

Research on the Adaptive Index of In-Car Air Quality Driven by Industry Progress

Changqing Dong Wei Liu Yaozong Xu Xuefeng Liu Peng Zhang

China Automotive Technology & Research Center Co. Ltd., Tianjin, 300300, China

Abstract

Based on the VOCs detection data of 300 vehicles in the past two years, this paper studies the vehicle interior air quality evaluation model that adapts to the progress of the industry. The vehicle interior air quality index (AQIV) with comprehensive evaluation capability was designed by comprehensively using piecewise linear interpolation method and root mean square method. When using the GB/T 27630 standard system to evaluate the air quality inside the vehicle, The concentration values present cannot directly reflect the compliance of eight volatile organic compounds (VOCs) such as benzene and formaldehyde, which are difficult to understand and memorize, and cannot accurately reflect the concentration of each VOCs in the automotive market. In addition, the index method of this paper can also adapt to the adjustment of GB/T 27630 standard limits and the improvement of VOCs control level in the automotive industry. Compared with the VOCs concentration evaluation method in GB/T 27630, the AQIV evaluation method has significant advantages and can be a necessary supplement.

Keywords

automobile; air quality index; piecewise linear interpolation; volatile organic compounds

行业进步驱动的车内空气质量自适应指数研究

董长青 刘伟 徐耀宗 刘雪峰 张鹏

中国汽车技术研究中心有限公司, 中国·天津 300300

摘要

本文以近两年300辆汽车的VOCs检测数据为基础,研究了适应行业进步的车内空气质量评价模型,通过综合利用分段线性插值法和均方根值法,设计出了具有综合评价能力的车内空气质量指数(AQIV)。从而解决了利用GB/T 27630标准体系评价车内空气质量时,存在的浓度数值不能直观反映苯、甲醛等8种挥发性有机物(VOCs)达标情况、不易理解和记忆、不能准确反映各VOCs浓度在汽车市场水平等问题。此外,本文的指数法还能自适应GB/T 27630标准限值的调整和汽车行业VOCs控制水平的进步。相较于GB/T 27630中的VOCs浓度评价方法,AQIV评价方法具有显著优势并可成为其必要补充。

关键词

汽车; 空气质量指数; 分段线性插值法; 挥发性有机物

1 引言

随着人民生活水平的日益提高,车内空气质量逐渐引起了人们的广泛关注。据2014年《中国人群暴露参数手册》所示,驾乘人员在汽车中的每日平均暴露时间约40分钟,其中北上广等地驾乘人员的每日平均暴露时间达60分钟,所处环境的空气污染问题对人群健康影响重大^[1,2]。为此,中国环保部出台了用于保障汽车驾乘人员身体健康的GB/T 27630-2011《乘用车内空气质量评价指南》,对乘用车舱内散发的苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯、甲醛、乙醛、丙烯醛这8种有机污染物(VOCs)提出了限值要求。该推荐标准正在修订完善过程中,预计将于2017年成为国家强制标准。然而,该标准在

执行层面尚存在不足,主要有:(1)现行的标准是以苯、甲醛等8种VOCs的浓度($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)来衡量车内空气质量,由于这8种VOCs的标准限值各不相同,导致由浓度数值反应的车辆达标情况缺乏直观性,尤其对于不了解各VOCs标准限值的普通消费者,更是难以理解和记忆^[3];(2)目前汽车行业由于缺乏对VOCs控制整体现状的表征,标准中仅有的浓度数值也无法反映某车辆的车内空气质量在整个汽车行业中所处的水平。因而消费者难以依据标准体系对待购车辆的车内空气质量情况做出准确快速的判断,不利于国家标准保障汽车消费者身体健康权益目标的达成。

同是空气质量污染问题,人们对于大气环境及室内环境

空气质量污染带来的健康影响则认识较早,如病态建筑综合症(SBS)、建筑相关疾病(BRI)、多种化学污染物过敏症(MCS)等慢性病症的研究。为了更好地解决大气及室内环境空气质量污染问题,世界各国学者提出了多种空气质量评价方法。如冯利华等^[4]利用灰色聚类评价方法确定环境质量等级。刘康兰等^[5]利用模糊综合评判方法评价环境质量。其他学者提出了物元分析法、人工神经网络法、指数评价法等^[6]。其中指数评价法由于具有易懂、易学、易算、易操作等优点,使用比较广泛。

针对大气环境空气质量方面,S Arora等^[7]利用空气质量指数(AQI)于2014年7-9月,2015年11-12月以及2016年1月对Gajraula城市进行空气质量评价,探讨工业污染对人类健康的影响。Wan-Li Cheng等^[8]提出中国台湾于1997年开始,利用污染物标准指数(PSI)评价大气环境质量。PSI指数来自美国EPA,它是利用分段线性的方法,一次只能评价一种污染物,然而对于一个地区的综合污染指数评价不够准确。针对PSI的不足,发展了修正空气质量指数(RAQI)方法,利用熵函数与PSI值,考虑了不同污染物之间指数的可比性,使得评价结果更具准确性与代表性。Mohammad Hossein Sowlat等^[9]提出了基于模糊法的空气质量指数,即FAQI,可以根据不同污染物导致的不同健康效应分配权重因子,进行空气质量评价,结果更准确。D Mishra^[10]利用了FAQI对印度德里进行了空气质量评价。Wei-Zhen Lu等^[11]提出,自从1995年开始,中国香港利用空气污染指数(API)评价大气环境质量,这也是首先由美国EPA发展产生,不足在于该指数法只考虑一种污染物的最大值。而后发展了修正空气污染指数(RAPI)方法,它提供了更多的污染水平,更具代表性及广泛性。中国的大气环境方面指数评价法发展较为成熟,出现时间较早,武丽敏早在1995提出了将分指数写成多项式形式的综合指数评价法,强调各污染物的综合作用和相互影响。李悦(1996)提出了大气环境质量综合指数计算方法,有较强的适用性。李祚泳(1997)引入余分指数和补综合指数概念,提出了用余分指数合成(RIC)计算的综合指数方法。既强调级数较高的分指数的作用,也突出最大分指数的贡献。^[12]2012年,中国出台了HJ 633-2012《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》,将空气质量指数划分为6档,指数越大,级别越高,对应的空气污染越重,该标

准已于2016年1月1日正式执行。

针对室内建筑环境的空气质量评价,存在比如当量评价指标^[13]、综合评价方法等。综合评价法一般采用均值型多因子环境质量评价指数、计权型多因子环境质量评价指数和内梅罗多因子环境质量评价指数。均值型指数不适合评价室内空气质量,内梅罗指数会夸大最严重因子的影响,计权型指数用来综合评价室内空气质量是合适的,但是必须科学、合理地确定各个环境因子权系数值。舒爱霞等利用综合指数评价法描述各种污染物对空气污染的强度,但是受评价指标限制,一般选取稳定且长期存在的代表性污染物作为评价指标,对于低浓度污染物评价不够全面。高红武通过应用最高分指数与平均分指数兼顾的空气质量指数法,得到室内空气质量综合指数与甲醛质量分指数。邢核等利用计权型多因子环境质量评价指数,对环境中6项有机污染物作为评价因子进行评价。冯文如等采用公共场所卫生指数综合评价方法,对公共场所的5项污染指标进行了评价。AKY Law等提出HKEPD曾开展了一次室内空气质量评价活动,目的是评价典型商业建筑室内的空气质量水平,并且制定相关的空气质量准则。R Soni也利用AQI方法对室内空气质量进行评价,发现空气质量指数越高,人群死亡率越高,并且与PM_{2.5}暴露水平关系很大。

综上所述,目前大气环境质量管控领域发展较为成熟,世界各国已在污染物标准浓度限值的基础上,建立并实施了较为完善的指数评价方法,与消费者居家生活关系紧密的室内空气质量指数研究也在快速发展,而针对车内环境相关研究较为欠缺。此外,车内空气质量指数评价法虽然可以借鉴大气及室内的空气质量指数评价方法,但是由于大气环境处于开放环境,室内建筑环境与车内环境的污染源存在不同,大气与室内环境的指数评价法在车内环境不完全适用,因此研究一种车内的综合评价指数显得尤为重要。

本文立足现阶段中国汽车行业车内空气质量整体水平,参考室内建筑环境中计权型指数的均方根值法,提出具有行业进步自适应性的车内空气质量指数模型(Air Quality Index In Vehicle, AQI_v),以准确直观的指数形式对车内空气质量进行综合评价,从而反映车内VOCs的污染水平,并直观展现其对人体健康的影响,帮助消费者在GB/T 27630-2011标准体系基础上更容易地选购车内空气质量优秀的车型,最大

限度保障消费者身体健康,进而通过市场机制间接促进中国汽车行业在绿色环保方面不断进步。

2 数据与方法

2.1 研究数据来源

为构建适用于中国现阶段汽车行业车内空气质量整体水平的指数评价模型,需要获取大量的近几年销量较好车型的 车内 VOCs 检测数据。为此,我们严格按照 HJ/T 400-2007《车内挥发性有机物和醛酮类物质采样测定方法》的要求,对来自一汽大众、一汽夏利、吉利、长安、江淮、北京现代、东风本田、东风裕隆、东风悦达起亚、广汽丰田、观致、铃木、上海大众、上汽通用五菱、梅赛德斯-奔驰等企业或品牌的下线 23-33 天内的 300 辆 M1 类汽车进行 8 种车内 VOCs 检测,检测时间跨度为 2014 年 1 月 1 日至 2015 年 11 月 30 日,以检测结果作为 AQI_V 模型研究的数据来源。所选检测结果对应的车型品牌众多,市场指导价格覆盖几万元至二十五万余元的普通大众消费区间,能较好地代表近两年中国汽车行业车内空气质量的整体水平。

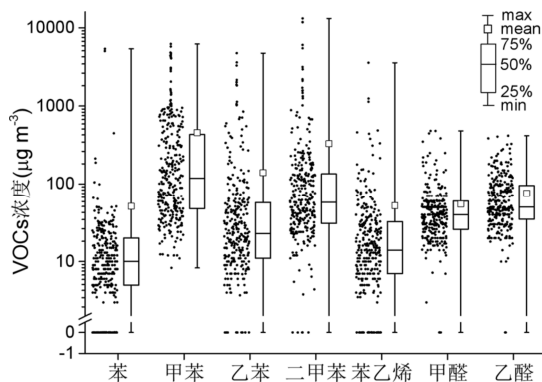


图 1 300 辆 M1 类汽车 VOCs 浓度分布

图 1 所示为 300 辆 M1 类汽车的车内 VOCs 浓度散点分布情况及各 VOCs 分布对应的最小值 (min)、下四分位值 (25%)、中位值 (50%)、上四分位值 (75%)、平均值 (mean) 及最大值 (max)。对于《乘用车内空气质量评价指南》中规定了浓度限值的 8 种 VOCs 中的丙烯醛,其在所选 300 组检测结果显示中浓度值很低,未检出的比例达到 99%,因此未在图 1 中示出,且暂不作为本文 AQI_V 模型的指标项目。

2.2 模型建立方法

借鉴 HJ 633-2012《环境空气质量指数 (AQI) 技术规定》中的分段线性插值法,统计分析 300 辆 M1 类汽车的 VOCs 浓

度分布,计算得到车内空气质量分指数 (Individual Air Quality Index In Vehicle, $IAQI_V$)。然后,依次考察用 $IAQI_V$ 最大值、 $IAQI_V$ 综合指数值、 $IAQI_V$ 算数平均值、 $IAQI_V$ 均方根值来表征 AQI_V 的可行性。其中, $IAQI_V$ 综合指数值的计算参照国标 WS/T 199-2001《公共场所卫生综合评价方法》中 3.2.3 所述方法进行。

3 车内空气质量指数模型建立

3.1 车内空气质量分指数 $IAQI_V$ 设计

设计车内空气质量分指数 $IAQI_V$ 的目标,是将检测得到的车内 VOCs 浓度数值 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 按照一定规律转换为无量纲的指数形式,使所得指数能够同时满足以下三个要求:(1) 能直观反映各 VOCs 的达标情况;(2) 容易理解和记忆;(3) 能准确反映各 VOCs 浓度水平在近两年整个汽车市场中的排名分布情况。为实现上述目标,依次对原始的车内 VOCs 浓度数值进行以下分析转换。

首先,以现行 GB/T 27630-2011《乘用车内空气质量评价指南》中规定的浓度限值为界限(苯 $110\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、甲苯 $1100\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、乙苯 $1500\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、二甲苯 $1500\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、苯乙烯 $260\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、甲醛 $100\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、乙醛 $50\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),将图 1 中 7 种 VOCs 的浓度数值划分为达标和超标两大等级。为表明超标程度,再以标准浓度限值的 2 倍为界限,将超标浓度数值划分为超标和严重超标两小等级。由于上述划分方法以标准限值为依据,因此当 GB/T 27630 的标准限值发生调整时,划分结果也会发生相应变化,使本文构建的车内空气质量指数对标准限值的变化具有自适应性。

其次,在只对达标车辆进行排名的原则指导下,将划分得到的各 VOCs 达标浓度数值作为排名数据集合,分别求得集合数据的下四分位值、中位值及上四分位值,从而将达标浓度数值进一步细分为四小等级,分别是优秀(0-下四分位值)、良好(下四分位值-中位值)、中等(中位值-上四分位值)及尚可(上四分位值-国标限值),划分结果如表 1 所示。由于上述划分方法以近两年中国汽车行业车内空气质量的整体水平为依据,因此只要定期滚动更新上述“排名数据集合”,即可在行业整体水平发生变化时,使划分结果也发生相应变化,使本文构建的车内空气质量指数对汽车行业 VOCs 控制水平的进步具有自适应性。

表 1 300 辆 M1 类汽车 VOCs 浓度区间划分

名称	等级划分	浓度区间 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	统计频数 (辆)	占达标车数的比例	累计占比
苯	优秀	0-5	81	27.5%	27.5%
	良好	6-9	67	22.7%	50.2%
	中等	10-19	74	25.1%	75.3%
	尚可	20-110	73	24.7%	100%
	超标	111-220	2	0.7%	—
	严重超标	221-5500	3	1.0%	—
甲苯	优秀	0-45	72	25.9%	25.9%
	良好	46-101	69	24.8%	50.7%
	中等	102-310	69	24.8%	75.5%
	尚可	311-1100	68	24.5%	100%
	超标	1101-2200	8	2.9%	—
	严重超标	2201-6500	14	5.0%	—
乙苯	优秀	0-11	76	25.9%	25.9%
	良好	12-22	70	23.9%	49.8%
	中等	23-55	74	25.3%	75.1%
	尚可	56-1500	73	24.9%	100%
	超标	1501-3000	4	1.4%	—
	严重超标	3001-5500	3	1.0%	—
二甲苯	优秀	0-30	72	25.0%	25.0%
	良好	31-55	71	24.7%	49.7%
	中等	56-128	73	25.3%	75.0%
	尚可	129-1500	72	25.0%	100%
	超标	1501-3000	6	2.1%	—
	严重超标	3001-13500	6	2.1%	—
苯乙烯	优秀	0-6	67	23.0%	23.0%
	良好	7-13	76	26.1%	49.1%
	中等	14-30	77	26.5%	75.6%
	尚可	31-260	71	24.4%	100%
	超标	261-520	6	2.1%	—
	严重超标	521-3600	3	1.0%	—
甲醛	优秀	0-25	69	24.9%	24.9%
	良好	26-38	69	24.9%	49.8%
	中等	39-51	70	25.3%	75.1%
	尚可	52-100	69	24.9%	100%
	超标	101-200	13	4.7%	—
	严重超标	201-500	10	3.6%	—
乙醛	优秀	0-26	37	24.3%	24.3%
	良好	27-35	38	25.0%	49.3%
	中等	36-45	36	23.7%	73.0%
	尚可	46-50	41	27.0%	100%
	超标	51-100	87	57.2%	—
	严重超标	101-450	61	40.1%	—

以表 1 中的甲苯为例对上述区间划分结果进行说明, 其柱状图表示如图 2 所示。由图 2 可知, 在兼顾 GB/T 27630-2011 标准限值和近两年中国汽车行业车内空气质量整体水平的基础上划分得到的甲苯浓度下四分位值、中位值及上四分位值分别为 $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $101 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 及 $310 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 300 辆 M1 类汽车中, 甲苯浓度介于 $0-45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间的优秀车辆有 72 辆, 占达标车辆总数的 25.9%; 甲苯浓度介于 $2201-6500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间的严重超标车辆有 14 辆, 相当于达标车辆总数的 5.0%。

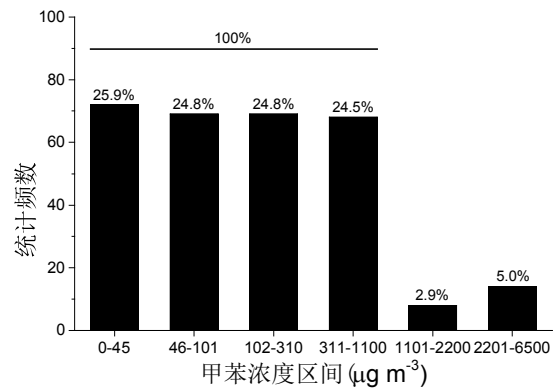


图 2 基于甲苯浓度区间的 300 辆 M1 类汽车分布

最后, 以上文划分得到的 VOCs 浓度等级为基础, 借鉴 HJ 633-2012《环境空气质量指数 (AQI) 技术规定》中的分段线性插值法, 将各 VOCs 的浓度数值转换成无量纲的指数形式。同时为了便于理解和记忆, 在利用分段线性插值法设计 $IAQI_V$ 时, 参照 HJ 633-2012 中的分指数设定方式, 将各 VOCs 标准限值所对应的分指数设定为 100。以此为基准, 进一步将达标浓度数值集中下四分位值、中位值及上四分位值对应的分指数分别设定为 25、50 及 75, 将 2 倍国标浓度限值对应的分指数设定为 200, 将 300 辆 M1 类汽车各 VOCs 浓度最大值对应的分指数设定为 500。从而使各分指数与浓度数值的排名或超标情况准确匹配, 相关参数设定总结于表 2 中。

表 2 车内空气质量分指数及对应的 VOCs 浓度限值

等级上限	分指数	VOCs 浓度限值 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)						
		苯	甲苯	乙苯	二甲苯	苯乙烯	甲醛	乙醛
—	0	0	0	0	0	0	0	0
优秀	25	5	45	11	30	6	25	26
良好	50	9	101	22	55	13	38	35
中等	75	19	310	55	128	30	51	45
尚可	100	110	1100	1500	1500	260	100	50
超标	200	220	2200	3000	3000	520	200	100
严重超标	500	5500	6500	5000	13500	3600	500	450

以表 2 中的参数设定为依据, VOCs 项目 P 的车内空气质量分指数 $IAQI_{VP}$ 的分段线性插值计算公式为:

$$IAQI_{VP} = \frac{IAQI_{VHi} - IAQI_{VLo}}{C_{Hi} - C_{Lo}} (C_P - C_{Lo}) + IAQI_{VLo} \quad (1)$$

公式 (1) 中各参数的定义如下, $IAQI_{VP}$: VOCs 项目 P 的车内空气质量分指数; C_P : VOCs 项目 P 的测量浓度值, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; C_{Hi} : 表 2 中与 C_P 相近的 VOCs 浓度限值的高位值, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; C_{Lo} : 表 2 中与 C_P 相近的 VOCs 浓度限值的低位值, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; $IAQI_{VHi}$: 表 2 中与 C_{Hi} 对应的车内空气质量分指数;

IAQI_{VLo}: 表2中与C_{Lo}对应的车内空气质量分指数。

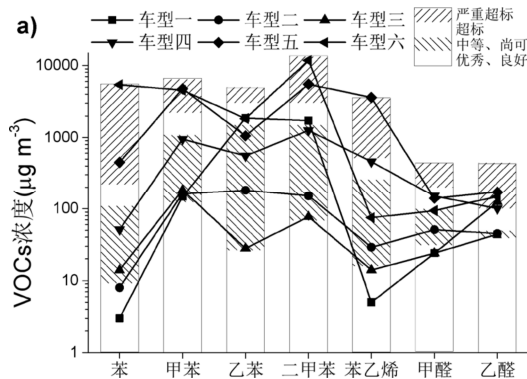


图3a 六辆示例车型的VOCs原始浓度

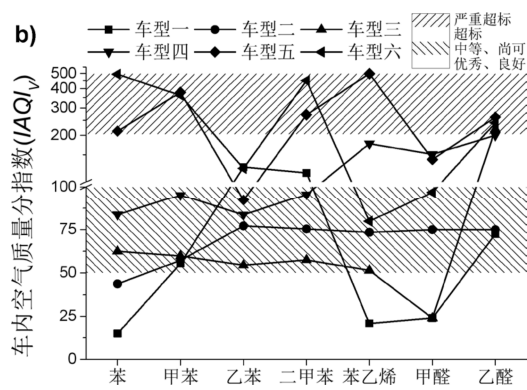


图3b VOCs原始浓度转换得到的IAQI_V

图3中a、b所示, 分别是300辆M1类汽车中随机选取的六辆示例车型的VOCs原始浓度数值, 以及按照公式(1)方法结合表2参数计算得到的IAQI_V数值。例如, 车型一各VOCs原始浓度数值分别为苯3 μg·m⁻³, 甲苯147 μg·m⁻³, 乙苯1873 μg·m⁻³, 二甲苯1718 μg·m⁻³, 苯乙烯5 μg·m⁻³, 甲醛24 μg·m⁻³, 乙醛44 μg·m⁻³, 各数值反映的信息并不明确, 相互之间也不能直接比较。按公式(1)方法结合表2参数计算得到各项分指数IAQI_V如下: IAQI_{V苯} 15, IAQI_{V甲苯} 56, IAQI_{V乙苯} 125, IAQI_{V二甲苯} 115, IAQI_{V苯乙烯} 21, IAQI_{V甲醛} 24, IAQI_{V乙醛} 73。由上述IAQI_V数据可知, 车型一的苯、苯乙烯、甲醛控制较好, 在近两年中国汽车行业车内空气质量整体现状中处于优秀水平, 排名分别为第15位、第21位、第24位; 甲苯和乙醛控制一般, 处于中等水平; 乙苯和二甲苯控制较差, 分别超标25%和15%。可见, 以上述IAQI_V数据来表征车辆的车内空气质量情况, 可有效克服原始浓度数值的达标情况不直观、不能反映排名信息, 难以理解和记忆等缺点。

3.2 车内空气质量指数AQI_V设计

进一步设计车内空气质量指数AQI_V的目的, 是解决在

利用IAQI_V评价车内空气质量时, 仍然存在的以下不足: (1) IAQI_V包括苯、甲醛等7种VOCs的指数值, 数量较多, 不方便快速查看; (2) 7种VOCs的IAQI_V数值大小不等, 其对车内空气质量的综合影响未知。

为解决上述不足, 进一步对IAQI_V进行运算处理, 以单项指数AQI_V的形式对车内空气质量进行综合评价。首先, 对于有一项或多项分指数IAQI_V大于100的超标车辆, 为达到警示作用, 直接将首要污染物的IAQI_V数值作为AQI_V数值。其次, 对于7种VOCs的分指数IAQI_V均小于或等于100的达标车辆, 以合理的综合评价性能为目标, 本文依次考察了采用IAQI_V的最大值、综合指数值、算数平均值、均方根值作为AQI_V的合理性, 相关运算公式如表3所示。

表3 待考察的AQI_V运算方法

方法	AQI _V 运算公式
最大值	$\max \{IAQI_{V苯}, IAQI_{V甲苯}, \dots, IAQI_{V乙醛}\}$
综合指数值	$\sqrt{IAQI_{V平均} (IAQI_{V平均} + 0.576S)}$ IAQI _{V平均} : 7种VOCs IAQI _V 的算数平均值; S: 7种VOCs IAQI _V 的算数标准差
算数平均值	$\frac{IAQI_{V苯} + IAQI_{V甲苯} + \dots + IAQI_{V乙醛}}{7}$
均方根值	$\sqrt{\frac{IAQI_{V苯}^2 + IAQI_{V甲苯}^2 + \dots + IAQI_{V乙醛}^2}{7}}$

表3所列四种运算方法的特点如下: (1) 在大气环境评价领域, 采用各项空气质量分指数中的最大值作为空气质量指数(AQI), 是中、美等国的普遍做法, 能够将届时首要污染物水平告知大众, 起到发出警示或提出出行建议的目的; (2) 中国卫生部于2001年发布的推荐性标准《公共场所卫生综合评价方法》中所述的综合指数法, 是目前公认较好的一种综合评价模式。其用分指数的平均值IAQI_{V平均}代替最大分指数, 当分指数服从正态分布时, (IAQI_{V平均}+0.576S)接近最大分指数, 因而具有最大分指数的作用, 与此同时通过标准差S不仅能反映出分指数内部的离散程度, 还能反映出超标率的影响; (3) 以多个数值的算数平均值评价它们对目标的综合影响, 是统计学中最基本、最常用的一种综合评价方法; (4) 均方根值(或称为有效值)可以在兼顾算数平均值优点的基础上, 突出较大数值对综合评价的显著影响。

下面以VOCs分指数均小于100的达标车型二的IAQI_V为示例数据(如图3所示, IAQI_{V苯}44, IAQI_{V甲苯}57, IAQI_{V乙苯}77, IAQI_{V二甲苯}75, IAQI_{V苯乙烯}74, IAQI_{V甲醛}75, IAQI_{V乙醛}

75), 并对其适当变化, 以考察采用上述四种运算方法计算 AQI_V 的合理性, 运算结果如表 4 所示。

表 4 待考察的 AQI_V 运算方法应用效果示例

方法 分指数	最大值	综合指数值	算数平均值	均方根值
原始指数不变	77	77	68	69
最小值 44 减小 30	77	78	64	67
最大值 77 减小 30	75	73	64	65
应用效果分析	不能反映出较小指数的变化	分指数减小反而使结果增大	不能反映哪个等级发生了指数变化	可正确反映出所有情况下指数的变化

由表 4 中的应用效果分析可知, 采用 7 种 VOCs 分指数的均方根值作为 AQI_V 来综合表征车内空气质量情况, 可以同时克服最大值法的片面性、综合指数值法的非单调性、及算数平均值法的内涵欠缺性。其中, 内涵欠缺性的克服对综合评价车内空气质量很有必要。例如, 某车辆 A 的 7 项 $IAQI_V$ 分别为 70 和六个 0, 某车辆 B 的 7 项 $IAQI_V$ 均为 10, 由于目前尚没有研究能够证明苯、甲醛等 7 种 VOCs 对人体的健康影响具有协同效应, 故一般认为这种情况下 B 车的车内空气质量优于 A 车, 该优势无法通过算数平均值体现, 但可以通过均方根值体现。

基于以上分析, 本文建议对于超标车辆, 采用其首要污染物的 $IAQI_V$ 数值作为 AQI_V 数值, 对于达标车辆, 采用 7 种 VOCs 分指数的均方根值作为 AQI_V 数值, 以单项 AQI_V 的形式对车内空气质量进行综合评价。

4 AQI_V 对汽车行业的潜在影响

车内空气质量不同于大气空气质量, 其空间狭小、影响较少, 因此只要管控得当, 可以在较短期内得到控制并越来越好。本文构建的自适应 AQI_V 及其模型方法基于近两年中国汽车行业的整体现状, 可以同时反映 GB/T 27630 标准限值的调整和汽车行业 VOCs 控制水平的进步, 能够综合评价车内空气质量, 帮助消费者对车内空气质量更优秀的车型制定选购决策, 进而通过市场机制促进绿色环保汽车的快速发展。随着竞争与发展, 定期滚动更新的车内 7 种 VOCs 检测数据集合的下四分位值、中位值、上四分位值也将越来越小, 从而为 GB/T 27630 中浓度限值的发展修订提供健康毒理学研究之外的数据支撑, 实现汽车行业在车内空气质量方面的不断进步。

中国现行的以 VOCs 浓度数值为依据的车内空气质量评价方式, 数值多达 8 项且不易理解, 在难于被消费者应用的同时, 也容易使消费者对车内空气质量产生恐慌情绪, 不利于正确环保观念的宣贯。通过本文设计的 AQI_V 及自适应指数模型方法的应用, 可以帮助消费者了解中国汽车行业在车内空气质量管控方面的现状、努力和进步, 有利于营造和谐、健康的汽车行业发展环境。

5 结语

本文立足中国在车内空气质量管控领域的现阶段国情, 以 300 辆汽车的车内 VOCs 检测数据为基础, 综合利用分段线性插值法和均方根值法, 在国际上首次构建出了兼具直观性、实用性和高内涵的车内空气质量指数 AQI_V 及其模型方法。所得指数不仅能解决利用 GB/T 27630 标准体系评价车内空气质量时存在的问题, 也能自适应 GB/T 27630 标准限值的调整或汽车行业 VOCs 控制水平的进步, 进而通过对消费决策的影响和市场机制, 促进中国汽车行业在绿色环保方面的不断进步。本文自适应 AQI_V 模型所采用的均方根值法对建筑、列车客舱、船舱、机舱等公共场所内的空气质量综合评价也具有借鉴意义。此外, 本文设计的 AQI_V 尚未考虑人员暴露时间的影响, 多污染物叠加对健康影响的协同或拮抗效应也尚未明确, 相关研究有待进一步开展。

参数解释表:

VOCs: 挥发性有机物 (volatile organic compounds);

AQI: 空气质量指数 (Air Quality Index);

AQI_V : 车内空气质量指数 (Air Quality Index In Vehicle);

$IAQI_V$: 车内空气质量分指数 (Individual Air Quality Index In Vehicle);

$IAQI_{VP}$: VOCs 项目 P 的车内空气质量分指数;

C_P : VOCs 项目 P 的测量浓度值, $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$;

C_{Hi} : 表 2 中与 C_P 相近的 VOCs 浓度限值的高位值, $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$;

C_{Lo} : 表 2 中与 C_P 相近的 VOCs 浓度限值的低位值, $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$;

$IAQI_{VHi}$: 表 2 中与 C_{Hi} 对应的车内空气质量分指数;

$IAQI_{VLo}$: 表 2 中与 C_{Lo} 对应的车内空气质量分指数;

IAQI_V平均: 7种VOCs IAQI_V的算数平均值;
S: 7种VOCs IAQI_V的算数标准差。

参考文献

- [1] Sabine B,Wolfgang B.Daily time spent indoors in German homes—baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants[J].International Journal of Hygiene and Environmental Health,2005,208(4):247–253.
- [2] Zhang Y.Indoor air quality engineering[M].U.S.Boca Raton:CRC press,2004.
- [3] Mohammad H,Hamed G,Masud Y,et al.A novel,fuzzy-based air quality index(FAQI)for air quality assessment[J].Atmospheric Environment,2011,45(12):2050–2059.
- [4] 冯利华,王基一,章明卓.环境质量的灰色聚类评价[J].环境保护科学,2000,26(100):37–39.
- [5] 刘康兰,袁浩.模糊综合评判在环境质量评价中的应用[J].环境工程,2000,18(1):55–56.
- [6] 李祚泳,汪嘉杨,刘丹丽.基于Γ型分布的空气质量评价普适指数公式[J].环境工程学报,2009,3(3):555–558.
- [7] S.Arora,A.Mahima,R.Pal,et al.Air quality index and its possible impact on human health in industrial area Gajraula,U.P[J].Journal of Ecophysiology and Occupational Health,2015,15(1):31–37.
- [8] Cheng W L,Kuo Y C, Lin P L,et al.Revised air quality index derived from an entropy function[J].Atmospheric Environment,2004,38(3):383–391.
- [9] Sowlat M H,Gharibi H,Yunesian M,et al.A novel,fuzzy-based air quality index(FAQI)for air quality assessment[J].Atmospheric Environment,2011,45(12):2050–2059.
- [10] Mishra D.Analysis of ambient air quality using fuzzy air quality index:a case study of Delhi,India[J].International Journal of Environment&Pollution,2015.
- [11] Lu W Z,He H D,Leung A Y T.Assessing air quality in Hong Kong:A proposed,revised air pollution index(API)[J].Building&Environment,2011,46(12):2562–2569.
- [12] 鲁然英.城市环境空气质量及其评价方法研究[D].兰州大学,2006.
- [13] 耿世彬,杨家宝.室内空气品质及相关研究[J].建筑热能通风空调,2001,21(2):29–33.