



# 中国室内环境与健康研究进展报告

2018—2019

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

钱 华 主 编

刘志坚 叶 蔚 郑晓红 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. 2018 — 2019/钱  
华主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 12

ISBN 978-7-112-24645-8

I. ①中… II. ①钱… 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 (2020) 第 013271 号

本研究进展报告充分发挥中国环境科学学会室内环境与健康分会多学科交叉的优势, 通过分会的 15 个学组进行组稿, 对室内环境与健康问题进行了深入探讨。本书的作者为室内环境与健康研究相关专业如暖通空调、环境化学生物安全、建筑学、规划管理、基础医学、公共卫生、环境毒理学等一线活跃的学者。本次研究进展报告共分为 14 章, 从污染物特性、源头产生机理、如何监测、健康影响、治理手段以及如何实现健康舒适环境进行了较为全面的阐述。

责任编辑: 齐庆梅

责任校对: 焦 乐

## 中国室内环境与健康研究进展报告

2018 — 2019

中国环境科学学会室内环境与健康分会 组织编写

钱 华 主 编

刘志坚 叶 蔚 郑晓红 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

印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 32½ 字数: 671 千字

2020 年 4 月第一版 2020 年 4 月第一次印刷

定价: 99.00 元

ISBN 978-7-112-24645-8

(35003)

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

(按拼音排序)

陈光杰 陈其针 陈清焰 陈 胜 陈 新 范维澄 宫 鹏  
郝吉明 何雅玲 贺克斌 侯立安 季 飞 纪 军 江 亿  
蒋 荃 康飞宇 李大鹏 刘加平 刘俊跃 刘 羽 刘志全  
马德军 陶 澍 陶文铨 田 明 田德祥 王建国 王 浚  
吴德绳 吴硕贤 谢远健 邢永杰 徐 伟 许增德 叶 青  
叶耀先 张建民 张巧显 张雪舟 张远航 赵进才 赵荣义  
郑 俊 朱昌寿 朱 雷 朱 彤

## 编写委员会

主任：杨旭

副主任：张寅平 李玉国 要茂盛

委员（按拼音排序）：

白志鹏	曹彬	曹国庆	陈栋梁	陈冠益
陈冠英	陈振乾	邓芙蓉	邓启红	段小丽
高军	高乃平	宫继成	郭新彪	韩继红
侯雪松	冀志江	阚海东	李军	李安桂
李百战	李劲松	李景广	李睿	李湉湉
李先庭	李雪	兰丽	连之伟	林波荣
刘聪	刘荔	刘猛	刘艳峰	刘兆荣
龙正伟	孟冲	莫金汉	钱华	申芳霞
沈国锋	宋瑞金	孙宗科	王清勤	王新轲
王怡	魏健健	袁著革	熊建银	徐东群
许瑛	杨斌	杨子峰	余涛	张金良
张彭义	张腾飞	张昕	张宇峰	赵卓慧
周翔	周泽义	朱天乐	朱颖心	

# 作者介绍与编写分工

## 第1章 绪论

钱 华 (博士、教授) 东南大学 (qianh@seu.edu.cn)

## 第2章 室内典型化学污染与控制

熊建银 (博士、研究员) 北京理工大学 (xiongjiy@bit.edu.cn)

周晓骏 (博士、讲师) 西安交通大学 (zhouxiaojun@xjtu.edu.cn)

朱天乐 (博士、教授) 北京航空航天大学 (zhutl@buaa.edu.cn)

## 第3章 室内颗粒物污染

阚海东 (博士、教授) 复旦大学 (kanh@fudan.edu.cn)

刘 荔 (博士、副教授) 清华大学 (liuli\_archi@tsinghua.edu.cn)

李国柱 (博士、副研究员) 中国建筑科学研究院有限公司

(liguozhu50@163.com)

王新轲 (博士、教授) 西安交通大学 (wangxinke@mail.xjtu.edu.cn)

王军亮 (博士、工程师) 中国建筑科学研究院有限公司 (wjljh06313@163.com)

## 第4章 室内微生物

申芳霞 (博士、副教授) 北京航空航天大学 (fxshen@buaa.edu.cn)

武 艳 (博士、副研究员) 山东大学 (wuyan@sdu.edu.cn)

要茂盛 (博士、教授) 北京大学 (yao@pku.edu.cn)

钱 华 (博士、教授) 东南大学 (qianh@seu.edu.cn)

## 第5章 室内环境污染与健康

杨 旭 (博士、教授) 华中师范大学 (yangxu@mail.ccnu.edu.cn)

马 萍 (硕士、教授) 湖北科技学院 (mping68@126.com)

武 阳 (博士、副教授) 湖北科技学院 (wysj2007@126.com)

李 康 (博士、助理研究员) 军事医学研究院环境医学与作业医学研究所

(tjlikang@126.com)

曹 毅 (博士、讲师) 湘潭大学 (caoyi39@xtu.edu.cn)

李 睿 (博士、教授) 华中师范大学 (ruili@mail.ccnu.edu.cn)

黄佳伟 (硕士研究生) 华中师范大学 (hjwxingyun@foxmail.com)

## 第6章 室内空气净化

裴晶晶 (博士、副教授) 天津大学 (jpei@tju.edu.cn)

吕 阳 (博士、副教授) 大连理工大学 (lvyang@dlut.edu.cn)

周 沛 (博士、讲师) 合肥工业大学 (peizhou@hfut.edu.cn)

## 第7章 室内环境检测监测进展

李劲松 (博士、研究员) 军事科学院军事医学研究院 (lij-s@163.com)

李 娜 (博士、副研究员) 军事科学院军事医学研究院  
(friendleena@sina.com)

周 振 (博士、研究员) 暨南大学 (zhouzhen@gig.ac.cn)

高 伟 (博士、副研究员) 暨南大学 (w.gao@hxmass.com)

陈龙飞 (博士、副教授) 北京航空航天大学 (chenlongfei@buaa.edu.cn)

李 雪 (博士、研究员) 暨南大学 (tamylee@jnu.edu.cn)

余竹君 (博士、博士后) 暨南大学 (ed213@sina.com)

曾嘉发 (硕士研究生) 暨南大学 (zengfone@163.com)

王明惠 (学士) VITROCELL Systems GmbH (p.wong@vitrocell.com)

## 第8章 住宅环境与健康

孙婵娟 (博士、副教授) 上海理工大学 (sunchanjuan@usst.edu.cn)

黄 晨 (博士、教授) 上海理工大学 (hcyhywj@163.com)

## 第9章 住宅建筑通风

Jan Sundell (医学博士、教授) 天津大学

孙越霞 (博士、副教授) 天津大学 (yuexiasun@tju.edu.cn)

侯 静 (博士研究生) 天津大学 (jing\_houj@163.com)

## 第10章 睡眠热环境

连之伟 (博士、教授) 上海交通大学 (zwlian@sjtu.edu.cn)

兰 丽 (博士、研究员) 上海交通大学 (lanli2006@sjtu.edu.cn)

刘艳峰 (博士、教授) 西安建筑科技大学 (liuyanfeng@xauat.edu.cn)

宋 聪 (博士、讲师) 西安建筑科技大学 (songcong@xauat.edu.cn)

## 第11章 住宅厨房油烟污染与通风控制

高 军 (博士、教授) 同济大学 (gaojun-hvac@tongji.edu.cn)

李安桂 (博士、教授) 西安建筑科技大学 (liag@xaut.edu.cn)

冯国会 (博士、教授、副校长) 沈阳建筑大学 (hj\_fgh@sjzu.edu.cn)

刘俊杰 (博士、教授) 天津大学 (jjliu@tju.edu.cn)

叶 蔚 (博士、助理教授) 同济大学 (weiye@tongji.edu.cn)

曹昌盛 (博士研究生、工程师) 同济大学 (cao\_changsheng@163.com)

贺廉洁 (硕士、科研助理) 同济大学 (helianjie\_2014@tongji.edu.cn)

## 第12章 医院内呼吸道传染病的传播与防控

魏健健 (博士、讲师) 浙江大学 (weijzju@zju.edu.cn)

袁 兵 (博士、副主任医师) 云南省第一人民医院 (506638016@qq.com)  
雷 浩 (博士、讲师) 浙江大学 (leolei@zju.edu.cn)  
刘志坚 (博士、副教授) 华北电力大学 (zhijianliu@ncepu.edu.cn)  
郑晓红 (博士、副教授) 东南大学 (xhzheng@seu.edu.cn)  
曹国庆 (博士、研究员) 中国建筑科学研究院有限公司 (cgq2000@126.com)  
汤灵玲 (博士、主任医师) 浙江大学附属第一医院 (1196040@zju.edu.cn)  
杨子峰 (博士、副教授) 广州医科大学附属第一医院 (jeffyah@163.com)  
李玉国 (博士、教授) 香港大学 (liy@hku.hk)

### 第 13 章 热舒适

朱颖心 (博士、教授) 清华大学 (zhuyx@tsinghua.edu.cn)  
曹 彬 (博士、副教授) 清华大学 (caobin@tsinghua.edu.cn)  
连之伟 (博士、教授) 上海交通大学 (zwlian@sjtu.edu.cn)  
朱 能 (博士、教授) 天津大学 (nzhu@tju.edu.cn)  
杨 柳 (博士、教授) 西安建筑科技大学 (yangliu@xauat.edu.cn)  
胡松涛 (博士、教授) 青岛理工大学 (h-lab@163.com)  
于 航 (博士、教授) 同济大学 (yuhang@tongji.edu.cn)  
王昭俊 (博士、教授) 哈尔滨工业大学 (wangzhaojun@hit.edu.cn)  
刘 红 (博士、教授) 重庆大学 (liuhong1865@163.com)  
张宇峰 (博士、教授) 华南理工大学 (zhangyuf@scut.edu.cn)  
翟永超 (博士、副教授) 西安建筑科技大学 (53288686@qq.com)  
周 翔 (博士、副教授) 同济大学 (zhouxiang@tongji.edu.cn)

### 第 14 章 健康建筑的发展、标准及评价

孟 冲 (硕士、高工) 中国城市科学研究会, 中国建筑科学研究院有限公司  
(13699221250@163.com)  
盖轶静 (硕士、实习研究员) 中国城市科学研究会 (geyijing@csus-gbr.org)  
韩沐辰 (硕士、助理研究员) 中国城市科学研究会 (hanmucheng@csus-gbr.org)

# 序

我们祖先把弥漫在地球表面、无处不在且无色无味的气态物质称做“空气”，一旦混入了其他成分，便可能出现“雾气、臭气、恶气、霉气”等现象。现代科技告诉我们，空气并不是“空”的。纯净的空气组分是人类每时每刻的必需品和生命健康的保障，有害气体或微小颗粒物进入空气之中，通常称为“空气污染”，会对人体产生不良反应。空气污染被认为是工业革命的衍生品。

建筑物将人的活动空间分成了室外和室内两个组成部分，进而就有了室外环境和室内环境之分。室外环境，按空间尺度的分级，又有全球（Global）环境、区域（Regional）环境和本地（Local）环境（如城市环境）之别。中国经济快速发展进程中，许多高能耗、高污染物排放的工厂由发达国家转移到国内，造成了我国很多地区和城市在过去数十年间空气污染严重，“雾霾”甚至成为网红词汇。经过近些年的全面治理，室外空气质量已大幅度改善。

人在建筑室内度过的时间远长于在室外，室内装修、家具和空调系统等原因引起的室内空气污染就成了人体健康的最大威胁。但是，人类认识室内空气品质的过程则十分艰难。20世纪80年代，有研究人员开始用主观感受来评价室内空气的品质。丹麦学者P. O. FANGER教授提出：品质反映了满足人们要求的程度，如果人们对空气满意就是高品质，反之就是低品质。随着经济发展、生活水平提高，老百姓对健康、舒适的关注度也日益增强，很多室内污染对健康影响的事件也成为社会的热点问题。室内空气污染对健康的影响究竟有多大？其致病机理是什么，剂量是多少？如何处理室内空气品质提升和建筑节能要求的平衡？这些都是大家关心的重要问题，室内环境成为健康建筑的重要的评价指标。

研究室内环境对人健康的影响，涉及多个学科。包括建筑学科对建筑空间的设计，环境化学等学科对室内污染材料的分析和源头控制，材料和工程等学科对室内空气污染物浓度的预测和控制，公共卫生等学科对暴露剂量的研究，毒理等学科对剂量毒性的研究，医学学科的健康效应等。因此理清室内环境与健康的关系，需要多个学科非常紧密的合作才能达成，但这些学科的学科基础与研究工具迥异，给多学科交叉研究提出了不小的挑战。

中国环境学会室内环境与健康分会着力于组建不同学科的交叉平台，致力于研究室内环境与健康的关系。从2012年开始，分会组织室内环境与健康方向不同学科的研究人员撰写各自学术领域的动态，已经连续出了三本研究进展报告。每期的



主题都不相同，反映了室内环境与健康各个领域的最新进展。《中国室内环境与健康研究进展报告 2018—2019》是该系列丛书的第四本。此次进展报告的主题涵盖了目标污染物研究、监测控制手段、热舒适、健康效应以及目标环境。该书在保证科学性的前提下，力争做到科普性。目标对象除了专业读者外，也包括一般读者。因此，这本书更有助于从事室内环境与健康的研究工作者在深入理解本学科的基础上，去了解其他学科的工作语言和研究的最新进展，促进解决室内环境健康问题以及多学科的交叉研究。对关心室内环境与健康与普通读者也具有重要的学习和参考价值。

应中国环境学会室内环境与健康分会主任、清华大学张寅平教授和东南大学钱华教授之邀，欣然为本书出版作序。衷心希望该书能够持续不断地出版下去，成为室内环境与健康分会的一个品牌，也期盼中国室内环境研究工作能够持之以恒，为中国老百姓健康作出更大的贡献。

值《中国室内环境与健康研究进展报告》系列丛书出版之际，谨表祝贺，以为序。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '张寅平' (Zhang Yinping), written in a cursive style.

2019年初冬于古城西安

# 前 言

《中国室内环境与健康研究进展报告 2018—2019》是中国环境科学学会室内环境与健康分会首次依托学组，以我国室内空气质量与健康的研究进展为主题，针对群众关心的化学、微生物、颗粒物污染与控制，室内环境、住宅环境、厨房环境、睡眠环境的污染与健康，检测监测技术的进展，通风、净化控制方法，热舒适以及健康建筑等热点问题进行了编写。本书较为全面地总结了我国上述领域的研究现状、研究进展与存在的问题，以期为我国室内环境与健康领域的发展提供必要的信息，为室内环境的科研工作者、政策制定者和关心室内环境的读者提供重要的、科学的依据与技术支持。

本研究进展报告充分发挥中国环境科学学会室内环境与健康分会多学科交叉的优势，通过分会的 15 个学组进行组稿，对室内环境与健康问题进行了深入探讨。本书的作者为室内环境与健康研究相关专业如暖通空调、环境化学生物安全、建筑学、规划管理、基础医学、公共卫生、环境毒理学等一线活跃的学者。本次研究进展报告一共分了 14 章，从污染物特性，源头产生机理，如何监测，健康影响，治理手段，以及如何实现健康舒适环境进行了较为全面的阐述。

特别感谢刘加平院士百忙之中为本书作序。感谢国家重点研发计划(2017YFC0702800)、自然科学基金(NSFC 51778128)、中国环境科学学会室内环境与健康分会、东南大学的中央基础科研业务费(2242019K41024)提供的资金支持，一并感谢东南大学麻建超同学、刘帆同学、郭康旗同学、诸葛阳同学、梅思莹同学、程晓雪同学、周梓奎同学，同济大学赵文萱同学、薛宇同学、职承强同学、黄奕翔同学和华北电力大学马圣原同学在本书编辑过程中的辛勤工作。

由于编者水平有限，书中难免存在问题与不足，希望读者多提宝贵意见。

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 室内空气环境的重要性及研究特点 .....	1
1.2 近十年室内环境质量与健康研究历程回顾 .....	3
1.3 目前我国室内空气环境和健康值得关注的问题 .....	6
1.4 本书特点 .....	8
参考文献 .....	9
<b>第 2 章 室内典型化学污染与控制</b> .....	11
2.1 人体散发污染及表征 .....	12
2.2 建材散发污染及测定 .....	19
2.3 室内化学污染控制 .....	37
2.4 小结 .....	57
参考文献 .....	58
<b>第 3 章 室内颗粒物污染</b> .....	63
3.1 室内颗粒物污染概述 .....	64
3.2 室内颗粒物污染对健康的影响 .....	68
3.3 颗粒物穿透围护结构规律与特征 .....	75
3.4 颗粒物的输运特性 .....	90
3.5 小结 .....	98
参考文献 .....	99
<b>第 4 章 室内微生物</b> .....	109
4.1 微生物对健康的影响 .....	110
4.2 室内微生物 .....	113
4.3 研究方法 .....	121
4.4 小结 .....	126
参考文献 .....	127

<b>第 5 章 室内环境污染与健康</b> .....	133
5.1 室内空气污染所致的健康影响 .....	134
5.2 甲醛的健康影响 .....	138
5.3 PM2.5 污染的健康影响 .....	153
5.4 邻苯二甲酸酯类的健康与毒理学研究 .....	158
5.5 纳米材料的健康影响 .....	164
5.6 小结 .....	167
参考文献 .....	168
<b>第 6 章 室内空气净化</b> .....	183
6.1 住宅空气净化器用户行为及净化效果 .....	184
6.2 微波及负离子空气灭菌技术 .....	195
6.3 小结 .....	201
参考文献 .....	202
<b>第 7 章 室内环境检测监测进展</b> .....	207
7.1 室内 VOCs 质谱检测新技术 .....	208
7.2 宽温度纳米颗粒分级计数系统 .....	212
7.3 人体呼出颗粒物检测装置及方法研究进展 .....	219
7.4 气液界面暴露染毒系统 .....	225
7.5 小结 .....	229
参考文献 .....	230
<b>第 8 章 住宅环境与健康</b> .....	235
8.1 中国住宅环境现状 .....	236
8.2 住宅污染物的浓度水平 .....	249
8.3 住宅污染物与人体健康 .....	259
8.4 小结 .....	264
参考文献 .....	265
<b>第 9 章 住宅建筑通风</b> .....	271
9.1 住宅建筑通风发展史 .....	272
9.2 住宅建筑通风量测量方法 .....	273
9.3 中国住宅建筑通风现状 .....	275
9.4 住宅建筑通风与室内微环境的关系 .....	281

---

9.5 住宅建筑通风对人体健康的影响 .....	284
9.6 小结 .....	287
参考文献.....	288
<b>第 10 章 睡眠热环境 .....</b>	<b>291</b>
10.1 睡眠与健康 .....	292
10.2 睡眠质量评价方法 .....	296
10.3 热环境与睡眠质量 .....	298
10.4 本章小结 .....	310
参考文献.....	311
<b>第 11 章 住宅厨房油烟污染与通风控制 .....</b>	<b>315</b>
11.1 住宅厨房油烟污染特征 .....	316
11.2 油烟污染个体暴露与健康风险.....	322
11.3 厨房空间通风控制技术 .....	327
11.4 高层住宅油烟污染集中排风技术 .....	337
11.5 小结 .....	347
参考文献.....	348
<b>第 12 章 医院内呼吸道传染病的传播与防控.....</b>	<b>357</b>
12.1 医院院内感染现状 .....	358
12.2 医院感染的分类和重要场所 .....	360
12.3 医院内病原体扩散暴露机理 .....	364
12.4 呼吸道传染病的工程防控措施.....	372
12.5 小结 .....	384
参考文献.....	384
<b>第 13 章 热舒适 .....</b>	<b>395</b>
13.1 经典热舒适理论.....	395
13.2 动态热舒适理论.....	417
13.3 热舒适的生理机制 .....	443
13.4 特殊因素对热舒适的影响 .....	453
13.5 小结 .....	463
参考文献.....	464

<b>第 14 章 健康建筑的发展、标准及评价</b> .....	481
14.1 健康建筑发展回顾 .....	482
14.2 《健康建筑评价标准》解读 .....	483
14.3 健康建筑标识的评价 .....	491
14.4 健康建筑产业发展平台 .....	495
14.5 小结 .....	496
参考文献 .....	497
<b>附录 1 中国环境科学学会室内环境与健康分会简介</b> .....	498
<b>附录 2 资助分会活动的企业介绍</b> .....	499

扫码可看书中部分彩图。



# 第1章 绪 论

## 1.1 室内空气环境的重要性及研究特点

随着经济发展和生活水平的提高，人们对健康越来越重视。党和国家把全民健康作为全面小康的重要基础，强调把人民健康放在优先发展的战略位置。党的十八届五中全会作出“推进健康中国建设”的重大决策，开启了健康中国建设新征程，并印发了建设健康中国的行动纲领——《“健康中国 2030”规划纲要》。其中提出 2030 年目标中包括：“有利于健康的生产、生活环境基本形成”。穹顶之下的室外环境得到持续性的关注和投入，屋顶之下的室内空气环境虽然关注度高，但投入相对不足。人们绝大部分时间在室内度过，而室内空气污染不仅与室外空气质量相关，也与室内空气特有的污染源、生活方式、通风条件等相关。人们的生产和生活环境大多是在屋顶之下，因此营造优良的室内环境是实现有利于健康的生产、生活环境形成的重要途径。

2017 年全球疾病负担研究报告显示，全球范围内疾病负担最重的因素中，烟草和空气污染分别排在第四位和第七位。在中国，上述两个因素分别排在第二位和第四位。且中国因烟草和空气污染造成的伤残调整寿命年（DALYs）高于全球平均值（如图 1-1 和图 1-2 所示）。要实现《“健康中国 2030”规划纲要》提出的形成“有利于健康的生产、生活环境”这一目标还任重道远。

什么叫优良的室内空气环境？学术界基本形成以下共识：一方面是主观因素：要使得室内人员感到神清气爽、精力充沛、心情愉悦，工作效率高；另一方面是客观因素：污染物的浓度要低于一定阈值，从而避免造成人的健康损害。这样就形成了以下几点需要研究的问题：

(1) 什么样的居住或工作环境会使人主观感受舒适，心情愉悦，工作效率高？舒适的室内环境与温度、湿度、污染物浓度、新风等存在什么样的关联？

(2) 污染物该如何检测？检测和监测的精度和成本该如何平衡？

(3) 不同的污染物浓度和健康存在什么样的关系？是否线性相关？对人健康的损害是否存在一定的阈值？会造成多大的损伤？不同污染物的浓度对健康的损害的

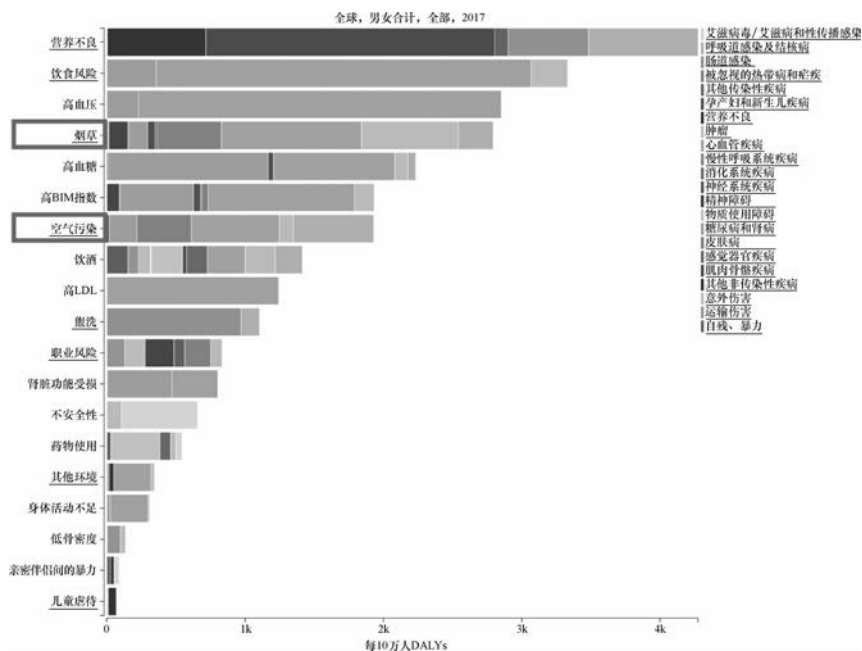


图 1-1 全球不同因素疾病负担 (见二维码)  
 (来源于: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>)

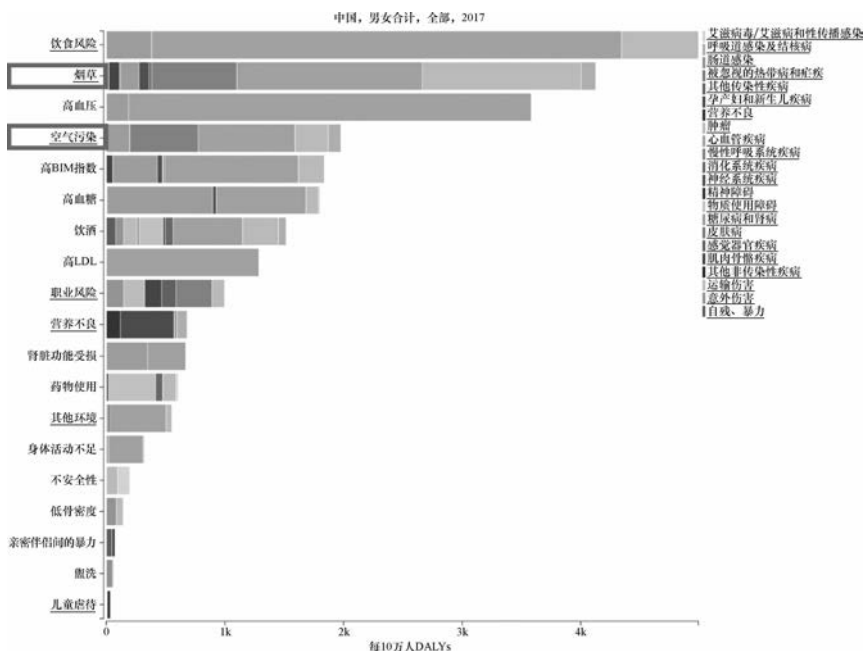


图 1-2 全球不同因素疾病负担 (见二维码)  
 (来源于: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>)



权重是多少?

(4) 针对不同的室外污染水平和气候特征, 营造优良室内空气环境的技术手段该如何实现? 需要付出的代价有多大? 是否存在优化的方法从而使得营造优良室内空气环境的代价最低?

(5) 相对于室外空气环境, 室内空气环境对人是保护性因素还是致病性因素?

要回答这些问题, 单一学科远远不够, 需要多学科的交叉和融合, 包括: 暖通空调、环境化学、生物安全、建筑学、规划管理、环境材料、基础医学、公共卫生、环境毒理学、空气净化与室内环境治理等众多专业领域。在这样的前提要求下, 多学科的交叉研究越来越多。无论是室内环境相关的国际、国内会议如 *Indoor Air*, *Healthy building*, 中国室内环境与健康学术年会, 还是室内环境相关的学术期刊如 *Indoor Air*, *Building and Environment*, 亦是室内环境相关的自然科学基金、国家重点研发计划, 多学科交叉研究的趋势越来越明显。

## 1.2 近十年室内环境质量与健康研究历程回顾

《室内空气质量与健康的研究进展报告 2012》第一章回顾了室内空气环境研究到 2010 年的研究进展情况。室内环境与健康的研究自 2010 年后, 又出现了一系列新的特点。

(1) 中国的研究越来越活跃

目前国际室内品质学院 (ISIAS) 125 名活跃的会员中有 18 名华人, 其中更有 7 名来自中国大陆, 3 名来自中国台湾, 3 名来自中国香港。而退休的 17 名会员中, 仅有 1 名华人。华人学者尤其是青年学者在国际室内空气品质学会的影响也日益扩大, 其中清华大学莫金汉获得了 2016 年 Yaglou 青年科学家奖, 这也是来自中国大陆学者首次斩获该大奖。图 1-3 显示了在 *Web of Science* 用 “Indoor Air” 作为主题检索词, 截至 2019 年 4 月, 全球发表论文的总数和其中作者来自中国的总数, 图 1-4 显示了中国发表论文的比例。截至 2019 年 4 月发表的室内空气相关的 SCI 论文总数, 来自中国的论文已经取代美国位列全球第一<sup>❶</sup>。而在 2000 年前中国仅仅排到了全球第十二位, 当时排名前四的均为欧洲国家<sup>[1]</sup>。2000~2010 年美国增长最快, 由第七升至第一<sup>[1]</sup>。中国发表室内空气相关 SCI 论文数在全球论文数的占比自 2016 年起显著提高, 2016 年也是国家 “十三五” 重点研发计划陆续设立的室内空气相关项目的起始年。中国的科研在紧随国际科研前沿的同时, 也为解决我国特有的问题展开了研究。2019 年中国环境科学学会室内环境与健康分会年会的投稿论文中, 公共卫生与毒理、工业环境、化学污染等主题的比例显著高于在美国

❶ 同时中国发表论文的比例逐年扩大。

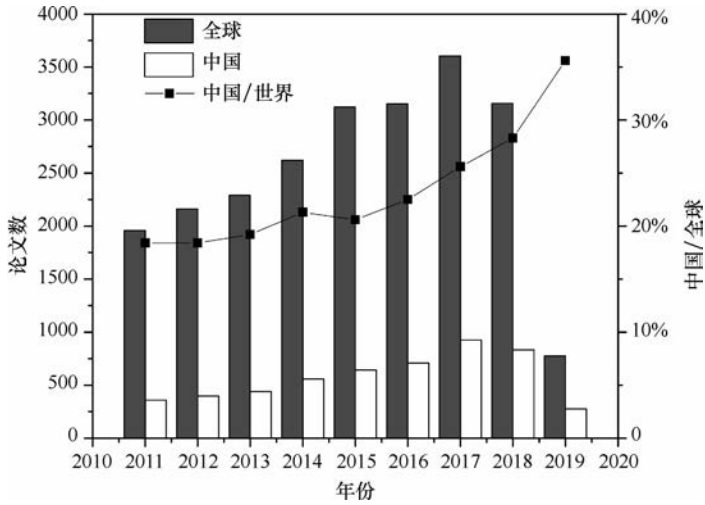


图 1-3 全球与我国室内空气相关的 SCI 论文总数

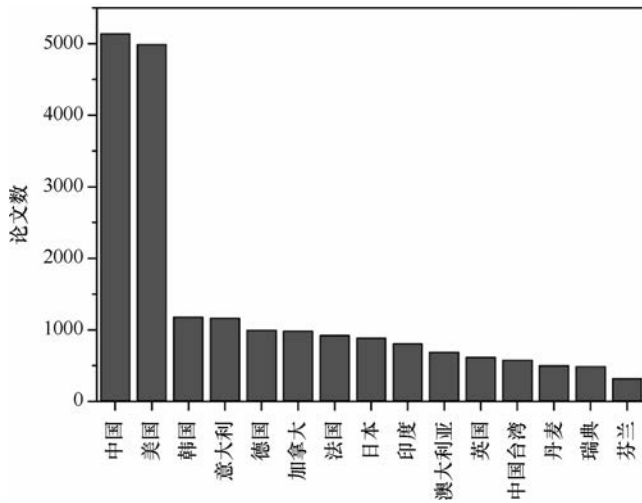


图 1-4 不同国家和地区室内空气相关的 SCI 论文总数

费城举行的 Indoor Air 2018 中相关主题的论文比例（见图 1-5）。

(2) 室内空气研究影响逐渐扩大

图 1-6 显示了在 *Web of Science* 用“Indoor Air”作为主题检索词检索截至 2011 年 10 月 4 日和 2019 年 4 月 13 日不同国际期刊发表的论文数。相对于 2011 年的结果，发现论文发表总数急剧增长。其中 Building and Environment 从第二升至第一，Energy and Building 从第五升至第二，Atmospheric Environment 从第一降至第四。Building and Environment 和 Energy and Building 在这些期刊中的影响因

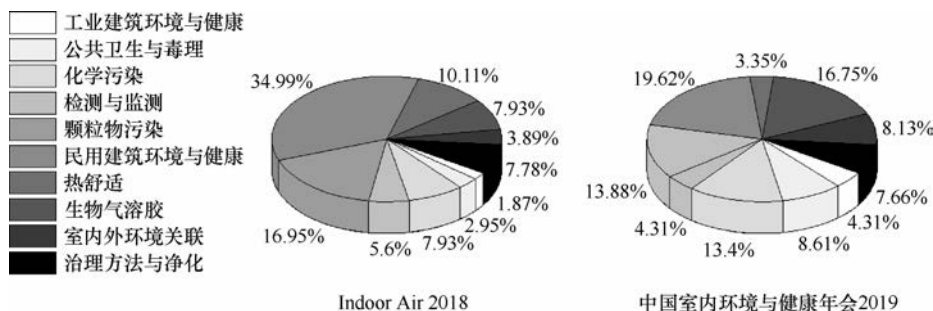
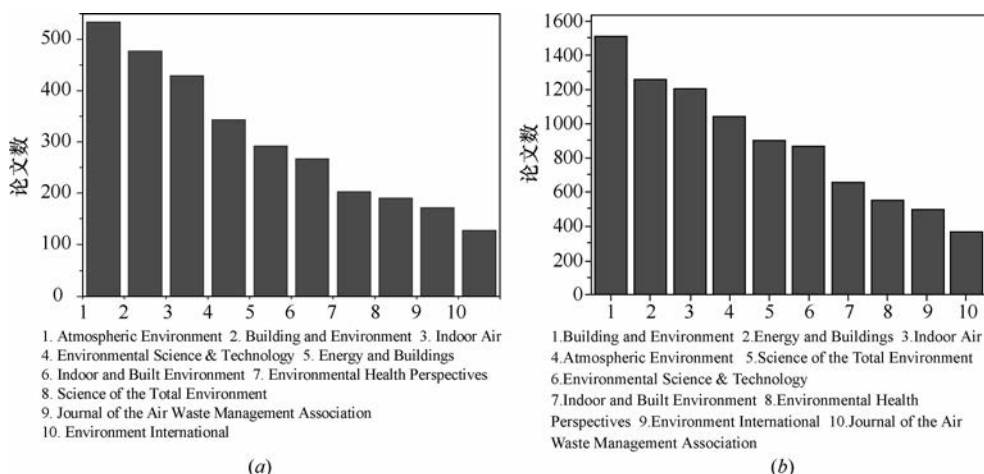


图 1-5 Indoor Air 2018 和中国室内环境与健康学术年会 2019 主题对比



(a) Web of Science, 2011年10月检索<sup>[1]</sup>; (b) Web of Science, 2019年4月检索

图 1-6 不同的国际期刊发表的“Indoor Air”论文数

子成长性也是最好的（见图 1-7）。

### (3) 学科交叉性越来越强

1) 从最近几年发表的期刊论文，合作项目，Indoor Air 会议以及中国室内环境与健康年会的参会者来看，学科的交叉性越来越强。从以前以公共卫生和暖通为主，其他学科有人参与，逐步发展到各个学科都积极参与。2019 年，国际室内空气质量学会（ISIAQ）也首次和国际暴露科学学会（ISES），一起合办 ISES-ISIAQ 国际会议。而中国室内环境与健康年会也首次和生物气溶胶研讨会一起联合办会。

2) 从以前开会交流想法和成果，到实质性的交流合作，共同承担科研项目和发表科研论文，研究的交叉性，广度和深度都在显著增强。一系列的科研项目，如

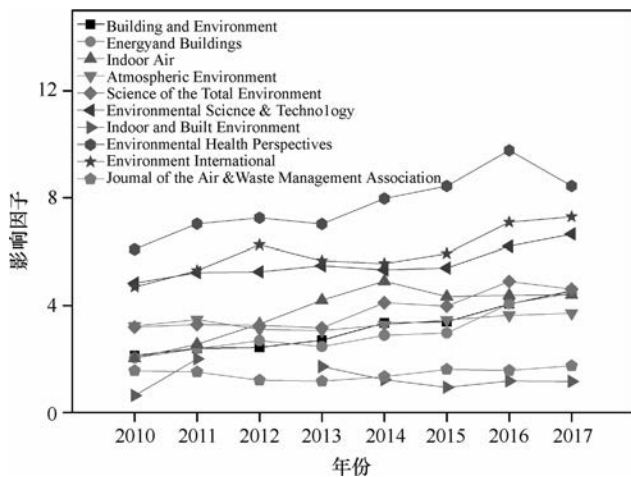


图 1-7 与室内空气相关的不同的 SCI 期刊  
2010~2017 年间的的影响因子变化

中瑞自然科学基金合作项目：室外大气污染与室内环境因素对儿童“哮喘-鼻炎-湿疹”等相关疾病健康效应的多城市研究。国家重点研发计划：建筑室内空气质量控制基础理论和关键技术，室内微生物污染源识别监测和综合控制技术等都是典型的多学科背景科研人员一起参加的项目，并有相当数量的合作论文发表。

3) 学组交流活动越来越多。国际室内空气品质学会 (ISIAQ) 2010 年成立了专委会 (Scientific and Technical Committees)，并设立了：化学污染物、气溶胶、室内微生物、通风、净化、健康效应与流行病学、环境/气候影响、热舒适八个专委会。中国环境与科学学会室内环境与健康分会也于 2018 年设置学组，一共设立了化学污染物、颗粒物、微生物污染、检测与监测、公共卫生与毒理、热舒适、治理方法与净化、大数据处理方法、室内环境标准、民用建筑环境与健康、工业建筑环境与健康、医院环境与健康、交通及特殊环境与健康、睡眠环境与健康、农村室内环境与健康 15 个学组。依托学组，不同专业背景的分会成员展开了各种富有成效的交流活动。本书主要依托学组完成征稿。

### 1.3 目前我国室内空气环境和健康值得关注的问题

中国环境科学学会室内环境与健康分会邀请了国内外专家开展了多次交流讨论，开展了大量文献和现状调研。基于前期工作基础，积极组织 and 参加国家重点研发计划和自然科学基金。有些问题是室内环境研究的前沿问题，有些是中国国情特有的实际问题。以下问题值得关注：

(1) 室内空气污染物的疾病负担。通过理清不同污染物包括 VOC, SVOC, 颗粒物, 微生物等的疾病负担, 可以针对性找到室内空气污染的目标污染物, 更有针对性地进行控制, 并能进行成本核算。

(2) 传染病的传播机理和防控方法。近年来新发及突发传染病在国际上频频出现, 前期的工作已大致理清了空气与飞沫传播的传播机理, 并给出了一些工程控制方法。但这样研究进展还需要大量工作才能进入工程实践。另外, 接触传播的传播机理还未能彻底理清, 还需要进一步深入研究探讨。

(3) 高污染工作环境的职业暴露和污染控制。民用建筑的室内环境与健康得到了充分的重视, 但有些高污染环境如高污染散发类厂房、舰艇等特殊的工作环境的职业暴露还比较高。西方国家通过产业转移, 将一些工业转移到发展中国家。但我国作为一个全球工业门类最齐全的国家, 有些问题不能回避, 需要发展适合我国国情的高污染环境的控制技术。

(4) 新型化学污染、健康危害及控制。甲醛、VOC/SVOC 的研究得到了持续的研究和关注, 取得了大量的研究成果, 其危害已经深入人心。但由于在室内污染源复杂, 这些污染难以完全消除。尤其是 SVOCs, 由于饱和蒸气压低, 很容易被吸附或吸收, 从而与颗粒物结合, 造成室内颗粒物污染的毒副作用不同于室外颗粒物。因此需要开展相应研究, 尤其需要源头控制开发低散发低含量类建材和常用消费品等。

(5) 颗粒物污染的健康效应及控制。颗粒物污染依然是中国首要的污染物, 室外颗粒物是室内颗粒物污染的主要来源。在室外污染严重时, 室内颗粒物的控制往往通过新风机或者净化器进行控制, 其可维护性、节能性和经济性还需要进一步发展。颗粒物的健康效应除了跟室内颗粒物浓度、粒径相关外, 还跟颗粒物成分相关。北京大学要茂盛团队通过收集国际上各个城市颗粒物并将其注射给白鼠, 发现不同城市由于颗粒物成分不同, 毒副作用明显不同<sup>[2]</sup>。

(6) 健康效应的新方法及应用。相对于急性中毒, 室内空气污染为低浓度污染长期暴露, 其健康效应不是那么直接, 需要非常长的时间才能显示其健康效应, 而当显现健康效应时, 往往混杂了其他暴露因素。传统上, 一般通过横断面大规模调研, 或者长期跟踪, 或者动物实验高剂量进行健康效应研究。但由于健康效应并不直接, 因此需要发展一些新的评价手段, 如生物标志物 (biomarker), 利用细胞实验来进行暴露染毒研究等, 可以更加快速和直接的得出污染物的健康效应。

(7) 经济适宜的居住建筑室内质量营造与监控技术。我国幅员辽阔, 气候特征和室外污染不同, 如何依据各地特点提出经济适宜的室内质量营造方法, 有助于提升广大住户的室内空气质量。且随着大数据, AI 技术的发展, 大量满足精度要求的低成本室内空气质量传感器和探测技术的出现, 基于传感器获得的大数据和 AI 技术来优化营造优良的室内空气环境成为可能。

(8) 室内微生物群落特征及健康效应。对于室内微生物的认识呈现了否定之否定的螺旋式提高过程。室内微生物一开始被认为是污染物而进行消杀。但研究也发现室内微生物的物种丰度是保护性因素, 会显著降低儿童过敏性疾病的发病率。随着分子生物学技术和下一代基因组测序技术的发展和成本的降低, 研究室内微生物群落特征成为可能。

“十三五”期间, 国家重点研发计划也设定了相关项目, 对这些问题展开了富有成效地研究。如“室内公共场所污染快速检测、形成机制和干预技术”、“室内公共场所空气污染控制关键技术与装备”、“居住建筑室内通风策略与室内空气质量营造”、“建筑室内材料和物品 VOC/SVOC 污染源控制技术”、“功能型装饰装修材料的关键技术研究与应用”、“室内微生物污染源识别监测和综合控制技术”、“建筑室内空气质量控制基础理论和关键技术”、“高污染工业建筑环境保障与节能关键技术研究”、“医院超净空间空气环境保障关键技术”等。

香港大学李玉国教授在接过 *Indoor Air* 主编工作发表的“接过火炬”的社论里也提到<sup>[3]</sup>: *Indoor air* 期刊还要持续关注有关健康影响研究的论文, 这些研究不仅关注流行病学, 还关注室内环境中机制和过程的基础科学。如呼吸道感染如何在室内空气中发生? 室内环境质量以何种方式影响哮喘? 当人们在室内时, 免疫反应与过敏和感染有什么关系? 新的遗传分析工具可以教给我们什么? 室内空气以外的室内环境有关问题, 例如照明, 声学, 社会和心理问题等。同时更鼓励有关最新技术的提交, 例如下一代基因组测序, 可穿戴和智能传感器以及人工智能, 探索新的室内空气科学, 以及使用新的健康技术, 如肺部芯片探讨室内空气对人类健康和身心的积极和消极影响。这些研究可能得到社会科学新发展的支持, 例如人类行为研究领域的新进展, 人类感知和人类互动(社会心理学)。这些新型的研究将大大拓展人类对室内空气品质的认识。

## 1.4 本书特点

良好的室内空气质量是亿万人健康的重要保障, 也是实现健康中国战略的关键一环。人民群众关注度高。但与室外大气环境、建筑节能相比, 尚未得到足够重视。此外, 部分企业出于商业宣传目的, 夸大了室内空气环境的危害和部分产品的作用, 造成了一些负面影响。中国环境科学学会室内环境与健康分会, 组织了分会的专家编写了《中国室内环境与健康研究进展报告》系列丛书, 从2012年起已经出版了三本, 该系列结合了科研性和科普性。该系列报告已经在室内环境科研工作者中产生了很大的影响。本书为该进展报告的第四本, 不是简单的在前期的工作基础上增加最新进展, 而是区别于前三本的主题, 本书的主题包括不同的污染物种类和现状(颗粒物、气态化学污染物、微生物), 室内污染物对健康影响, 净化技术,

监测技术, 住宅通风, 住宅建筑环境, 睡眠环境与健康, 住宅的油烟控制, 医院环境下的呼吸道传染病的传播与防控, 热舒适, 建筑的发展, 标准与评价等都是目前研究的重点和热点。由于这些问题不是哪个单独学科能够回答的, 本书的作者也涵盖了不同专业科研人员, 就上述几个问题在不同背景的最新研究进展进行了综述和回顾。在坚持科学性的同时, 也兼顾了趣味性, 以期对室内空气环境感兴趣的读者提供参考。

### 参 考 文 献

- [1] 张寅平, 邓启红, 钱华, 等. 中国室内环境与健康研究进展报 2012[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] Yue Y, Chen H, Setyan A, *et al.* Size-Resolved Endotoxin and Oxidative Potential of Ambient Particles in Beijing and Zürich [J]. *Environmental Science and Technology*, 2018, 52(12): 6816-6824.
- [3] Li Y. Taking up the torch[J]. *Indoor Air*, 2018, 28(5): 653-654.

