

Control Method and Case Study of Indoor Decoration Pollution

Xu Sun

Shanghai Expo Construction and Development Co., Ltd., Shanghai
Email: 15901839168@126.com

Received: May 25th, 2019; accepted: Jun. 17th, 2019; published: Jun. 24th, 2019

Abstract

This paper studies the method of indoor air pollution simulation calculation to realize the pre-assessment of decoration pollution. This method changes the pollution control of interior decoration from “post-evaluation + post-treatment” to “pre-evaluation + pre-treatment”, reduces the control cost and improves the control effect. The application research is carried out with a decoration project case of a small conference room.

Keywords

Indoor Decoration Pollution, Formaldehyde, TVOC, Indoor Air Quality

室内装修污染控制方法及案例研究

孙 旭

上海世博建设开发有限公司，上海
Email: 15901839168@126.com

收稿日期：2019年5月25日；录用日期：2019年6月17日；发布日期：2019年6月24日

摘 要

本文研究了室内空气污染模拟计算的方法实现装修污染的预评估，将室内装饰装修污染控制从“后评估 + 后治理”改为“预评价 + 预处理”，降低控制成本，提高控制效果，并结合某小型会议室的装修工程案例进行了应用研究。

关键词

室内装修污染，甲醛，TVOC，室内空气质量

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

高水平的生活条件让人类享受到了前所未有的舒适，但同时也引发了严重的室内环境污染，对人类健康构成了相当大的威胁。不容忽视的是，由于现代生活方式和工作方式的改变，不管是生活还是工作，甚至平时的娱乐活动，都转向在室内进行，工薪阶层如此，婴幼儿和老人更甚，大部分的时间都是在室内度过的。不良建筑综合症(SBS)的引发因素有很多种，其中甲醛和 TVOC 也是明确的主要引发因素之一。治理甲醛和 TVOC 等室内污染已经迫在眉睫。

我国虽然在建筑验收和运营阶段建立了相关室内环境标准(如现行国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325 [1]、《室内空气质量标准》GB/T18883 [2]等)，但在设计阶段和施工阶段缺少对空气质量进行控制，即使在材料选择阶段对材料的有害物含量进行控制，由于设计阶段未考虑材料污染叠加累积的作用，同时施工阶段控制不严，违规引入污染源，使得装修污染的问题无法规避，通常采用“后评估 + 后处理”的控制方式，无法在事前规避风险，此时装修污染已成定局。

2. 基于材料释放率的室内空气质量评价方法

目前人造木板、饰面人造木板、木制家具和部品最常用的测定方法为“干燥器”法测定甲醛含量，该方法虽可以测试板材释放到空气中的游离甲醛浓度，但无法反映材料对室内空气质量的影响；“穿孔法”测试板材中所含甲醛总量，但材料中能释放的游离甲醛只占其中小部分。现行标准对涂料、腻子、胶粘剂、油漆等湿材料，通过测定有害物的含量评价材料的环保性能，但由于该类材料对室内空气质量的影响不仅与有害物含量多少有关，也与材料干燥时间、有害物挥发快慢有很大的关系，因此将材料涂布在基底表面上，采用环境舱法进行污染释放率的测定，能更有利于环境质量的控制。

装饰装修材料/部品的污染释放是一个动态变化的过程，通过多个参数(如干材料，包括初始可释放浓度、扩散系数、分离系数)的耦合全面的描述材料的污染释放规律，国际相关材料污染释放测试周期普遍采用 7 天即 168 h。因为经过 168 h，装饰装修材料污染物释放率已基本趋于稳定，能够一定程度上代表材料使用时的释放水平。释放率评价法相比于现行室内装饰装修材料有害物限量标准，要求更为严格，也更为合理。

《住宅建筑室内装修污染控制技术标准》JGJ/T436-2018 [3]首次制定了室内装修污染的预评估方法(如图 1 所示)，对项目过程中装修设计采购阶段(材料进场前)和施工过程中进行污染预评价，根据材料释放量检测结果、装修设计方案和暖通设计方案预测建成后室内空气质量水平，评估方案的合理性，指导方案的调整优化，并制定装饰装修材料部品控制要求及其他质量控制要求，作为采购、施工环节室内空气质量控制的科学化实施依据，将室内装饰装修污染控制从“后评估 + 后治理”改为“预评价 + 预处理”，降低控制成本，提高控制效果。

基于材料释放率的室内空气质量评估计算按下列步骤进行：

- 1) 确定装修材料的采购标准；
- 2) 根据装修方案确认基本的装修情况，包括建筑整个结构情况，装修装饰材料的使用情况，通风系统设计情况等；
- 3) 确定装修工程中室内装修污染源及具体的污染参数；

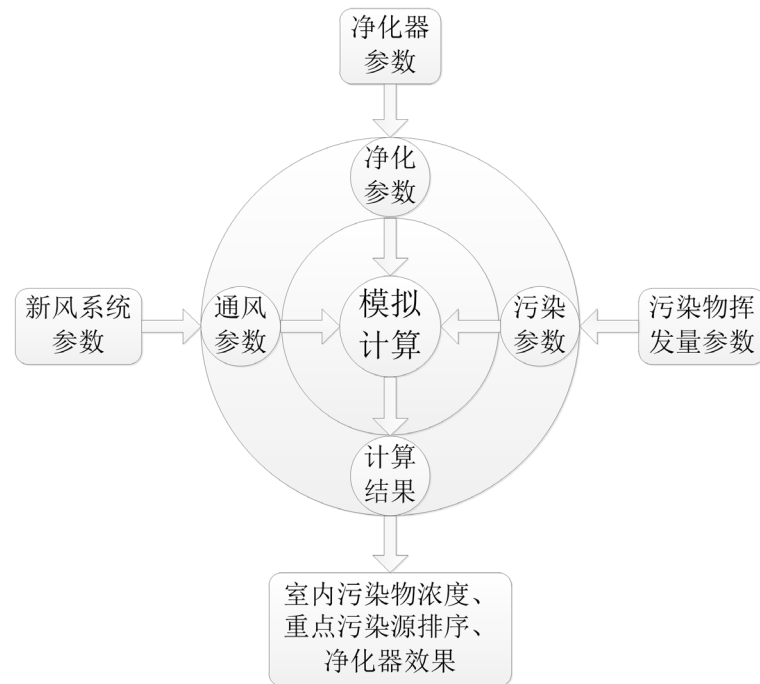


Figure 1. Method of indoor air quality evaluation
图 1. 室内空气质量计算方法图

- 4) 确认装修工程中新风系统及空气净化系统参数;
- 5) 计算装修工程建成后室内污染物的浓度、污染负荷, 解析污染源组成;
- 6) 对应交付时刻的室内污染物浓度高于工程控制目标限值, 应调整优化装修方案, 并应重新进行计算使之不超过限值, 调整后的室内污染物浓度不应高于限值;
- 7) 最终计算确认装饰装修材料的用量及其污染物释放率的控制要求, 确认解决改进方案。

3. 装饰装修污染的全过程控制

装饰装修工程的污染控制重点应在设计采购阶段(材料进场前)和施工阶段, 具体流程如图 2 所示。

1、设计采购阶段:

制定装修材料释放率性能的采购标准, 对建材供应商提出相关要求。

完成后对拟采用的装饰装修材料进行有害物质释放量检测, 通过收集被确认的室内单元内部结构、内装饰装修材料的使用面积及其污染物检测结果、空调风机设备的配置情况与使用参数等信息综合确认设计阶段的室内空气质量情况, 确定设计方案的合理性和科学性。

将材料/物品划分为 I 类、II 类和 III 类。其中, I 类材料/物品为低风险材料/物品, 一般情况下无需特别控制; II 类材料/物品为中风险材料/物品, 需要在招标阶段和施工阶段进行环保控制; III 类材料/物品为高风险, 需要在招标阶段、生产阶段和施工阶段全程进行重点控制。材料/物品分类会根据清单提供情况进行调整。

2、施工阶段:

当确认装修方案通过计算评估后进行工程施工。当分项工程完成施工验收后对被确认的室内单元进行室内空气质量的检测, 并通过室内空气质量模拟计算确定其污染情况及污染源排序, 当室内空气质量不符合要求时, 提出改进方案供施工单位确认并进行整改, 待工程全部竣工完成后再次对室内空气质量进行检测并交付业主使用, 并对甲方在实际使用过程中提出指导意见。

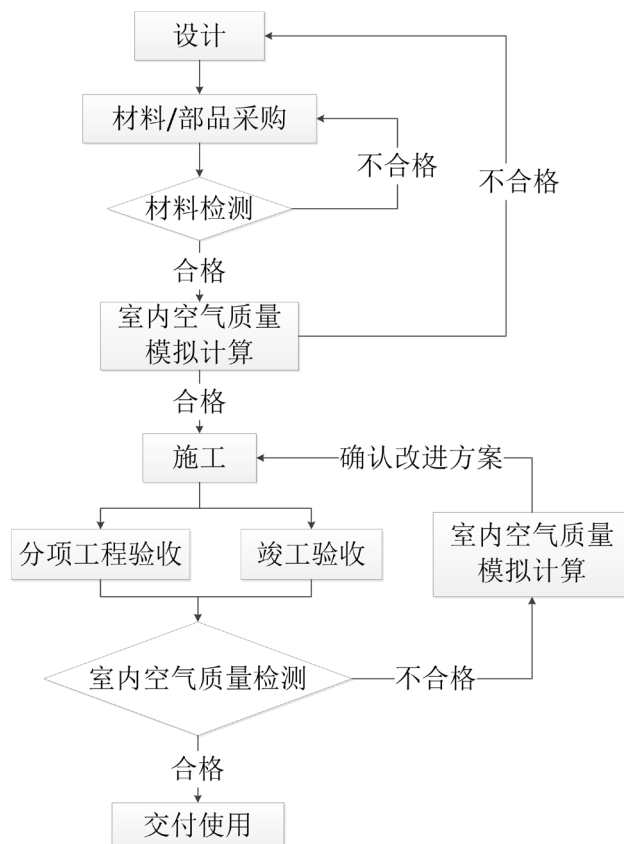


Figure 2. Diagram of pollution control during decoration

图 2. 装饰装修过程污染控制流程图

4. 数值模拟评估法及案例

目前主要有四种预测通风房间内污染物分布的方法：射流理论、区域模型、模型实验以及计算流体力学方法。模型实验属于实验方法，其他三种方法均为数值模拟方法[4] [5]。

射流理论采用基于某些标准或理想条件理论分析或试验得到的射流公式，对空调送风口射流的轴心速度和温度、射流轨迹等进行预测，只能给出室内的一些集总参数性的信息，不能给设计人员所需的详细资料，无法满足设计者详细了解室内空气分布情况的要求。

区域模型是将房间划分为一些有限的宏观区域，认为区域内的相关参数如温度、浓度相等，通过建立各区域的质量和能量守恒方程得到房间的温度分布以及流动情况，实际上模拟得到的还只是一种相对“精确”的集总结果，且在机械通风中的应用还存在较多问题。

模型实验属于实验方法，需要较长的实验周期和昂贵的实验费用，搭建实验模型耗资很大，且对于不同的条件，可能还需要多个实验，耗资更多，周期也长达数月以上，难以在工程设计中广泛采用。而且，为了满足所有模型实验要求的相似准则，其要求的实验条件可能也难以实现。

CFD 模拟是从微观角度，针对某一区域或房间，利用质量、能量及动量守恒等基本方程对流场模型进行求解，分析其空气流动状况。采用 CFD 对自然通风模拟，主要用于自然通风风场布局优化和室内流场分析，以及对中庭这类高大空间的流场模拟，通过 CFD 提供的直观详细的信息，便于设计者对特定的房间或区域进行通风策略调整，使之更有效的实现自然通风。

在通风条件下，任意时刻室内污染物的浓度(y_2)可由下式计算：

$$y_2 = y_1 e^{\left(-\frac{\tau L}{v_f}\right)} + \left(\frac{x}{L} + y_0\right) \left[1 - e^{\left(-\frac{\tau L}{v_f}\right)}\right]$$

式中： y_2 ——任意时刻污染物的浓度；

y_1 ——室内污染物初始浓度；

y_0 ——送风空气中的污染物浓度；

τ ——通风时间；

L ——通风量；

x ——污染物散发速率；

v_f ——房间容积。

则由上式可绘制出室内污染物随时间变化的曲线图。

当通风时间 τ 趋于无穷大时，室内污染物浓度趋于稳定，事实上当 $e^{\left(-\frac{\tau L}{v_f}\right)} \geq 3$ 时， $e^{\left(-3\right)} \ll 1$ ， y_2

的值已趋于稳定，即室内污染物浓度随时间变化到达稳定时间，与通风量和房间容积相关性较大，室内污染物随时间变化曲线上升法或下降法，所得污染物浓度稳定时间的规律是基本一致的。因此，本例采用室内污染物初始浓度为 0，污染物随时间上升到达稳定浓度来分析本项目污染物的动态分布特征不影响模拟所得稳定时间结果的真实性。

以某小会议室进行甲醛和 TVOC 释放量的评估分析，如图 3 所示，会议室面积 84 m^2 ，厅内高度 4 m ，总容积为 337 m^3 。小会议室采用上送风、下回风系统。侧墙采用 153 m^2 玻璃纤维吸音板，吊顶采用 40 m^2 吊顶。根据装修方案进行所选用装饰装修材料的有害物质释放量标准进行对比分析，提出高标准的指标要求进行材料的质量控制，并对各类材料释放的叠加效应进行整体释放量的模拟评估。

模型及网格如图 4 所示， $T = 0 \text{ s}$ 即模拟计算开始时刻，室内甲醛和 TVOC 浓度为原始背景浓度。如图 5 和图 6 所示为会议室中间水平面气态污染物分布情况，由图可知，在通风系统尚未开启时刻，室内气态污染物浓度分布均匀，该水平面气态污染物浓度保持原始背景浓度不变。

模拟原始工况设定 $T = 0 \text{ s}$ 时刻，室内气态污染物浓度为 0，即初始时刻，室内气态污染物浓度为 0。



Figure 3. Picture of a meeting room
图 3. 某会议室内景图

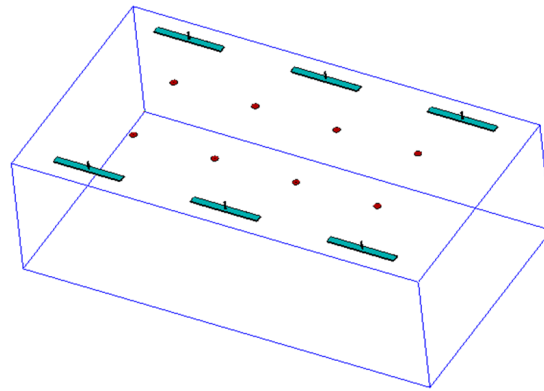


Figure 4. Simulation model and grid diagram of the meeting room
图 4. 小会议室数值计算模型及网格图

Time = 0

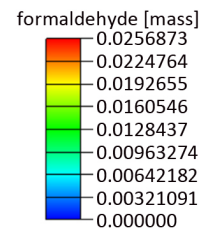
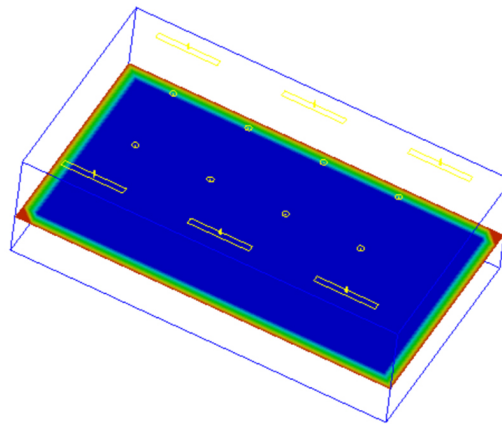


Figure 5. Distribution of formaldehyde in the meeting room (T = 0 s)
图 5. T = 0 s 时刻小会议室甲醛浓度分布

Time = 0

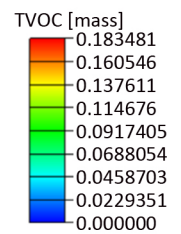
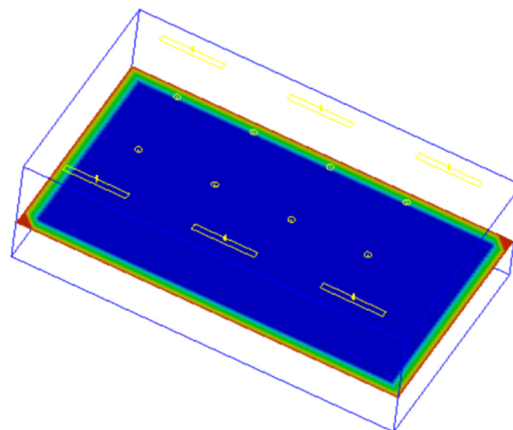


Figure 6. Distribution of TVOC in the meeting room (T = 0 s)
图 6. T = 0 s 时刻小会议室 TVOC 浓度分布

动态模拟计算开始后，室内装修物向室内空气释放甲醛和 TVOC，此时通风系统处于运转当中，这加速了甲醛和 TVOC 在室内空气中的扩散，扩展了甲醛和 TVOC 在室内环境的分布范围。与初始时刻相比，该平面上室内气态污染物浓度明显提高。

图 7~图 10 为小会议室室内装修气态污染物浓度稳定时，人呼吸区平面 1.5 m 高平面及室内代表平面处甲醛分布云图，与起始时室内气态污染物的浓度分布状况相比，室内气态污染物浓度增加，室内各处气态污染物浓度不在随时间发生变化。在 1.5 m 高人呼吸区平面上甲醛浓度分布呈现出墙壁四周向房间中部递减的趋势，这是因为房间中心处于送风核心区域，也是通风射流作用的主要区域，所以房间中心区域的甲醛浓度较低，本项目的通风方式符合人员活动的规律，能够满足保证室内人员主要活动区域气态污染物浓度处于较低水平的需求。对于 TVOC，其在人呼吸区平面浓度分布规律与甲醛基本一致，但由于两种污染物散发量、散发地等散发规律的不同，使得 TVOC 浓度的分布与甲醛略有不同。

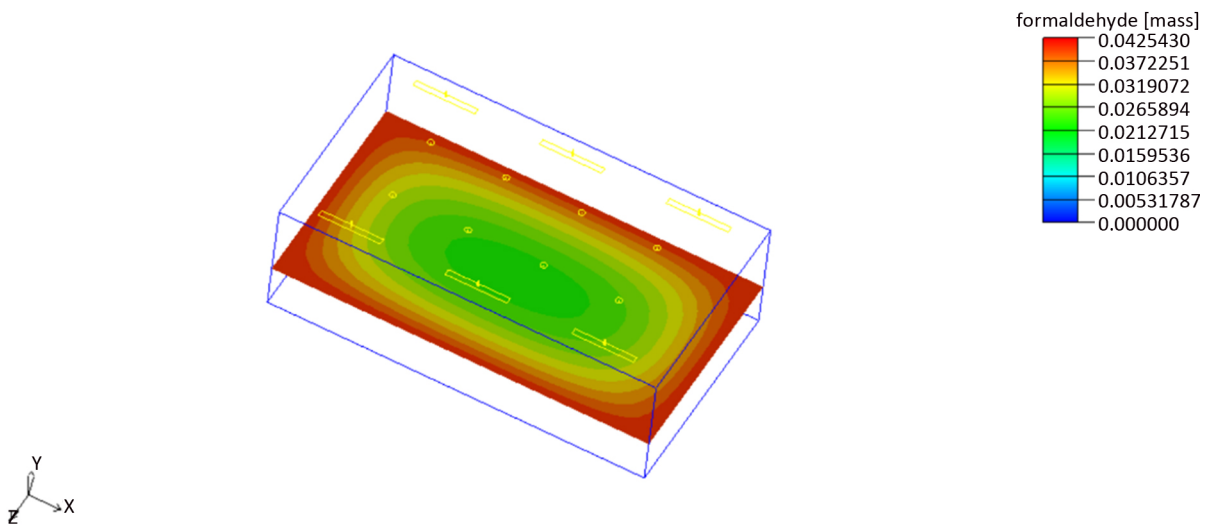


Figure 7. Cloud map of formaldehyde concentration distribution at stable average concentration of planar gaseous pollutants in human respiratory region

图 7. 人呼吸区平面气态污染物平均浓度稳定时刻甲醛浓度分布云图

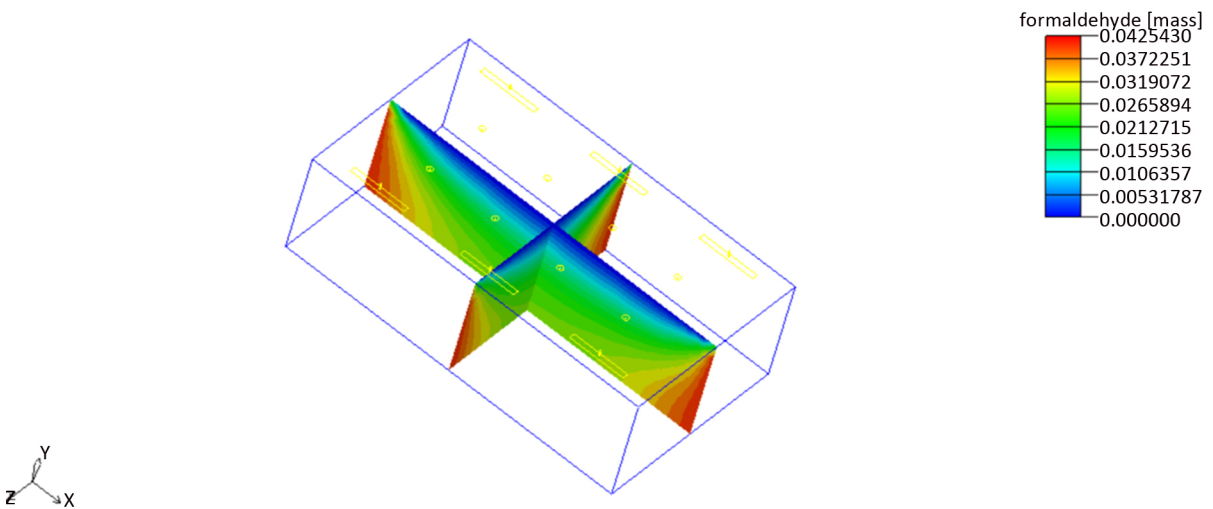


Figure 8. Cloud map of formaldehyde concentration distribution at stable average concentration of gaseous pollutants in small conference room

图 8. 小会议室室内气态污染物平均浓度稳定时刻甲醛浓度分布云图

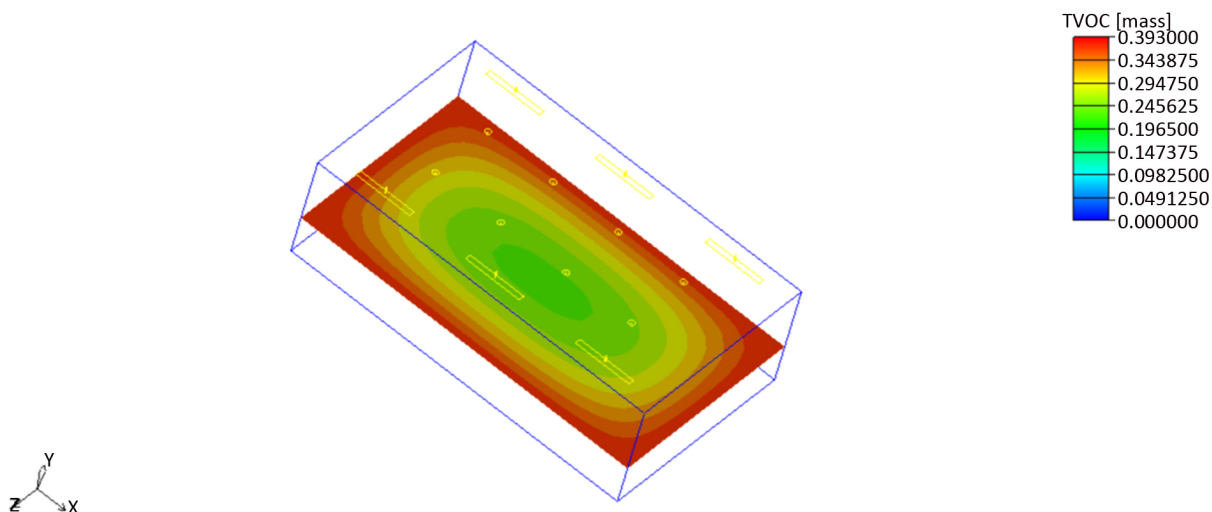


Figure 9. TVOC concentration distribution cloud map at the stable time of average concentration of planar gaseous pollutants in human respiratory region
图 9. 人呼吸区平面气态污染物平均浓度稳定时刻 TVOC 浓度分布云图

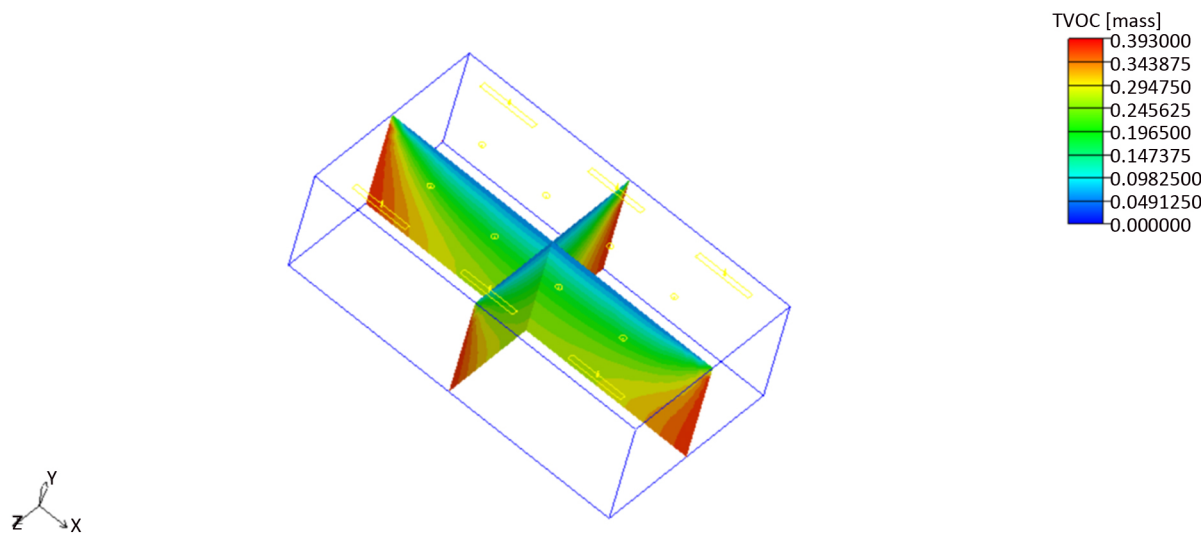


Figure 10. TVOC concentration distribution cloud map at stable time of average concentration of gaseous pollutants in small conference room
图 10. 小会议室室内气态污染物平均浓度稳定时刻 TVOC 浓度分布云图

稳定状态下小会议室室内甲醛平均浓度为 0.031 mg/m^3 ，TVOC 平均浓度为 0.26 mg/m^3 ，满足现行室内空气污染物限值标准。

5. 结论

通过室内空气污染评估的方式将室内装饰装修污染控制从“后评估 + 后治理”改为“预评价 + 预处理”，降低控制成本，提高控制效果。该方法可以达到以下目标：1) 主要污染源确定：根据释放量叠加效果的预评估得出不同装修单元的主要污染源，作为后期控制的重点。2) 选材优化建议：根据主要污染源的分析提出选材优化建议。3) 通风与净化优化建议：根据污染物的预评估结果提出实现污染控制目标的净化技术要求。4) 施工过程控制建议：施工过程控制要求。5) 竣工验收：分别依据《室内空气质量标准》GB50325-2010 和《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB/T18883-2002。采用数值模拟评估法

对某小会议室装修工程案例进行模拟计算,打破了室内装修空气污染的先装修、后检测的一般控制模式,取得了一定的效果,在实际操作中具有很高的可操作性。

参考文献

- [1] 王喜元,刘宏奎,潘红,等. GB 50325-2010 民用建筑工程室内环境污染控制规范[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
- [2] 卫生部、国家环保总局《室内空气质量》联合起草小组. GB/T 18883-2002 室内空气质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T 436-2018 住宅建筑室内装修污染控制技术标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [4] 彭玉丹. 室内空气环境甲醛污染的数值模拟和风险评价[D]:[硕士学位论文]. 天津:天津大学,2010.
- [5] 王璐. 基于建筑材料典型污染物散发率测试的建筑室内污染物预测方法研究[D]:[硕士学位论文]. 上海:上海交通大学,2014.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjce@hanspub.org