



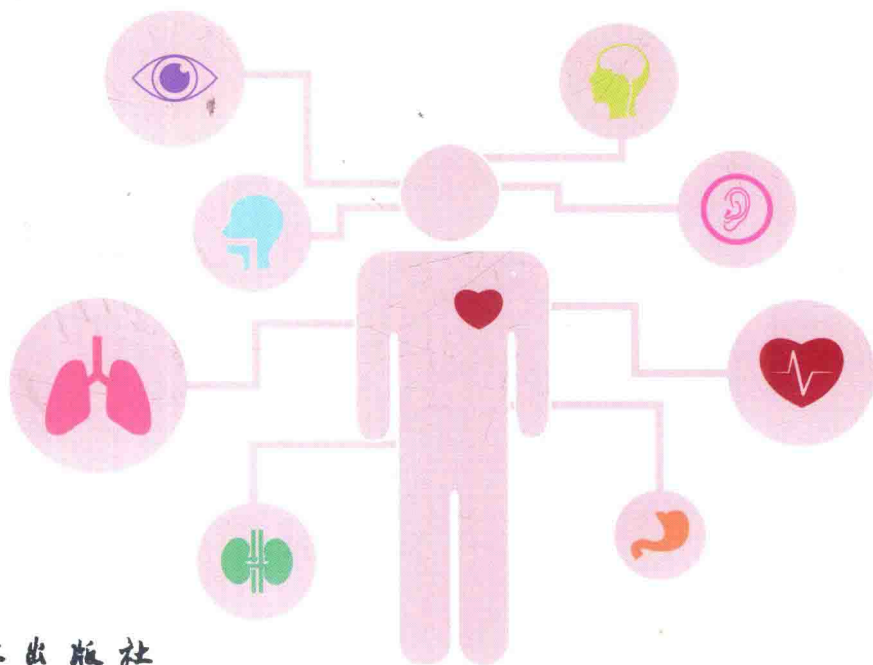
RESEARCH ADVANCE REPORT OF INDOOR ENVIRONMENT AND HEALTH IN CHINA

中国室内环境与健康研究进展报告 2015—2017

中国环境科学学会室内环境与健康分会 组织编写

李景广 主 编

刘 聪 副主编



中国建筑工业出版社



中国室内环境与健康研究进展报告

2015 — 2017

RESEARCH ADVANCE REPORT OF
INDOOR ENVIRONMENT AND HEALTH IN CHINA

中国环境科学学会室内环境与健康分会 组织编写

李景广 主 编

刘 聪 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国室内环境与健康研究进展报告 2015—2017: 中国环境科学学会室内环境与健康分会组织编写; 李景广主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-112-21393-1

I. ①中… II. ①中… ②李… III. ①室内环境-关系-健康-研究报告-中国 IV. ①X503.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 259652 号

责任编辑: 齐庆梅 张文胜

责任校对: 王 瑞 李欣慰

中国室内环境与健康研究进展报告
2015 — 2017

RESEARCH ADVANCE REPORT OF
INDOOR ENVIRONMENT AND HEALTH IN CHINA
中国环境科学学会室内环境与健康分会 组织编写

李景广 主 编

刘 聪 副主编

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25 1/4 字数: 432 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-21393-1
(31109)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

顾 问 委 员 会

(按拼音为序)

陈 新	陈一民	崔九思	戴自祝	范维澄	郝吉明	何革华
侯立安	季 飞	纪 军	江 亿	康飞宇	李大鹏	刘加平
刘俊跃	刘 涛	刘志全	栾胜基	麻名更	任官平	任振海
茹继平	孙路伟	陶文铨	田 明	王建国	王 浚	王 莉
王文兴	王喜元	王泽林	魏复盛	吴德绳	吴硕贤	邢永杰
徐 伟	许增德	叶 青	叶耀先	张巧显	张燕平	赵长龄
郑 俊	朱昌寿	朱 雷	朱颖心	Sundell Jan		

编写委员会

主 任：田德祥

副主任：杨 旭 张寅平 李玉国 宋瑞金

委 员（按拼音为序）：

白郁华	白志鹏	陈冠英	陈振乾	陈双基
邓启红	郭新彪	韩继红	何雅玲	侯雪松
冀志江	李安桂	李百战	李 军	李景广
李先庭	连之伟	林波荣	刘阳生	刘兆荣
莫金汉	钱 华	王清勤	王小逸	吴世飞
袁著革	谢远建	徐东群	张国强	张金良
张彭义	赵荣义	周泽义	周中平	朱天乐
朱希斌				

作者介绍与编写分工

前言

田德祥（教授）北京大学（tdx@pku.edu.cn）

第1章 我国居民家用燃料使用情况

段小丽（教授）北京科技大学（jasmine@ustb.edu.cn）

王贝贝（博士后）中国环境科学研究院（wangbeibei723@163.com）

赵秀阁（副研究员）中国环境科学研究院（wangbeibei723@163.com）

曹素珍（讲师）北京科技大学（love-lmd@163.com）

第2章 我国居民室内外活动时间研究

段小丽（教授）北京科技大学（jasmine@ustb.edu.cn）

王贝贝（博士后）中国环境科学研究院（wangbeibei723@163.com）

赵秀阁（副研究员）中国环境科学研究院（wangbeibei723@163.com）

曹素珍（讲师）北京科技大学（love-lmd@163.com）

第3章 建筑室内挥发性有机物污染控制研究

樊娜（高级工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
（4674044@qq.com）

邵晓亮（讲师）北京科技大学（shaoxl@ustb.edu.cn）

徐海霞（工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
（haixiaxu_jky@163.com）

李旻雯（工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
（skymick83@sina.cn）

莫金汉（副教授）清华大学（mojinhan@tsinghua.edu.cn）

何鲁敏（教授级高级工程师）北京亚都科技股份有限公司（helm@yadu.com）

张寅平（教授）清华大学（zhangyp@tsinghua.edu.cn）

李景广（教授级高级工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
(lijingguang@vip.sina.com)

第4章 室内SVOC传输机理及源汇特性检测方法研究

曹建平（博士）清华大学 (cjp17@vt.edu)

张寅平（教授）清华大学 (zhangyp@tsinghua.edu.cn)

第5章 建筑室内PM_{2.5}污染控制研究

王清勤（教授级高级工程师）中国建筑科学研究院 (wangqq@cabr.com.cn)

赵力（教授级高工）中国建筑科学研究院 (zhaolicabr@163.com)

邵晓亮（讲师）北京科技大学 (shaoxl@ustb.edu.cn)

路宾（教授级高级工程师）中国建筑科学研究院 (lubin229@vip.sina.com)

沈恒根（教授）东华大学 (shenhg@126.com)

冯昕（研究员）中国建筑科学研究院 (xfengjbai@hotmail.com)

李国柱（博士）中国建筑科学研究院 (liguozhu50@163.com)

仇丽娉（博士）中国建筑科学研究院 (qiuliping220@163.com)

李先庭（教授）清华大学 (xtingli@tsinghua.edu.cn)

第6章 建筑室内空气质量综合控制

韩继红（教授级高级工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
(hjhsribs@vip.sina.com)

李百战（教授）重庆大学 (baizhanli@cqu.edu.cn)

丁勇（教授）重庆大学 (dingyongqq@163.com)

徐海霞（工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
(haixiaxu@163.com)

朱春（高级工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
(zhuchuncn@163.com)

黄衍（工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
(superhuangyan@sina.com)

喻伟（副教授）重庆大学 (yuweixscq@126.com)

李景广（教授级高级工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司
(lijingguang@vip.sina.com)

附录2 我国建筑室内空气质量现行和在编主要标准

李旻雯（工程师）上海市建筑科学研究院（集团）有限公司

(skymick83@sina.cn)

前 言

干净空气是人类的基本需求。由于人们 80% 以上的时间在室内度过，室内空气质量对人的健康至关重要。近年来，我国建筑环境污染问题越来越突出，因建筑材料、建筑设备、生活用品、人员行为等产生的室内环境污染直接导致哮喘、过敏等多种疾病，直接影响人员的生命健康和生活质量，室内环境污染目前已成为一个社会迫切需求、百姓特别关心、政府非常关注的热点问题。由于我国目前室内环境污染问题依然严峻，其解决对于改善人们生活质量、健康水平等民生问题，推动建筑、建材等相关产业健康发展，实现我国城镇化与城市的可持续发展等具有重大意义。鉴于此，“十二五”期间，国家组织了“建筑室内健康环境控制与改善关键技术与示范（2012BAJ02B00）”等项目的研究，包括有效控制典型污染、初步控制新型污染、综合控制示范推广三个主要任务，具体包括：

主要任务一、有效控制典型污染。通过建筑材料、家具污染物散发评价体系、室内空气质量、装饰装修设计等关键技术的突破，实现规模化推广应用，系统解决目前建筑材料和家具等污染源控制中出现的“错判误判”、建筑材料和建筑工程污染控制环节分离等瓶颈问题，从而实现“新装修建筑避免典型污染物超标”；重点开发低能耗、高效率、工程应用性强的室内环境污染治理产品和系统解决方案，系统建立室内空气净化产品设计技术、实际应用效果检测监测技术。

主要任务二、初步控制新型污染。研发室内新型或复合污染检测、监测设备和技术，测试我国建筑环境该类污染源特性，初步建立我国 SVOC 等新型或复合污染标识和限量指标体系，研发若干项关键控制技术和产品并实现初步示范应用，解决目前新型污染在我国处于起步阶段时存在的检测监测技术缺乏、基础数据不足等难题。

主要任务三、综合控制示范推广。建立涵盖建筑规划设计、施工验收、运营管理等全生命周期空气质量综合保障技术体系，并因地制宜地应用于我国上海、重庆

等地区,实现“室内空气质量综合保障技术的工程化、规模化应用”。

经过5年的研究攻关,目前在建筑室内挥发性有机物污染控制、半挥发性有机物污染控制以及 $\text{PM}_{2.5}$ 污染控制等方面取得了一定的研究进展。本书主要收集了在此期间相关性较强的部分研究成果,一方面为关心和从事“室内环境与健康”的广大技术人员提供相关信息;另一方面期望为国家和行业制定相关政策提供依据。

本书除署名作者外,还有很多同志做出了很大贡献,学会宋瑞金、戴自祝,同济大学高军教授等负责了本书部分书稿材料的收集和处理工作。在此,分会衷心地对他们表示感谢!

田德祥及编写委员会

目 录

第 1 章 我国居民家用燃料使用情况	1
1.1 我国居民做饭燃料使用情况	2
1.2 我国居民做饭条件	7
1.3 我国居民室内取暖燃料使用情况	10
1.4 我国居民室内燃料使用的影响因素	14
1.5 小结	16
第 2 章 我国居民室内外活动时间研究	19
2.1 我国成人的室内外活动时间	20
2.1.1 室外活动时间	20
2.1.2 室内活动时间	22
2.1.3 室内外活动时间的影响因素	25
2.1.4 与国外的比较	26
2.2 我国儿童的室内外活动时间	26
2.2.1 室内活动时间	26
2.2.2 室外活动时间	33
2.2.3 与国外的比较	39
2.3 小结	39
第 3 章 建筑室内挥发性有机物污染控制研究	41
3.1 建筑材料和家具挥发性有机物散发测评技术研究	42
3.1.1 标准样品开发	42

3.1.2 上海市地方标准《室内装饰装修材料挥发性有机化合物散发率测试系统技术要求》(CDB 31/T1027—2017)的制定	44
3.1.3 建材及家具污染物散发测试方法研究	55
3.1.4 装饰装修材料挥发性有机污染物散发率评价方法	70
3.2 甲醛、VOCs 净化产品测评技术研究	77
3.2.1 关键检测装置的研发	77
3.2.2 净化产品测评关键问题	87
3.3 甲醛、VOCs 空气净化产品研发	100
3.3.1 吸附催化复合的蜂窝状净化模块	100
3.3.2 负载催化剂的低阻力蜂窝陶瓷模块	104
3.3.3 热再生空气净化装置	104
3.3.4 苯系物低温催化氧化制备负载一体化净化技术	113
3.4 小结	114
第 4 章 室内 SVOC 传输机理及源汇特性检测方法研究	119
4.1 背景	120
4.2 SVOC 传输机理	121
4.2.1 SVOC 在室内的传输过程	121
4.2.2 源散发过程及其特性	122
4.2.3 汇吸附过程及其特性	127
4.2.4 颗粒物对室内 SVOC 传输过程的影响	128
4.2.5 SVOC 皮肤暴露评价研究	142
4.2.6 “十二五”期间我国室内 SVOC 污染控制研究进展及主要结论	146
4.3 SVOC 源汇特性测定技术	150
4.3.1 SVOC 源特性测定方法	150
4.3.2 SVOC 汇特性测定方法	163
4.4 小结	169
第 5 章 建筑室内 PM_{2.5} 污染控制研究	177
5.1 PM _{2.5} 净化设备性能测试方法	178

5.1.1	PM _{2.5} 净化设备性能的传统测试方法及问题	178
5.1.2	ISO 16890 系列标准所规定的 PM _{2.5} 净化设备性能测试方法	182
5.1.3	我国国家标准《通风系统用空气净化装置》所规定的 PM _{2.5} 净化装置性能测试方法	184
5.1.4	PM _{2.5} 净化设备性能的衰减	187
5.1.5	测试方法的未来主要发展方向	190
5.2	PM _{2.5} 建筑围护结构穿透机理及穿透系数测试方法	191
5.2.1	概述	191
5.2.2	PM _{2.5} 围护结构穿透实测	192
5.2.3	PM _{2.5} 外窗穿透机理	193
5.2.4	外窗穿透系数计算和测试方法	206
5.3	通风与净化联合解决方案	212
5.3.1	低阻高效的梯度复合滤料技术	213
5.3.2	住宅通风与净化	218
5.3.3	公共建筑通风与净化	222
5.3.4	考虑空间非均匀特征的通风与净化	225
5.3.5	不同类型建筑的通风与净化工程示范	234
5.4	小结	242
第6章 建筑室内空气质量综合控制		247
6.1	建筑室内空气质量控制设计技术	248
6.1.1	室内空气质量控制设计要求及流程	248
6.1.2	建筑室内空气质量控制设计方法	251
6.1.3	建筑室内空气质量设计软件	254
6.2	建筑室内空气质量监测及运营管理技术	261
6.2.1	室内环境污染监测系统关键技术	261
6.2.2	基于无线传感网络技术的居室空气质量监测系统	276
6.2.3	建筑能源监控平台研究	287
6.2.4	室内空气质量与运行能耗综合监测平台	292

6.2.5 室内环境质量和运行能耗综合在线监测运行管理平台	304
6.2.6 能源与环境监控系统应用设计手册编制	316
6.2.7 室内环境运营管理	318
6.3 建筑室内空气质量综合控制示范工程	339
6.3.1 武汉绿街项目	339
6.3.2 布鲁克 IAQ 实验保障房	357
6.4 小结	375
附录 1 “中国环境科学学会室内环境与健康分会”简介	379
附录 2 我国建筑室内空气质量现行和在编主要标准	381
附录 3 江苏中科睿赛污染控制工程有限公司简介	384
附录 4 上海市建筑科学研究院(集团)有限公司环境研究所简介	386

第1章 我国居民家用燃料使用情况

根据世界卫生组织最近发布的全球疾病负担研究成果,2013年我国家庭(农村为主)固体燃料燃烧等因素导致的室内空气污染对我国居民全死因死亡的贡献率为8.8%^[1-5]。室内空气污染严重危害我国居民的健康,同时室内固体燃料燃烧也是区域室外大气污染的重要来源。由于家庭灶具燃烧效率低,且无任何排放控制设施,因此会大量排放各种空气污染物,从而成为一次颗粒物($PM_{2.5}$)、一氧化碳、黑炭、有机碳、多环芳烃等污染物的重要排放源。所以室内燃料的使用与区域空气质量、气候变化和人群健康息息相关。本章在“中国人群环境暴露行为模式研究”的基础上介绍了我国居民做饭和取暖的燃料使用情况,并分析其影响因素。

我国居民的家用燃料情况主要来源于“中国人群环境暴露行为模式研究”,该研究通过多阶段分层整群随机抽样,选取了我国31个省、自治区、直辖市(不包括香港、澳门特别行政区和台湾省)的159个县/区、636个乡镇/街道、1908个村/居委会的18岁及以上常住居民91527人作为调查对象,最终获得有效样本量91121人,经检验,样本具有全国代表性。该研究通过面对面询问的方式调查了我国居民室内外活动时间,以及做饭和取暖使用的燃料类型情况^[4]。

1.1 我国居民做饭燃料使用情况

调查研究的结果表明,我国 44.8%的家庭日常做饭采用气体燃料,32.1%、11.7%和 11.3%的家庭做饭时分别采用生物质、太阳能/电和煤为燃料^[1],如图1-1所示。由于家庭经济水平、燃料的可获得性以及做饭习惯的差异,我国城乡地区家庭日常做饭使用燃料的类型有较大的差异。在我国农村地区,固体燃料是农村家庭日常做饭所使用的主要燃料类型,其中生物质燃料占 47.6%,煤炭占 13.5%;而我国城市地区家庭日常做饭主要以清洁能源为主,其中气体燃料占 65.8%,太阳/电能占 13.6%。虽然在我国大部分城市地区禁止使用煤炭,但从调查来看,我国仍然有部分的城市场家庭(20.3%,相当于 1.445 亿人)日常做饭使用煤和其他固体燃料。

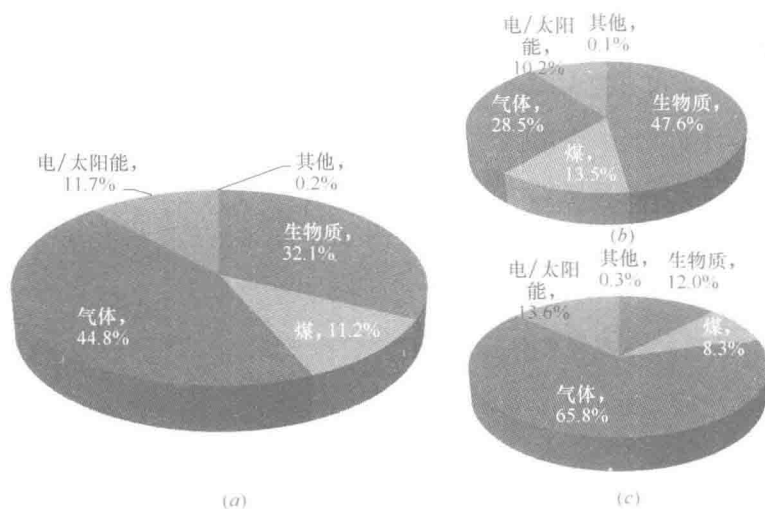


图 1-1 我国居民做饭燃料使用情况

(a) 合计; (b) 农村地区; (c) 城市地区

根据世界卫生组织对我国 1991~2006 年家庭做饭使用燃料类型的研究和 2012 年中国人群环境暴露相关的行为模式研究调查,我国城市和农村地区过去 20 年做饭燃料的变化情况,如图 1-2 所示^[5-13]。从图中可以看出,我国城乡家庭在过去 20 年做饭燃料使用情况发生了明显的变化,非固体燃料的家庭使用比例从 1991 年

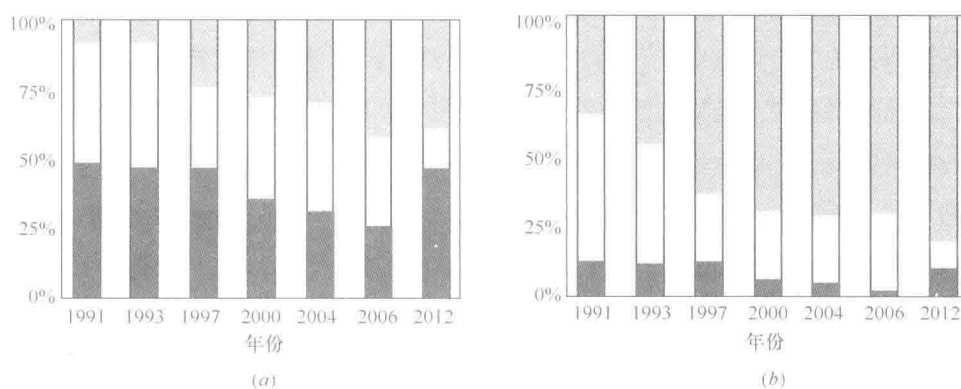


图 1-2 我国城市和农村地区过去 20 年做饭燃料的变化情况

(a) 农村; (b) 城市

注: 深色: 生物质燃料; 白色: 煤; 浅色: 非固体燃料; 纵坐标: 固体燃料使用的人数比例 (%)。

的 15.2% 增加到 2012 年的 56.5%; 同时, 农村家庭固体燃料的使用比例从 1991 年的 93.5% 降至 2012 年的 61.2%, 城市家庭从 66.3% 降至 20.3%。使用煤炭的家庭比例无论是城市还是农村地区从 1991 年至 2012 年持续降低。生物质燃料的家庭使用比例从 1991 年至 2006 年持续降低, 但在 2012 年有较大的回升。例如: 在 1991 年近 50% 的农村家庭日常做饭主要使用生物质燃料, 2006 年降至 26.1%, 但是 2012 年, 又回升至 47.6%。这主要是随着新的清洁/可再生能源技术的发展^[14,15], 国家政策鼓励人们使用炭中性的生物质燃料来替换化石燃料, 因此居民选择生物质燃料作为重要的燃料来源。此外, 在过去的 5 年, 由于煤炭供应量的降低以及工业发展对煤炭需求的不断增长, 导致煤炭的价格上涨。因此, 生物质燃料对用户来说也是一个更加经济实惠的选择。值得关注的是, 虽然我国居民日常做饭使用固体燃料的比例从 1991 年到 2012 年持续降低, 但是由于我国总人口每年在持续大幅度地增长 (从 1991 年的 11.6 亿人增长到 2012 年的 13.5 亿人), 所以使用固体燃料的实际人口数仍然是很大的^[16-18], 这意味着我国人群暴露于固体燃料燃烧产生的大量有害污染物中, 可能存在疾病发展的高风险。

由于燃料储备及其可获得性、做饭习惯以及家庭经济状况的差异, 我国不同省份居民做饭固体燃料的使用情况也存在着较大的差异 (见表 1-1)。我国经济相对发达的省市, 如上海、北京、天津和江苏, 日常做饭使用非固体燃料的家庭比例较