

文章编号: 1671-6612 (2022) 06-921-03

室内缺氧程度对数评价方法

周志强 曾长健

(中铁二院工程集团有限责任公司 成都 610031)

【摘要】 在高海拔地区,影响人体舒适度的因素除了声、光、热和空气品质外,空气中的氧气浓度也是影响人体舒适度的重要因素。为了评价供氧室的供氧效果,采用分贝概念评价室内缺氧程度,提出了评价室内缺氧程度的对数指标 I_{dO_2} ,并在青藏铁路沿线站点进行问卷调查,分析了 I_{dO_2} 与高原反应风险关系。

【关键词】 评价指标; 氧气; 分贝; 高原
中图分类号 TU83 文献标识码 A

Logarithmic Evaluation Index of Indoor Hypoxia Degree

Zhou Zhiqiang Zeng Changjian

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd, Chengdu, 610031)

【Abstract】 In high altitude areas, besides sound, light, thermal environment and air quality, oxygen concentration in the air is also an important factor affecting human comfort. In order to evaluate the oxygen supply effect of oxygen enriched chamber, the method of using dB concept to evaluate the indoor hypoxia degree, and the logarithmic index I_{dO_2} was put forward. In addition, a questionnaire survey at stations along the Qinghai-Tibet Railway was conducted to analyze the relationship between I_{dO_2} and the risk of altitude reaction.

【Keywords】 evaluation index; oxygen; db; plateau

0 引言

一般评价室内环境的舒适度包括以下几个方面:温度、噪声、光线、空气品质,而在高原地区,由于空气中氧气含量减少,人体会出现一系列缺氧反应,故室内空气中氧气的含量也是影响人体舒适度的一重要因素。

弥散式供氧是指通过增加空气中氧气的体积浓度实现增加氧气分压的目的,随着经济的发展和技术的进步,弥散式供氧技术逐渐在青藏高原地区普及^[1],而目前评价供氧效果的依据主要是判断空气中氧气的体积浓度或等效换算的血氧饱和度^[2,3]。但相同的氧气体积浓度在不同的海拔下供氧效果是不同的,而使用等效换算的血氧饱和度虽然可以从生理角度对环境缺氧程度作出判断,但不方

便与其他室内化学污染因素进行比较分析。

在室内空气质量评估方法中,有研究^[4]引用噪声评价的方法对室内空气污染物浓度进行评估,并提出了污染物浓度的对数评价指标 I_{CO_2} 、 I_{TVOC} 、 I_{HCHO} 。本文将缺氧程度视作一种空气污染,将引用噪声评价中的分贝概念评价室内污染物浓度的方法进行推广,将其应用至评价室内缺氧程度中,提出了评价室内缺氧程度的对数指标 I_{dO_2} ,应用该指标可以对弥散式供氧的效果进行评价,通过将各污染因素(噪声、 CO_2 、TVOC)统一为134个分贝刻度,可以方便地确定环境中哪一因素对人体舒适度的影响更大,也有利于对高原地区室内环境进行综合评价。

1 化学污染物评价指标

捷克布拉格大学M V Jokl的研究^[5]中首次引用分贝方法来评估室内空气污染程度,并定义了二氧化碳和总挥发性有机物的分贝评价指标。

CO₂评价指标定义式如下:

$$I_{\text{CO}_2} = 90 \log \frac{\rho_{i\text{CO}_2}}{485} \quad (\text{dCd}) \quad (1)$$

式中, I_{CO_2} 为对数评价指标,单位: dCd,评价指标的下限1dCd对应CO₂的可感知阈值485ppm (875mg/m³),即Yaglou建立的心理-生理单位1,5.8%不满意度时的浓度。指标的上限134dCd对应毒性范围的初始值15000ppm,即医学研究中的短期暴露浓度限值。 $\rho_{i\text{CO}_2}$ 为CO₂体积浓度,90是为将下限值与上限值之间分为134个分贝所取的系数 ($a \log \frac{15000}{485} = 135 \rightarrow a = 90$)。

TVOC评价指标定义式如下:

$$I_{\text{TVOC}} = 50 \log \frac{\rho_{i\text{TVOC}}}{50} \quad (\text{dTv}) \quad (2)$$

式中, I_{TVOC} 为TVOC的对数评价指标,单位: dTv,与CO₂评价指标相似,其起始点也是TVOC的可感知阈值,其值为50μg/m³。所取终点也是为毒性范围的起始值,即25000μg/m³,与CO₂指标中的系数90相同,式中的50为将起始点和终止点之间分为134个刻度所取的系数。

2 缺氧程度评价指标

医学研究中常用Sa(O₂),即血氧饱和度作为判断人体是否缺氧及人体缺氧程度的依据,陈宁的研究^[3]中用其作为评估弥散式供氧效果的依据,并提出了血氧饱和度与环境中大气氧分压拟合计算公式。人的正常Sa(O₂)指标范围为93%~98%,低于93%时认为是低氧血症的标准,一般低于90%都属于比较危险的情况。血氧饱和度的降低会导致人体出现不同程度的缺氧症状,当低于85%时可导致脑集中力减退和肌肉精细协调能力下降,人体出现明显的高原反应症状。当下降到75%时可能出现判断上的错误,情绪不稳定和肌肉功能障碍;60%时可能出现意识丧失,中枢神经系统的进行性抑制^[6]。

根据陈宁的研究结果,血氧饱和度与环境中氧气分压的拟合计算式如下:

$$\text{Sa}(\text{O}_2) = -2.12998 \cdot \exp\left(-\frac{P(\text{O}_2)}{5.23795}\right) + 1.00483 \quad (3)$$

式中, $P(\text{O}_2)$ 为环境中氧气分压。

依据该计算公式反推可得,当血氧饱和浓度为93%时,对应环境中氧气分压为17.54kPa,环境中氧气分压低于此值时人体血氧低于正常范围,开始出现低氧血症;当血氧饱和度为60%时,对应环境中氧气分压为8.69kPa,环境中氧气分压低于此值时,机体的代偿性活动不足以保证大脑皮层的最低供给,该值为大脑皮层丧失意识的阈值;环境中标准氧气分压取海平面处氧气分压约为21.2kPa。

如果将室内空气中的缺氧程度视作一种化学污染的污染程度,将对缺氧程度的感知和人体反应类比对化学污染物的感知和反应,根据相似理论认为人体对缺氧这一刺激的反应也成对数关系,按照dCd和dTv的定义方法,笔者将环境缺氧程度的对数评价指标定义为:

$$I_{\text{dO}_2} = 251 \log \frac{21.2 - P_{\text{O}_2}}{3.66} \quad (\text{dOx}) \quad (4)$$

式中, I_{dO_2} 为缺氧程度对数评价指标(单位: dOx), P_{O_2} 为环境中氧气分压,起始值3.66kPa为标准氧气分压与医学上人体开始出现低氧血症时环境中氧气分压之差,以此作为缺氧反应可感知的阈值。终值(毒性范围起始值)为标准氧气分压与血氧饱和度为60%时对应环境中氧气分压之差,即短期暴露限值。系数251是为了使起始值与终值之间分为134个刻度,使之与噪声评价指标分贝、室内污染物评价指标 I_{CO_2} 、 I_{TVOC} 、 I_{HCHO} ^[7]具有完全相同数量级。

3 I_{dO_2} 与高原反应风险分析

课题组于2019年7月对青藏铁路沿线的西宁、格尔木、那曲、拉萨火车站候车厅内人员高原反应发生情况进行了实地调研^[8]。

若以发生呕吐症状作为发生较为严重高原反应的判定依据,则得到主要站点高反发生情况如下表所示,站厅氧气浓度为体积浓度,为问卷调查期间所测平均值。

表1 各个车站发生高原反应频率

Table 1 Frequency of altitude sickness at each station

站点	海拔	站厅氧气浓度 (%)	I_{aO_2} (dOx)	高原反应发生率 (%)	呕吐症状发生率 (%)
西宁	2261	20.36	44.4	3.8	3.8
格尔木	2780	20.54	60.1	6.1	6.1
拉萨	3650	20.51	82.9	14.0	14.0
那曲	4450	20.58	99.0	16.0	16.0

4 结论及展望

本文提出了评价室内环境缺氧程度的对数指标 I_{aO_2} ,将客观的氧气分压参数与人体主观舒适度建立联系,并利用高原反应风险评级研究结果,对室内缺氧程度进行了分级。根据室内的热、声、光环境及空气品质指标,目前已有相对完善的室内环境的综合评价方法^[9],但在高原地区引入氧环境的评价指标后,如何进行高原室内环境的综合评价还需进一步的研究。由于可以在相同尺度上分析判断哪种污染影响更大,使用 I_{aO_2} 指标评价室内氧环境也有利于高原地区室内环境的综合评价。

参考文献:

- [1] 彭双宗.弥散供氧走进高原[J].医用气体工程,2018,3(4):36.
- [2] 颜泽栋,单帅,申广浩,等.车载型膜分离制氧机高原实地应用效果评价[J].医疗卫生装备,2016,37(10):13-15.
- [3] 陈宁.高原旅客列车车内热环境与氧含量数值研究[D].长沙:中南大学,2014.
- [4] M V Jokl. Evaluation of indoor air quality using the decibel concept based on carbon dioxide and TVOC[J]. Building & Environment, 2000,35(8):677-697.
- [5] Jokl M V. New units for indoor air quality: decicarbdiiox and decitvoc[J]. International Journal of Biometeorology, 1998,42(2):93-111.
- [6] 叶朝良,朱永全,梁凯芳,等.高原反应危险性分区及施工供氧应对措施研究[J].铁道工程学报,2019,36(5):47-51,76.
- [7] 刘玉峰.室内空气品质评价与预测方法研究[D].上海:同济大学,2003.
- [8] 曾长健,余南阳.高原火车站候车室热舒适性及供氧需求调查研究[J].暖通空调,2020,34(5):4.
- [9] 叶剑军,李景广,葛曹燕,等.室内环境预测不满意度评价方法研究[J].暖通空调,2010,(10):57-61.

(上接第858页)

- [7] 胡志鹏,刘华凯,郝占栋.一种太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统的应用研究[J].制冷与空调,2020,34(4):477-480,499.
- [8] X Li, X Kan, X Sun, et al. Performance analysis of a biomass gasification-based CCHP system integrated with variable-effect LiBr-H₂O absorption cooling and desiccant dehumidification[J]. Energy, 2019,176:961-79.
- [9] J Zhang, S Cao, L Yu, et al. Comparison of combined cooling, heating and power (CCHP) systems with different cooling modes based on energetic, environmental and economic criteria[J]. Energy Convers. Manage., 2018,160:60-73.
- [10] 徐文晓,周恩泽,曹建邦,等.烟气热水型溴化锂吸收式冷水机组的优化设计[J].制冷与空调,2016,16(10):15-20.