

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第12期

Vol.34 No.12

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

序	郝郑平(4503)
南京北郊大气 VOCs 体积分数变化特征	安俊琳,朱彬,李用宇(4504)
天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析	翟增秀,邹克华,李伟芳,王亘,翟友存(4513)
南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析	杨辉,朱彬,高晋徽,李用宇,夏丽(4519)
上海市春季臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算	崔虎雄(4529)
四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单及其对大气环境的影响	韩丽,王幸锐,何敏,郭卫广(4535)
武汉市秸秆燃烧 VOCs 排放估算及管理对策	黄碧捷(4543)
北京市冬季灰霾期 NMHCs 空间分布特征研究	段菁春,彭艳春,谭吉华,郝吉明,柴发合(4552)
广州市中心城区环境空气中挥发性有机物的污染特征与健康风险评价	李雷,李红,王学中,张新民,温冲(4558)
天津某家具城挥发性有机物健康风险评估	张银,王秀艳,高爽(4565)
废旧有机玻璃再生利用行业挥发性有机物(VOCs)排放特征研究	王浙明,徐志荣,叶红玉,许明珠,王晓星(4571)
农药企业场地空气中挥发性有机物污染特征及健康风险	谭冰,王铁宇,庞博,朱朝云,王道涵,吕永龙(4577)
电子产品加工制造企业挥发性有机物(VOCs)排放特征	崔如,马永亮(4585)
汽车涂料生产环节 VOCs 的排放特征及安全评价	曾培源,李建军,廖东奇,涂翔,许玫英,孙国萍(4592)
载人汽车室内空气 VOCs 污染的指标评价	陈小开,程赫明,罗会龙(4599)
基于 GC-MS 的烹调油烟 VOCs 的组分研究	何万清,聂磊,田刚,李靖,邵霞,王敏燕(4605)
VOCs 污染场地挖掘过程的环境健康风险评价	房增强,甘平,杨乐,戴子瑜,祁世鸿,贾建丽,何绪文(4612)
挥发性有机物污染场地挖掘过程中污染扩散特征	甘平,杨乐巍,房增强,郭淑倩,于妍,贾建丽(4619)
土壤中苯向大气挥发过程的影响因素和通量特征研究	杜平,王世杰,赵欢欢,伍斌,韩春媚,房吉敦,李慧颖,细见正明,李发生(4627)
土壤组分对四氯乙烯吸附解吸行为的影响	胡林,邱兆富,何龙,宴颖,吕树光,隋倩,林匡飞(4635)
自来水常规和深度处理工艺中挥发性有机物的变化规律	陈锡超,罗茜,陈虎,魏孜,王子健,许科文(4642)
杭州市典型企业废水中挥发性有机物排放特征及其评价	陈峰,徐建芬,唐访良,张明,阮东德(4649)
维生素 C 工业废水处理系统 VOCs 污染特性	郭斌,律国黎,任爱玲,杜昭,邢志贤,韩鹏,高博,刘淑娅(4654)
新型生物滴滤填料性能评价	梅瑜,成卓韦,王家德,活泼(4661)
微量臭氧强化生物滴滤降解甲苯性能研究	张超,赵梦升,张丽丽,陈建孟(4669)
BF 和 BTf 工艺去除 DCM 性能比较	潘维龙,於建明,成卓韦,蔡文吉(4675)
改性 13X 沸石蜂窝转轮对甲苯的吸附性能研究	王家德,郑亮巍,朱润晔,俞云锋(4684)
转轮吸附法处理有机废气的研究	朱润晔,郑亮巍,毛玉波,王家德(4689)
活性炭吸附有机蒸气性能的研究	蔡道飞,黄维秋,王丹莉,张琳,杨光(4694)
UV-生物过滤联合降解苯乙炔废气的研究	沙昊雷,杨国靖,夏静芬(4701)
蜂窝状 ZSM-5 型分子筛对丙酮和丁酮吸附性能研究	杜娟,栾志强,解强,叶平伟,李凯,王喜芹(4706)
内浮顶油罐“小呼吸”对环境影响过程的分析	吴宏章,黄维秋,杨光,赵晨露,王英霞,蔡道飞(4712)
基于 Tanks 4.0.9d 模型的石化储罐 VOCs 排放定量方法研究	李靖,王敏燕,张健,何万清,聂磊,邵霞(4718)
铜铈复合氧化物上石化行业典型 VOCs 的氧化行为与动力学	陈长伟,于艳科,陈进生,何焜(4724)
KrBr ⁺ 准分子灯直接光解一甲胺气体	赵洁,刘玉海,韦连梅,叶招莲,张善端(4734)
异味混合物中组分浓度与其强度贡献关系研究	颜鲁春,刘杰民,付慧婷,孙媛,林文辉(4743)
挥发性有机污染物排放控制标准制订中的关键技术问题研究	江梅,张国宁,任春,邹兰,魏玉霞(4747)
挥发性有机污染物排放控制标准体系的建立与完善	江梅,张国宁,邹兰,魏玉霞,张明慧(4751)
我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究	王铁宇,李奇锋,吕永龙(4756)
固定源废气 VOCs 排放在线监测技术现状与需求研究	王强,周刚,钟琪,赵金宝,杨凯(4764)
石化行业炼油恶臭污染源治理技术评估	牟桂芹,隋立华,郭亚逢,马传军,杨文玉,高阳(4771)
植物源挥发性有机化合物排放清单的研究进展	谢军飞,李延明(4779)
基于动态 CGE 的挥发性有机污染物 VOCs 排放预测和控制研究	刘昌新,王宇飞,郝郑平,王铮(4787)
《环境科学》第34卷(2013年)总目录	(4792)
《环境科学》征订启事(4717) 《环境科学》征稿简则(4742) 信息(4528, 4626, 4693, 4700)	

载人汽车室内空气 VOCs 污染的指标评价

陈小开¹, 程赫明^{1,2}, 罗会龙¹

(1. 昆明理工大学建筑工程学院, 昆明 650500; 2. 国家环境保护工业资源循环利用工程技术中心, 昆明 650500)

摘要: 载人汽车是最常用的交通工具, 车内空气 VOCs 危害健康, 为分析车内苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯与 TVOC 的污染程度, 依据国内外室内与车内空气质量标准, 采用指标评价法进行了客观分析. 结果表明, 就我国 GB/T 18883-2002《室内空气质量标准》、GB/T 17729-2009《长途客车车内空气质量》、GB/T 27630-2011《乘用车内空气质量评价指南》、韩国、挪威、日本与德国的标准而言, 载人汽车室内空气中最主要的 VOCs 污染物分别是 TVOC、TVOC、苯、苯、TVOC、甲苯与 TVOC 及其车内空气污染的级别依次为中污染、中污染、清洁、轻污染、中污染、清洁与重污染; 指标评价法能够有效分析车内空气质量, 不同标准的选取对评价结果差异显著; 德国标准最严格, 而我国 GB/T 18883-2002 标准相对比较严格, GB/T 27630-2011 标准最宽松.

关键词: 指标评价; 客观评价; 汽车; 室内空气品质 (IAQ); 车内环境; 挥发性有机物 (VOCs)

中图分类号: X511; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4599-06

Index Assessment of Airborne VOCs Pollution in Automobile for Transporting Passengers

CHEN Xiao-kai¹, CHENG He-ming^{1,2}, LUO Hui-long¹

(1. College of Architecture Engineering, Kunming University of Science & Technology, Kunming 650500, China; 2. National Environmental Protection Engineering Center for Industrial Resource Recycling, Kunming 650500, China)

Abstract: Car for transporting passenger is the most common means of transport and in-car airborne volatile organic compounds (VOCs) cause harm to health. In order to analyze the pollution levels of benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, styrene and TVOC, index evaluation method was used according to the domestic and international standards of indoor and in-car air quality (IAQ). For Chinese GB/T 18883-2002 IAQ Standard, GB/T 17729-2009 Hygienic Standard for the Air Quality inside Long Distance Coach, GB/T 27630-2011 Guideline for Air Quality Assessment of Passenger Car, IAQ standard of South Korea, Norway, Japan and Germany, the heaviest pollution of VOCs in passenger car was TVOC, TVOC, benzene, benzene, TVOC, toluene and TVOC, respectively, the average pollution grade of automotive IAQ was median pollution, median pollution, clean, light pollution, median pollution, clean and heavy pollution, respectively. Index evaluation can effectively analyze vehicular interior air quality, and the result has a significant difference with different standards; German standard is the most stringent, while Chinese GB/T 18883-2002 standard is the relatively stringent and GB/T 27630-2011 is the most relaxed.

Key words: index assessment; objective evaluation; car; indoor air quality (IAQ); vehicular interior environment; volatile organic compounds (VOCs)

目前我国已经连续 3 a 成为世界第一汽车生产和消费大国. 车内环境是一种特殊的室内环境, 是人们日常生活空间的重要组成部分, 汽车室内空气质量 (indoor air quality, IAQ) 已成为大众关注的焦点. 空气中的挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 种类繁多, 分布广泛, 性质各异^[1~3], 毒性大, 危害生命健康^[4~6]; 所有 VOCs 之和被称为总挥发性有机物 (TVOC), 表现出毒性与刺激性, 严重时引起死亡^[7]. 车内空气 VOCs 来自于车内饰品、内饰材料、油漆、涂料、有机溶剂等^[8~10], 车用总装用胶散发出大量 VOCs, 其中乙苯含量相对最高, 导致车内气味等级属于无法忍受级别^[11].

空气中 VOCs 方面的研究报道很多^[12~14], 从控制游离 VOCs 污染角度来看, 汽车制造行业为优控

行业, 苯系物为优控 VOCs 污染物^[15]. 同时 Li 等^[16]调查表明微型公交车内游离 VOCs 污染最重, 而电动公交车内 VOCs 污染最轻; 肖艳红等^[17]检测出小型乘用车内 TVOC 最大值为 $50.8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, Chen 等^[18]研究发现公交车室内空气中苯、甲苯、乙苯与二甲苯最大质量浓度依次为 0.11、0.27、0.096 与 0.23 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 而轿车内其浓度各是 0.14、0.38、0.13 与 0.31 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[19]. 蔺宏良等^[20]发现车内空气 VOCs 浓度随着时间的推移而降低, 随着车内温度的升高而上升. Rahman 等^[21]研究发现汽车尾气

收稿日期: 2013-06-17; 修订日期: 2013-07-26

基金项目: 云南省自然科学基金项目 (KKS201206158)

作者简介: 陈小开 (1979 ~), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为室内 VOCs 治理技术, E-mail: xkchen@msn.com

排放的 VOCs 逆流-反渗透-进入车内环境,污染汽车 IAQ,其中甲苯污染最严重. Kim 等^[22]分析车内饰材料 VOCs 散发,结果表明随着温度升高,VOCs 散发浓度越大,对汽车 IAQ 污染越严重.

至于 VOCs 评价,周裕敏等^[1]发现北京城乡结合地空气中苯的致癌指数较高(2.21×10^{-5}),可能对人体健康造成潜在危害;在一年四季的 VOCs 健康风险中,冬季最高,秋季次之,夏季最低. Catalina 等^[23]研究表明,当新风量为每人 $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,可获得 100% 的 IAQ 指标. 葛振兴等^[24]应用综合指数法发现上海浦东新区 4 家大型商场 IAQ 均为未污染级别,舒爱霞等^[25]证明邯郸市居民小区室内空气污染程度为甲醛 > 氨 > 氡 > TVOC > 苯,IAQ 污染高分指数依次为甲醛和氨. 徐立恒等^[26]表明私家车内苯污染对男性和女性驾乘人员造成的致癌风险各是 2.34×10^{-5} 和 2.62×10^{-5} ,依次为美国环保署控制标准的 23 倍与 26 倍多,苯和二甲苯会对人体健康产生显著的非致癌健康风险;邹钱秀等^[27]发现大部分新车内都存在不同程度的醛酮类物质污染,总醛酮物质最大浓度与平均浓度依次为 $0.31 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 与 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,存在癌症风险.

鉴于此,为了控制车内空气 VOCs 污染,改善车内空气品质,我国政府部门 2003 年 3 月实施 GB/T 18883-2002《室内空气质量标准》,2007 年 5 月实施 TB/T 3139-2006《机车车辆内装材料及室内空气有

害物质限量》,2008 年 3 月实施 HJ/T 400-2007《车内挥发性有机物和醛酮类物质采样测定方法》,2010 年 1 月实施 GB/T 17729-2009《长途客车内空气质量》,同年 6 月实施 GB 24409-2009《汽车涂料中有害物质限量》,2012 年 3 月实施 GB/T 27630-2011《乘用车内空气质量评价指南》,5 月实施 GB/T 28370-2012《长途客车内空气质量检测方法》、GB 24407-2012《专用校车安全技术条件》等国家标准. 自从标准颁布以后,汽车 IAQ 评价便有了可靠的依据;VOCs 是导致“新车味道与汽车驾驶综合症”的主要元凶之一,所以对车内 VOCs 污染进行评价具有重要意义;载人汽车是人们出行、上下班等最常用的交通工具,然而其内部空气环境 VOCs 污染的客观评价非常缺乏,无法了解载人汽车室内游离 VOCs 的污染程度及其对驾乘人员身体健康的影响. 本研究使用客观评价法中的指标评价,选择车内空气苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯与 TVOC 作为评价指标,对载人汽车内 VOCs 污染进行判定.

1 材料与方法

1.1 车内 VOC 浓度样本

依据车内空气 VOCs 污染调查^[28],125 辆载人汽车(包括 22 辆公交车、38 辆出租车与 65 辆小轿车)室内空气 VOCs 与 TVOC 的质量浓度如图 1 所示.

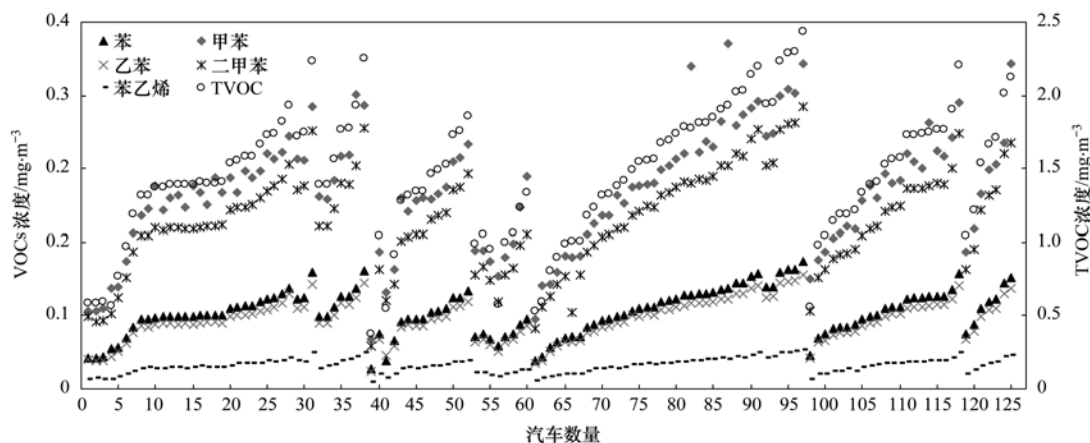


图 1 车内 VOCs 与 TVOC 质量浓度随汽车数量变化的散点图

Fig. 1 Scatter diagram of in-car VOCs and TVOC mass concentrations with vehicular amount

1.2 指标评价方法与原理

指标评价属于客观评价法,包括单项指标评价法与综合指标评价法.

1.2.1 单项指标法

对车内空气环境中的单一 VOCs 污染物与标准中相应 VOCs 浓度限值进行对比,得出其超标率,以

判断汽车 IAQ 受污染的状况,本研究所采用的标准与评价指标如表 1 与表 2.

1.2.2 综合指标法

为反映上述 VOCs 同时存在对汽车 IAQ 的综合影响,找出其综合污染规律及特征,还需要做出综合指数评价. 车内评价指标的测定数据要整理、分析和

归纳成指数值,才能表征汽车 IAQ 现状;其中分指数定义为游离 VOCs 质量浓度($c_i/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)与标准上限值($S_i/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)之比, S_i 的倒数看作其权值系数,形象地表示了某个 VOCs 质量浓度与其标准上限之间的距离;由分指数有机组合而成的评价指数能够综合反映汽车 IAQ 的优劣,借用算术平均指数与综合指数作为主要评价指数,算术叠加指数作为辅助评价指数,所用到的计算方程^[29]如公式(1)~(4).

分指数:

$$P_i = c_i / S_i \tag{1}$$

算术叠加指数:

$$P = \sum (c_i / S_i) \tag{2}$$

算术平均指数:

$$Q = P/n = [\sum (c_i / S_i)]/n \tag{3}$$

综合指数:

$$I = \sqrt{\left(\max\left[\frac{c_1}{S_1}, \frac{c_2}{S_2}, K \frac{c_n}{S_n}\right]\right) \cdot \left(\frac{1}{n} \sum \frac{c_i}{S_i}\right)} \tag{4}$$

以上各分指数可以较为全面地反映出载人汽车 IAQ 的平均污染水平和车内各种游离 VOCs 有害物质之间在污染程度上的差异,并可以确定车内空气中主要 VOCs; P_i 、 Q 与 I 这 3 项指数能够明确地反映出所采样调查的汽车 IAQ 的差异, I 适当兼顾最高分指数和平均分指数.

从环境质量指数法来说,一般认为分指数及综合指数在 0.5 以下就是清洁环境,可获得室内人员最大的接受率;如达到 1 可认为是轻污染,达到 2 及以上则判为重污染;据此确定汽车 IAQ 等级按综合指数可分为 5 级,如表 3 所示,由此来判断汽车 IAQ 的受污染水平.

表 1 国内外 IAQ 标准中 VOCs 浓度限值/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 1 Control level of VOCs mass concentrations in national and international IAQ standards/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$							
项目	GB/T 18883-2002	GB/T 17729-2009	GB/T 27630-2011	韩国汽车	挪威	日本	德国
苯	0.11	—	≤ 0.11	0.03	0.30	—	0.05
甲苯	0.20	≤ 0.24	≤ 1.10	1.00	0.30	0.26	0.05
乙苯	—	—	≤ 1.50	1.60	0.30	3.80	0.05
二甲苯	0.20	≤ 0.24	≤ 1.50	0.87	0.30	0.87	0.05
苯乙烯	—	—	≤ 0.26	0.30	0.30	0.22	0.05

表 2 国内外 IAQ 标准中 TVOC 浓度限值/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 Control level of TVOC mass concentration in national and international IAQ standards/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$										
项目	GB/T 18883-2002	TB/T 3139-2006	GB/T 17729-2009	挪威	德国	美国	香港 (I)	芬兰	丹麦	WHO
浓度限值	0.60	< 0.60	≤ 0.60	0.40	0.30	0.50	0.20	0.20	0.25	0.30

表 3 汽车 IAQ 等级划分基准

Table 3 Grade benchmark of automotive indoor air quality			
综合指数 (I)	IAQ 等级	等级评语	等级特点
$I < 0.5$	I	清洁	适宜于驾乘人员生活出行
$0.5 \leq I < 1$	II	未污染	车内各环境要素的污染物浓度都不超标
$1 \leq I < 1.5$	III	轻污染	至少有一个环境要素的污染物超标,除了敏感者外,一般不会发生急慢性中毒
$1.5 \leq I < 2$	IV	中污染	一般有 2~3 个环境要素的污染物超标,人群健康明显受害,敏感者受害严重
$I \geq 2$	V	重污染	一般有 3~4 个环境要素的污染物超标,人群健康受害严重,敏感者可能死亡

2 结果与讨论

2.1 单项指标评价

使用 SPSS 17.0 统计分析发现载人汽车室内空气苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯与 TVOC 质量浓度平均值分别是 0.084、0.22、0.076、0.18、0.025 与 $1.46 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,最大值依次为 0.14、0.38、0.13、0.31、0.043 与 $2.44 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,标准误差分别是 2.2、5.8、2.0、5.0、0.7 与 39.7;依据表 1 与表

2,单项指标法评价发现载人汽车内 VOCs 与 TVOC 的超标率如表 4 与表 5 所示,其平均值、最大值与标准浓度限值之比如表 6 与表 7 所示.

由评价结果可知,125 辆载人汽车室内 VOCs 污染,除了苯乙烯之外,都存在一定的超标现象;就国外 IAQ 标准而言,德国的标准最严格,其次为挪威的标准;当使用韩国的汽车 IAQ 标准时,苯污染非常严重,其超标率接近 100%,而其它 VOCs 超标率都为 0,可见韩国非常重视车内苯污染,因其是致癌物,其浓

度控制标准非常严格;就国内的相关标准而言,GB/T 18883-2002《室内空气质量标准》最严格.至于车内空气 TVOC,评价发现其污染很严重,在所有标准中,TVOC超标率都大于90%,就标准而言,中国香港与芬兰标准最严格,而中国的标准最宽松.

2.2 综合指标评价

由公式(1)~(4),可得车内 VOCs 与 TVOC 平均质量浓度指数分析情况如表 8 所示,就我国 GB/T 18883-2002 与 GB/T 17729-2009 标准而言,车内空气中最主要的污染物都为 TVOC,因其分指数最大,汽车 IAQ 污染的平均级别都为中污染;就我国 GB/T 27630-2011而言,车内污染最主要的 VOCs 为苯,其分指数分别是甲苯、乙苯、二甲苯与苯乙烯

分指数的 3.8、15.2、6.3 与 7.6 倍,汽车 IAQ 的平均级别为清洁;就韩国、挪威、日本与德国标准而言,车内最严重的游离 VOCs 污染物分别是苯、TVOC、甲苯与 TVOC,汽车 IAQ 的平均级别依次为轻污染、中污染、清洁与重污染.

依据公式(4)计算每辆车内空气 VOCs 污染的综合指数,再按照表 3 确定 125 辆载人汽车 IAQ 的污染级别,从而得出在不同标准中,汽车不同 IAQ 污染级别数量百分比如表 9 所示;由分析可知,综合评价结果与单项指标法类似,德国标准最严格,无清洁车,重污染车大于 90%;而我国的 GB/T 27630-2011《乘用车内空气质量评价指南》最宽松,清洁车数量比例大于 60%,没有任何污染车.

表 4 车内 VOCs 浓度超标率/%

Table 4 Percentage of in-car VOCs mass concentrations over control level/%

项目	GB/T 18883-2002	GB/T 17729-2009	GB/T 27630-2011	韩国汽车	挪威	日本	德国
苯	14.4	—	14.4	99.2	0	—	90.4
甲苯	65.6	35.2	0	0	10.4	20.0	100
乙苯	—	—	0	0	0	0	87.2
二甲苯	37.6	15.2	0	0	0.8	0	99.2
苯乙烯	—	—	0	0	0	0	0

表 5 车内 TVOC 浓度超标率/%

Table 5 Percentage of in-car TVOC mass concentration over control level/%

项目	GB/T 18883-2002	TB/T 3139-2006	GB/T 17729-2009	挪威	德国	美国	香港(1)	芬兰	丹麦	WHO
超标率	92.0	92.0	92.0	99.2	100	99.2	100	100	100	100

表 6 车内 VOCs 平均值/最大值是标准浓度限值的倍数

Table 6 Multiple of VOCs mean/maximal concentration in car to control level

项目	GB/T 18883-2002	GB/T 17729-2009	GB/T 27630-2011	韩国汽车	挪威	日本	德国
苯	0.76/1.26	—	0.76/1.26	2.79/4.63	0.28/0.46	—	1.67/2.78
甲苯	1.08/1.88	0.90/1.57	0.20/0.34	0.22/0.38	0.72/1.25	0.83/1.45	4.32/7.53
乙苯	—	—	0.05/0.08	0.05/0.08	0.25/0.42	0.02/0.03	1.51/2.50
二甲苯	0.92/1.54	0.77/1.28	0.12/0.21	0.21/0.35	0.61/1.03	0.21/0.35	3.69/6.16
苯乙烯	—	—	0.10/0.16	0.08/0.14	0.08/0.14	0.11/0.19	0.50/0.85

表 7 车内 TVOC 平均值与最大值是标准浓度限值的倍数

Table 7 Multiple of TVOC mean and maximal concentration in car to control level

项目	GB/T 18883-2002	TB/T 3139-2006	GB/T 17729-2009	挪威	德国	美国	香港(1)	芬兰	丹麦	WHO
平均值	2.43	2.43	2.43	3.65	4.87	2.92	7.30	7.30	5.84	4.87
最大值	4.06	4.06	4.06	6.09	8.12	4.87	12.18	12.18	9.74	8.12

2.3 不同标准的评价结果差异分析

由以上指标评价可知,针对不同的 VOCs 与 TVOC 标准浓度限值,评价结果差异很大,其原因是由于不同标准中 VOCs 与 TVOC 浓度限值差异很大.通过表 1 与表 2 比较发现我国 GB/T 27630-2011《乘用车内空气质量评价指南》中苯浓度限值

分别是韩国、挪威与德国标准的 3.7 倍、3.7 倍与 2.2 倍,甲苯质量浓度限值依次为我国 GB/T 18883-2002、GB/T 17729-2009、韩国、挪威、日本与德国标准的 5.5、4.6、1.1、3.7、4.2 与 22 倍,乙苯浓度限值分别是挪威与德国标准的 5 倍与 30 倍,二甲苯浓度限值依次为我国 GB/T 18883-2002、GB/T

17729-2009、韩国、挪威、日本与德国标准的 7.5、6.3、1.7、5、1.7 与 30 倍,苯乙烯浓度限值分别是日本和德国标准的 1.2 与 5.2 倍;与此同时,我国 GB/T 18883-2002、TB/T 3139-2006 与 GB 24409-

2009 标准中 TVOC 浓度限值是挪威标准的 1.5 倍,是德国与世界卫生组织标准的 2 倍,是美国标准的 1.2 倍,是香港(I类)与芬兰标准的 3 倍,是丹麦标准的 2.4 倍.

表 8 车内 VOCs 与 TVOC 平均浓度指数统计表

Table 8 Index statistic of VOCs and TVOC mean concentrations in car							
项目	GB/T 18883-2002	GB/T 17729-2009	GB/T 27630-2011	韩国汽车	挪威	日本	德国
P_i (苯)	0.76	—	0.76	2.79	0.28	—	1.67
P_i (甲苯)	1.08	0.90	0.20	0.22	0.72	0.83	4.32
P_i (乙苯)	—	—	0.05	0.05	0.25	0.02	1.51
P_i (二甲苯)	0.92	0.77	0.12	0.21	0.61	0.21	3.69
P_i (苯乙烯)	—	—	0.10	0.08	0.08	0.11	0.50
P_i (TVOC)	2.43	2.43	—	—	3.65	—	4.87
P	5.19	4.10	1.23	3.35	5.60	1.18	16.55
Q	1.30	1.37	0.25	0.67	0.93	0.29	2.76
I	1.78	1.82	0.43	1.37	1.85	0.49	3.66

表 9 汽车 IAQ 不同污染级别数量百分比/%

Table 9 Percentage of automotive indoor air quality of different pollution grades/%							
类型	GB/T 18883-2002	GB/T 17729-2009	GB/T 27630-2011	韩国汽车	挪威	日本	德国
清洁	0.8	0.8	64.8	0.8	0.8	48.0	0
未污染	8.8	8.0	35.2	20.8	8.0	52.0	0.8
轻污染	17.6	16.8	0	40.8	15.2	0	2.4
中污染	35.2	36.8	0	30.4	36.8	0	5.6
重污染	37.6	37.6	0	7.2	39.2	0	91.2

3 结论

(1) 指标评价法可以有效分析载人汽车室内游离 VOCs 污染,有效评价车内空气品质,但是不同标准质量浓度限值的选取对评价结果影响很大,可见车内空气品质标准的制定对车内空气 VOCs 污染的评价与控制具有重要意义.

(2) 德国的标准最严格,其次为挪威的标准,而我国 GB/T 27630-2011《乘用车内空气质量评价指南》的 VOCs 浓度限值最宽松且为推荐性标准,不利于控制车内 VOCs 污染,不利于改善车内环境.

(3) 我国小轿车、出租车与公交车等载人汽车室内空气中存在一定的 VOCs 污染,其中 TVOC 与苯最严重,需要采取更为严格且为强制性的车内空气质量标准,来控制车内空气 VOCs 污染,保障驾乘人员身体健康.

参考文献:

[1] 周裕敏,郝郑平,王海林. 北京城乡结合地空气中挥发性有机物健康风险评价[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3566-3570.

[2] 栾志强,郝郑平,王喜芹. 工业固定源 VOCs 治理技术分析评估[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3476-3486.

[3] 王海林,张国宁,聂磊,等. 我国工业 VOCs 减排控制与管理

对策研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3462-3468.

[4] Zhou J, You Y, Bai Z P, *et al.* Health risk assessment of personal inhalation exposure to volatile organic compounds in Tianjin, China[J]. Science of the Total Environment, 2011, **409**(3): 452-459.

[5] Taştan B E, Duygu E, Ilbaş M, *et al.* Utilization of LPG and gasoline engine exhaust emissions by microalgae[J]. Journal of Hazardous Materials, 2013, **246**(3): 173-180.

[6] Feltens R, Mögel I, Carmen R, *et al.* Chlorobenzene induces oxidative stress in human lung epithelial cells *in vitro* [J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2010, **242**(1): 100-108.

[7] 陈冠英. 汽车环境与驾乘人员的安全健康[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008. 66-67.

[8] Kadiyala A, Kumar A. Development and application of a methodology to identify and rank the important factors affecting in-vehicle particulate matter[J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, **213**(13): 140-146.

[9] Lau A K, Yuan Z, Yu J Z, *et al.* Source apportionment of ambient volatile organic compounds in Hong Kong[J]. Science of the Total Environment, 2010, **408**(19): 4138-4149.

[10] 王新,丁钟. 汽车车室内 VOC 探讨及胶粘剂解决对策[J]. 化工新型材料, 2013, **41**(2): 157-159.

[11] 许双英,金玉明,李莉,等. 车用胶粘剂对车内空气质量的影响[J]. 中国胶粘剂, 2013, **22**(3): 14-17.

[12] 徐志荣,王浙明,许明珠,等. 浙江省制药行业典型挥发性

- 有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评价[J]. 环境科学, 2013, **34**(5): 1864-1870.
- [13] 宁平, 郭霞, 田森林, 等. 昆明地区典型乔木主要挥发性有机物释放规律[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, **44**(3): 1290-1296.
- [14] 周剑峰, 吴祖成. 不同条件对活性炭吸附挥发性有机物的影响[J]. 浙江大学学报(理学版), 2013, **40**(2): 201-206.
- [15] Wang H L, Nie L, Li J, *et al.* Characterization and assessment of volatile organic compounds (VOCs) emissions from typical industries[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, **57**(19): 1739-1746.
- [16] Li S, Chen S G, Zhu L Z, *et al.* Concentrations and risk assessment of selected monoaromatic hydrocarbons in buses and bus stations of Hangzhou, China [J]. Science of the Total Environment, 2009, **407**(6): 2004-2011.
- [17] 肖艳红, 张卫东, 赵琦, 等. 小型乘用车内直链烃和芳香烃污染特征研究[J]. 环境科学与技术, 2012, **35**(5): 56-59.
- [18] Chen X, Zhang G, Zhang Q, *et al.* Mass Concentrations of BTEX inside Air Environment of Buses in Changsha, China[J]. Building and Environment, 2011, **46**(2): 421-427.
- [19] 陈小开, 张国强, 戴金财. 轿车内苯系物的质量浓度特征[J]. 汽车工程, 2010, **32**(11): 1006-1010.
- [20] 蔺宏良, 余强. 车内挥发性有机物检测方法与控制策略研究[J]. 环境工程, 2012, **30**(5): 104-107.
- [21] Rahman M M, Kim K H. Exposure to hazardous volatile pollutants back diffusing from automobile exhaust systems [J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, **241-242**(42): 267-278.
- [22] Kim K W, Lee B H, Kim S, *et al.* Reduction of VOC emission from natural flours filled biodegradable bio-composites for automobile interior [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, **187**(1): 37-43.
- [23] Catalina T, Iordache V. IEQ assessment on schools in the design stage [J]. Building and Environment, 2012, **49**(2): 129-140.
- [24] 葛振兴, 金樱枝, 唐琳, 等. 上海市浦东新区大型商场空气质量综合评价[J]. 中国卫生监督杂志, 2013, **20**(1): 7-11.
- [25] 舒爱霞, 李孜军, 邓艳星, 等. 综合指数评价法在室内空气品质评价中的应用[J]. 化工装备技术, 2010, **31**(2): 60-62.
- [26] 徐立恒, 张明, 徐茜. 家用车内空气苯系物污染状况及健康风险分析[J]. 中国计量学院学报, 2010, **21**(1): 67-70.
- [27] 邹钱秀, 张卫东, 赵琦, 等. 不同类型新车内醛酮类化合物的污染研究[J]. 中国环境监测, 2012, **28**(2): 97-100.
- [28] 陈小开. 车内挥发性有机物污染的分析评价及吸附光催化研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2011. 21-28.
- [29] 张泉, 王怡, 谢更新, 等. 室内空气品质[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 83-84.

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (4503)
Variation Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Nanjing Northern Suburb, China	AN Jun-lin, ZHU Bin, LI Yong-yu (4504)
Pollution Characterization of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Tianjin Downtown	ZHAI Zeng-xiu, ZOU Ke-hua, LI Wei-fang, <i>et al.</i> (4513)
Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer	YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (4519)
Estimation of the Formation Potential of Ozone and Secondary Organic Aerosol in Shanghai in Spring	CUI Hu-xiong (4529)
Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from the Typical Anthropogenic Sources in Sichuan Province	HAN Li, WANG Xing-rui, HE Min, <i>et al.</i> (4535)
Study on Volatile Organic Compounds Emission of Straw Combustion and Management Countermeasure in Wuhan City	HUANG Bi-jie (4543)
Spatial Distribution Characteristics of NMHCs During Winter Haze in Beijing	DUAN Jing-chun, PENG Yan-chun, TAN Ji-hua, <i>et al.</i> (4552)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China	LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, <i>et al.</i> (4558)
Health Risk Assessment of VOCs from a Furniture Mall in Tianjin	ZHANG Yin, WANG Xiu-yan, GAO Shuang (4565)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Recycled Waste Polymethyl Methacrylate (PMMA) Industry	WANG Zhe-ming, XU Zhi-rong, YE Hong-yu, <i>et al.</i> (4571)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory	TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, <i>et al.</i> (4577)
Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Electronic Products Processing and Manufacturing Factory	CUI Ru, MA Yong-liang (4585)
Emission Characteristics and Safety Evaluation of Volatile Organic Compounds in Manufacturing Processes of Automotive Coatings	ZENG Pei-yuan, LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, <i>et al.</i> (4592)
Index Assessment of Airborne VOCs Pollution in Automobile for Transporting Passengers	CHEN Xiao-kai, CHENG He-ming, LUO Hui-long (4599)
Study on the Chemical Compositions of VOCs Emitted by Cooking Oils Based on GC-MS	HE Wan-qing, NIE Lei, TIAN Gang, <i>et al.</i> (4605)
Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site	FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site	GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, <i>et al.</i> (4619)
Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics	DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, <i>et al.</i> (4627)
Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil	HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, <i>et al.</i> (4635)
Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes	CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, <i>et al.</i> (4642)
Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City	CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, <i>et al.</i> (4649)
Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production	GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, <i>et al.</i> (4654)
Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings	MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (4661)
Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation	ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, <i>et al.</i> (4669)
Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter	PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, <i>et al.</i> (4675)
Removal of Toluene from Waste Gas by Honeycomb Adsorption Rotor with Modified 13X Molecular Sieves	WANG Jia-de, ZHENG Liang-wei, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (4684)
Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor	ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, <i>et al.</i> (4689)
Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons	CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, <i>et al.</i> (4694)
Degradation of Styrene by Coupling Ultraviolet and Biofiltration	SHA Hao-lei, YANG Guo-jing, XIA Jing-fen (4701)
Adsorption Characteristics of Acetone and Butanone onto Honeycomb ZSM-5 Molecular Sieve	DU Juan, LUAN Zhi-qiang, XIE Qiang, <i>et al.</i> (4706)
Analysis of the Distribution of VOCs Concentration Field with Oil Static Breathing Loss in Internal Floating Roof Tank	WU Hong-zhang, HUANG Wei-qiu, YANG Guang, <i>et al.</i> (4712)
Study on the Quantitative Estimation Method for VOCs Emission from Petrochemical Storage Tanks Based on Tanks 4.0.9d Model	LI Jing, WANG Min-yan, ZHANG Jian, <i>et al.</i> (4718)
Oxidation Behavior and Kinetics of Representative VOCs Emitted from Petrochemical Industry over CuCeO _x Composite Oxides	CHEN Chang-wei, YU Yan-ke, CHEN Jin-sheng, <i>et al.</i> (4724)
Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr * Excilamp	ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, <i>et al.</i> (4734)
Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture	YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, <i>et al.</i> (4743)
Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, <i>et al.</i> (4747)
Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, <i>et al.</i> (4751)
Characteristics and Countermeasures of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China	WANG Tie-yu, LI Qi-feng, LÜ Yong-long (4756)
Status and Needs Research for On-Line Monitoring of VOCs Emissions from Stationary Sources	WANG Qiang, ZHOU Gang, ZHONG Qi, <i>et al.</i> (4764)
Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry	MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, <i>et al.</i> (4771)
Research Advances on Volatile Organic Compounds Emission Inventory of Plants	XIE Jun-fei, LI Yan-ming (4779)
Study of VOCs Emission Prediction and Control Based on Dynamic CGE	LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (4787)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年12月15日 34卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 12 Dec. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行