

The Impact of Rural Cooking Range on Air Quality

Zhe Wang, Yang Lv*, Qifeng Li, Zhou Su

School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian
Email: 975427034@qq.com, lvyang@dlut.edu.cn

Received: Mar. 26th, 2014; revised: Apr. 24th, 2014; accepted: May 5th, 2014

Copyright © 2014 by authors 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

Abstract

This research targets a rural family in Yingkou City, Liaoning Province, utilizing MCH-383SD carbon dioxide concentration/temperature, humidity monitor to constantly monitor its Indoor Air Quality (IAQ) in summer, evaluates the influence of using stove on human comfort using evaluation of sub-indices of CO₂, and studies the impact of rural cooking range on air quality and discusses the approaches to improve the air quality. The result indicates that the utility of rural cooking range decreases indoor air quality and the impact on it varies from house to house; meanwhile, a good linear dependence between the concentration of the trace gas—carbon dioxide and the ventilation rate appears by a linear fitting between them. The final goal is to render measures to improve IAQ based on the research.

Keywords

Rural Cooking Range, Carbon Dioxide, Indoor Air Condition, Ventilation Rate, Evaluation of Sub-Indices of CO₂

农村炉灶对室内空气品质的影响研究

王 哲, 吕 阳*, 李奇峰, 苏 州

大连理工大学土木工程学院, 大连
Email: 975427034@qq.com, lvyang@dlut.edu.cn

收稿日期: 2014年3月26日; 修回日期: 2014年4月24日; 录用日期: 2014年5月5日

*通讯作者。

摘要

本研究以辽宁省营口市一户农村家庭为研究对象,利用MCH-383SD CO_2 浓度/温、湿度记忆仪对其夏季室内外空气品质进行连续监测,以二氧化碳评价分指数 PMV_{CO_2} 对炉灶使用前后对人舒适感的影响进行评价,研究农村炉灶对室内空气品质的影响并探讨其改善方法。研究结果表明:农村炉灶的使用降低了室内空气品质,且不同房间受到的影响各异;通过对示踪气体 CO_2 浓度与换气次数的线性拟合,得出其具有良好的线性相关性,基于本研究提出改善农村住宅室内空气品质的措施。

关键词

农村炉灶, 二氧化碳, 室内空气品质, 换气次数, 评价指数

1. 引言

随着社会的发展,人们对环境质量要求越来越高,相应的生活习惯也在不断发生着改变。我国是农业大国,农村人口占全国总人口的 60%以上,农村室内空气品质不容忽视。国内外大量研究表明,室内空气污染程度往往比室外高,而人一生中有 2/3 的时间要在室内度过,室内环境对人体健康显得更为重要。这种情况在农村地区表现尤为突出,我国多数村民仍然使用传统炉灶,生活用能仍以秸秆、薪柴、煤炭为主,燃料燃烧产物主要成分为 CO_x 、 NO_x 、 SO_x 与烟尘,均会对环境造成污染。室内固体燃料燃烧与诸多疾病的发生有直接关系[1]。农村住宅有自身显著的特点,如农村厨房排烟措施以烟囱为主,驱动力为风压与热压,排烟效果不好;卫生间设在庭院,无专门的排风措施等。国外学者对室内空气品质进行了大量的现场测试和调查,Jan F W[2]、Sung-ok Beak[3]、Jyoti Parikh[4]、S.B. Molloy[5]等人分别研究了通风情况、室外环境、厨房位置、燃料种类以及建筑年限对厨房室内空气品质的影响。我国农村室内空气污染的研究主要集中在燃料燃烧造成的室内污染,并在炉灶结构、燃料种类[6]以及是否为采暖季[7]等方面提出相关建议与意见。综上,国内外学者对农村室内空气品质的研究还集中在厨房等污染源较多的地方,然而对于人员经常活动的卧室研究较少,而且几乎没有涉及到农村住宅的建筑结构和建筑形式对室内空气品质的影响。事实上,对于使用炉灶时,燃料的类型、室外大气质量、住房结构和通风状态等都会影响室内空气品质。

本研究以辽宁省营口市的一户农村家庭为研究对象,对其夏季室内外空气品质进行现场测量和分析研究,以 CO_2 为示踪气体,旨在探讨农村炉灶对厨房、卧室等不同房间以及不同通风状态的室内空气品质的影响并探索改善 IAQ 的可行方法。

2. 仪器与方法

2.1. 测量对象

测量对象为辽宁省营口市的一户农村家庭,该建筑平面图见图 1。

2.2. 测量仪器与方法

本研究检测室内外温度、相对湿度、 CO_2 浓度,使用仪器见图 2。该仪器为 MCH-383SD CO_2 浓度、温度和相对湿度自动记忆仪,单位分别为 ppm、 $^{\circ}\text{C}$ 、%,每两分钟记录一次,能够自动存档。

本研究利用 MCH-383SD 仪器对各测点在做饭期间以及其后一段时间的温度、相对湿度和 CO_2 浓度

进行连续检测,根据检测结果分析室内 CO_2 浓度的变化规律。本研究检测项目参照《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2002)中的浓度值进行比较,如表 1 所示。

2.3. 室内空气品质评价指标与计算方法

1) 二氧化碳评价分指数 PMV_{CO_2}

韦伯和费希纳用心理物理实验证明并推导出:对于中等强度刺激,人体产生的反应量 R 的大小与客

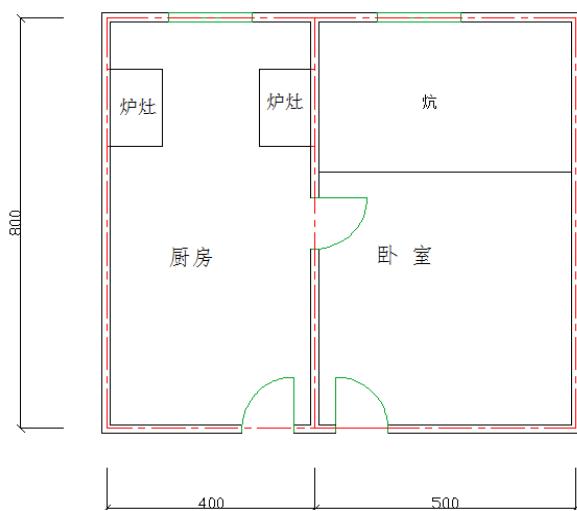


Figure 1. Planefigure of the tested house

图 1. 被测农村住宅平面图



Figure 2. MCH-383SD CO₂/Humidity/Temp Monitor

图 2. MCH-383SD CO₂ 浓度/温、湿度记忆仪

Table 1. Indoor air quality of testing items
表 1. 检测对象的室内空气标准值

参数	单位	标准值	备注
温度	℃	22~28	夏季空调
		16~24	冬季采暖
相对湿度	%	40~80	夏季空调
		30~60	冬季采暖
二氧化碳	ppm	1000	日均值

观刺激量 S 的对数成正比, 也就是存在如下韦伯 - 费希纳定律:

$$R = k \log S \quad (1)$$

式中: S —客观刺激量; R —人体产生的反应量; k —常数系数。

因此可以基于韦伯/费希纳定律, 对污染物浓度值进行对数化处理, 得到能表达人群对空气环境感觉, 与丹麦 P.O. Fanger 教授提出了表征人体热反应(冷热感)的评价指标 PMV 类似的室内空气品质评价分指数模型。依韦伯 - 费希纳定律, 假设二氧化碳浓度为 C ppm, 定义二氧化碳评价分指数模型 PMV_{CO_2} 如下:

$$PMV_{CO_2} = 6.364 \log \frac{C}{485} \quad (2)$$

表 2 给出了中低浓度下, CO_2 浓度对人舒适感的影响, 为分析 PMV_{CO_2} 与人舒适感的关系, 表中同时列出了浓度值对应的 PMV_{CO_2} 值。

2) 换气次数

假设在容积为 V 的房间内空气均匀混合, 设污染物散发量速率为 m , 在通风前室内污染物浓度为 C_1 , 经过时间 τ 之后, 室内污染物浓度变为 C_2 , 室外新风中污染物浓度为 C_s , 新风风量是 Q , 则根据质量守恒可得室内污染物浓度 C 的变化:

$$V \frac{dC}{d\tau} = QC_s + m - QC \quad (3)$$

初始条件为: $\tau = 0, C = C_1$; 解上述方程为:

$$C_2 = C_1 \exp\left(-\frac{Q}{V}\tau\right) + \left(\frac{m}{Q} + C_s\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{Q}{V}\tau\right)\right] \quad (4)$$

对上式变形可以得到:

$$\frac{QC_1 - m - QC_s}{QC_2 - m - QC_s} = \exp\left(\frac{Q}{V}\tau\right) \quad (5)$$

当 $Q\tau/V \ll 1$ 时, 上式可近似为:

$$\frac{QC_1 - m - QC_s}{QC_2 - m - QC_s} = 1 + \frac{Q}{V}\tau \quad (6)$$

可得新风量:

Table 2. Effects of CO_2 concentration on human comfort
表 2. CO_2 浓度对人舒适感的影响

CO_2 浓度(ppm)	PMV_{CO_2}	舒适感影响
485	0	无不适感
700	1	少数气味敏感者有感觉
1000	2	有较多人感到不舒服
1500	3	会引起呼吸困难和呼吸频率加快
2000	4	室内空气相当不良
3000	5	人体呼吸程度加深

$$Q = \frac{m}{C_2 - C_s} - \frac{V}{\tau} \frac{C_2 - C_1}{C_2 - C_s} \quad (7)$$

由(4)式可知, 室内污染物浓度按照指数规律增加或者减少, 其增减率取决于 Q/V , 该值的大小反映了房间通风变化规律, 我们将其定义为换气次数:

$$n = \frac{Q}{V} \quad (8)$$

本研究中示踪气体 CO_2 起始浓度点选择为室内炉具停止使用时的 CO_2 浓度值, 室内无人员活动且忽略室内其他设备对 CO_2 的释放和吸收时, 对于式(7), $m = 0$, 则结合式(8)得换气次数:

$$n = -\frac{1}{\tau} \frac{C_2 - C_1}{C_2 - C_s} \quad (9)$$

式中: C_1 ——房间污染物初始浓度, ppm; C_2 ——房间污染物终始浓度, ppm; C_s ——室外污染物浓度, ppm; τ ——经过时间, h。

2.4. 测量概要

按照科学性、代表性、针对性原则, 笔者于 2013 年 8 月 8 日~2013 年 8 月 10 日对该住宅进行连续三天的测量, 由于该农户每天晚上做饭时间大概为 17:00, 所以将测量时间定为 16:00~0:00; 根据调查, 该农户做饭时长为 40~50 分钟。测点分布在厨房、卧室和室外三处。

为了便于对比分析两种通风条件(开门开窗和)的影响, 笔者选取天气状况相同的两天, 同时控制两户的做饭时间均为 40 分钟左右, 且燃料种类均为玉米秸秆, 并使燃料质量相同, 仅仅改变的两次测量的通风条件。一次为开门关窗, 而另一次为开门开窗, 同时分别将两台仪器放置在厨房的相同位置。

3. 结果及分析

3.1. 卧室内二氧化碳含量变化规律

图 3 为 2013 年 8 月 8 日卧室内 CO_2 浓度、温度变化情况, 由图可知, 随着时间的推移, 卧室内的 CO_2 浓度从做饭的时候开始升高, 一直到 21:00 左右达到较高水平, 而且维持较高浓度一段时间, 直到 23:00 左右开始有下降的趋势; 整个测量时间段内, 卧室内 CO_2 浓度一直在 400~700 ppm, 处于标准值(1000

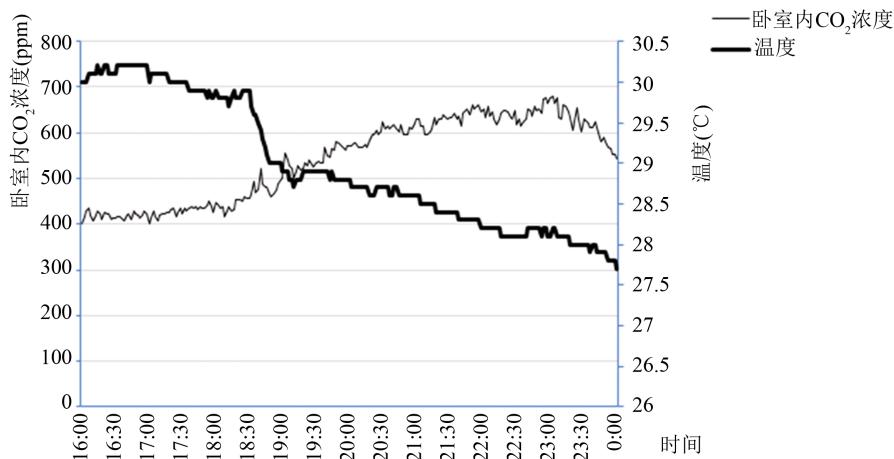


Figure 3. Changes in the concentration and temperature of CO_2 dated August 8th
图 3. 8 月 8 日卧室 CO_2 浓度、温度变化情况

ppm)之下，则 PMV_{CO_2} 处于 0~1 之间，对人体几乎没有影响；对于温度变化，整体呈下降趋势，其中在 18:00 左右急剧下降。

究其原因，做饭的时候由于玉米秸秆的燃烧，释放的 CO_2 含量很高，有关研究表明，每 1 kg 玉米秸秆完全燃烧能产生 1.25 kg CO_2 [8]。因此，玉米秸秆燃烧对卧室的 CO_2 有很大的影响，卧室内 CO_2 浓度呈现上升趋势，达到做饭前的 1.5 倍；21:00 之后能维持一段时间的高浓度状态，可能是由于晚间睡觉时门窗关闭使室内自然通风减弱，同时晚间卧室内人睡眠也会释放 CO_2 。通常晚间温度较白天温度低，温度呈现下降趋势。

3.2. 同一时刻不同测点 CO_2 浓度比较

图 4 反映的是同一天测量时间段内各处测点(卧室、厨房和室外) CO_2 浓度的变化曲线。由图 4 可知，同一时刻，不同测点的 CO_2 浓度变化趋势也不相同，厨房内的 CO_2 浓度最高，甚至很长一段时间内超过标准值(1000 ppm)，根据式(2)可知期间 PMV_{CO_2} 的值维持在 2~3 之间，如果长期处于该环境中，会使人员感觉不舒服，引起呼吸困难、呼吸频率加快，人员对室内环境感觉不满意；其次为卧室内的 CO_2 浓度，室外的 CO_2 浓度最低。随着时间的推移，厨房和卧室内的 CO_2 浓度都呈现出先上升后下降的变化趋势，但是卧室内的 CO_2 浓度上升相对较慢，而且有一定的滞后性；室外的 CO_2 浓度几乎不受燃料燃烧产物的影响，一直维持在较低状态。

分析该现象出现的原因可能有以下几点：1) 炉灶设在厨房内，使厨房内 CO_2 初始浓度较高；2) 燃烧产物中的 CO_2 直接释放到厨房内，使厨房内 CO_2 浓度上升较快且相比于卧室更迅速一些；卧室离污染源较远一些，经过空气的稀释，受到的影响较小；由于室外空气的稀释，室外受到的影响更不明显。

3.3. 不同通风条件下厨房 CO_2 浓度比较

图 5 反映的是在不同通风条件下厨房内 CO_2 浓度的变化情况。由图 5 可知，在开门开窗情况下厨房内 CO_2 浓度超标时间和 CO_2 浓度值较开门关窗相对较小。分析原因主要是开门开窗有利于空气流动，使厨房内通风量增加，有效减弱了燃料燃烧产物对厨房 IAQ 的影响。

以 CO_2 的平均浓度计算，开门开窗时的 $PMV_{CO_2} = 2.09$ ，会有较多人感到不舒服；但关门开窗时的 $PMV_{CO_2} = 2.88$ ，人员会感觉呼吸困难和呼吸频率加快，此时的空气质量明显较差，因此二者给人的舒适

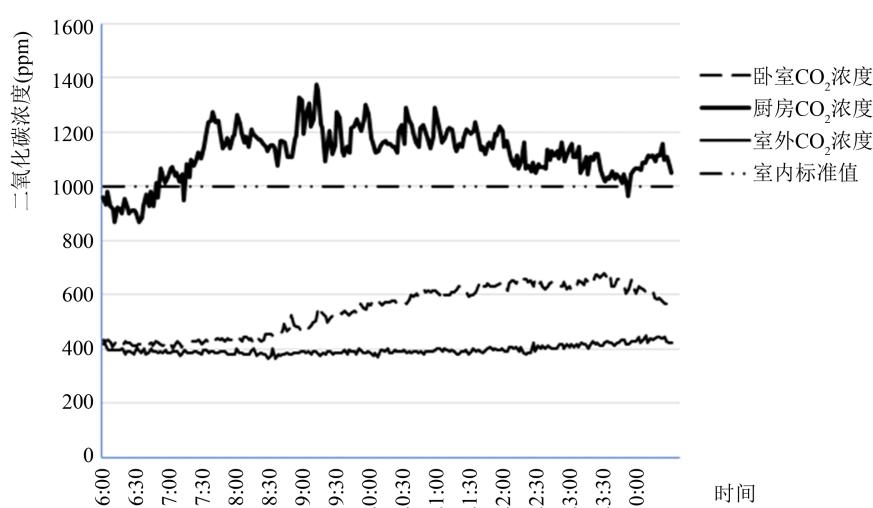


Figure 4. Changes in the concentration of CO_2 in three testing spots dated August 8th
图 4. 8 月 8 日三处测点 CO_2 浓度变化情况

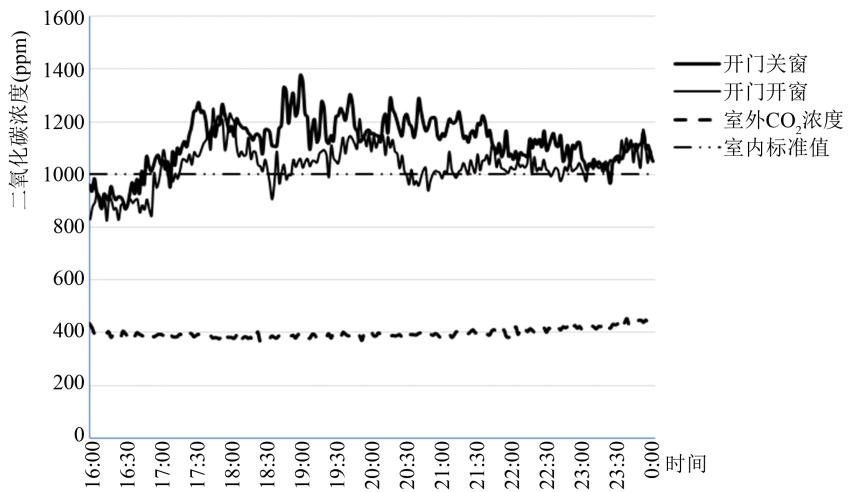


Figure 5. Changes in the concentration of CO_2 in the kitchen under different ventilation conditions

图 5. 不同通风条件下厨房内 CO_2 浓度变化情况

感有很大差别。

3.4. 换气次数与室内 CO_2 浓度的相关性

根据式(9)计算各次测量的 CO_2 平均浓度和换气次数, 结果如表 3 所示。对于住宅的换气次数, 各国的规范和设计手册中有不同的规定。根据日本的实践经验, 住宅必须具有 0.5 次/h 的换气次数; 美国最新规定, 住宅的换气次数为 0.35 次/h; 我国尚未有对应数值。由表 3 可知, 本研究各房间换气次数均能达到要求, 这与我国农村住宅夏季通风方式有关。

根据表 3 数据可以得到空气交换次数与 CO_2 平均浓度的相关性, 如图 6 所示。图 6 给出了通过线性回归得到的拟合关系, 相关系数 $R^2 = 0.9065$, 说明二者之间具有较好的线性关系, 增大换气次数可以有效减小示踪气体 CO_2 的浓度。

4. 结论和建议

4.1. 结论

本研究以辽宁省营口市的一户农村家庭为研究对象, 对厨房、卧室和室外的 CO_2 浓度进行实测, 分析农村炉灶对 IAQ 的影响并探讨可行的改善措施, 得到如下结论:

- 1) 炉灶燃料的燃烧产物对 IAQ 有较大影响, 厨房受影响最为严重, 三次测量中, 测量时间段内 CO_2 的平均浓度可达到 1177.55 ppm, 超过了我国《室内空气质量标准》; 其次为卧室, 三次测量的平均浓度为 581.22 ppm, 虽不至于超标, 但炉灶的使用会使卧室内 CO_2 浓度升高; 住宅内 CO_2 浓度的升高降低了室内空气品质, 使人的舒适感降低。
- 2) 远离炉灶可以有效减弱燃烧产物对 IAQ 的影响。测量结果表明, 离炉灶较远的卧室平均浓度比厨房的平均浓度小得多, 主要是因为大气的稀释以及卧室内通风状态较好。
- 3) 通风条件不同, CO_2 的浓度也不同, 通风状况越好, CO_2 浓度越低; 但即使是最好的通风条件(开门开窗), 炉灶使用后, 厨房内的 CO_2 浓度为 1035 ppm, 仍会超过标准值, 说明自然通风的效果有限。
- 4) 室内污染物浓度与换气次数有较好的线性相关性, 二者之间呈线性负相关关系, 增大换气次数可以有效减小室内污染物浓度。

Table 3. The average concentration of CO₂ and ventilation rate during the test
表3. 测量期间 CO₂ 平均浓度和换气次数情况

测点	时间	CO ₂ 平均浓度(ppm)	换气次数 n(次/h)
厨房	8—Aug.	1122.58	1.43
	9—Aug.	1034.96	2.44
	10—Aug.	1375.12	0.94
卧室	8—Aug.	489.64	5.48
	9—Aug.	573.64	3.64
	10—Aug.	680.40	3.83

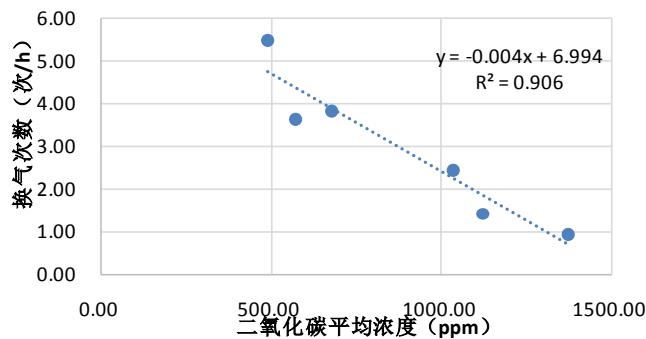


Figure 6. MCH-383SD CO₂/Humidity/Temp Monitor
图6. MCH-383SD CO₂浓度/温、湿度记忆仪

4.2. 建议

基于上述研究,为了减弱或者消除炉灶对室内空气品质的影响,提出如下几点建议:

- 1) 使用炉灶时开门开窗,增强自然通风,是减小室内污染物浓度最简单有效的办法之一;
- 2) 由于自然通风的效果有限,因此有条件可以使用抽油烟机等机械通风设备;
- 3) 使炉灶尽量远离卧室,可以有效减小卧室内污染物浓度。例如农村房屋建造时,设置天井等。

基金项目

本研究受国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAJ02B05)、大连理工大学大学生创新创业训练计划项目(201310141726)的经费资助,笔者在此表示感谢。

参考文献 (References)

- [1] Padilla, R.P., Schilmann, A., Rodriguez, R.R., et al. (2010) Respiratory health effects of indoor air pollution. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, **14**, 1079-1086.
- [2] Jan, E.W., Andre, M.M. and Henricus, J.M. (1991) Indoor air quality in renovated Dutch homes. *Indoor Air*, **1**, 621-633.
- [3] Beak, S., Kim, Y. and Perry, R. (1997) Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas. *Atmospheric Environment*, **31**, 529-544.
- [4] Parikh, J., Laxmi, V. and Biswas, H. (2001) Exposure from cooking with biofuels: Pollution monitoring and analysis for rural Tamil Nadu, India. *Energy*, **26**, 949-962.
- [5] Molloy, S.B. (2012) Indoor air quality in typical temperate zone Australian dwellings. *Atmospheric Environment*, **54**, 400-407.
- [6] 李金娟, 郭兴强, 杨荣师, 等 (2012) 贵州农村室内 PM2.5 污染水平及影响因素分析. *环保污染与防治*, **1**, 19-23.

- [7] 杨真 (2010) 严寒地区农村住宅室内空气状况改善与通风策略研究. 硕士论文, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨.
- [8] 魏泉源, 肖俊华 (2009) 农村可再生能源综合建设对 CO_2 减排的贡献. 二氧化碳减排控制技术与资源化利用研讨会论文集.