

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20150128

# 家具 VOC 检测气候舱温湿度控制系统设计与应用

樊超<sup>1</sup> 司慧<sup>1</sup> 张天鹏<sup>1</sup> 颜小林<sup>1</sup> 王霄<sup>1</sup> 常建民<sup>2</sup>

(1 北京林业大学工学院 2 北京林业大学材料科学与技术学院)

**摘要:**为促进国产气候舱内部条件控制水平的提高,以西门子 S7-200 系列 PLC 为核心,设计了用于家具 VOC 检测气候舱的温湿度控制系统。基于该 PLC 提供的 PID 运算功能,采取 PID 控制法与模糊控制法相结合的分段温度控制策略,利用露点调湿原理将控制舱内相对湿度转化为控制调湿水箱温度,实现舱内温湿度的解耦稳定控制。结果表明:设计系统应用于 1 m<sup>3</sup> 气候舱时,舱内温度和相对湿度的控制精度分别达到  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  和  $\pm 3\%$ ,满足国内外标准要求,具有较好的操控性能,可推广应用到其他规格的气候舱。

**关键词:**家具; 气候舱; 温湿度控制; 分段控制策略

**中图分类号:**TP273    **文献标志码:**A    **文章编号:**1000-1522(2015)08-0112-05

FAN Chao<sup>1</sup>; SI Hui<sup>1</sup>; ZHANG Tian-peng<sup>1</sup>; YAN Xiao-lin<sup>1</sup>; WANG Xiao<sup>1</sup>; CHANG Jian-min<sup>2</sup>. **Design and application of temperature and humidity control system for environmental chamber on the determination of VOC emission from furniture.** *Journal of Beijing Forestry University* (2015)37(8) 112-116 [Ch, 18 ref.]

1 School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, P. R. China;

2 College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, P. R. China.

Based on SIMATIC S7-200 series PLC, a temperature and humidity control system was designed for the determination of VOC emission from furniture in environmental chamber (EC), in order to improve the level of internal condition control in domestic products. The sectional control strategy was employed using the combination of the PID arithmetic provided by PLC, and fuzzy control method. Simultaneously, the transformation of relative humidity (RH) control in EC into one of the temperature controls in the water tank was realized by applying the dew-point humidity control theory. The temperature and RH control in EC were decoupled and stabilized after employing this method. The results showed that the accuracy for temperature and RH was  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  and  $\pm 3\%$  when the system was applied to a 1 m<sup>3</sup> EC, which met the requirements of domestic and foreign standards. This system has high-quality performance which can be applied to other scales of EC.

**Key words** furniture; environmental chamber; temperature and humidity control; sectional control strategy

据统计,城市居民每天 70% ~ 90% 的时间在各种室内环境中度过<sup>[1]</sup>,室内空气质量的好坏直接影响着人们的身体健康,家具、室内装修装饰材料、人

造板及其制品是其主要污染源。国家已出台了相关标准<sup>[2]</sup>,对民用建筑工程室内污染的控制进行了规范,对甲醛、苯、甲苯等 10 种常见挥发性有机化合物

---

收稿日期: 2015-04-20 修回日期: 2015-05-19

基金项目: 横向课题“家具环境检测试验舱的研发”(2012)。

第一作者: 樊超。主要研究方向: 家具检测设备。Email: chaofan@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学工学院。

责任作者: 司慧,教授,博士生导师。主要研究方向: 木质材料及家具检测、生物质能源利用技术、机械设计及理论。Email: sihui@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

(Volatile Organic Compounds, VOC)在室内环境中的浓度进行了限定,对室内装修装饰材料等样品的 VOC 释放量检测方法与浓度标准也有了较明确的规定<sup>[3]</sup>。现今消费者投诉的焦点转移到,在购买了材料符合标准要求的家具后,室内空气质量仍然不达标,因而有必要以家具整体的 VOC 释放量作为其质量的评价标准<sup>[4]</sup>。

目前国际上在家具整体 VOC 释放量检测上较多采用的气候舱法,美国、欧盟等发达国家和地区通过制定相关标准<sup>[5~8]</sup>,规范气候舱技术条件,形成了较为完整的检验体系,对气候舱的温湿度控制精度等性能指标和测试过程进行了较明确的规定。这既能规范性地衡量家具整体的 VOC 释放水平,又不损伤家具,有益于消费者维权。我国在此方面起步较晚,于 2009 年开始编制 GB/T 31107—2014<sup>[9]</sup>《家具中挥发性有机化合物检测用气候舱通用技术条件》,2014 年 9 月公布,自 2015 年 8 月起开始实施。该标准中在对舱内温度和相对湿度的限定上参考了国外的先进标准,采用了较高的精度要求,既对气候舱的技术指标进行了规范,也为其规模化生产和提升国际竞争力提供了契机。

我国一些科研机构探索了基于模糊控制、神经

网络 PID 等算法的温湿度控制系统<sup>[10~12]</sup>,但需设计专用的电路板,软件程序的编写也较为复杂,开发难度较大。目前市场上的气候舱普遍采用以 PLC 为控制器的控制系统,温湿度控制需通过 PID 表等独立、通用的控制仪表来实现,控制精度较依赖于仪表,且参数整定所需时间较长。本文针对这一问题,采取 PID 控制与模糊控制法相结合的分段控制法<sup>[13,14]</sup>,结合西门子 S7-200 系列 PLC 自带的 PID 控制程序块,利用露点调湿法控制舱内相对湿度,设计了一套气候舱温湿度控制系统,将其应用于 1 m<sup>3</sup> 气候舱实现了较高精度的温湿度控制。

## 1 气候舱法与温湿度控制要求

气候舱法是将一定面积的测试样品,放置于一定温度、相对湿度、试样表面空气流速和交换率等条件下的气候舱内,被测试样品挥发的有机化合物气体与舱内空气充分混合,然后进行舱内混合空气周期采样,直至 VOC 浓度达到稳定状态。已有研究表明<sup>[15~16]</sup>,舱内温度和相对湿度均对 VOC 的挥发速度及检测结果有影响;因此,国内外相关标准都对此进行了较高精度的要求,如表 1 所示。本文按最高精度要求(温度  $\pm 0.5$  ℃, 相对湿度  $\pm 3\%$ )进行系统设计。

表 1 温湿度控制系统的主要性能指标

Tab. 1 Main performance indexes of temperature and humidity control system

标准 Standards	温度 Temperature/℃	相对湿度 RH/%	空气流速 Air velocity/(m·s <sup>-1</sup> )	换气率/(次·h <sup>-1</sup> ) Air exchange rate/(AC·h <sup>-1</sup> )	规格 Scale/m <sup>3</sup>
ISO 16000-9—2006 <sup>[5]</sup>	23 ± 2	50 ± 5	0.1 ~ 0.3		
ENV 717-1—2004 <sup>[6]</sup>	23 ± 0.5	45 ± 3	0.1 ~ 0.3	1.0 ± 0.05	≥12; 1; 0.225
ASTM E 1333—1996 <sup>[8]</sup>	25 ± 1	50 ± 4		0.5 ± 0.05	≥22
ASTM D6007—2002 <sup>[7]</sup>	25 ± 1	50 ± 4			0.02 ~ 1
GB 18580—2001 <sup>[3]</sup>	23 ± 0.5	45 ± 3	0.1 ~ 0.3	1.0 ± 0.05	1
GB/T 31107—2014 <sup>[9]</sup>		(10 ~ 30) ± 1	(30 ~ 80) ± 3	0.1 ~ 0.3	(0.2 ~ 2) ± 0.03
		(10 ~ 30) ± 2	(40 ~ 70) ± 5	0.1 ~ 0.3	(0.2 ~ 2) ± 0.03
					>6

此外,用于家具 VOC 检测的气候舱还应保证舱内无凝露,舱内结构应尽可能光滑,以防止 VOC 气体吸附,影响检测结果。因而舱内应尽量避免使用加热器等结构复杂元件,不能使用蒸发器进行直接制冷与除湿;为防止液化起雾,也不能使用直接喷雾的方式调湿。

为满足以上条件,目前的气候舱多采用夹套式结构,通过调整夹层温度来控制舱内温度,通过调节进入舱内空气的含湿量来控制舱内相对湿度。舱内空载气体流速可通过调速器对循环风扇的转速进行调节,气体交换律可通过调节进气流量来调节,这 2

项参数常作为定值处理,设定后仅控制循环风扇与进气泵的通断即可。

## 2 温湿度控制系统设计

### 2.1 系统结构与控制方案设计

气候舱的温湿度控制系统主要包括控制元件、调湿水箱、气候舱体 3 大部分,如图 1 所示。

夹层中,空气在循环风扇的作用下,循环通过加热器和蒸发器,达到设定温度。夹层与内舱间用内壁光滑的不锈钢板分隔,导热较好,在温度控制上可视为同一环境。而将蒸发器置于内舱外,可避免舱

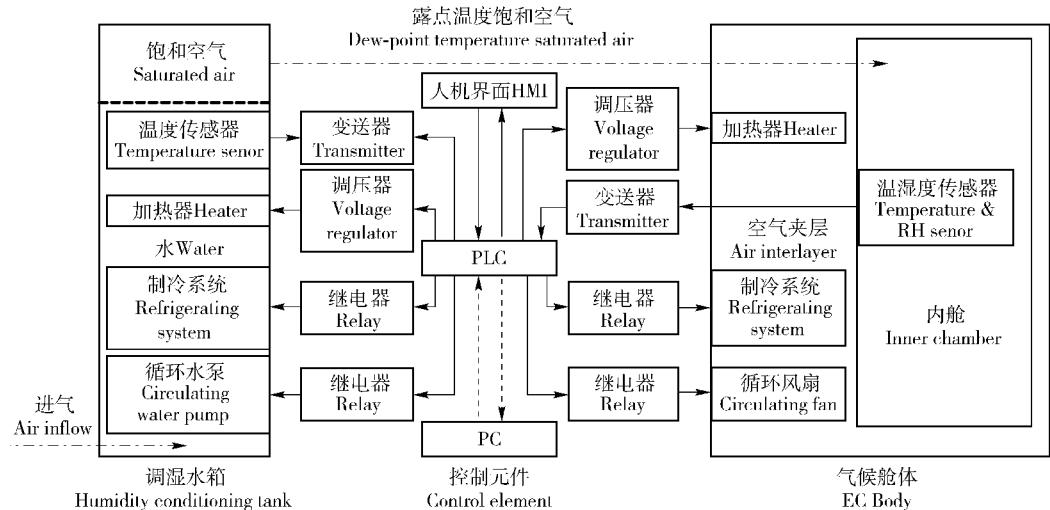


图 1 温湿度控制系统结构

Fig. 1 Structure of temperature and humidity control system

内产生凝露。

在加热器和蒸发器的控制上,为使舱内温度控制具有较快的响应速度、较小的超调量和较短的稳定时间,本系统借鉴了模糊控制的方法,根据实际温度和设定温度偏差值进行分段,每段采用不同方法进行控制,如图 2 所示。当舱内温度低于设定温度  $t_n$  时,将测得温度与温度分段点  $t_a$ 、 $t_b$ 、 $t_c$ 、 $t_f$  进行比较,分别对加热器施以较大的功率  $P_1$ 、较小的功率  $P_2$ ,以及限定最大功率为  $P_3$  和  $P_4$  的 PID 运算控制信号;当舱内温度高于设定值的  $t_n$  时,停止加热;当舱内温度高于  $t_f$  时启动制冷系统,直至温度降到  $t_f$  并延迟 5 min 停止制冷,以留出温度回升空间,给压缩机足够的休息时间,保证制冷效果并延长压缩机的使用寿命。该分段控制策略亦用于调湿水箱温度的调节。

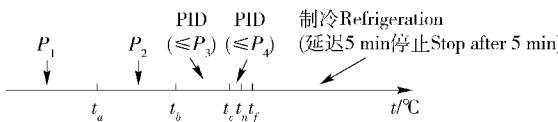


图 2 温度分段控制策略

Fig. 2 Sectional temperature control strategy

在相对湿度控制上,为解决湿度控制与温度控制的耦合问题<sup>[12]</sup>,本文采用了基于露点调湿法的湿度调节系统<sup>[17~18]</sup>。即通过控制调湿水箱出口的水饱和气体温度在一定露点温度  $t_l$  进入舱内与舱内气体充分混合,使舱内气体的含湿量  $d_n$  逐渐趋于设定温度  $t_n$  和相对湿度  $\varphi_n$  条件下的含湿量。由于较低焓值  $h_A$  气体的通入,排出了舱内较高焓值  $h_B$  的气体,会使舱内气体的温度有所降低,可通过夹层中加热器的小功率加热进行弥补。舱内气体向设定值升温时,含湿量  $d_n$  不变,相对湿度便逐渐趋于设定

值,在焓湿图上表示如图 3 中 A—B 过程。因舱内的温度与含湿量采取分别控制的方式,合而控制相对湿度,故温湿度控制得以解耦,由此简化了控制流程,提高了控制的稳定性。

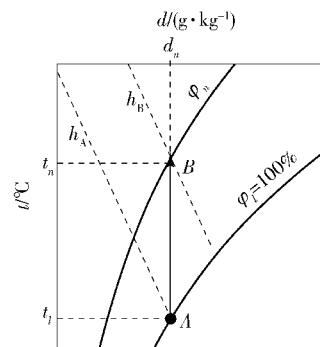


图 3 湿度调节原理图

Fig. 3 Schematic of humidity control

## 2.2 硬件配置

气候舱的温湿度控制系统选用了西门子公司小型 PLC S7-200 系列中的 CPU224XP CN 型,除必要的数字量 I/O 点外,PLC 集成了 2 输入/1 输出的模拟量 I/O 点,配带有 4 输入/1 输出的 EM235 模拟量输入输出扩展模块,可满足对舱内温湿度信号、水箱温度信号的采集,以及对 2 个加热器输出控制信号的要求;带有 2 个 RS485 接口,可与触摸屏和 PC 同时通讯。此外,CPU224XP CN 集成了 8 路 PID 控制回路,可在程序中以控制块的形式被调用;并可在 PC 上利用 STEP 7-MicroWIN 软件进行参数整定,不仅省去了 PID 控制仪表,还实现了与控制程序的契合。在数据记录方面,可在 CPU224XP CN 上加装 256 K 的存储卡,按照 1 min 的采集周期,约可记录 8 d 的温湿度数据,为气候舱调试及维护过程中的数

据记录提供支持。

在温湿度采集上,舱内采用以 SHT75 为传感器防护型分体式温湿度检测仪,温度测量范围为 0 ~ 50 °C,测量精度  $\pm 0.3$  °C;相对湿度测量范围为 0 ~ 100%,测量精度为  $\pm 1.8\%$ 。采用两线制接线方式,输出 4 ~ 20 mA DC 信号;调湿水箱内使用 PT100 作为温度传感器,配以相应变送器,测量范围 0 ~ 100 °C,测量精度  $\pm 0.2$  °C,同样采用两线制接线输出 4 ~ 20 mA DC 信号。

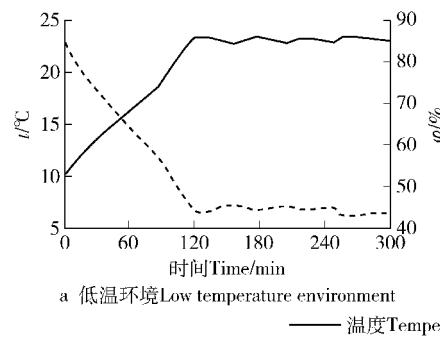
为灵活控制舱内及调湿水箱中加热器的功率,采用数字型可控硅移相交流调压器(以下简称“调压器”),以 PLC 输出的 4 ~ 20 mA DC 信号作为控制信号,调节与其相连的加热器两端的电压,从而控制加热器功率。对于内舱、调湿水箱中 2 套制冷系统,则采用继电器控制其工作与否,通过调节制冷时间来影响降温幅度。

控制系统采用西门子 Smart700IE 触摸屏作为人机交互界面,通过 MPI 数据线与 CPU224XP CN 连接,用以设置舱内温度、水箱露点温度等参数,并显示舱内温、湿度及其监测曲线等信息。

### 2.3 程序设计

气候舱的 PLC 程序采用模块化设计方式,包括主程序、自动控制子程序、温湿度模数转换子程序、加热功率数模转换子程序、系统时间与运行定时子程序、数据记录子程序等。利用 STEP 7-MicroWIN 软件中的 PID 指令向导建立了 2 个 PID 控制块,分别用于舱体夹层内加热器控制和调湿水箱加热器控制,在主程序中实时调用,各用 1 个 M 位存储器作为 PID 模块的自动状态使能位,如图 4 所示。在 PID 参数整定过程中,可利用软件中的 PID 调节控制面板进行参数自动整定,也可根据技术人员经验进行人工整定。

自动控制子程序中,首先启动进气泵、循环水泵、循环风扇,然后将实时检测的舱内温度和调湿水箱温度与分段点温度比对,判断所在区间,根据分段策略,对相应调压器或继电器输出控制信号。以舱



a 低温环境 Low temperature environment

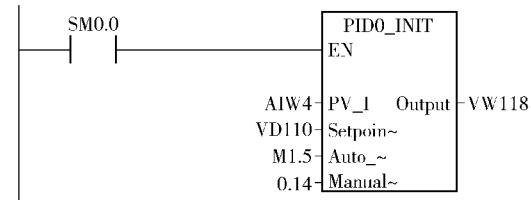


图 4 调用 PID 控制块

Fig. 4 Calling PID control block

内温度控制为例,当环境温度较低时,舱内温度通常处于设定温度以下,若温度处于 PID 应用的区间外,则舱内加热控制的 M 位存储器置“0”,根据温度所在区间对应的功率输出调压信号;若温度达到 PID 应用的区间,对应的 M 位存储器置“1”,判断 PID 输出量大小,若低于功率限值则按照 PID 运算值输出调节信号,否则按照限值输出定值信号。

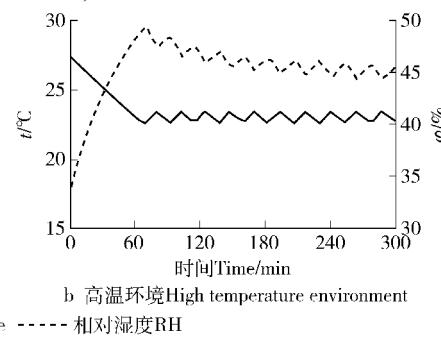
系统时间与运行定时子程序为实时调用的子程序,用于系统时间的显示与数据的记录;同时还提供了定时关机功能,用户可通过人机界面设置气候舱的运行时间。

数据记录子程序用于舱内温度和相对湿度的记录,调用后可对舱内的温度和相对湿度进行周期采样。将 PC 通过 USB-PPI 数据线与 PLC 连接,便可在 PC 上利用 S7-200 Explorer 软件下载温湿度记录数据。

### 3 结果与分析

将设计的温湿度控制系统应用于本课题组和相关企业合作研制的一台规格为 1 m<sup>3</sup> 的气候舱,分别在环境温度为 10 ~ 12、25 ~ 28 °C 时进行试验,检验系统在较低和较高环境温度下对舱内温湿度的控制效果。舱内温度设置为 23 °C,调湿水箱露点温度为 10.47 °C(对应相对湿度 45%),换气率为 1 次/h,以 1 min 为周期采样 300 min,试验结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出:舱内温湿度在低温和高温环境下分别经过 110 和 100 min 达到设定状态并趋于稳定;舱内温度稳定误差在 -0.2 ~ 0.38 °C 和



b 高温环境 High temperature environment

图 5 温湿度监测曲线

Fig. 5 Temperature and humidity monitoring curves

-0.31~0.39℃,均在±0.4℃以内;相对湿度稳定误差在-1.75%~0.83%和-0.53%~2.79%,均在±3%以内;工作过程中舱内无凝露出现,均达到了国内外相关标准的要求。

## 4 结论与讨论

将温度分段控制策略与露点调湿法结合用于气候舱的温湿度控制系统,解决了温度控制在较快响应下的超调问题,以及温湿度控制的耦合问题。采用西门子S7-200系列PLC自带的PID控制回路,将PID表的功能融入PLC程序,方便技术人员对程序和参数进行集中调试。在1m<sup>3</sup>气候舱上应用结果表明,本文设计的温湿度控制系统对气候舱内的温湿度有较好的控制效果,达到了国内外标准的要求,可在其他规格的气候舱上推广使用。

## 参 考 文 献

- [1] 潘小川. 室内生物性污染与人体健康[N]. 人民日报, 2003-05-09.  
PAN X C. Indoor biological pollution and human health [ N ]. People's Daily ,2003-05-09.
- [2] 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,2013.  
GB50325—2010 Code for indoor environmental pollution control of civil building engineering [ S ]. Beijing: China Planning Press , 2013.
- [3] GB 18580—2001 室内装饰装修材料:人造板及其制品中甲醛释放限量[S]. 北京:中国标准出版社,2002.  
GB18580—2001 Indoor decorating and refurbishing materials: Limit of formaldehyde emission of wood-based panels and finishing products[ S ]. Beijing: Standards Press of China,2002.
- [4] 徐微. 木家具中挥发性有机化合物检测技术[J]. 上海计量测试, 2013(2):9-12.  
XU W. The study of determination technology of volatile organic compounds from wood furniture [ J ]. Shanghai Measurement and Testing, 2013(2):9-12.
- [5] ISO 16000-9—2006 Indoor air: Part 9: determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing: Emission test chamber method [ S ]. Brussels: European Committee for Standardization, 2006.
- [6] EN 717-1—2004 Wood-based panels: determination of formaldehyde release: Part 1: formaldehyde emission by the chamber method [ S ]. Brussels: European Committee for Standardization, 2004.
- [7] ASTM D 6007—2002 Standard test method for determining formaldehyde concentrations in air from wood products using a small-scale chamber[S]. West Conshohocken: American Society of Testing Materials, 2008.
- [8] ASTM E 1333—1996 Test method for determining formaldehyde concentrations in air and emission rates from wood products using a large chamber [ S ]. West Conshohocken: American Society of Testing Materials, 2002.
- [9] GB/T 31107—2014 家具中挥发性有机化合物检测用气候舱通用技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,2014.  
GB/T31107—2014. Environmental chamber for the determination of volatile organic compounds of furniture: general technical requirements[ S ]. Beijing:Standards Press of China,2014.
- [10] 刘鑫钰,侯晓鹏,苗虎,等. 甲醛检测气候室控制系统的研制[J]. 林业科学, 2013, 49(1):185-188.  
LIU X Y, HOU X P, MIAO H, et al. Development of control system for formaldehyde testing chamber [ J ]. Scientia Silvae Sinicae , 2013, 49(1):185-188.
- [11] 王晓雷,吴必瑞. 基于MSP430的人工气候箱神经网络PID控制系统[J]. 农机化研究, 2008(10):79-81,111.  
WANG X L, WU B R. The neural network PID control system of artificial climate chest based on MSP430 [ J ]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(10):79-81,111.
- [12] 彭勇刚,韦巍. 基于神经网络补偿的人工气候箱温湿度模糊控制[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(7):1373-1377.  
PENG Y G, WEI W. Artificial climate chest temperature and humidity fuzzy control based on neural network compensation[ J ]. Chinese Journal of Scientific Instrument , 2009 , 30 ( 7 ): 1373-1377.
- [13] 王风云,赵一民,张晓艳,等. 基于分段控制策略的温室智能测控系统设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5):178-181.  
WANG F Y, ZHAO Y M, ZHANG X Y, et al. Intelligent measure-control system design based on sectional-control strategy in greenhouse [ J ]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery ,2009,40(5):178-181.
- [14] 谭思云,范志顺. 分段控制在温度控制中的应用[J]. 自动化与仪表, 2004, 19(4):54-56.  
TAN S Y, FAN Z S. The application of the detached controller in the control of the temperature[ J ]. Automation & Instrumentation , 2004, 19 ( 4 ) : 54-56.
- [15] WIGLUSZ R, SITKO E, NIKEL G, et al. The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic compounds ( VOCs ) from laminate flooring—case study [ J ]. Building and Environment ,2002,37(1):41-44.
- [16] LIU Z J, LI A G, WANG Z C, et al. Computational fluid dynamics simulation of formaldehyde emission characteristics and its experimental validation in environment chamber [ J ]. Journal of Chongqing University ,2010,9(3):124-132.
- [17] 王有刚,司慧,张天鹏,等. 一种用于环境舱检测的空气处理系统:中国,201320430897.2[P]. 2014-04-23.  
WANG Y G, SI H, ZHANG T P, et al. An air-handling system for the test based on environmental chamber: China,201320430897. 2 [ P ]. 2014-04-23.
- [18] 赵荣义,范存养,薛殿华,等. 空气调节[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.  
ZHAO R Y, FAN C Y, XUE D H, et al. Air conditioning [ M ]. Beijing:China Building Industry Press,2009.

(责任编辑 李文军  
责任编委 赵广杰)