

公共餐饮建筑室内空气质量测试与分析

郭 华¹, 高 枫^{1,2}, 董俊刚^{1,2}, 吴寅姍^{1,3}

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学中省共建生态建筑环境实验室, 陕西 西安 710055; 3. 西安建筑科技大学艺术学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 为了解公共餐饮建筑的室内空气品质, 使用在线仪器对西安 8 家不同类型饭店的 CO₂、CO、PM_{2.5}、PM₁₀ 浓度, 分别在高峰期和空白期进行实时监测. 所得数据与 GB/T 18883-2002《室内空气质量标准》进行对比. 结果表明, 在含烧烤的饭店中 CO₂、CO 浓度更易超标, 烧烤店 CO₂ 和 CO 在高峰期的平均浓度分别超标 1.71% 和 71.59%; 面食店 CO 超标 111.34%; 印度饭店 CO₂ 超标 54.31%. 而可吸入颗粒物的质量浓度普遍超标 (299.33% ~ 760%). 最后, 通过分析烹饪方式、通风状况、人员密度及局部人为因素来解释超标原因并提出改善室内空气质量的措施.

关键词: 餐饮建筑; 室内空气质量; PM₁₀; PM_{2.5};

中图分类号: TU834.6+1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)04-0559-06

近些年中国经济飞速发展, 使得餐饮行业发展如火如荼. 各种特色饮食遍布大街小巷, 风格迥异的饭店和烹饪方式创造出不同的用餐环境(例如烧烤、火锅、面食等). 饭店的用餐空间作为室内公共空间, 消费者必定会在其中消耗一定的时间. 因此, 健康舒适的用餐环境无论对于饭店本身还是消费者都是至关重要的. 一个拥有良好室内空气质量的饭店, 不但会提高人们的用餐愉悦感, 而且可以使工作人员和消费者免受空气污染物的侵害. 就健康方面而言, 以往人们更多关注的是食材、烹饪过程以及餐具的卫生状况, 而饭店内部的空气质量对于人体的健康影响却很少有人会考虑到. 随着人们逐渐意识到空气污染物对于人体健康的危害, 饭店内的空气质量也渐渐被人们所关注. 文献显示^[2], 高温状态下的食用油及食材通过热氧化和热裂解及米拉德反应等途径产生大量挥发性物质和油烟颗粒, 并主要以液体或固体气溶胶形式存在, 粒径范围 0.010~10 μ m, 可长时间悬浮于空气中, 化学成分组成复杂, 其中一些成分已被证实对人体有致癌性(如苯并芘、挥发性亚硝胺等); CO、CO₂ 的浓度过高则会造成人体的不适感, 严重时甚至危及生命. 到目前为止, 对于饭店用餐环境的空气质量研究在西安市尚未出现. 因此, 本次研究开启了该地区的先河, 其目的在于了解不同类型的饭店内的空气污染水平, 为今后研究做数据支持. 根据现行标准进行评价并分析超标的原因.

1 检测与方法

1.1 检测地点选择

本次研究选取西安市区内 8 家中型饭店进行监测. 室内环境及通风设备具备同类型饭店普遍特征, 如高峰期人员流动大, 通风设备的相似性等, 故具有代表性和典型性. 监测从 2011-11-12 持续到 2012-01-10. 所测饭店风格各不相同, 分别为: 烧烤(Rest. 1)、西餐(Rest. 2)、湘菜(Rest. 3)、面食(Rest. 4)、素菜(Rest. 5)、火锅(Rest. 6)、韩餐(Rest. 7)、印度菜(Rest. 8). 饭店的详细信息见表 1.

1.2 检测与仪器

本次研究所要监测的污染物包括: CO、CO₂、PM_{2.5}、PM₁₀. 监测集中在午饭和晚饭用餐高峰期 11:00~13:00 和 18:30~20:30, 同时在使用餐空白期(15:00~17:00)监测作为对比数据, 每个饭店采两个高

收稿日期: 2012-06-25 修改稿日期: 2013-07-16

基金项目: 陕西省教育厅专项科研资助项目(12JK0903); 西安市城乡建设委员会建设科技项目(2011002)

作者简介: 郭 华(1971-), 女, 陕西蒲城人, 副教授, 主要从事建筑技术科学方面研究.

峰期和一个空白期. 所有仪器在使用前均进行较零, 放置在距地面 1.0~1.5m, 并且远离潜在的污染源.

监测过程中, 使用 Q-Trak 7565 对 CO、CO₂ 进行监测, PM₁₀ 和 PM_{2.5} 通过 TSI 公司的 DUST-Trak8533 进行检测, 记录间隔为 1 分钟. 各仪器参数详见表 2.

2 结果与分析

室内空气监测结果显示, 在用餐高峰期烧烤店、印度餐馆的 CO₂ 浓度超标 (1.71%、54.31%), 面馆及烧烤店的 CO 浓度超标 (111.34%、71.59%), 而颗粒物浓度均超标严重, 各污染物浓度的统计摘要见表 3.

表 1 饭店详细信息

Fig. 1 The details of restaurants

饭店类型	层数	每层平均面积/m ²	最多用餐人数 (以当日为准)	加热方式	通风方式
烧烤 (Rest. 1)	2	240	90	液化气、木炭	机械通风
西餐 (Rest. 2)	1	300	32	液化气、电烤	机械通风+排风扇
湘菜 (Rest. 3)	2	180	71	液化气	机械通风+排风扇
面食 (Rest. 4)	1	1 000	52	液化气、木炭	机械通风
素菜 (Rest. 5)	2	400	51	液化气	机械通风
火锅 (Rest. 6)	2	110	36	电磁	机械通风
韩餐 (Rest. 7)	2	180	33	液化气、木炭	机械通风、局部排风
印度菜 (Rest. 8)	1	80	38	液化气、木炭	机械通风

表 2 各仪器参数

Tab. 2 instruments parameters

检测参数	检测原理	量程	检测下限
PM _{2.5}	光散射法	0.001—150 mg/m ³	0.001 mg/m ³
PM ₁₀	光散射法	0.001—150 mg/m ³	0.001 mg/m ³
CO	非扩散红外法	0—500(μL/L)	0.1(μL/L)
CO ₂	电化学	0—5 000(μL/L)	1(μL/L)

表 3 饭店室内空气污染物统计摘要

Tab. 3 The abstract of indoor air pollutants in restaurants

污染物	高峰期			空白期			
	平均浓度	标准偏差	范围	平均浓度	标准偏差	范围	
烧烤店 (rest. 1)	CO ₂ (μL/L)	1 017.14	139.93	782~140	1 760.73	109.84	593~962
	CO(μL/L)	14.98	2.41	10.6~21.6	6.33	0.96	4.5~8.5
	PM _{2.5} (mg/m ³)	1.29	0.35	0.724~2.19	0.57	0.18	0.369~1.93
	PM ₁₀ (mg/m ³)	1.34	0.35	0.768~2.24	0.59	0.18	0.39~1.95
西餐 (rest. 2)	CO ₂ (μL/L)	624.20	30.84	579~725	458	16.22	426~798
	CO(μL/L)	2.55	0.31	2~3.1	2.23	0.21	1.8~2.6
	PM _{2.5} (mg/m ³)	0.59	0.084	0.432~0.782	0.36	0.047	0.293~0.457
	PM ₁₀ (mg/m ³)	0.62	0.081	0.46~0.8	0.37	0.048	0.302~0.467
湘菜 (rest. 3)	CO ₂ (μL/L)	681.35	39.28	582~745	439.13	24.25	389~538
	CO(μL/L)	3.46	0.31	2.7~4.1	1.59	0.16	1.2~2
	PM _{2.5} (mg/m ³)	0.84	0.112	0.689~1.15	0.51	0.061	0.418~0.618
	PM ₁₀ (mg/m ³)	0.93	0.113	0.767~1.24	0.56	0.07	0.46~0.695
面食 (rest. 4)	CO ₂ (μL/L)	628.37	11.59	416~954	567.63	77.38	444~765
	CO(μL/L)	18.45	8.68	5.7~46.5	17.24	8.46	6.4~34.7
	PM _{2.5} (mg/m ³)	0.61	0.131	0.446~1.26	0.76	0.072	0.618~0.893
	PM ₁₀ (mg/m ³)	0.67	0.14	0.485~1.37	0.79	0.074	0.643~0.923
素菜 (rest. 5)	CO ₂ (μL/L)	618.55	32.9	559~721	608.34	36.25	546~676
	CO(μL/L)	3.22	0.13	2.9~3.5	2.79	0.17	2.4~3.3
	PM _{2.5} (mg/m ³)	0.86	0.052	0.757~0.988	0.95	0.172	0.795~2.39
	PM ₁₀ (mg/m ³)	0.87	0.052	0.768~0.995	0.96	0.172	0.804~2.39
韩餐 (rest. 6)	CO ₂ (μL/L)	808.49	62.72	689~919	540.67	72.89	413~745
	CO(μL/L)	2.22	0.15	1.8~2.7	1.41	0.21	0.9~1.7
	PM _{2.5} (mg/m ³)	0.83	0.142	0.584~1.15	0.7	0.029	0.663~0.765
	PM ₁₀ (mg/m ³)	0.85	0.146	0.594~1.18	0.73	0.032	0.691~0.801

(续上表)

污染物	高峰期			空白期		
	平均浓度	标准偏差	范围	平均浓度	标准偏差	范围
CO ₂ (μL/L)	636.31	58.18	521~790	458.52	24.72	423~521
火锅	7.21	0.66	5.3~8.6	3.29	0.22	2.9~3.9
(rest. 7)	0.64	0.203	0.408~1.07	0.22	0.096	0.095~0.714
PM _{2.5} (mg/m ³)	0.64	0.203	0.414~1.07	0.25	0.096	0.121~0.742
PM ₁₀ (mg/m ³)	1 543.1	159.69	1 217~1 803	1 223.25	138.73	1 054~1 745
印度菜	4.98	0.72	4~6.2	35.17	16.89	11.5~64
(rest. 8)	0.77	0.027	0.699~0.854	0.69	0.11	0.52~1.02
PM _{2.5} (mg/m ³)	0.8	0.033	0.719~0.919	0.72	0.113	0.551~1.069
PM ₁₀ (mg/m ³)						

2.1 二氧化碳

室内 CO₂ 主要来自于人体呼吸、燃料燃烧、吸烟、生物发酵及植物呼吸。正常空气中的 CO₂ 含量约为 549~915 mg/m³ (300~500 μL/L)。CO₂ 属于呼吸中枢兴奋剂,为生理所需。但 CO₂ 浓度超过 1 000 μL/L 时,个别敏感者有不舒适感,当超过 1 500 μL/L 时,会出现明显的不舒适感。GB/T 18883-2002《室内空气质量标准》^[14] 中规定 CO₂ 的日均值不应高于 0.10% (1 000 μL/L)。

本次所监测的饭店 CO₂ 的平均浓度在用餐高峰期的范围 525.7~1 543.1 μL/L,该值与相关饭店空气质量研究一致 (Lee, S. C. et al., 1999, pp. 443~450)^[12]。最低浓度出现在面馆,为 416 μL/L,最高的 CO₂ 浓度 1 803 μL/L 出现在印度菜馆。空白期的 CO₂ 平均浓度范围为 439~1 223.2 μL/L。最小值 389 μL/L 出现在湘菜馆,最大值 1 745 μL/L 则出现在印度菜馆。用餐高峰期烧烤店和印度菜馆 CO₂ 平均浓度超标,究其原因主要是由于高峰期人员密度过大 (2.66 m²/人、2.1 m²/人,在南方室内通风条件好的情况下,人均占有面积大于 3 m² 时室内 CO₂ 的浓度低于 1 000 μL/L^[1]),且换气量不足,加之二者烹饪方式中均存在碳烤这一环节,从而导致 CO₂ 浓度过高。图 1. 与空白期对比,可知当室内人员和烹饪活动大幅减少时,Rest. 2~Rest. 7 的 CO₂ 浓度可回落至 400~600 μL/L 的范围内。

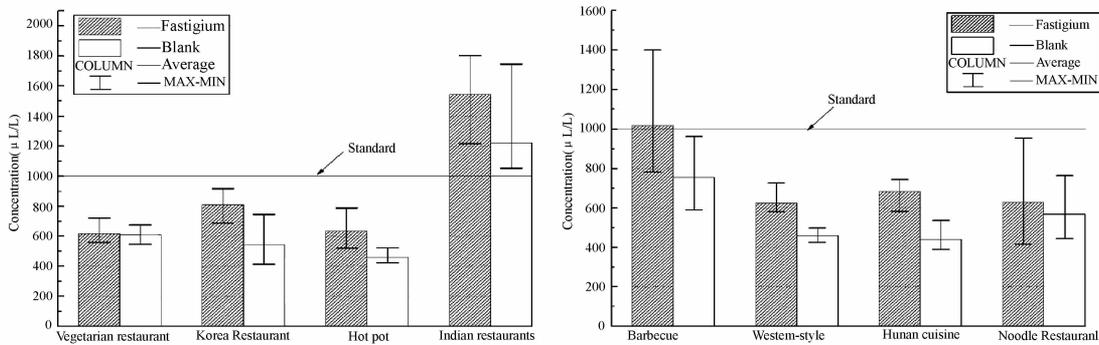


图 1 各饭店室内 CO₂ 浓度关系

Fig. 1 The relationship of CO₂ concentration emitted from different types of restaurants

2.2 一氧化碳

室内的 CO 主要源于烹饪中燃料的不完全燃烧、吸烟等人为活动。由于 CO 与血红蛋白的结合能力比氧气强 200~250 倍,从而降低了血液送氧能力,造成低氧血症致使组织缺氧。GB/T 18883-2002《室内空气质量标准》中规定 CO 的 1 h 均值不应高于 10mg/m³ (8.73 μL/L)。

结合图 2 与表 3 可知被测餐厅在用餐高峰期除 rest1 和 rest4 外,室内 CO 浓度均符合标准。CO 平均浓度从 2.25~18.45 μL/L,最低浓度值为 1.8 μL/L 出现在韩国餐馆,最大值则出现在面食馆,数值高达 46.5 μL/L。空白期除印度菜馆外平均浓度均有所下降,范围为 1.41~35.17 μL/L,最大值和最小值分别出现在印度餐馆 63.9 μL/L 及韩国餐馆 0.9 μL/L。

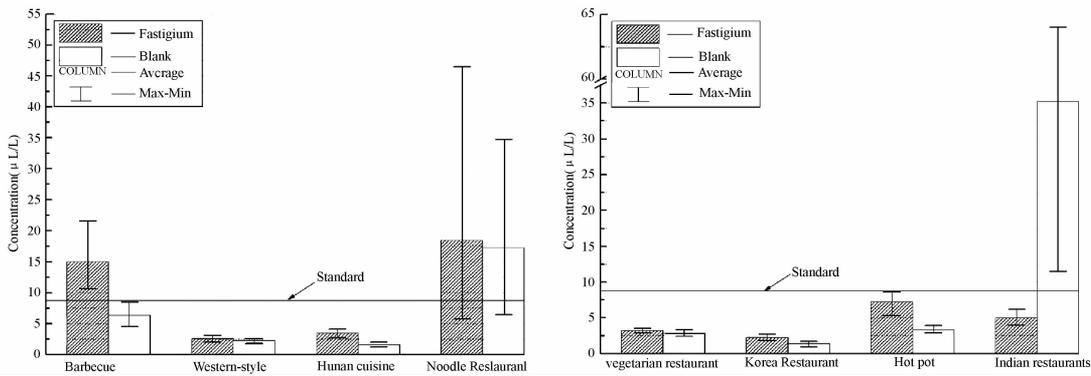


图 2 各饭店室内 CO 浓度关系

Fig. 2 The relationship of CO concentration emitted from different types of restaurants

用餐高峰期,CO 主要是由于含碳物质的不完全燃烧所产生,当木炭在燃烧过程中与氧气接触不足时,就会大量生成 CO,成为室内 CO 的主要来源.虽然韩国餐馆也存在碳烤这一烹饪环节,但是由于每桌都设置了独立排风系统,所以 CO 浓度保持在较低的水平.面食店由于在门口设置了炭火炉(空白期仍然燃烧),所以即便在烹饪活动较低的空白期,CO 浓度仍保持在较高水平平均值在 17.24 $\mu\text{L/L}$.对于烧烤店,并不存在持续的燃烧活动,CO 浓度达到标准.

图 3 为印度餐馆当日(2012-01-10/14:00-20:00)的 CO 浓度线性图,如图在 15:00 到 16:00 这段时间内 CO 浓度不断升高,可知在该段时间内存在以木炭为主的燃烧活动,且实地调查在空白期内饭店的机械通风属于关闭状态,CO 堆积无法逸散最终导致浓度过高.

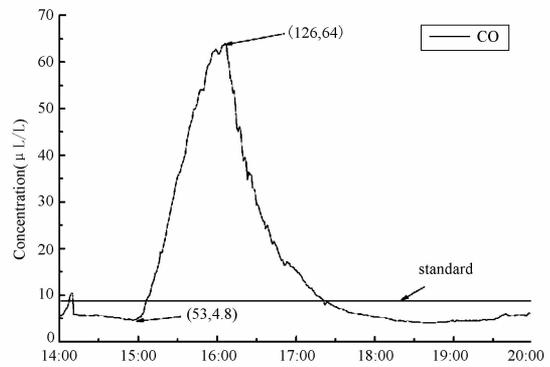


图 3 印度饭馆 2012-01-12 (14:00~20:00)的 CO 浓度线性图

Fig. 3 The linear figure of CO concentration of India restaurant in January 10, 2011(14:00~20:00)

2.3 颗粒物

空气悬浮颗粒是烹饪过程中的主要污染物之一,其在空气中停留的时间较长,并在其表面产生复杂的物理、化学反应,对人体危害严重. GB/T 18883-2002 《室内空气质量标准》中规定 PM_{10} 的日均值不应高于 0.15 mg/m^3 .

本次研究中,用餐高峰期对 8 家饭店的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 进行 2 h 的在线监测,所得的 2 h 质量浓度平均值范围分别为 $0.59\sim 1.29 \text{ mg/m}^3$ 和 $0.62\sim 1.34 \text{ mg/m}^3$. 而室内 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的最高值均出现在烧烤店分别为 2.19 mg/m^3 和 2.24 mg/m^3 . (图 4)为各饭店高峰期的与空白期的 PM_{10} 的质量浓度关系.

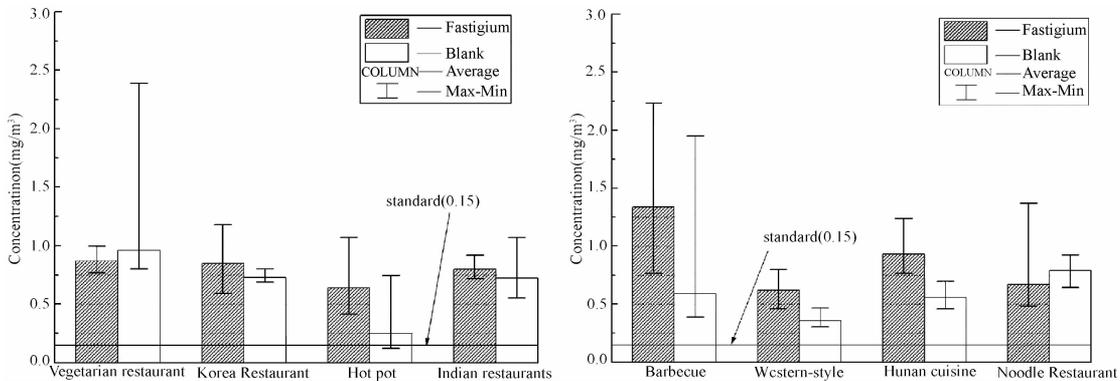


图 4 各饭店室内 PM_{10} 浓度关系

Fig. 4 The relationship of PM_{10} concentration emitted from different types of restaurants

如图所示,高峰期的室内 PM_{10} 浓度均超标严重,其中面食店与素菜馆在空白期的 PM_{10} 的质量浓度反而超过高峰期,究其原因与上述印度菜馆 CO 空白期浓度超过高峰期相同,在此不再赘述。

图5为高峰期的 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 平均浓度的比率,从图中我们可以看出 IP 中的细颗粒含量均在 90% 以上, Rogge, W. F. et al. (1991) 曾提出的在碳烤或油炸肉类食品时所释放的可吸入颗粒物的空气动力学当量直径小于 $2.5\mu m$ [11]。由此我们可以得出饭店这种相对较高的细粒子浓度水平很可能是由于存在燃烧过程的烹饪活动所造成的。

3 结 论

公共餐饮行业发展迅速,一系列问题也随之而来,其中室内空气质量问题严重,值得予以关注。依据 GB/T 18883-2002《室内空气质量标准》,烧烤店 CO_2 和 CO 在高峰期的平均浓度分别超标 1.71% 和 71.59%; 面食店 CO 超标 111.34%; 印度饭店 CO_2 超标 54.31%。 PM_{10} 的平均质量浓度均超标 (299.33%~760%), 而 IP 中 90% 以上为细粒子, 对人体健康的危害不容忽视。

通风方式及人员密度对于污染物浓度影响很大,饭店内人员密集度过高不但对 CO_2 浓度过高的贡献很大,而且表明局部污染源过于密集(高温状态下的食物会向外挥发油烟颗粒)。适宜的通风方式会有效地改善室内空气质量,韩国餐馆中尽管在用餐空间内存在碳烤环节,但由于使用机械通风与局部排烟相结合,使得各项污染物指标保持在较低的水平。此外基于 CFD 模拟与实际工程相结合得知下排风在提高 IAQ 方面的表现优于上排风。

不同烹饪方式及局部人为因素对 IAQ 的影响程度也有差异,使用木炭相对于液化气作为燃料时,CO 以及 IP 更易超标,而以电磁炉为主的饭店中,如本次所检测火锅店,其碳氧化物指标与其他饭店相比处于较低的水平。故推荐使用电磁加热作为主要的加热方式,另外在吸烟状况严重的空间中,IAQ 也会随之下降。

参考文献 References

- [1] 宋广生. 室内空气质量标准解读[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 56-157.
SONG Guang-sheng, The analysis of indoor air quality standard[M]. Beijing: Mechanical engineering press, 2003: 56-157.
- [2] 温梦婷, 胡敏. 北京餐饮源排放细粒子理化特征及其对有机颗粒物的贡献[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2620-2625.
WEN Meng-ting, HU Min, Physical and chemical characteristics of fine particles emitted from cooking emissions and its contribution to particulate organic matter in Beijing[J]. Environmental Science, 2007, 28(11): 2620-2625.
- [3] 卢剑霞, 孔祥环. 不同燃料和排风方式对烧烤餐厅空气质量的影响[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 1997, 24(4): 251-253.
LU Jian-zhen, KONG Xiang-huan. The influence of different fuel and the way of exhaust on indoor air quality in barbecue restaurant[J]. Railway Occupational Safety Health & Environmental Protection, 1997, 24(4): 251-253.
- [4] 廖雷, 钱公望. 烹调油烟的危害及其污染治理[J]. 桂林工学院学报, 2003, 23(4): 463-468.
LIAO Lei, QIAN Gong-wang. Cooking oil fumes pollution and solution[J]. Journal of Guilin institute of Technology, 2003, 23(4): 463-468.
- [5] 张庆, 徐业林. 华侨饭店空气质量调查分析[J]. 安徽预防医学杂志, 1997, 3(1): 29-31.
ZHANG Qing, XU Ye-lin. The investigation of indoor air quality in Huaqiao restaurant[J]. Anhui Journal of Preventive Medicine, 1997, 3(1): 29-31.

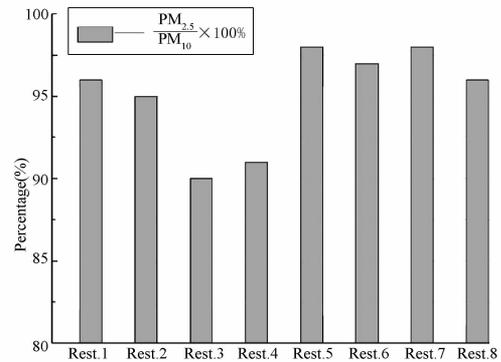


图5 高峰期的 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 平均浓度的比率

Fig. 5 Ratio of $PM_{2.5}$ to PM_{10} at various types of restaurants in fastigium

- [6] 钟透迤, 刘胜洪. 深圳市某区新装修饭店(餐厅)空气质量调查分[J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(16): 1395-1397.
ZhONG Wei-yi, LIU Sheng-hong. An Investigation on indoor air quality of newly decorated restaurants[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2009, 19(16): 1395-1397.
- [7] 徐荣佳. 空气颗粒物污染对健康的危害和预防[J]. 解放军预防医学志, 2005, 23(4): 305-307.
XU Rong-jia. The impact of Air particulate pollution on healthy and preventive action[J]. Journal of preventive medicine of Chinese people's liberation army, 2005, 23(4): 305-307.
- [8] 陈 晗. 餐饮业油烟污染现状及防治对策 [J]. 环境科学与管理, 2006, 31(3): 76-77.
CHEN Han. The situation of lampblack pollution and its countermeasures incatering industry[J]. Environmental science and management, 2006, 31(3): 76-77.
- [9] CHENG Lee-shun, LI Wai-ming, YIN Chan. Lo. Indoor air quality at restaurants with different styles of cooking in metropolitan Hong Kong[J]. The Science of the Total Environment, 2001, 279(1-3): 181-193.
- [10] Monn ch, Fuchs A. Particulate matter less than $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) and fine particles less than $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$): relationships between indoor, outdoor and personal concentrations[J]. The Science of the Total Environment, 1977, 208(1-2): 15-21.
- [11] Rogge W F, Hildemann L M. Sources of fine organic aerosol. 1. Charbroilers and meat cooking operations[J]. Environment Science and Technology, 1991, 25(6): 1112-1125.
- [12] Lee S C, Chan L Y, Chu M Y. Indoor and outdoor air quality investigation at 14 public places in Hong Kong[J]. Environment International, 1999, 25(4): 443-450.
- [13] 邵 华. 烧烤餐厅污染物控制研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
SHAO Hua. The research of pollution control in barbecue restaurant[D]. Tianjin: Tianjin university, 2009.
- [14] GB/T 18883-2002 室内空气质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
GB/T 18883-2002 Indoor air quality standard[S]. Beijing: China Standards Press, 2002.

Measurement and analysis on the indoor air quality in the public catering building

GUO Hua², GAO Feng^{1,2}, DONG Jun-gang^{1,2}, WU Yin-shan³

(1. School of Architecture, Xi'an Univ of Arch & Tech, Xi'an 710055, China;

2. The laboratory of ecological building environment constructed by central and provincial government ,
Xi'an Univ of Arch & Tech, Xi'an 710055, China;

3. School of Art, Xi'an Univ of Arch & Tech, Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to get information about the Indoor Air Quality (IAQ) of the public catering environment in the restaurant, the online instruments were set for meal-time detection of CO_2 , CO, $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in 8 different types of restaurant in Xi'an during fastigium and blanking period. Compared with GB / T 18883-2002《indoor air quality standards》, the testing results indicate that the CO and CO_2 concentrations are easily beyond standard in restaurant with grilled process. The over standard rate of average concentrations of CO and CO_2 in fastigium period are 1.71% and 71.59% respectively in barbecue restaurant; the CO concentration in Chinese noodle Restaurant exceed 111.34%; and the Indian restaurant CO_2 concentration exceed 54.31%. The mass concentrations of inhalable particulate generally exceed 299.33% to 760%. Finally, the reason for the phenomenon of over standard can be explained by analysing cooking methods, ventilation, personnel density and local human factor. In addition the paper, proposed some improvement measure for indoor air quality.

Key words: catering building; indoor air quality; PM_{10} ; $\text{PM}_{2.5}$