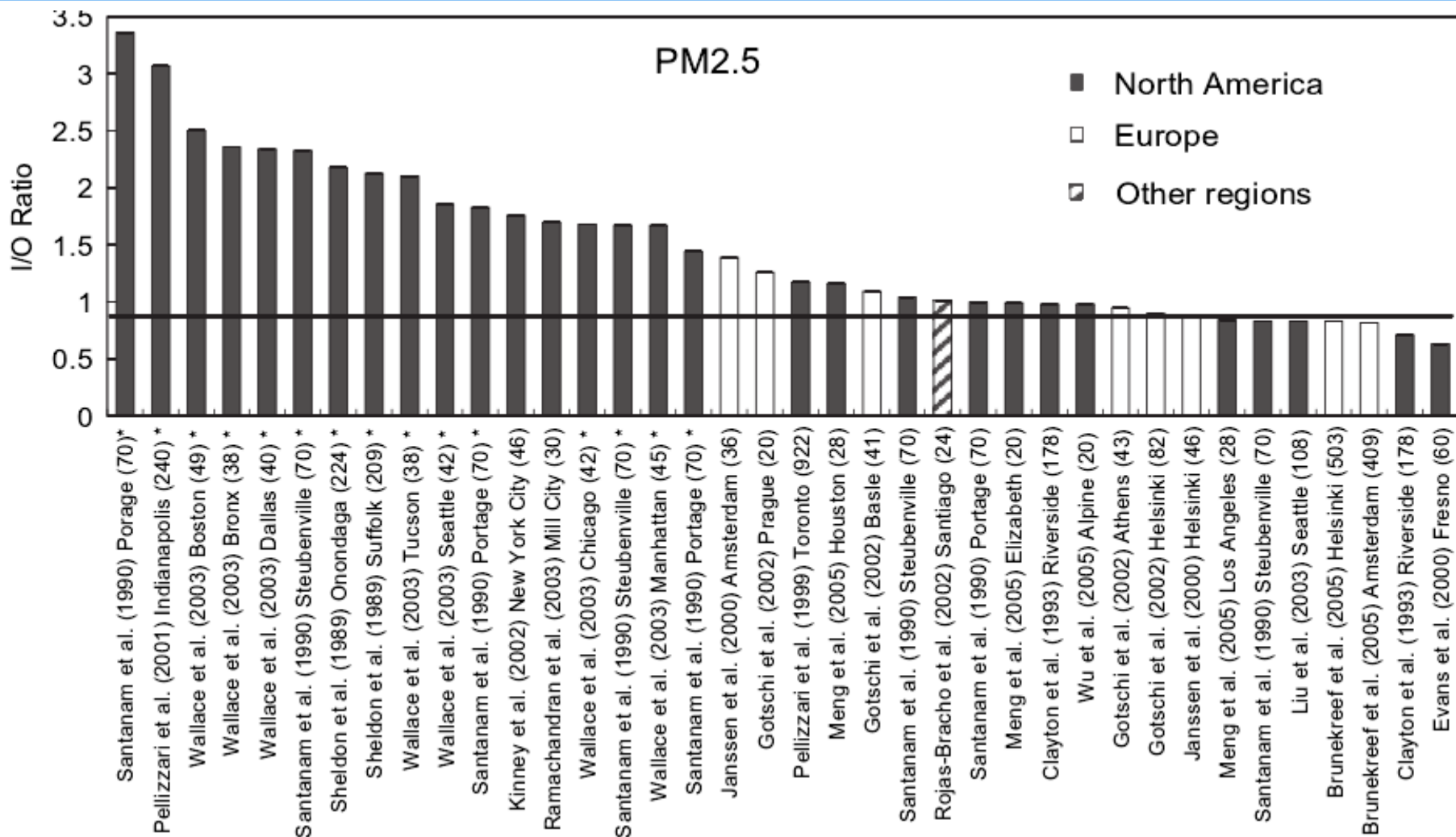


三个指标描述室内浓度和室外浓度的关系:

- I/O Ratio
- Infiltration Factor, 渗透指数
 - 室外进入室内继续保持悬浮的比例
- Penetration Factor, 穿透指数
 - 室外通过门窗缝隙进入室内的比例

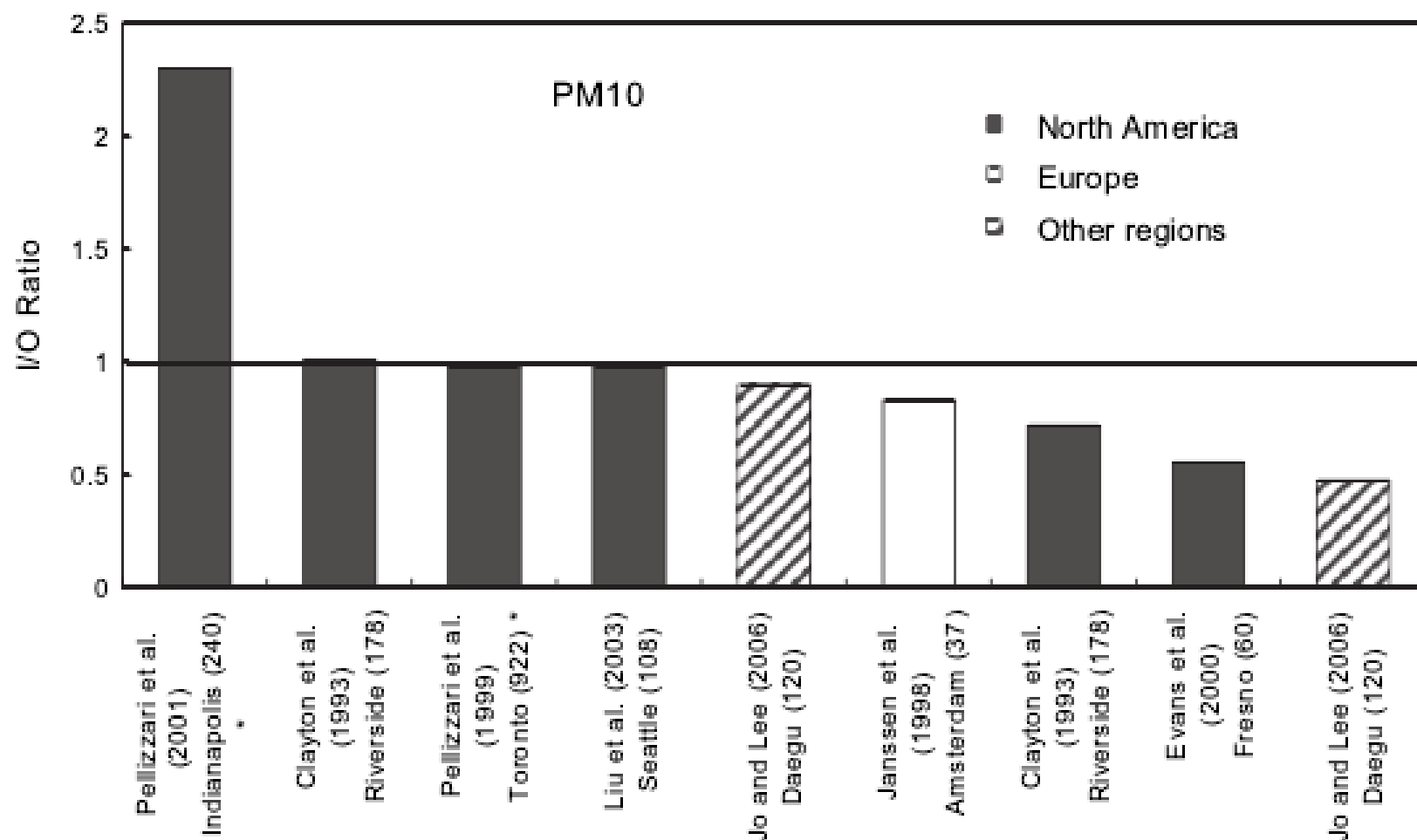


室内外颗粒物特性及关联性



I/O比能够间接反映室内外颗粒物的关联性。上图为在不同城市实验数据测得的I/O比值，数值变化由3.36~0.7变化不等。高I/O比（带*号）的数据与室内散发源有关，如吸烟、炊事。小I/O比多数采用了过滤装置，并且建筑的气密性好，室内无散发源。

室内外颗粒物特性及关联性

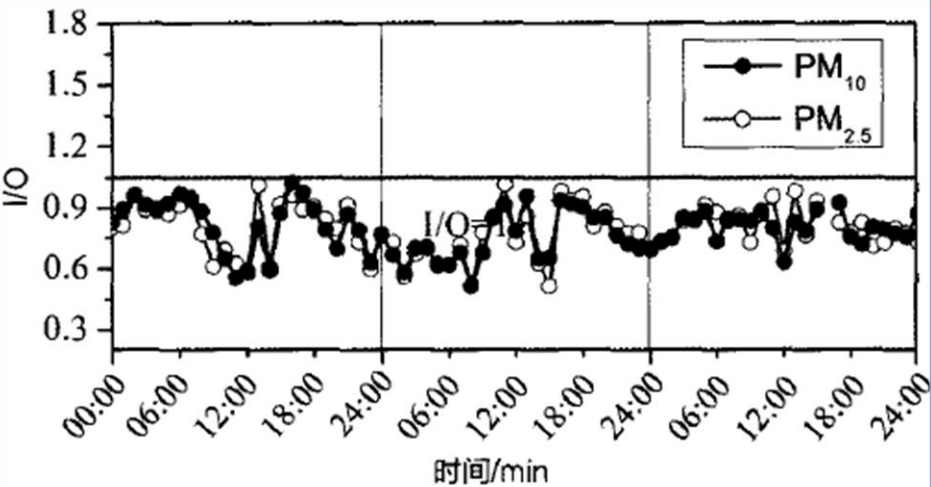


建筑间的差异，诸如室内颗粒物源、建筑物缝隙形式、室外风环境、通风形式、过滤装置的使用，导致了I/O很大的范围。

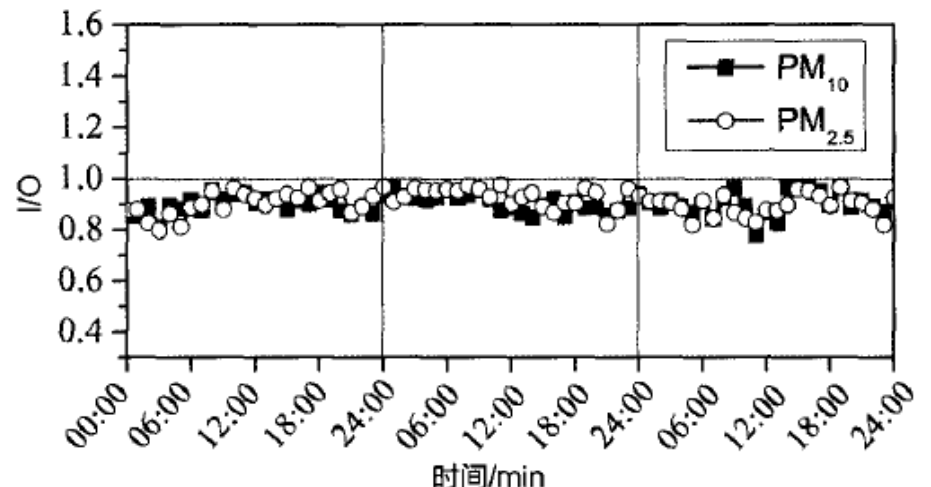
室内外颗粒物特性及关联性

上海市某住宅房间单侧通风条件下颗粒物I/O变化曲线

2013年7月夏季轻霾天



2013年12月冬季重霾天

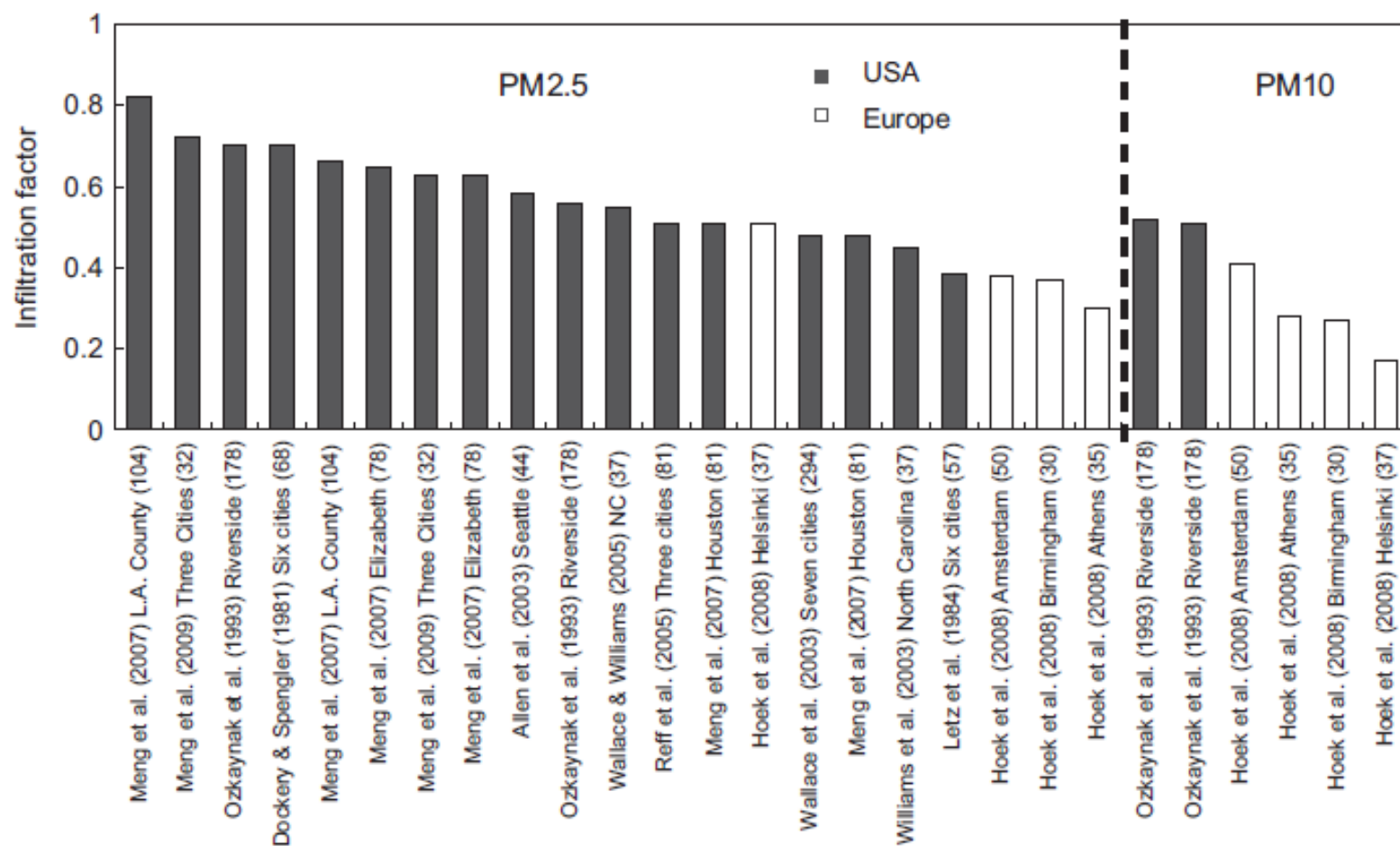


	夏季轻霾			冬季重霾		
	室外	室内	I/O	室外	室内	I/O
PM2.5	135.1	110.9	0.821	231.6	191.4	0.896
PM10	161.8	129.9	0.803	275.4	229.7	0.834

通过对于2013年上海市夏、冬两典型日室内外PM2.5、PM10的实测数据表明，室内外颗粒物浓度具有明显的关联性，且PM2.5与PM10的I/O比变化规律具有较好的一致性。根据数据也可以看出，室外细颗粒比粗颗粒有更高的穿透性，更易进入室内。

渗透指数 (Infiltration factor)

C. Chen, B. Zhao / Atmospheric Environment 45 (2011) 275–288



穿透指数 (Penetration factor)

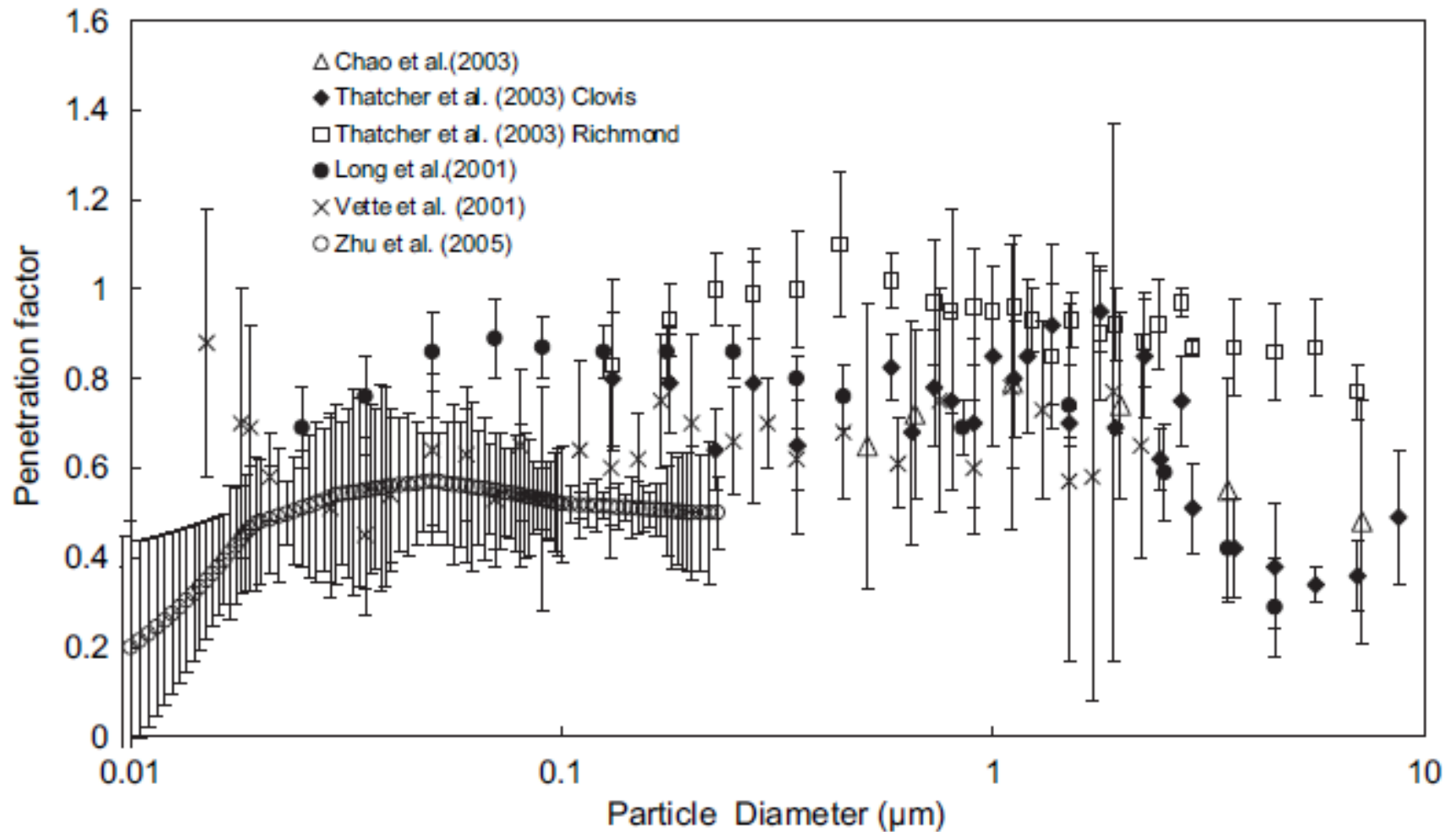


Fig. 6. Data of particle penetration factors obtained from experiments in real buildings.

研究空气颗粒物室内外联系一般有以下几种主要研究方法：

- 室内空气质量平衡（基于物理参数）
- 室内外浓度回归统计（基于实测数据）
- 受体源解析（基于室内空气颗粒物受体成分谱和各种源的成分谱）

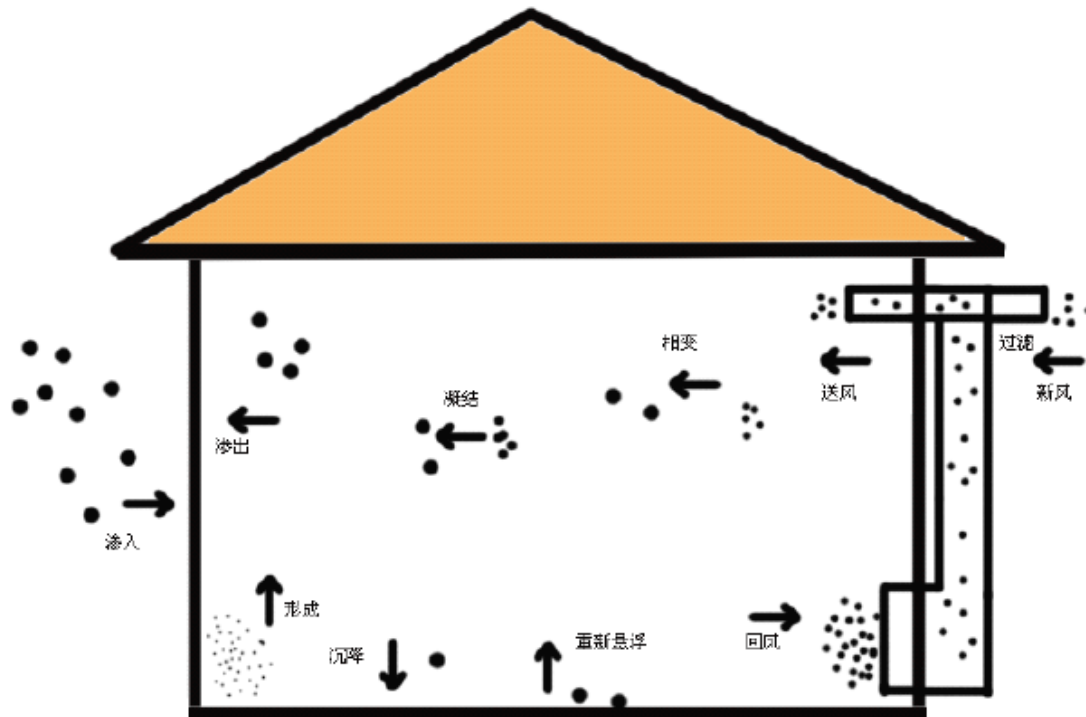


质量平衡模型

依据质量平衡原理，室内外的颗粒物浓度可以用以下浓度方程来表示：

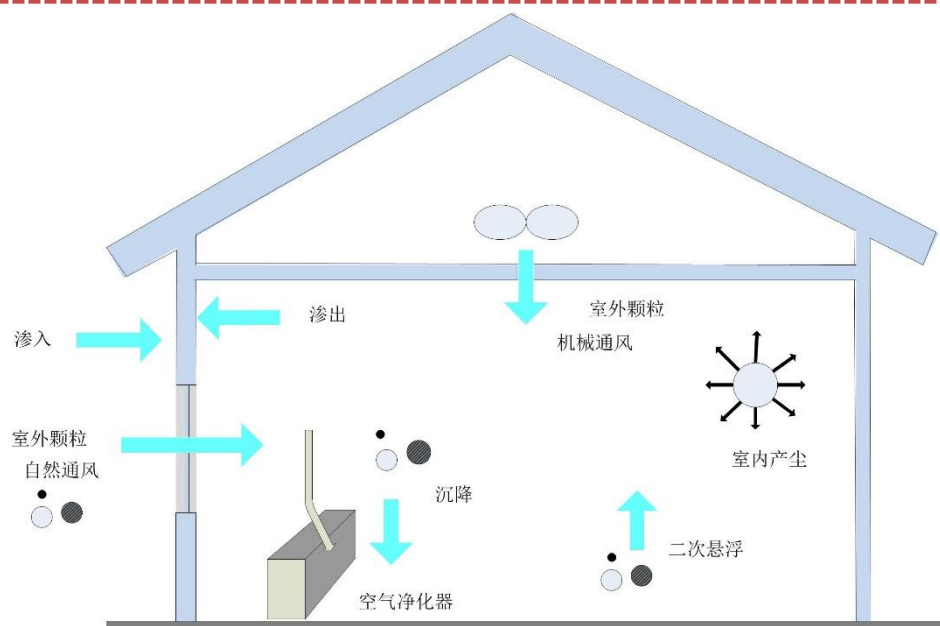
$$\frac{dC}{dt} = [\text{室外颗粒物的渗透率}] + [\text{室内颗粒物的排出率}] + [\text{室内颗粒物的产生率}] + [\text{颗粒物的沉积率}]$$

根据研究目的不同常常对公式进行假设推导、变形和细化。



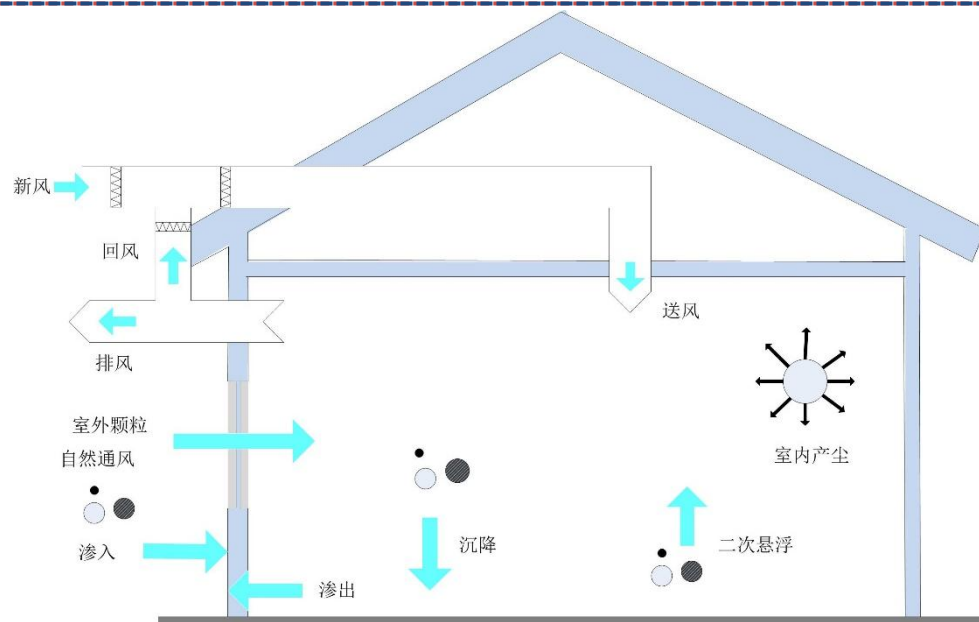
不同建筑类型下室内颗粒物的浓度预测模型

住宅



$$V \frac{dC}{dt} = Q_{mv} \eta_1 C_o - Q_{mv} C + Q_{nv} p C_o - Q_{nv} C - Q_{ap} \eta_2 C - KVC + RLF + GV$$

办公*一次回风

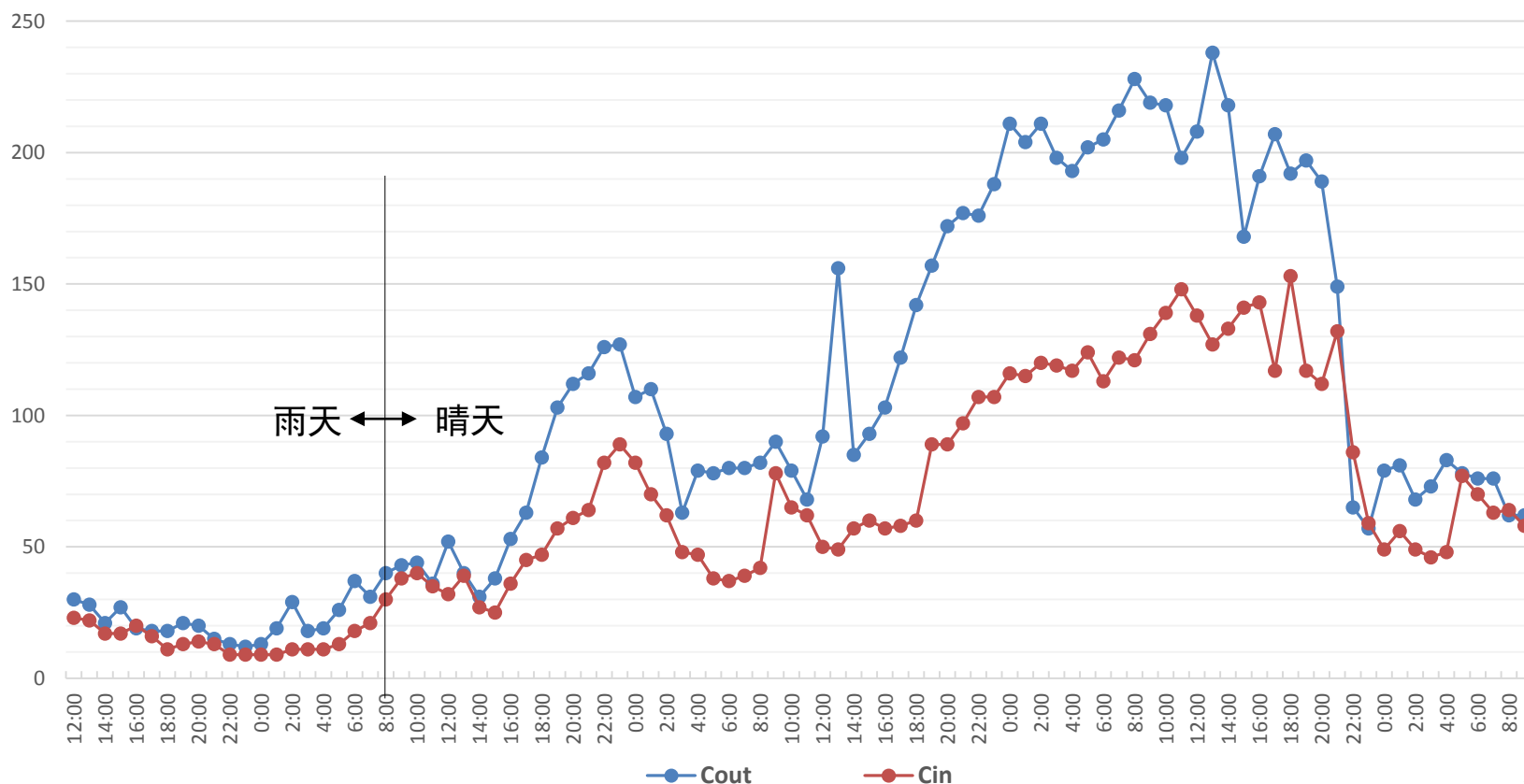


$$V \frac{dC}{dt} = Q_{ra}(1 - \eta_{ra})(1 - \eta_{sa})C + Q_{fa}(1 - \eta_{fa})(1 - \eta_{sa})C_o + Q_{nv} p C_o - Q_{nv} C - Q_{ra} C - Q_{fa} C - KVC + RLF + GV$$

实测数据及模型验证

在2013年12月份灰霾天气条件下时对上海市某住宅进行了现场测试。测试时室内仅有测试者且人员活动量较小。室内空调关闭，无采暖，住宅外门窗紧闭，通过门窗缝隙进行的自然通风，房间的换气次数大致为 $0.4\sim 1\text{h}^{-1}$ 之间。无厨房油烟污染，也无吸烟现象及卫生打扫。下图为PM_{2.5}随时间的变化规律。由图可见，雨天时室内PM浓度较低。

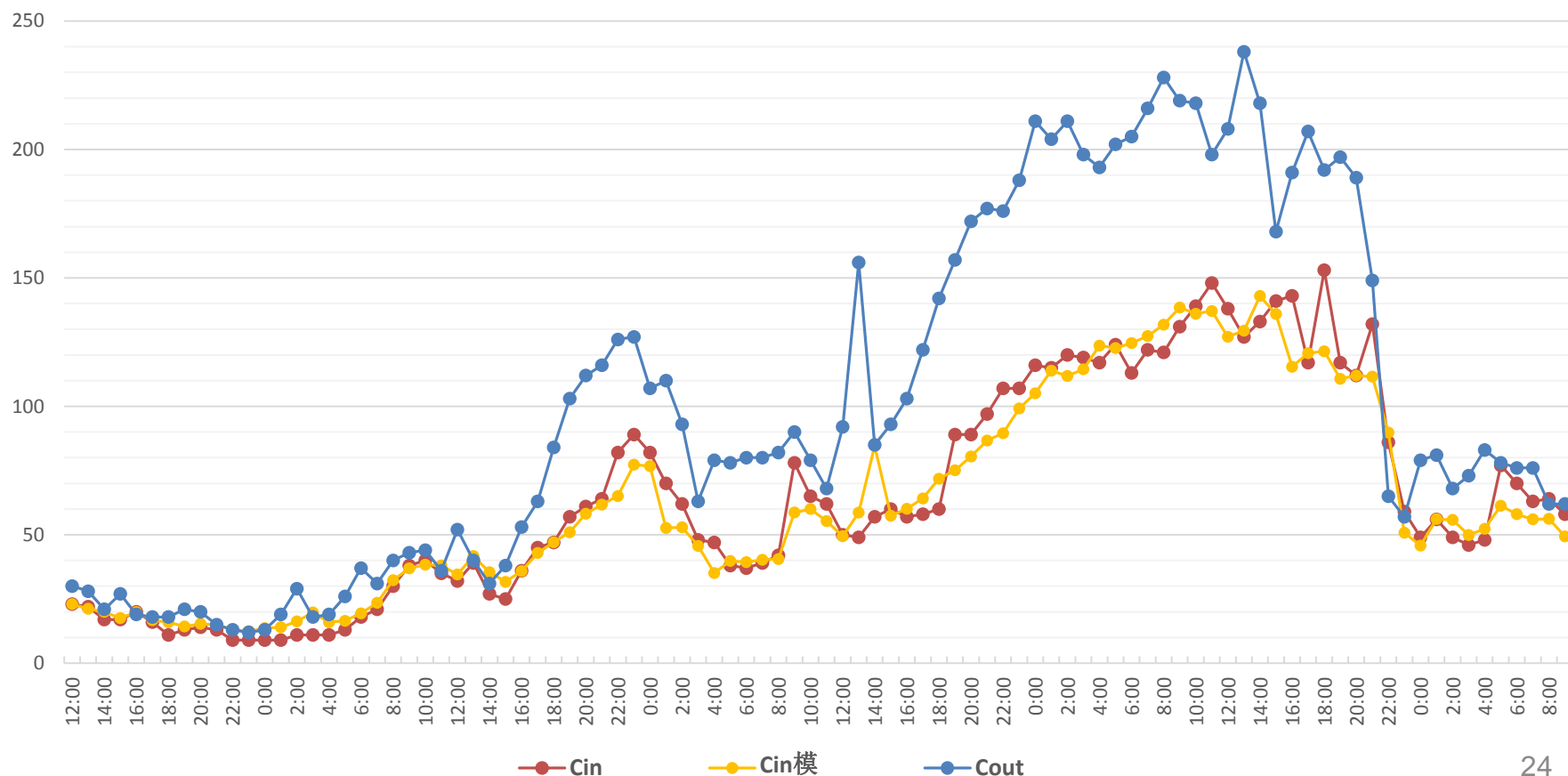
室内外PM_{2.5}浓度随时间变化情况



实测数据及模型验证

用该情况下住宅的室内外颗粒物质量平衡模型 $V \frac{dC}{dt} = Q_{nv}pC_o - Q_{nv}C - KVC + RLF + GV$ 采用实测数据对模型进行训练，确定模型相关参数。由下图所示，室内颗粒物预测模型与实测室内物浓度曲线较吻合，可以使用该训练模型。

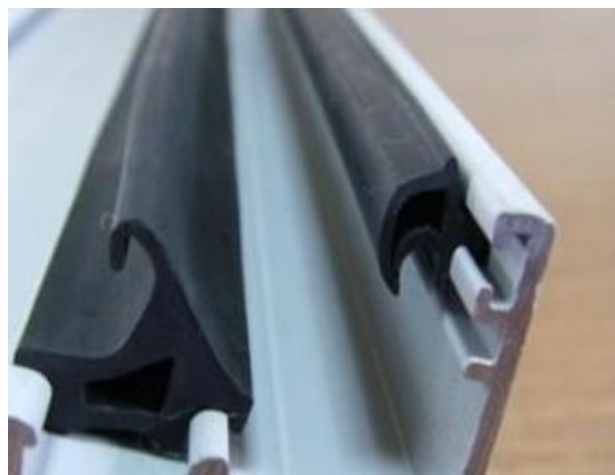
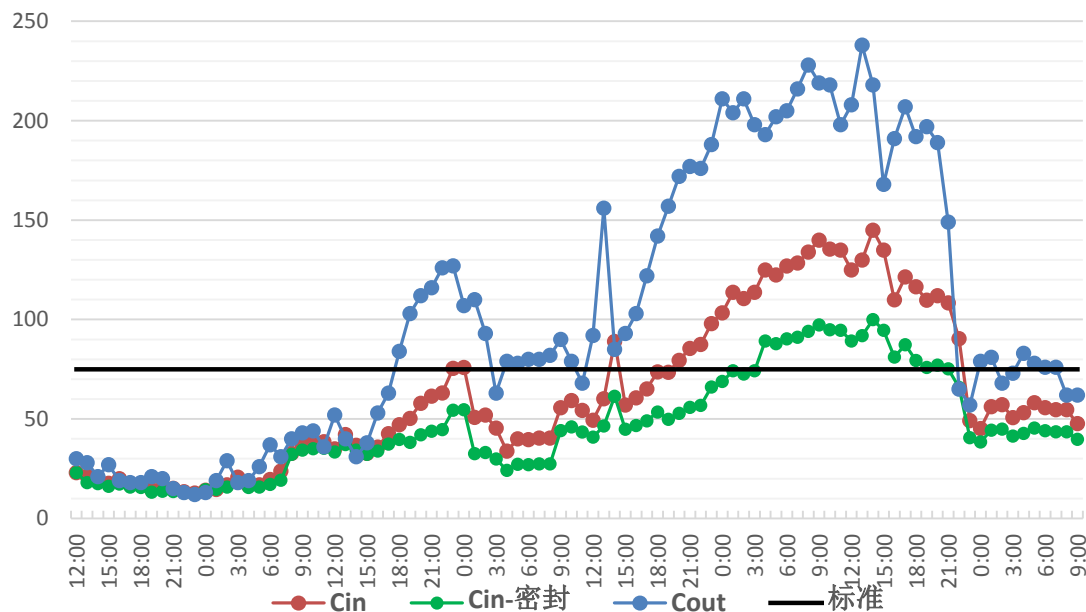
室内PM2.5预测模型验证



被动式技术——提高门窗气密性



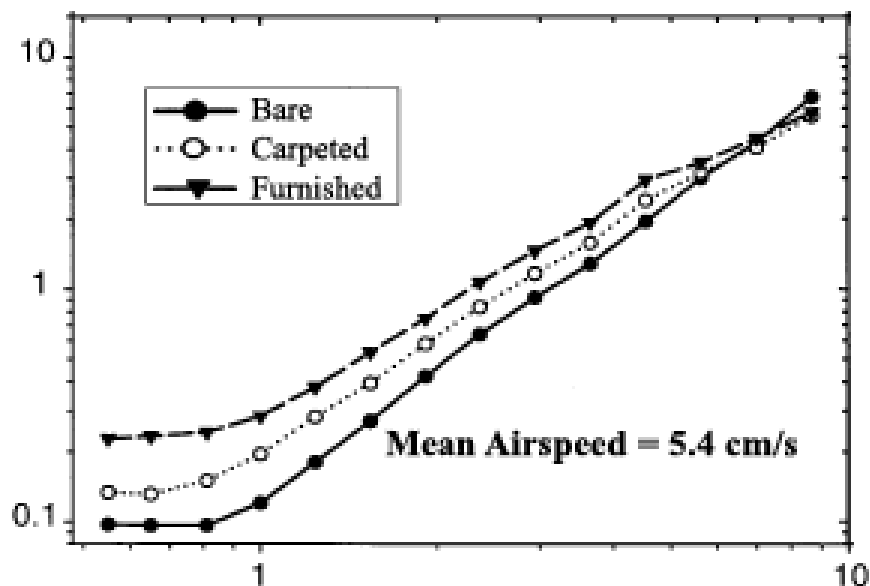
提高门窗气密性



由上图可知，加强门窗气密性（如贴密封条）能够降低室内颗粒物浓度，但在室外颗粒物浓度较高时，仍不能将至 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下。因此，在重霾天，仍需要其他降低室内颗粒物浓度的手段。另外，该情况空气渗透换气量都较小，平均换气量低于 $15\text{m}^3/\text{h}$ ，不满足室内新风量的需求，有必要采用有组织的通风换气来满足室内通风需求并维持良好的室内空气质量。

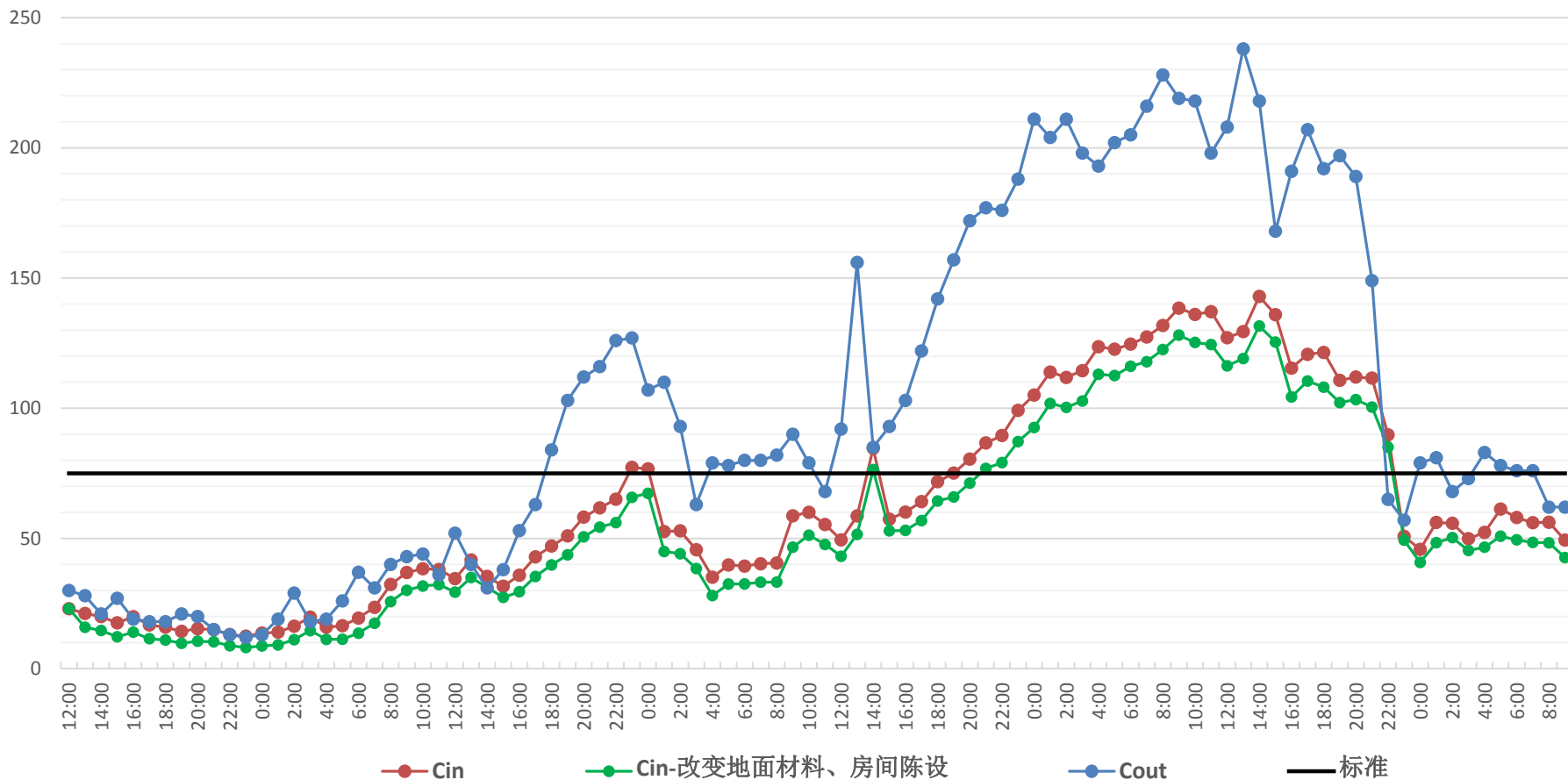
被动式技术——改变地面材料、房间陈设

- Zhang等人通过建立脚步的起落运动模型，通过数值方法及实验验证研究了由于人的行走引起的颗粒物二次悬浮的。研究表明地面粗糙度影响着二次悬浮。较大的地面和颗粒粗糙度会引起较大的二次悬浮。
- Thatcher等人对不同室内陈设条件下的颗粒沉降进行了研究，研究表明室内陈设越多（Bare→Carpeted→Furnished），沉降率越大，且颗粒物粒径越小越明显。



被动式技术——改变地面材料、房间陈设

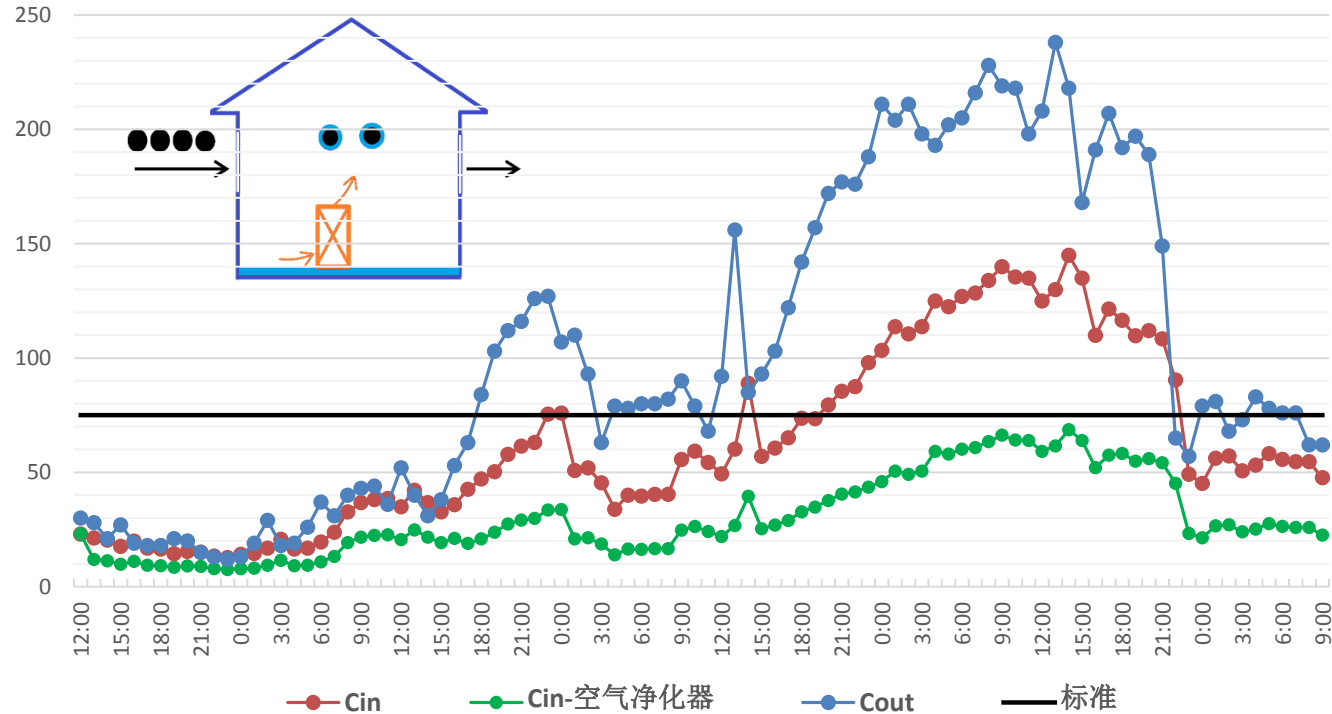
改变地面材料、房间陈设



在该室外条件下，通过模拟计算，改变地面材料与房间陈设，降低室内颗粒物浓度并不明显，仍超过室内颗粒物的限值。且需经常使用吸尘器将地毯吸附的粉尘颗粒清除，否则藏纳污垢，反而影响室内空气品质。

主动式技术——空气净化器

使用空气净化器

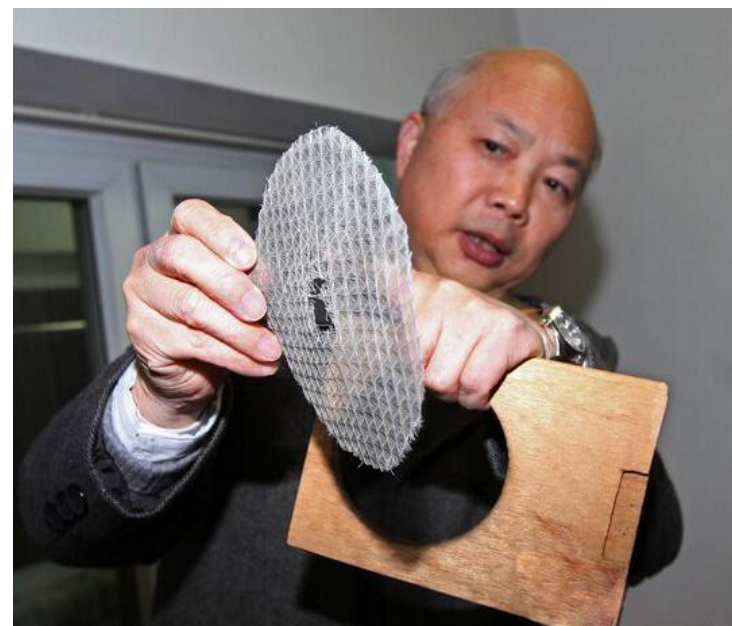


采用某品牌空气净化器，在无霾、轻霾、重霾的情况下开启净化器的1、2、3档风量，该净化器对细颗粒物的一次过滤效率为50%（非循环过滤效率），其他参数如下表，通过模拟计算可以得出，使用空气净化器，在较大风量的情况下，能有效地在重霾天将室内

	第1档	第2档	第3档	第4档	第5档
P(W)	17.67	32.34	47.73	66.27	90.12
V(m³/s)	65.1	134.2	240	321.4	394.6

内颗粒物浓度降至国标范围之内，同时保证室内一定的换气次数以及较优的室内空气质量。

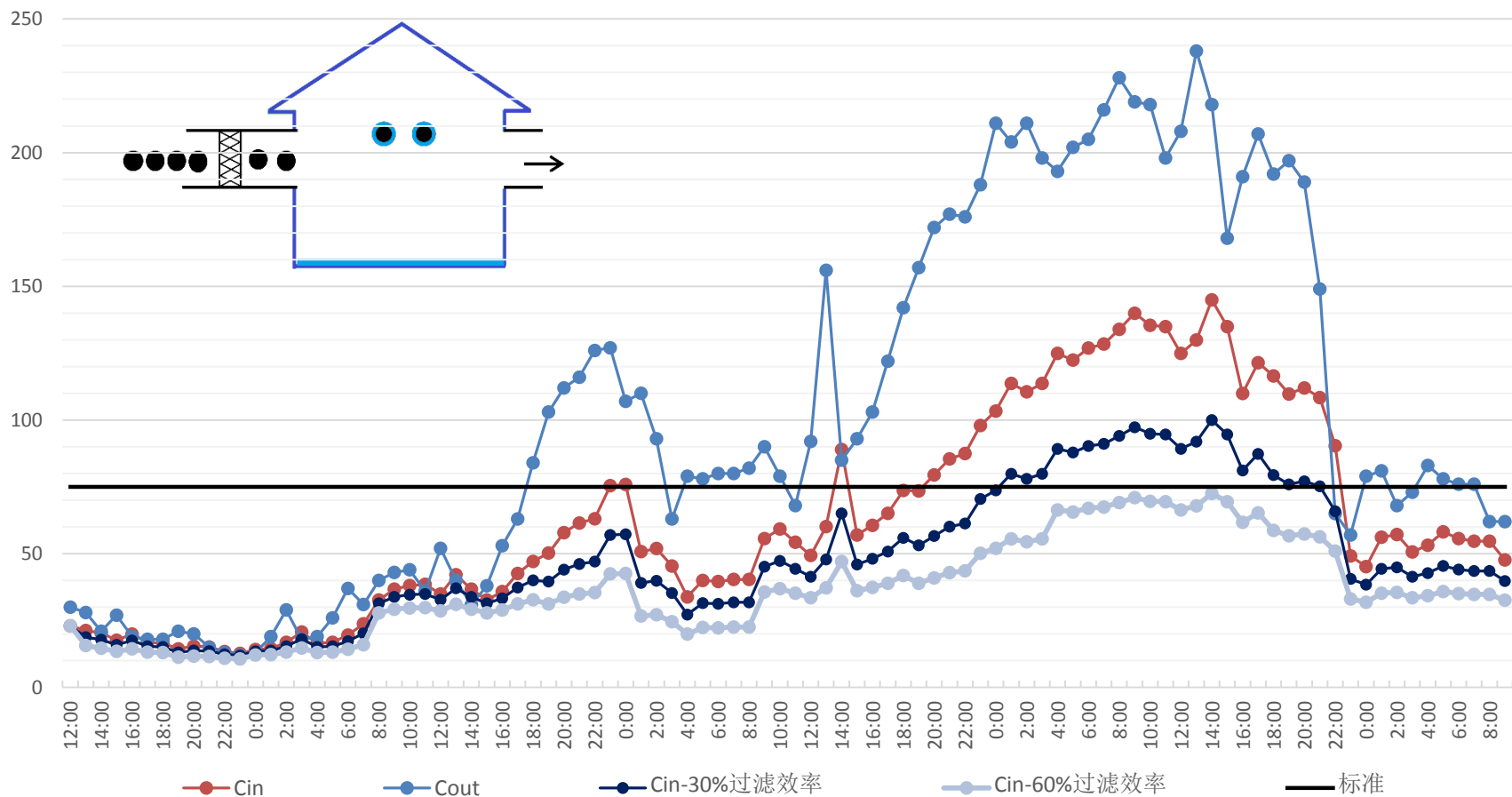
主动式技术——机械通风



东方早报在2013年冬季重霾天刊登了复旦物理系老教授DIY“会呼吸的房子”14年不开窗的报道。所谓会呼吸的房子采用了简单的机械通风系统，但在我国民用住宅设计中很少采用。

主动式技术——机械通风+压力控制

机械通风+压力控制



在模拟计算中，房间的换气次数为 $0.5h^{-1}$ ，在压力控制的条件下（或者室外风压不特别大），无渗透风量。若机械通风装有一次过滤效率较高的过滤器，能有效地使室内颗粒物降到限值以下。

方案对比

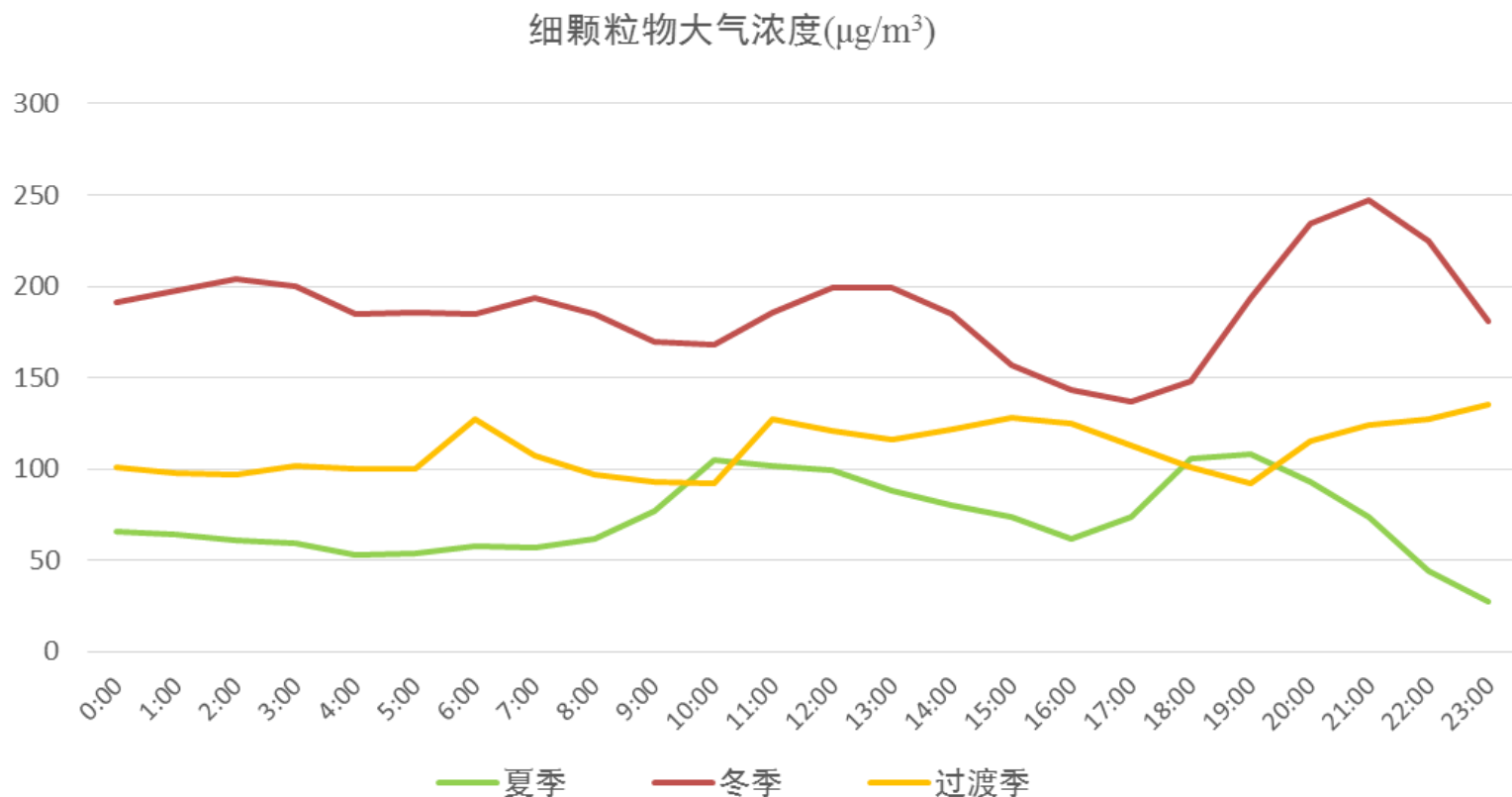


	是否降低至限值以下	有效性
提高门窗气密性	否	★★
改变地面、墙面材料	否	★
使用空气净化器	是	★★★
机械通风加压力控制	是	★★★

在上述几日的室外条件下，通过图表，我们可以得出，使用空气净化器及采用机械送风（压力控制）能使室内空气颗粒物浓度降低到健康值，而单采用被动式技术效果较之差一些。

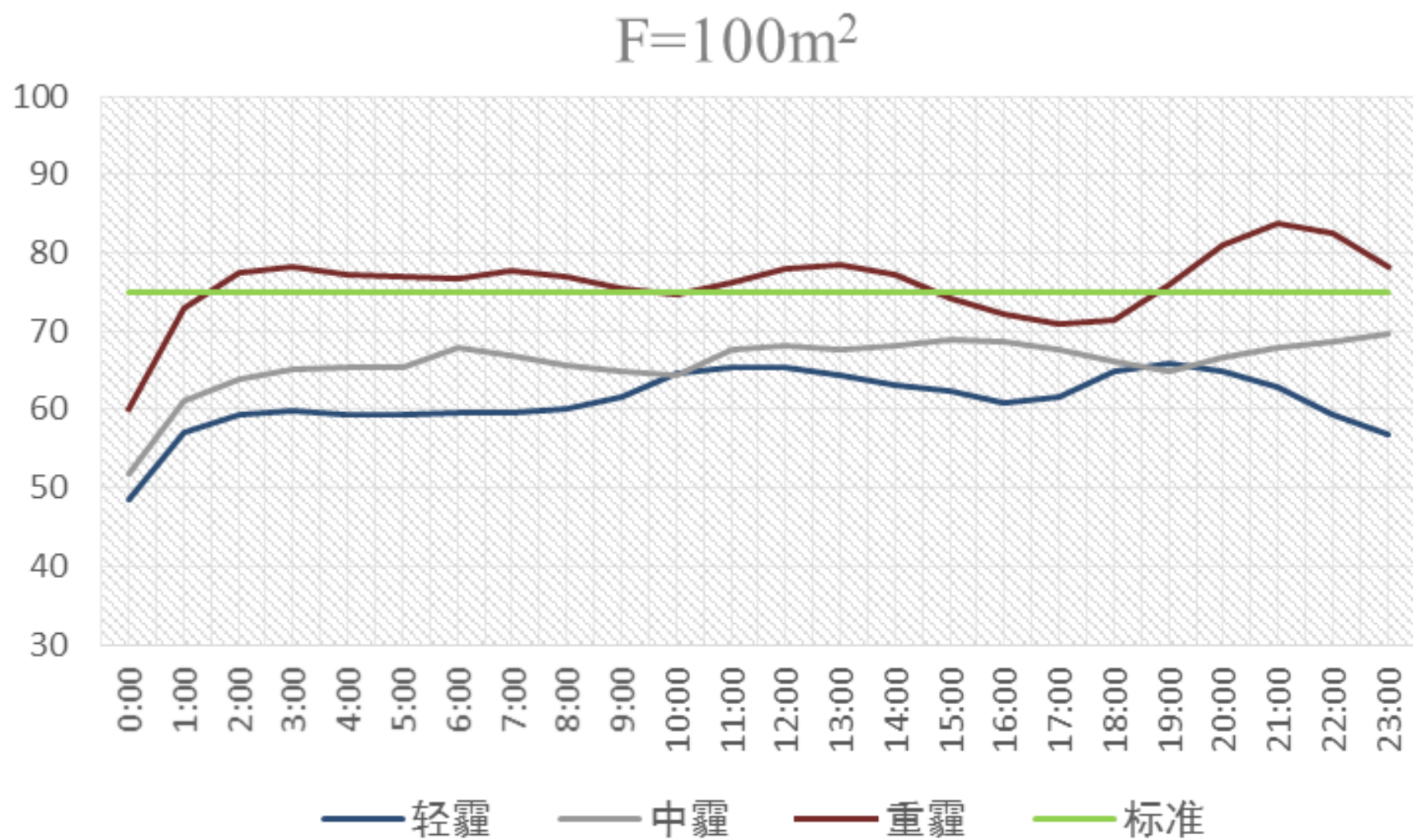
方案对比

对于不同典型日（夏季轻微霾、过渡季中度霾、冬季重度霾），将美国领事馆2014年5月2日，8月24日及2015年1月10日这三天休息日的细颗粒物质量浓度24h报告值分别作为典型工况下大气质量浓度输入值，浓度曲线图如下。我们通过对上海市一户三口之家的模拟计算对以上建筑技术进行更详细的讨论。



方案对比

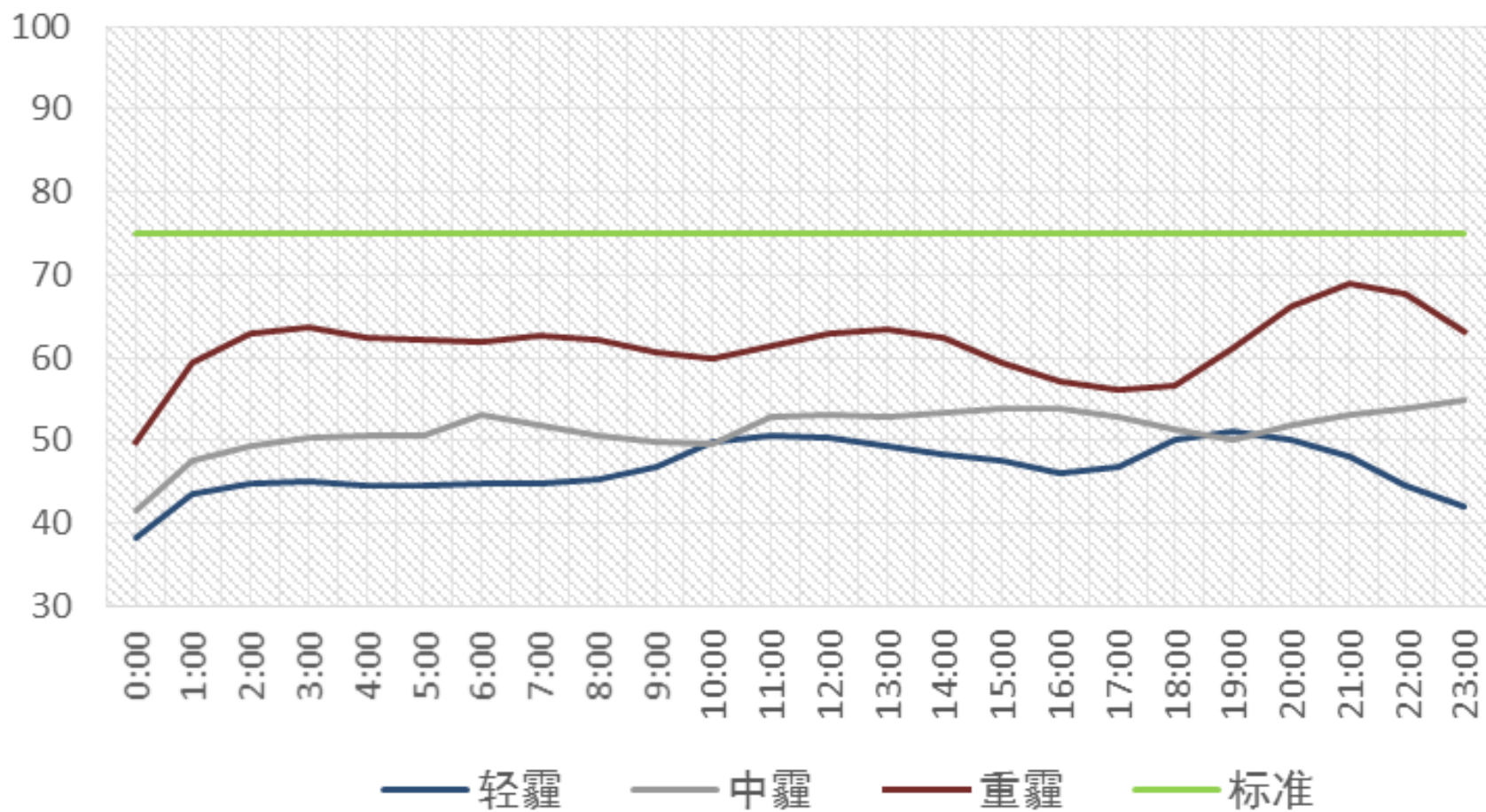
□ 提高门窗气密性



方案对比

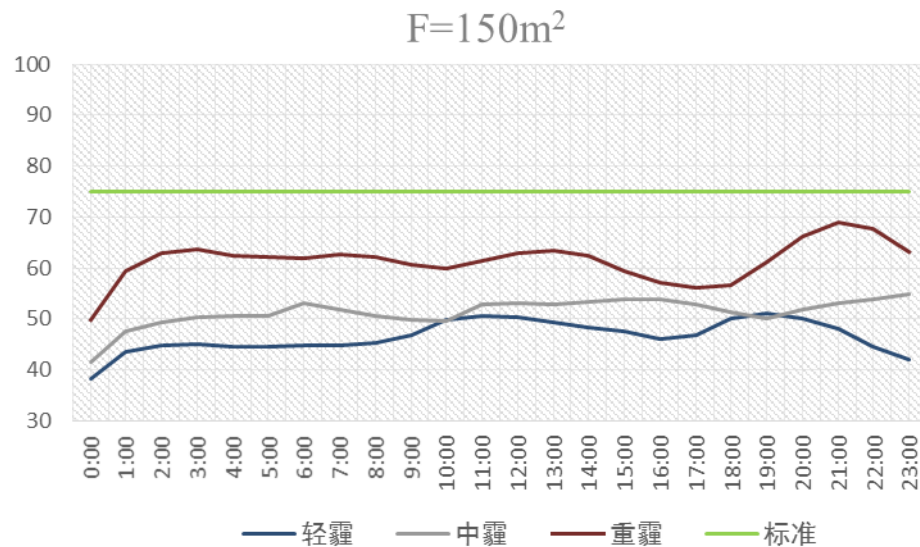
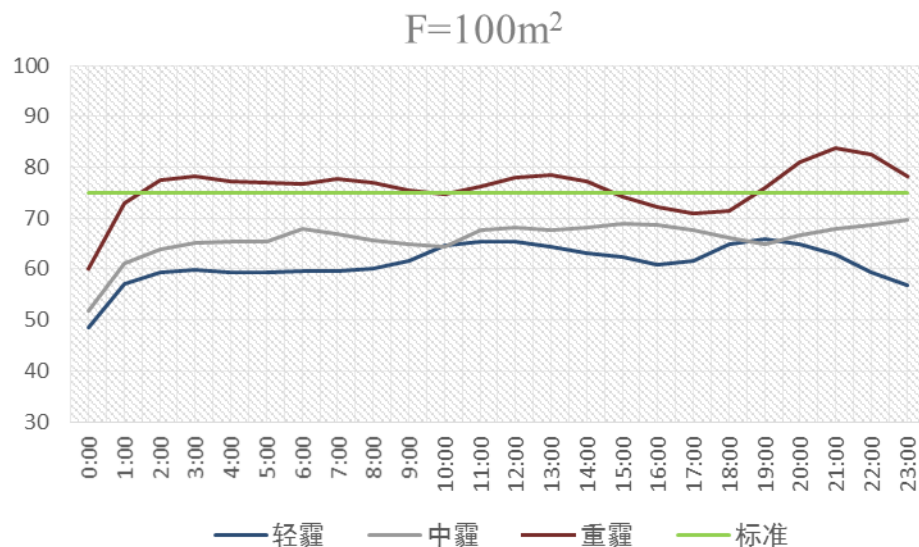
□ 提高门窗气密性

$F=150\text{m}^2$



方案对比

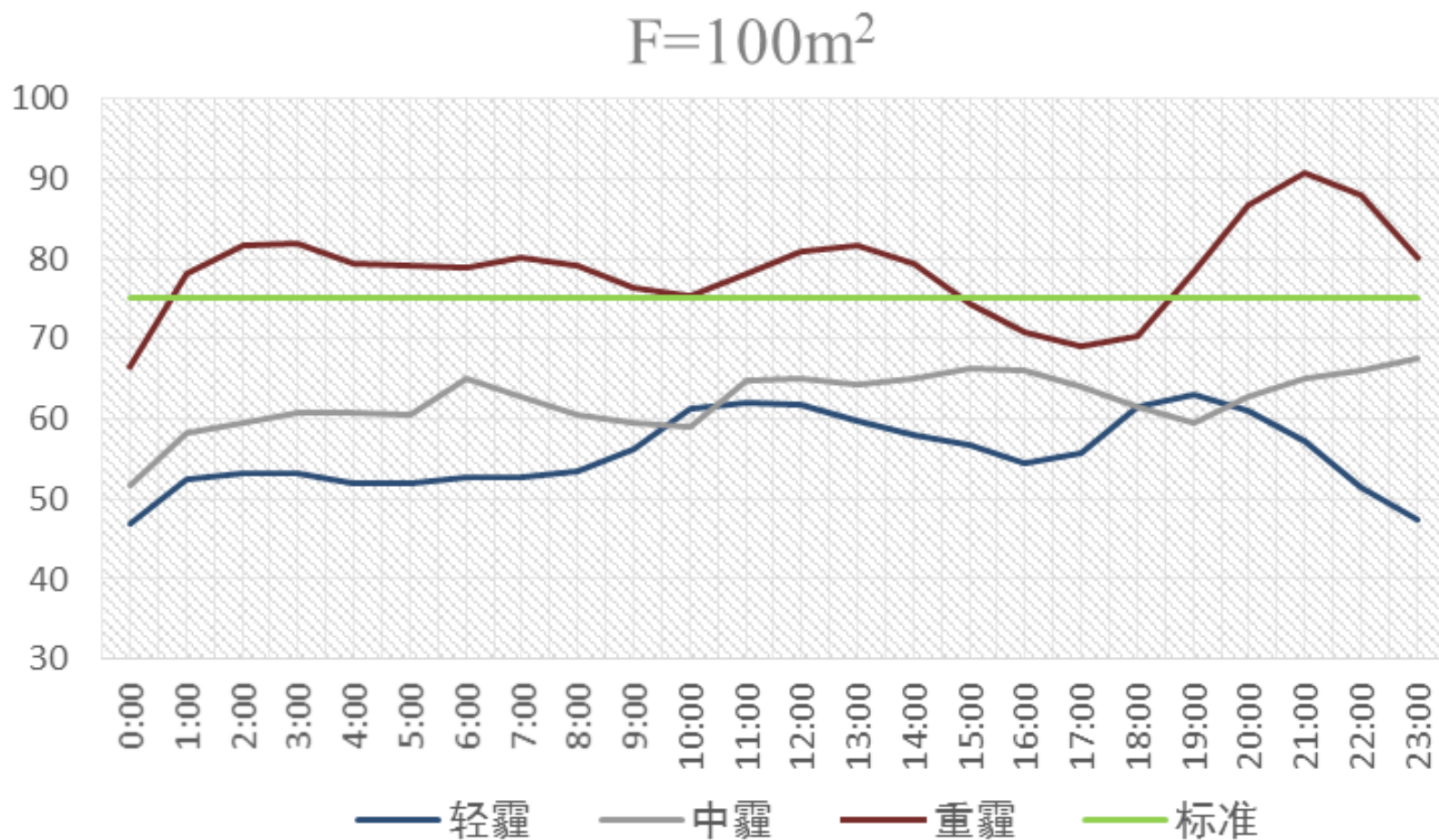
□ 提高门窗气密性



- 轻度、中度雾霾有效，降低到健康值以下；
- 重霾天，小房型无效，大房型着实有效；
- 小房型通过渗透通风不满足基本住宅新风量，而大房型能满足；

方案对比

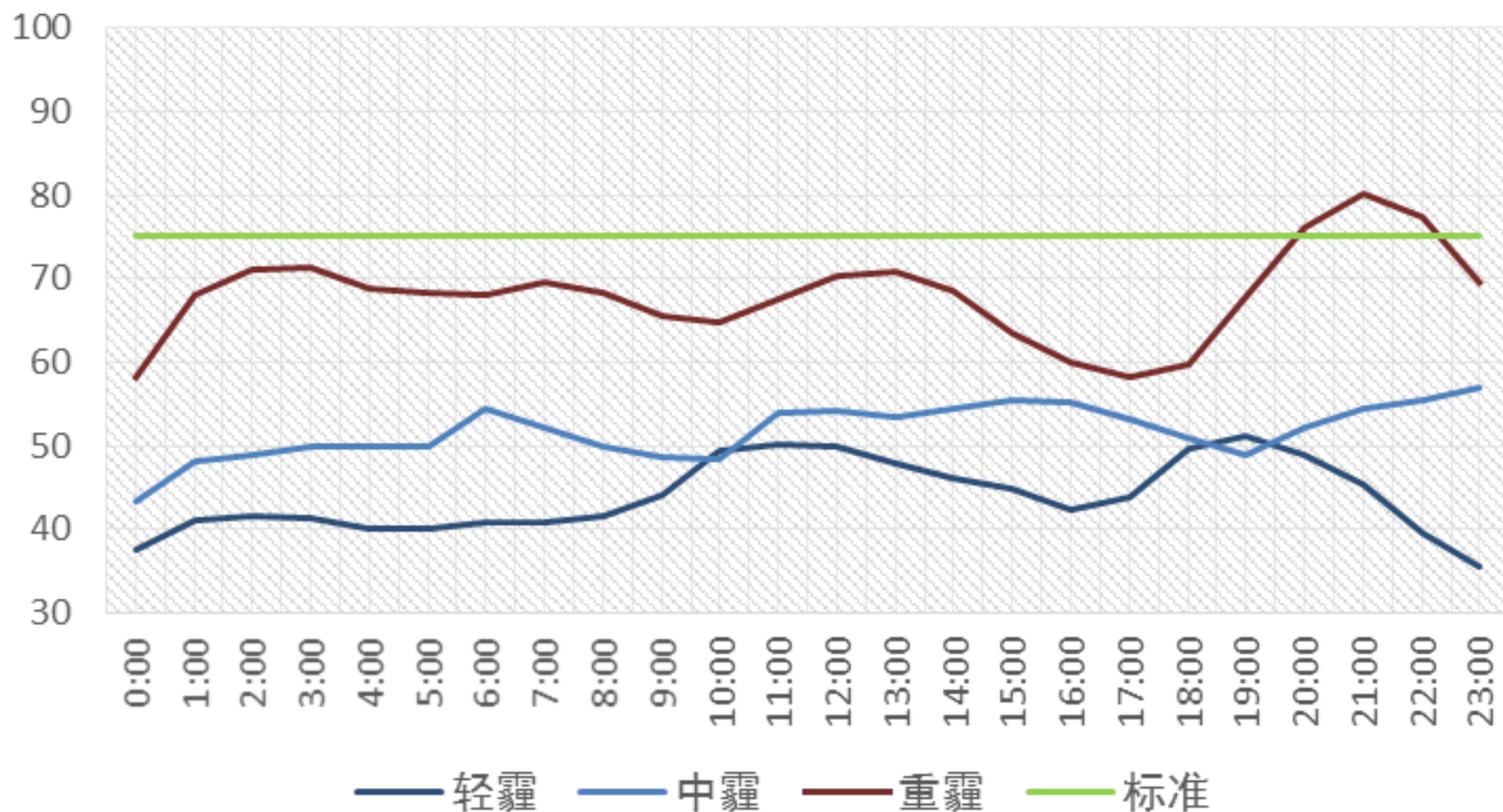
□ 改变地面材料、室内陈设



方案对比

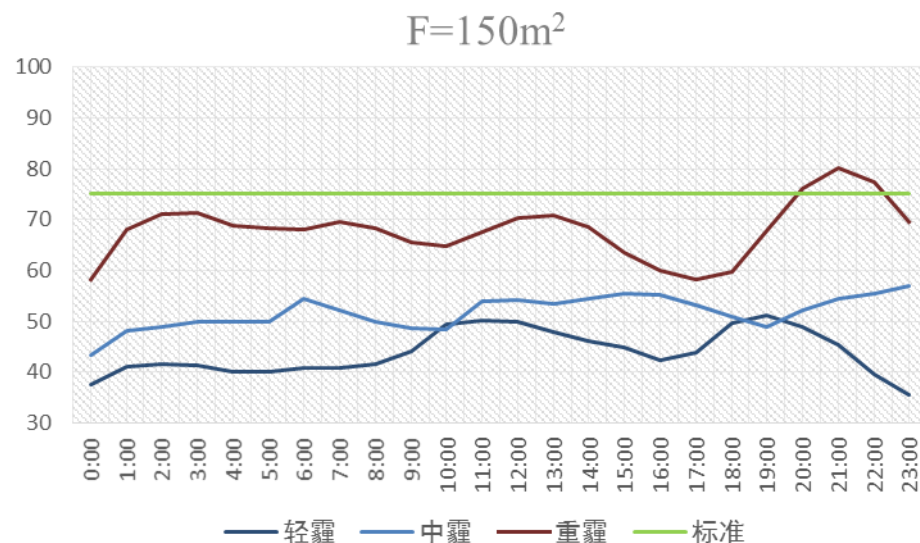
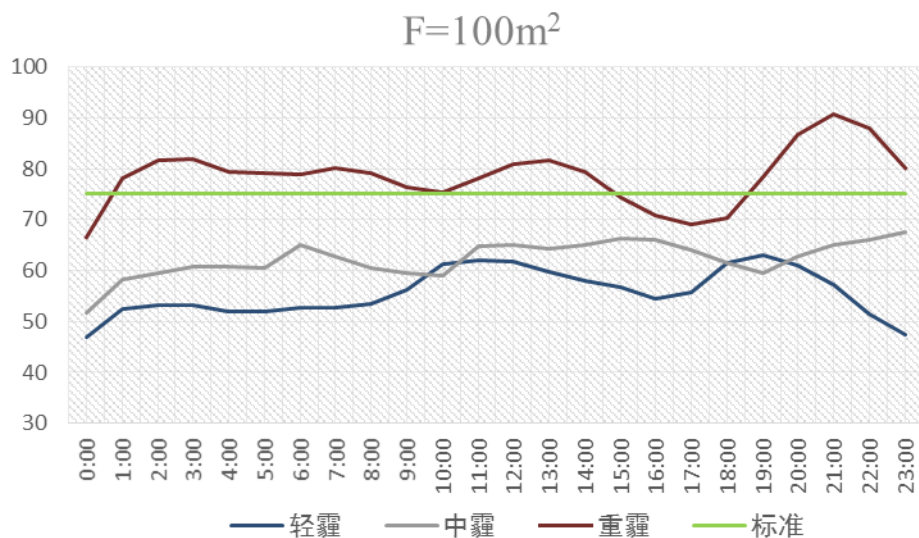
□ 改变地面材料、室内陈设

$F=150\text{m}^2$



方案对比

□ 改变地面材料、室内陈设

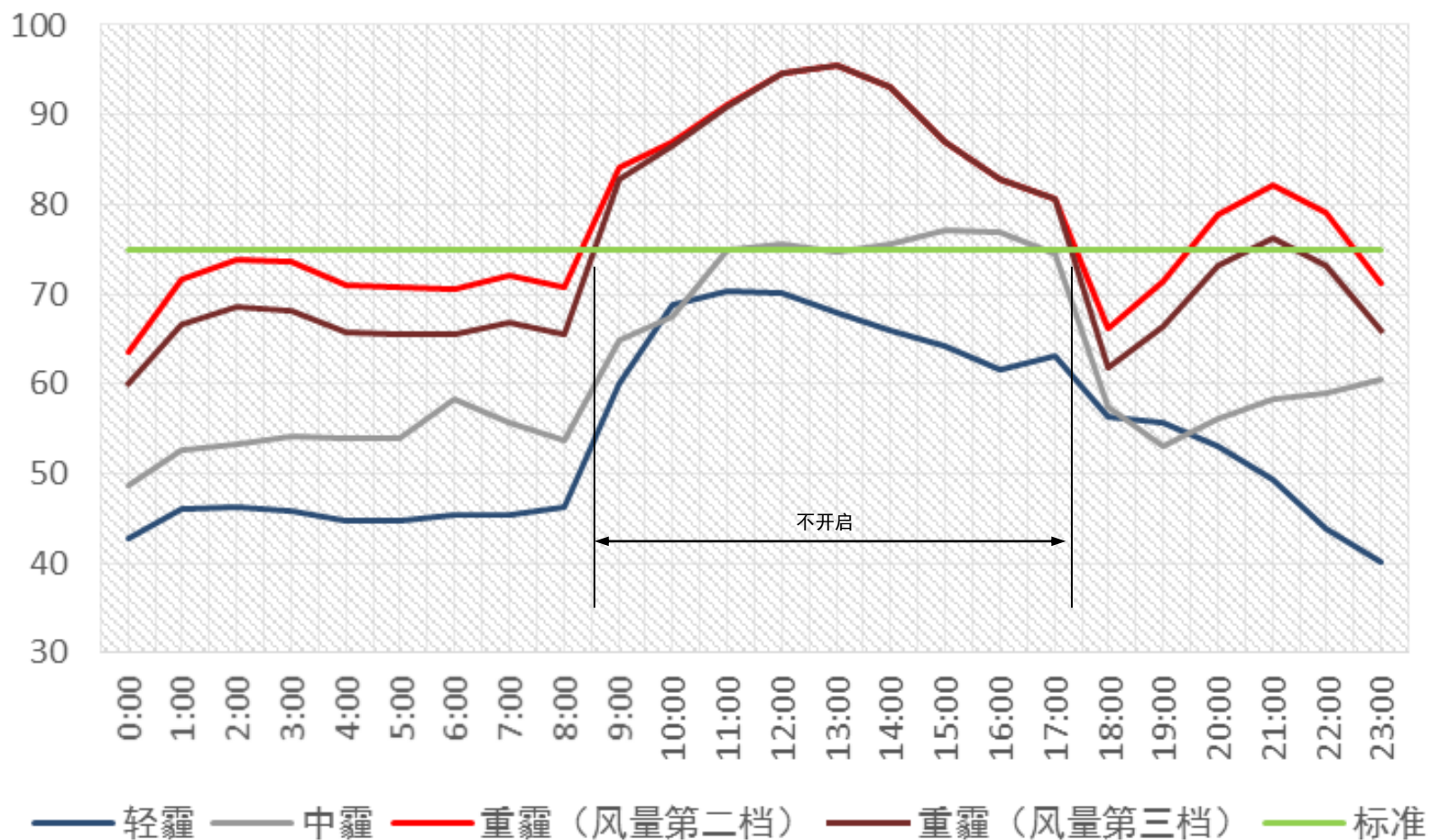


- 轻度、中度雾霾有效，降低到健康值以下；
- 重霾天，小房型无效，大房型基本有效；
- 效果不及改变门窗气密性；
- 需要每天配合吸尘器进行清理；

方案对比

□ 使用空气净化器（18:00-次日8:00开启）

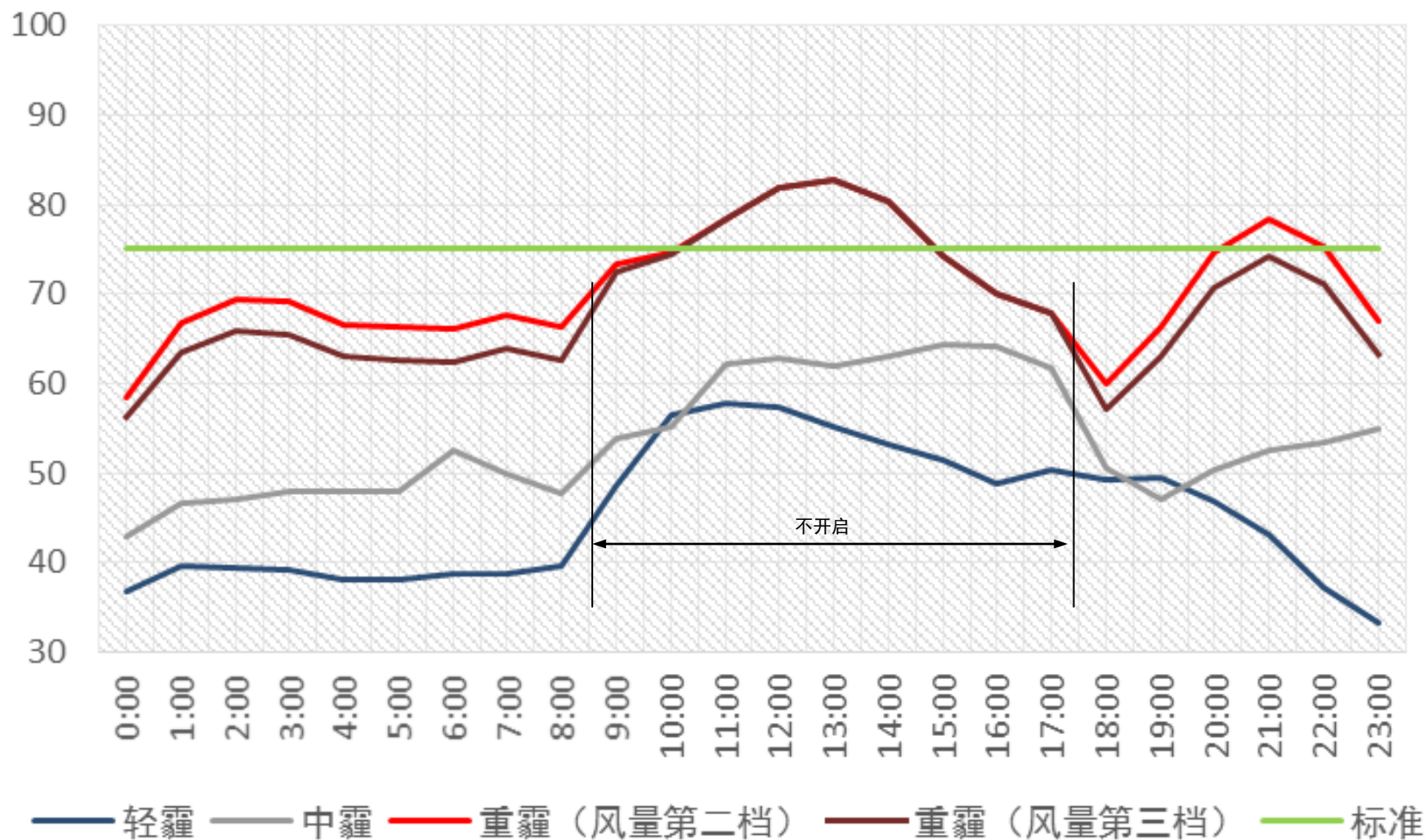
$F=100\text{m}^2$



方案对比

□ 使用空气净化器（18:00-次日8:00开启）

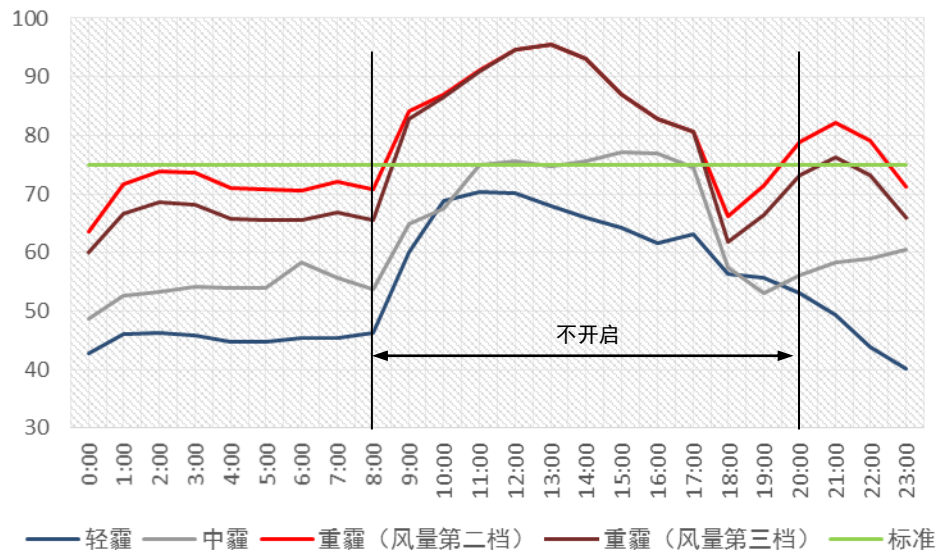
$F=150\text{m}^2$



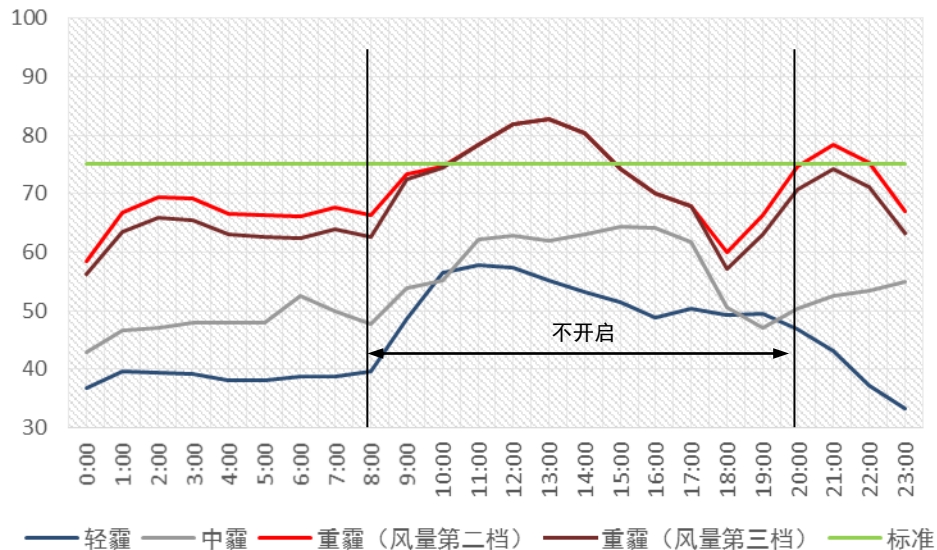
方案对比

□ 使用空气净化器（18:00-次日8:00开启）

F=100m²



F=150m²

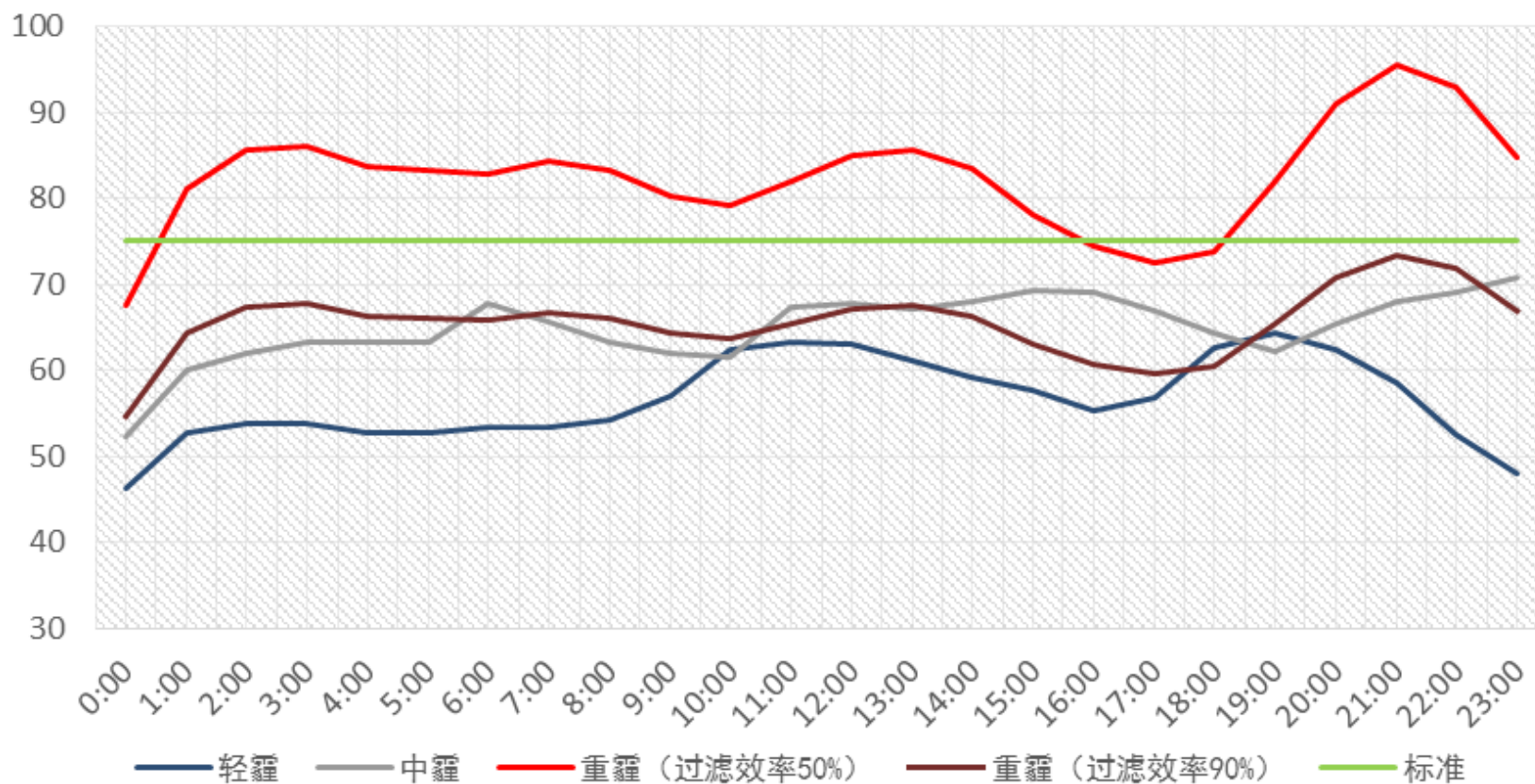


- 在小风量下，轻度、中度雾霾有效，能降低到健康值以下；
- 重霾天，开启空气净化器后，提高循环风量，能降低到健康值以下；
- 户型越大，效果越好；

方案对比

□ 机械通风（压力控制）

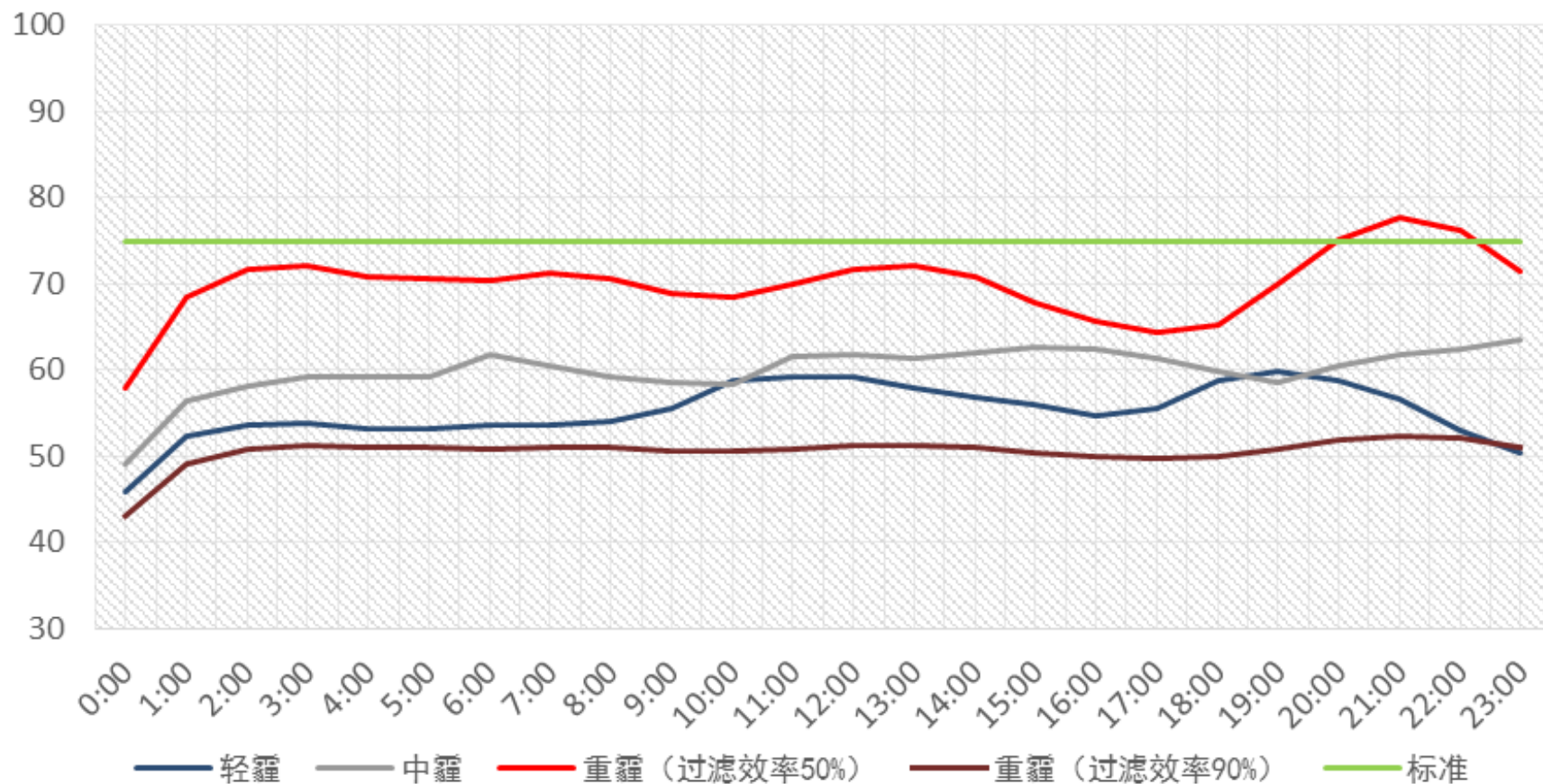
无压力控制



方案对比

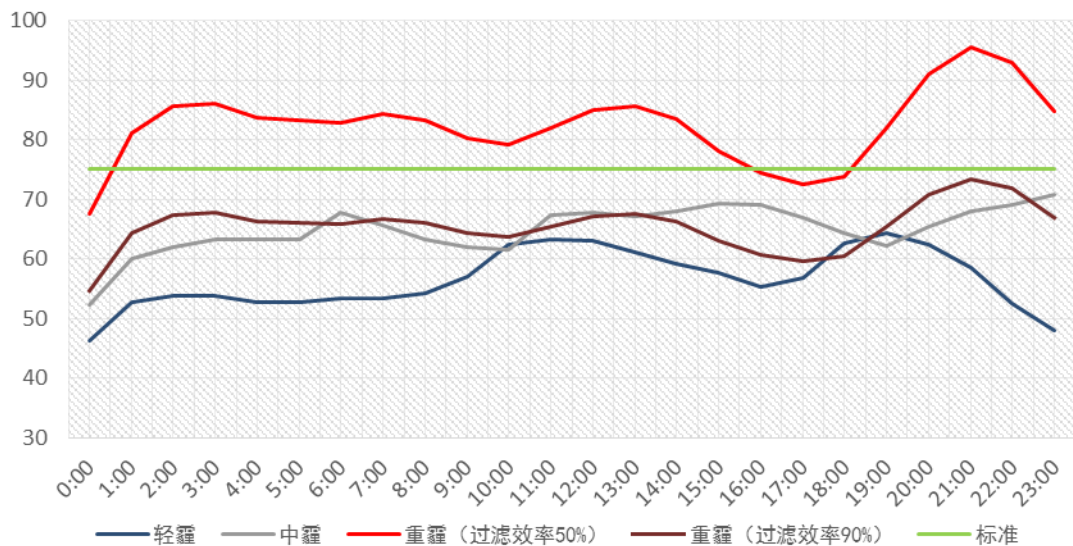
□ 机械通风（压力控制）

压力控制

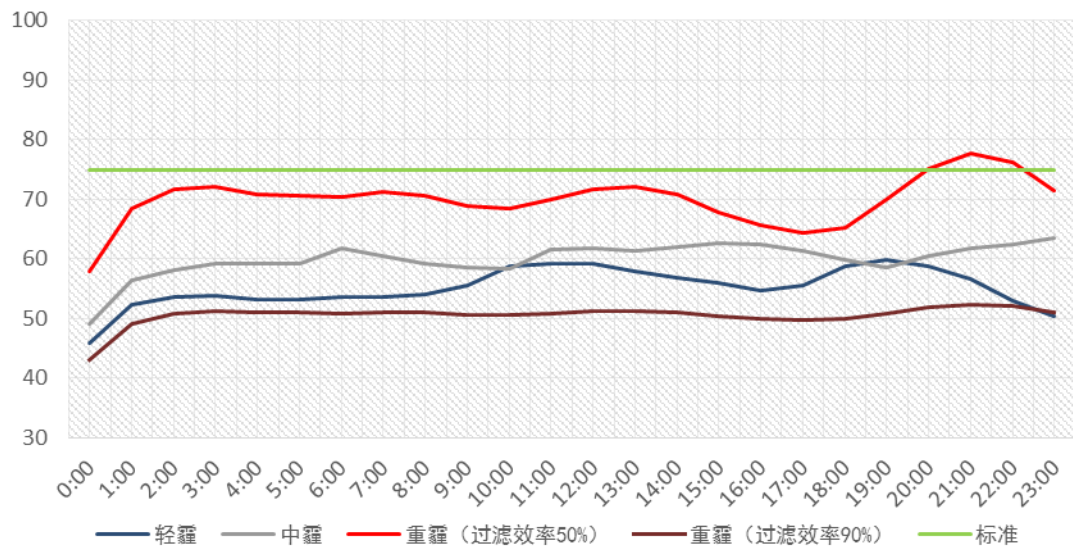


方案对比

无压力控制



压力控制



□ 机械通风（压力控制）

- 效果与过滤装置效率息息相关，效率越高，效果越好；
- 重霾天，过滤器需要中高效；
- 由于冬季热压造成的渗透，需要进行压力控制；

总结

技术	结论
提高门窗气密性	<ul style="list-style-type: none">● 在轻霾、中霾下有效，小户型重霾天不能保规范限值以下● 小户型不能保证新风量● 户型越大，效果越好
改变地面、墙面材料	<ul style="list-style-type: none">● 在轻霾、中霾下有效，小户型重霾天不能保规范限值以下● 效果不及提高门窗气密性● 户型越大，效果越好● 需要及时清理灰尘，以防成为室内尘源
使用空气净化器	<ul style="list-style-type: none">● 开启后，只要风量足够，定能将室内颗粒物浓度降低至限值以下● 户型越大，效果越好
机械通风（压力控制）	<ul style="list-style-type: none">● 冬季热压引起的渗透风量大，需要压力控制● 在重霾天需采用中高效过滤器，若过滤器效率低，即使增大换气次数，也不能控制室内颗粒物浓度

试图回答的问题

普通民众

雾霾来临， 是否应该呆在室内？ 不是, 还不够

住家，到底是否需要购买空气净化器？ 是，但不用天天开

办公室，是否需要空气净化器？ 是

业主、开发商、设计师

住宅怎样才能防雾霾？ 提高门窗气密性，机械通风

办公楼空调通风系统是否需要改进设计？

普通中效过滤器过滤效率不足，压力控制



空气质量指数



上海



24°C

71

空气质量良好

2014-10-21 07:00

PM2.5 52 PM10 77 O₃ 13



154

不健康

美领事馆 2014-10-21 08:00

PM2.5 62

再按一下退出应用



静安监测站



71

空气质量良好

2014-10-21 07:00

PM2.5 52 PM10 62 O₃ 27





谢谢！