

人体室内外 PM_{2.5}吸入暴露研究

季海荣¹ 房艳兵² 宋天珩² 曹昌盛²

(1. 上海市杨浦区环境监测站, 上海 200093; 2. 同济大学机械与能源工程学院, 上海 201804)

摘要 介绍了室内外空气颗粒物吸入暴露的评价方法, 选择 PM_{2.5} 作为检测评价的对象, 初步评价了上海市某区不同年龄段人员的 PM_{2.5} 暴露水平。结果表明: (1) 成人和老人的全年日平均 PM_{2.5} 吸入暴露量均较高, 并且成人的全年日平均 PM_{2.5} 吸入暴露量变化曲线和儿童相似。 (2) 老人室内 PM_{2.5} 吸入暴露量要明显高于室外, 其主要原因是老人在室内时间较长。儿童和成人的室外 PM_{2.5} 吸入暴露量高于室内。 (3) 不同人员的年平均 PM_{2.5} 吸入暴露量的排序为成人 > 老人 > 儿童, 其年平均 PM_{2.5} 吸入暴露量分别为 1.141、1.046、0.935 mg。

关键词 吸入暴露 PM_{2.5} 评价

Human inhalation exposure to indoor and outdoor fine particulate matter JI Hairong¹, FANG Yanbing², SONG Tianheng², CAO Changsheng². (1. Environmental Monitoring Station of Shanghai Yangpu District, Shanghai 200093; 2. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804)

Abstract: The inhalation exposure assessment method was introduced in this paper. The fine particulate matter (PM_{2.5}) was used to assess the exposure levels of different age groups of people in Yangpu District of Shanghai. Results showed that: (1) the 24-hour average PM_{2.5} inhalation exposure dose of typical adult and old people was higher, and the variation of PM_{2.5} inhalation exposure dose of adults was similar to that of children. (2) The indoor PM_{2.5} inhalation exposure dose of old people was much higher than the outdoors, because they stay much of time at home. Conversely, the typical adult and child had lower exposure risk at home than outdoor. (3) The annual mean PM_{2.5} inhalation exposure dose of different ages people followed the order of adult > old people > children, their PM_{2.5} inhalation dose were 1.141, 1.046 and 0.935 mg, respectively.

Keywords: inhalation exposure; PM_{2.5}; assessment

大气颗粒物作为对人体健康危害最大的污染物, 尤其是细颗粒物(空气动力学当量直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物(PM_{2.5}))可对人体呼吸、心血管等多个系统造成危害^[1-2]。谢鹏等^[3-4]研究发现, 珠江三角洲地区 PM_{2.5} 每增加 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 人群总死亡率增加 0.40%, 心血管、呼吸系统疾病急性死亡率分别增加 0.53% 和 1.43%。然而, 我国多数地区的 PM_{2.5} 污染较重, 人体暴露于大气颗粒物中所产生的健康问题也较多。因此, 进行污染物暴露评价, 确定人体对污染物的实际暴露水平有着重要的意义。污染物的浓度限值只考虑了环境介质中污染物的强度, 而呼吸是空气污染物进入人体内的主要渠道, 因此利用人体吸入暴露进行暴露评价更能反映和说明空气污染对人体健康的危害。

本研究介绍了吸入暴露的评价方法, 并以上海市某区为例, 以 PM_{2.5} 为标靶, 对各年龄段人员的污染暴露水平进行了分析探讨。

1 颗粒物吸入暴露评价方法

暴露是指在一定的时间内, 接触一定浓度的污染物的过程^[5], 是评价空气中污染物迁移和分布对人体影响的重要参数, 也为流行病学和健康风险评价研究提供基础参数。对于颗粒物而言, 主要是通过人体呼吸进入体内的。根据人体暴露采用的吸入暴露^[6]的概念, 可通过计算一定时间内人体所吸收的颗粒物潜在剂量来评价实际的人体暴露状况。因此, 颗粒物吸入暴露的评价采用相对暴露浓度、时间以及呼吸速率乘积进行积分的办法, 即:

$$D_{\text{pot}} = \int_{t_1}^{t_2} c(t) \times IR(t) dt \quad (1)$$

式中: D_{pot} 为颗粒物吸入暴露量, mg; t_1 、 t_2 分别为暴露时间段的起始、最终时间, h; $c(t)$ 为随暴露时间变化的颗粒物质量浓度, mg/m^3 ; $IR(t)$ 为随暴露时间变化的人体呼吸速率, m^3/h ; t 为暴露时间, h。

在进行不连续暴露时间段颗粒物吸入暴露量计

第一作者: 季海荣, 男, 1979 年生, 本科, 工程师, 主要从事环境监测工作。

算时也可以按式(2)计算:

$$D_{\text{pot}} = \sum c_i \times IR_i \times t_i \tag{2}$$

式中: c_i 为环境中颗粒物质量浓度,mg/m³; IR_i 为人体呼吸速率,m³/h; t_i 为第*i*个暴露时间,h。

2 实例——人体对 PM_{2.5}的吸入暴露

2.1 方案评估方法的参数选取

本研究的对象为健康的成人、儿童和老人,此处忽略性别差异。不同年龄段的人社会分工不同,所处的环境与暴露时间会有所差别,表 1 给出了 3 种人员的作息时间。

表 1 人员作息时间
Table 1 Personnel daily schedule

人员	时间段	工作日所处环境	周末所处环境
老人	0:00~8:30	室内	室内
	8:30~10:00	户外	户外
	10:00~15:00	室内	室内
	15:00~17:00	户外	户外
	17:00~24:00	室内	室内
成人	0:00~7:30	室内	室内
	7:30~19:00	户外或办公室	室内
	19:00~24:00	室内	室内
儿童	0:00~7:00	室内	室内
	7:00~17:00	户外或学校	室内
	17:00~24:00	室内	室内

人体呼吸速率与人的活动方式有关,各年龄段人员在不同环境中的平均呼吸速率如表 2^[7]所示。

2.2 PM_{2.5}全年变化

图 1 为 2012 年 6 月 1 日至 2013 年 5 月 31 日上海市某区室外 PM_{2.5}日平均值变化曲线。从图 1 可以看出,室外 PM_{2.5}波动范围(0.008~0.224 mg/m³)

表 2 成人(儿童)在各类环境中的呼吸速率
Table 2 Respiratory rate of adults and children in different environments

人员	环境	呼吸速率/(m ³ ·h ⁻¹)
成人、老人	居室家中	0.5
	办公室	1.0
	途中	1.6
	室外	1.6
儿童	家中	0.4
	学校	1.0
	途中	1.2
	室外	1.2

较大,其年平均值为(0.060±0.040) mg/m³,并出现多个较大峰值。《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)二级标准规定,PM_{2.5}日平均限值为 75 μg/m³,年平均限值为 35 μg/m³。而 PM_{2.5}日平均最大值是日平均限值的 3 倍左右,且年平均值同样高于年平均限值 0.7 倍,PM_{2.5}超标天数分别占全年天数的 26%。

以上数据为研究通过围护结构穿透、通风带入室内的大气 PM_{2.5}浓度以及室内人员暴露情况提供了依据。

2.3 吸入暴露量计算结果

由式(2)计算出不同人员全年日平均 PM_{2.5}吸入暴露量。图 2 为 2012 年 6 月 1 日至 2013 年 5 月 31 日期间老人、儿童和成人全年日平均 PM_{2.5}吸入暴露量的对比结果。从图 2 可以看出,成人和老人的全年日平均 PM_{2.5}吸入暴露量均较高,并且成人的全年日平均 PM_{2.5}吸入暴露量变化曲线和儿童相

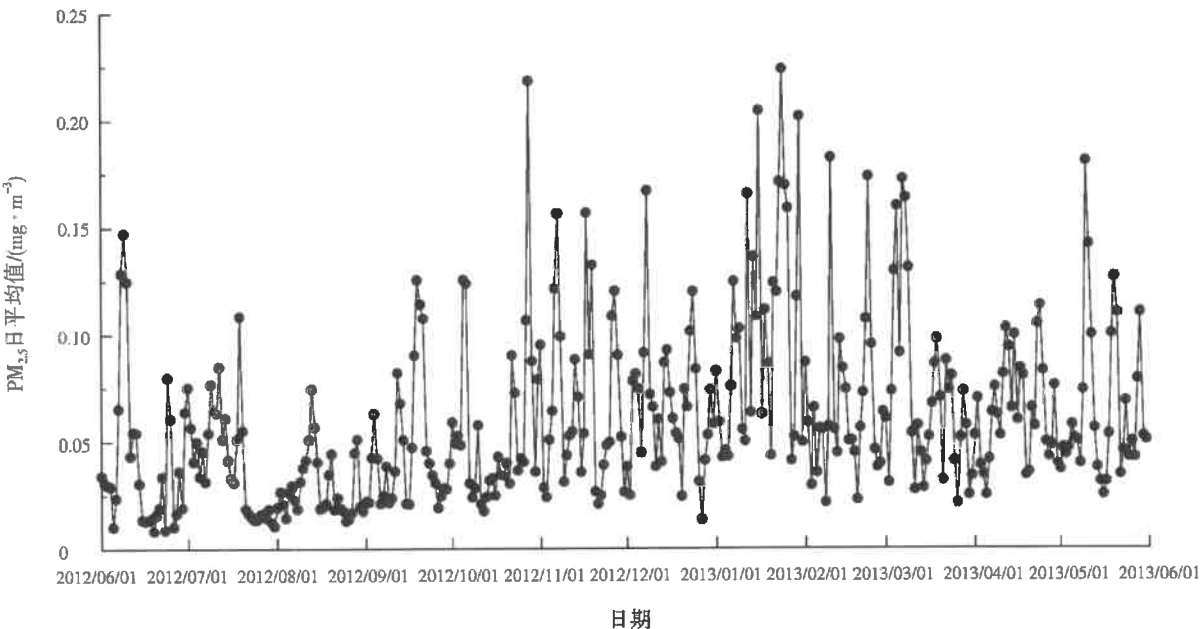


图 1 室外 PM_{2.5}日平均值变化
Fig. 1 Variation of daily average outdoor PM_{2.5} concentrations

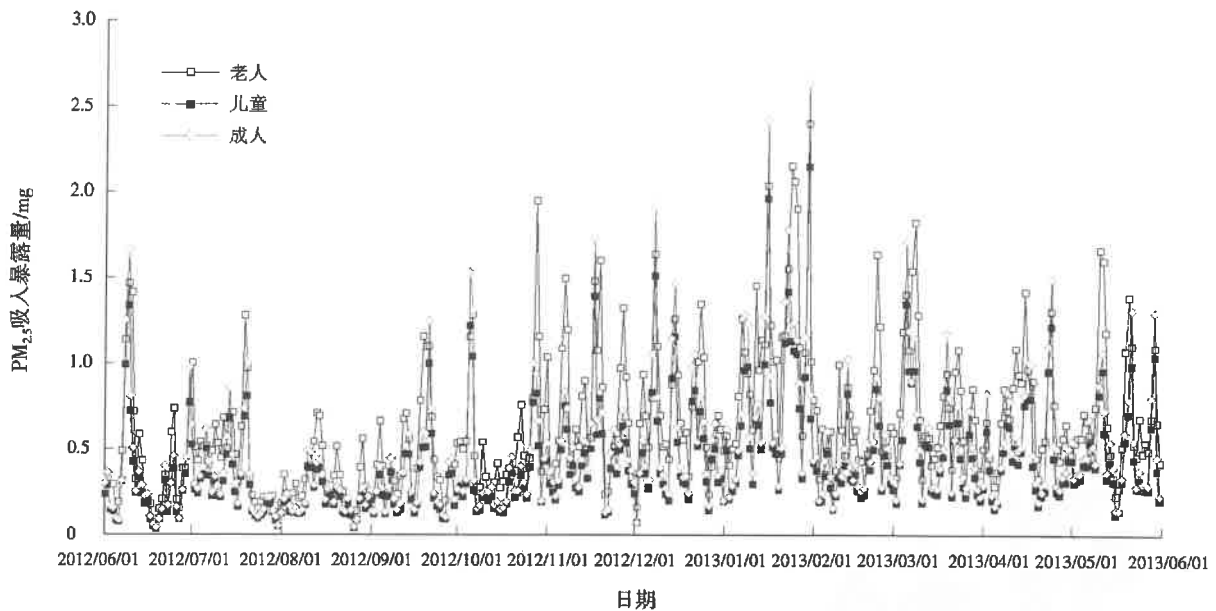


图2 老人、儿童和成人全年日平均 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量的对比结果
Fig. 2 Inhalation exposure dose of $PM_{2.5}$ for old people, children and adult

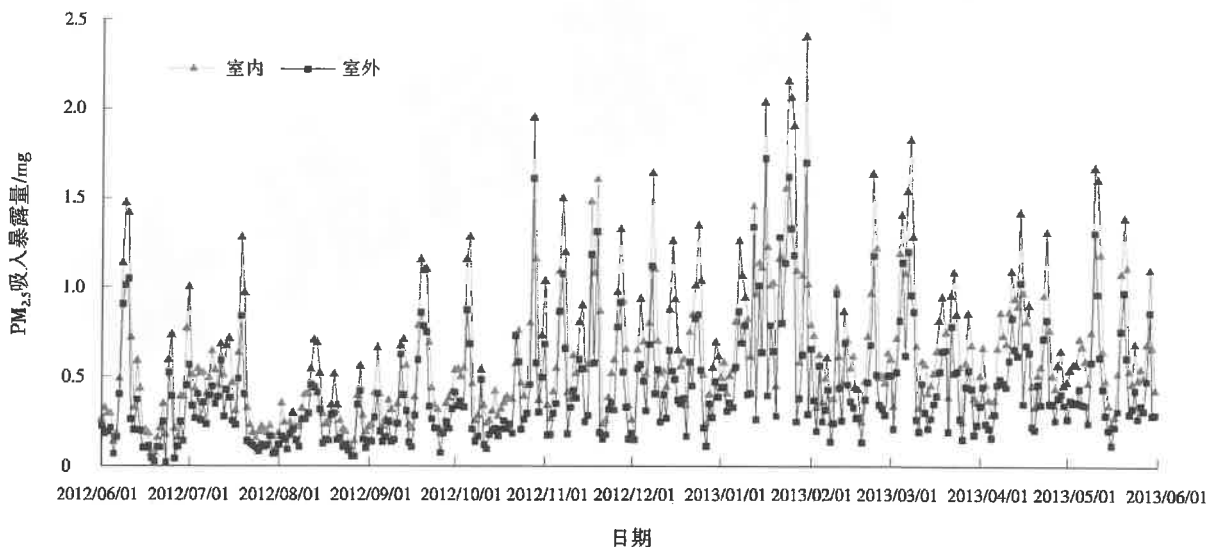


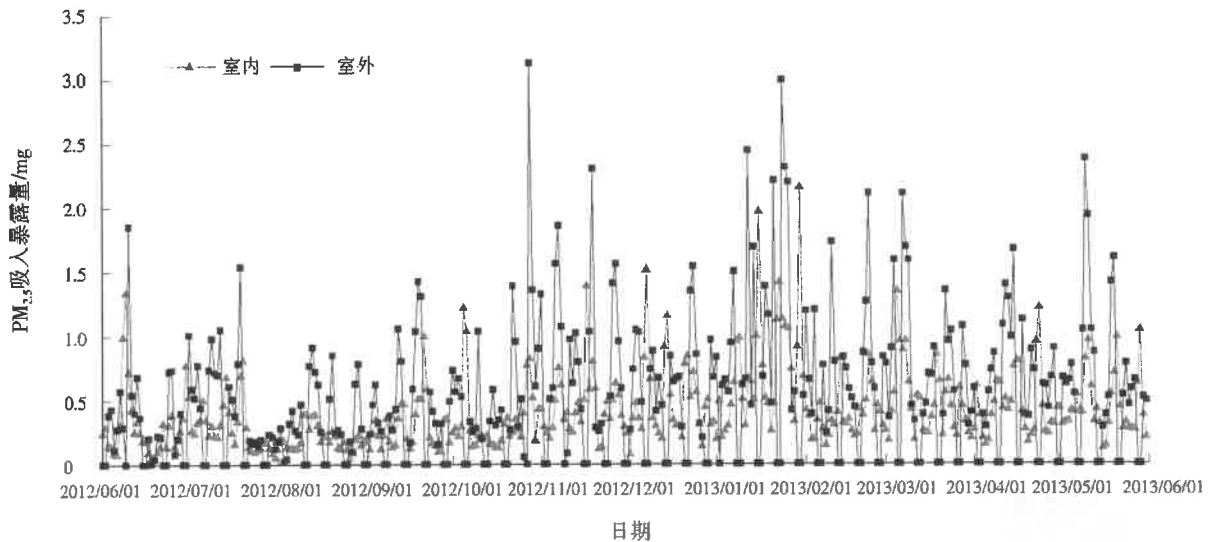
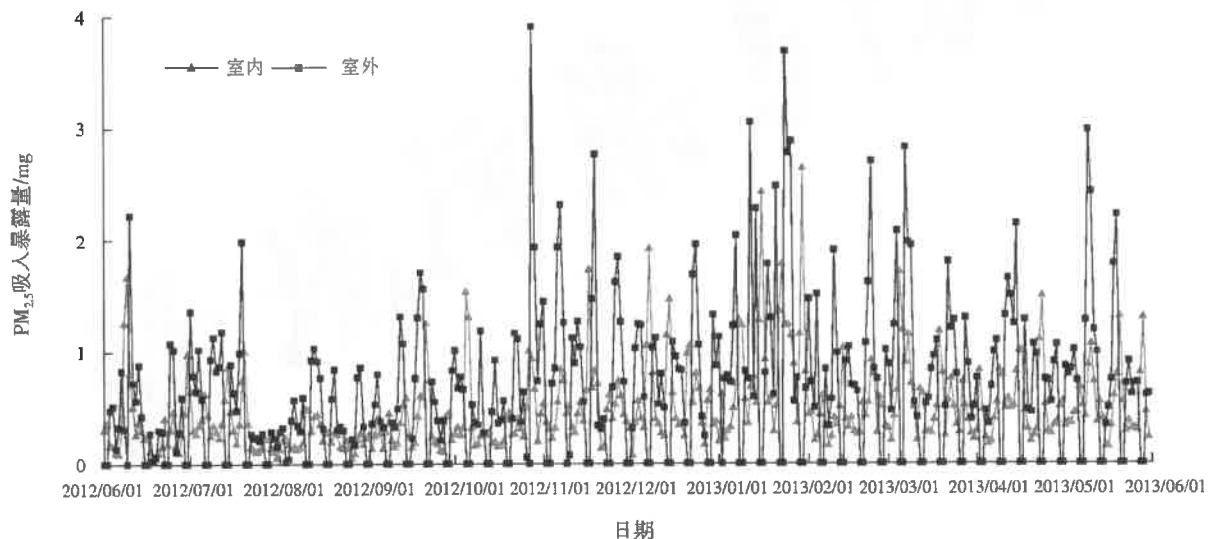
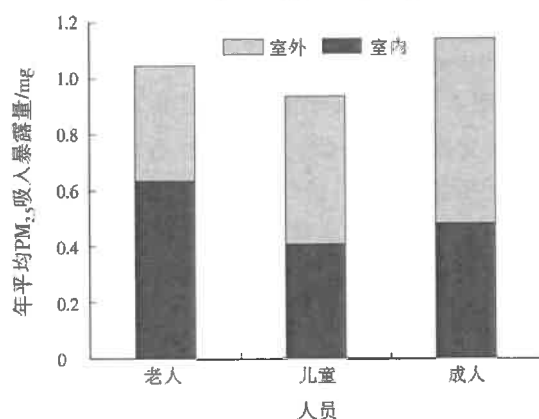
图3 老人室内外 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量对比
Fig. 3 Comparison of indoor and outdoor $PM_{2.5}$ inhalation exposure dose of old people

似。这主要是由于成人和老人的呼吸速率高于儿童,故而吸入暴露量较高,同时老人的生活规律与成人和儿童明显不同,导致某些时间老人的吸入暴露量要高于成人和儿童,然而成人和儿童的生活方式相似致使成人和儿童的吸入暴露量变化规律相似。

图3至图5为老人、儿童、成人的室内外 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量的对比结果。从图3可以看出,老人室内 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量要明显高于室外,其主要原因是老人在室内时间较长。从图3同时也可看出,2013年1—2月的室内外 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量的峰值较大,这可能与该段时间内的雾霾天气有关。从图4和图5可以看出,相比于老人,儿童和成人的室外

$PM_{2.5}$ 吸入暴露量高于室内,并且儿童和成人的吸入暴露量变化规律相似,但总体上儿童的 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量要低于成人,这与儿童的呼吸速率较小有关。

图6为不同人员年平均 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量。从图6可以看出,老人的室内年平均 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量(0.633 mg)高于成人(0.479 mg)和儿童(0.406 mg),成人和儿童的室内年平均 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量较接近。然而,由于成人和儿童在室外所占的时间比例较大,故其室外年平均 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量大于老人。不同人员的年平均 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量的排序为成人>老人>儿童,其年平均 $PM_{2.5}$ 吸入暴露量分别为1.141、1.046、0.935 mg,说明成人呼吸接

图4 儿童室内外 PM_{2.5} 吸入暴露量对比Fig. 4 The indoor and outdoor PM_{2.5} inhalation exposure dose of child图5 成人室内外 PM_{2.5} 吸入暴露量对比Fig. 5 Comparison of indoor and outdoor PM_{2.5} inhalation exposure dose of adult图6 不同人员年平均 PM_{2.5} 吸入暴露量Fig. 6 Annual mean inhalation exposure dose of PM_{2.5} for different ages people

收 PM_{2.5} 的量最大,老人次之,儿童最少。经计算,室内年平均 PM_{2.5} 吸入暴露量占年平均 PM_{2.5} 吸入

暴露量的比例中,老人最高(61%),儿童次之(43%),成人最低(42%)。这可能与人员活动所处的环境有关。

3 结论

(1) 成人和老人的全年日平均 PM_{2.5} 吸入暴露量均较高,并且成人的全年日平均 PM_{2.5} 吸入暴露量变化曲线和儿童相似。这主要是由于成人和老人的呼吸速率高于儿童,故而吸入暴露量较高,成人和儿童的生活方式相似致使成人和儿童的吸入暴露量变化规律相似。

(2) 老人室内 PM_{2.5} 吸入暴露量要明显高于室外,其主要原因是老人在室内时间较长。儿童和成人(下转第 73 页)