

SHINEI KONGQI ZHILIANG
JIANCE YU KONGZHI

室内空气质量 检测与amp;控制

刘艳华 王新轲 孔琼香 编著
张寅平 主审



化学工业出版社

室内空气质量 检测与控制

刘艳华 王新轲 孔琼香 编著
张寅平 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书重点介绍室内空气质量检测及控制技术,全书共分7章。第1章概论中,首先给出空气质量的含义、描述室内空气质量的参数及我国现有的室内空气质量标准,报道了国内外相关研究的进展及未来的发展方向等。第2章介绍了污染物的来源。第3章介绍了室内空气污染物及其对人体健康的影响。第4章介绍了室内空气中常见污染物的检测方法。第5章介绍了国内外有关空气品质的评价方法以及评价方法的研究进展等。第6章介绍了室内空气净化技术。第7章简要介绍建筑建材中有害物质的限量与测定知识。

本书可作为建筑环境与设备工程专业系列本科和研究生教材,也适用于建筑环境与设备专业工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

室内空气质量检测与控制/刘艳华等编著. —北京:
化学工业出版社, 2012.11
ISBN 978-7-122-15459-0

I. ①室… II. ①刘… III. ①室内空气-质量检验
IV. ①TU834.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第234442号

责任编辑:陶艳玲
责任校对:周梦华

文字编辑:刘莉珺
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15½ 字数381千字 2013年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:45.00元

版权所有 违者必究

前 言

良好的室内空气质量不仅依靠完善的法律法规和管理措施、规范的检测手段,还需要不断寻找和开发室内空气净化新技术。近十年来国内外在室内空气检测及净化方面的研究及学科交叉技术的应用发展很快,许多新的检测与净化手段正在向室内空气检测与净化领域渗透。本书介绍了我国现行的《室内空气质量标准》中规定的各项指标的检测方法,也介绍了一些常见的、但未被写入标准的检测方法,供广大读者参考。在室内空气控制技术部分,既介绍了常规的净化技术,也介绍了未来有望应用于室内空气净化化的技术。全书共分7章。第1章介绍了空气质量的概念,阐述了室内空气质量检测与控制的内涵,介绍了室内空气质量指标及我国的《室内空气质量标准》。第2章介绍了污染物的来源。第3章介绍了室内空气污染物及其对人体健康的影响。第4章介绍了室内空气中常见污染物的检测方法。第5章介绍了国内外有关空气品质的评价方法以及评价方法的研究进展。第6章介绍了室内空气净化技术。第7章介绍了建筑建材中有害物质的限量与测定知识。本书难度适中,力图方便建筑环境与设备专业及相关领域的学生及工程技术人员入门及查阅,也可作为高等学校建筑环境与设备及相关专业本科或研究生教材。

本书由刘艳华、王新轲、孔琼香编著。其中第1章、第4章第1,2,3节及第6章第3节由刘艳华教授编著,第2章、第3章、第7章、第4章第4,5节及第6章第1节由王新轲副教授编著,第5章及第6章第2节由孔琼香副教授编著。引用的标准由罗昔联博士收集。全书由刘艳华统稿,由清华大学张寅平教授审读并提出了宝贵意见,在此表示感谢。

本书引用国内外多本著作、教材及文献并在书中给出标注,由于时间仓促,疏忽及漏引之处还望有关文献的作者能及时指正,以便修改。由于编著者水平和经验有限,不妥之处在所难免,也请广大读者批评指正。

编著者

2012年8月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 室内空气质量的概念	1
1.2 室内空气质量检测	1
1.3 室内空气质量控制	2
1.4 室内空气质量指标	2
1.4.1 物理性指标	2
1.4.1.1 温度	2
1.4.1.2 相对湿度	3
1.4.1.3 空气流速	3
1.4.1.4 新风量	3
1.4.2 化学性指标	3
1.4.2.1 二氧化碳	3
1.4.2.2 甲醛	3
1.4.2.3 苯系物	4
1.4.2.4 总挥发性有机物	4
1.4.2.5 苯并[a]芘	4
1.4.2.6 氨气	4
1.4.2.7 二氧化硫	4
1.4.2.8 二氧化氮	5
1.4.2.9 一氧化碳	5
1.4.2.10 可吸入颗粒物	5
1.4.2.11 臭氧	5
1.4.3 生物性指标	5
1.4.4 放射性指标	5
1.5 室内空气质量标准	5
参考文献	7
第 2 章 室内污染物来源	8
2.1 建材产生的污染	8
2.1.1 复合板	8
2.1.2 PVC 产品	10
2.1.3 涂料	11
2.1.4 隔声或保温材料	12

2.1.5 砖类和石材	13
2.2 日用化学品污染	14
2.2.1 杀虫剂	14
2.2.2 空气清新剂	16
2.2.3 清洁用品	16
2.2.4 香水	17
2.3 厨房产生的污染	19
2.4 室内办公设备产生的污染	20
2.5 人员活动产生的污染	24
2.5.1 室内人员新陈代谢产生的室内污染	24
2.5.2 吸烟	25
2.6 微生物污染源	25
参考文献	26

第3章 室内空气污染物及其对人体健康的影响 28

3.1 颗粒物	29
3.1.1 室内颗粒物特点	29
3.1.2 室内颗粒物对人体健康影响的因素	30
3.1.3 室内颗粒物对呼吸系统的影响	32
3.1.4 室内颗粒物对心血管系统的影响	34
3.2 气态污染物	35
3.2.1 无机气态污染物	35
3.2.2 挥发性有机物	38
3.2.3 半挥发性有机污染物	40
3.3 生物污染	42
3.4 复合污染	45
3.4.1 毒性的变化	45
3.4.2 两种污染物并存时对污染物输运的影响	46
参考文献	48

第4章 室内空气质量检测 50

4.1 物理参数检测	50
4.1.1 温度	50
4.1.1.1 玻璃液体温度计法	50
4.1.1.2 数显式温度计法	50
4.1.2 湿度	51
4.1.2.1 通风干湿表法	51
4.1.2.2 氯化锂湿度计法	52
4.1.3 空气流速	52
4.1.3.1 热球式电风速计法	52
4.1.3.2 数字风速表法	53

4.1.4	新风量	53
4.2	室内空气采样	54
4.2.1	直接采样	54
4.2.2	浓缩采样	55
4.2.3	采样设备	58
4.2.4	采样点布置	59
4.2.5	采样效率评价	60
4.2.6	采样体积计算及含量表示方法	60
4.3	空气中气态污染物的检测	62
4.3.1	现代仪器分析技术简介	62
4.3.1.1	红外光谱分析	62
4.3.1.2	气相色谱分析	64
4.3.1.3	电位分析	65
4.3.1.4	分光光度分析	66
4.3.1.5	高效液相色谱分析	67
4.3.2	二氧化碳检测	68
4.3.2.1	不分光红外气体分析法	68
4.3.2.2	气相色谱法	69
4.3.2.3	容量滴定法	70
4.3.3	甲醛检测	71
4.3.3.1	电化学分析法	71
4.3.3.2	气相色谱法	72
4.3.3.3	AHMT 分光光度法	74
4.3.3.4	其他方法简介	75
4.3.4	苯、甲苯和二甲苯检测	76
4.3.4.1	苯的气相色谱分析	76
4.3.4.2	甲苯和二甲苯的气相色谱分析	77
4.3.5	总挥发性有机物 (TVOC) 检测	79
4.3.5.1	光离子化法	80
4.3.5.2	热解吸气相色谱法	81
4.3.6	苯并[a]芘——高效液相色谱检测	82
4.3.7	一氧化碳检测	83
4.3.7.1	不分光红外线气体分析法	83
4.3.7.2	电化学法	84
4.3.7.3	气相色谱法	84
4.3.7.4	汞置换法	85
4.3.8	二氧化硫检测	86
4.3.8.1	荧光法	86
4.3.8.2	盐酸副玫瑰苯胺分光光度法	86
4.3.9	二氧化氮检测	89

4.3.9.1	化学发光法	89
4.3.9.2	库仑原电池法	90
4.3.9.3	改进的 Saltzman 法	91
4.3.10	臭氧 (O ₃) 检测	93
4.3.10.1	紫外光度法	93
4.3.10.2	化学发光法	94
4.3.10.3	靛蓝二磺酸钠分光光度法	94
4.3.11	氨气 (NH ₃) 检测	97
4.3.11.1	离子选择电极法	97
4.3.11.2	靛酚蓝分光光度法	98
4.3.11.3	纳氏试剂分光光度法	99
4.3.12	氡 (Rn) 检测	100
4.3.12.1	闪烁瓶法	100
4.3.12.2	双滤膜法	101
4.3.12.3	活性炭盒法	102
4.4	空气中可吸入颗粒物测定	102
4.4.1	撞击式重量法	103
4.4.2	光散射法	104
4.4.3	β 射线法	106
4.4.4	压电晶体振荡法	107
4.5	空气中微生物污染测定	108
4.5.1	自然沉降法	108
4.5.2	撞击法	109
	参考文献	111

第 5 章	室内空气品质的评价	113
5.1	评价标准	113
5.1.1	概述	113
5.1.2	《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325—2010)	115
5.1.3	卫生部颁布的《室内空气质量卫生规范》	115
5.1.4	原国家环保局颁布的《室内环境质量评价标准》	116
5.1.5	《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)	117
5.1.6	我国其他卫生标准	117
5.1.7	国外室内空气质量标准	118
5.1.8	室内热舒适标准简介	121
5.2	评价方法	124
5.2.1	客观评价方法	125
5.2.1.1	达标评价方法	125
5.2.1.2	模糊评价方法	125
5.2.1.3	灰色理论评价方法	125

5.2.1.4	暖体假人评价方法	126
5.2.1.5	计算机模型模拟方法	126
5.2.1.6	综合指数法	128
5.2.2	主观评价方法	129
5.2.2.1	主观评价概述	129
5.2.2.2	嗅觉评价方法	130
5.2.2.3	应用分贝概念的评价方法	131
5.2.2.4	其他主观评价方法	134
5.2.3	室内环境品质的综合评价方法	134
5.3	评价程序	137
5.3.1	室内空气品质现状评价的程序	137
5.3.2	室内装修中空气品质预评价的程序	137
5.4	室内空气污染的健康危险度评估	140
5.4.1	危害鉴定	140
5.4.2	暴露评价	140
5.4.3	剂量-反应关系	143
5.4.4	危险特征分析——患病、死亡数的估算方法	143
参考文献		143

第6章 室内空气污染物的控制..... 145

6.1	污染源的控制	145
6.1.1	减少释放污染物严重的建筑材料或物品的使用	145
6.1.2	在生产过程中通过措施减少建材使用后的污染物的散发	147
6.1.3	在建筑设计或使用过程中通过措施降低建材使用后的污染物的散发	149
6.2	室内的通风与空调	150
6.2.1	通风换气	150
6.2.1.1	通风量	150
6.2.1.2	通风效率	156
6.2.1.3	通风方式	158
6.2.2	空气调节	164
6.2.2.1	空调系统的组成	165
6.2.2.2	空调系统的优化设计	165
6.2.2.3	空调的合理使用	168
6.3	空气净化技术	169
6.3.1	吸附技术	169
6.3.1.1	吸附净化原理	169
6.3.1.2	吸附剂	170
6.3.1.3	吸附净化器	172
6.3.1.4	影响气体吸附的因素	175
6.3.1.5	吸附理论	176

6.3.2	光催化技术	181
6.3.2.1	光催化净化原理	181
6.3.2.2	光催化剂	182
6.3.2.3	光催化设备	184
6.3.2.4	影响光催化效果的因素	186
6.3.2.5	光催化反应动力学	190
6.3.3	负离子净化技术	191
6.3.3.1	空气离子的基本概念	191
6.3.3.2	负离子净化的原理	192
6.3.3.3	负离子的健康效应	192
6.3.3.4	负离子发生设备	193
6.3.3.5	影响负离子净化效果的因素	195
6.3.4	臭氧净化技术	195
6.3.4.1	臭氧净化的原理	195
6.3.4.2	臭氧的健康效应	195
6.3.4.3	臭氧发生装置	196
6.3.4.4	影响臭氧净化效果的因素	196
6.3.5	过滤净化技术	197
6.3.5.1	纤维过滤原理	197
6.3.5.2	纤维滤料的种类与性能	198
6.3.5.3	过滤设备	199
6.3.5.4	影响过滤器效率的主要因素	202
6.3.6	静电净化技术	203
6.3.6.1	静电净化原理	203
6.3.6.2	静电净化装置	204
6.3.6.3	影响静电净化效率的主要因素	206
6.3.7	低温等离子体净化技术	207
6.3.7.1	低温等离子体净化原理	207
6.3.7.2	低温等离子体净化装置	208
6.3.7.3	影响低温等离子体净化效果的因素	210
6.3.8	组合技术	212
6.3.8.1	吸附与光催化技术组合	212
6.3.8.2	光催化与臭氧技术组合	212
6.3.8.3	光催化与等离子技术组合	213
参考文献		213

第7章 建材有害物质的限量与测定..... 216

7.1	建材有害物质的限量	216
7.1.1	人造板及其制品中甲醛释放限量	217
7.1.2	溶剂型木器涂料中有害物质限量	217

7.1.3	内墙涂料中有害物质限量	218
7.1.4	胶黏剂中有害物质限量	219
7.1.5	木家具中有害物限量	219
7.1.6	壁纸中有害物质限量	220
7.1.7	聚氯乙烯卷材地板中有害物质限量	221
7.1.8	地毯、地毯衬垫及地毯用胶黏剂中有害物质释放限量	222
7.1.9	混凝土外加剂中氨的释放限量	222
7.1.10	建筑材料放射性核素限量	222
7.2	常用的检测方法介绍	223
7.2.1	穿孔萃取法测量建材中甲醛释放量	223
7.2.1.1	测量原理	223
7.2.1.2	测量前的准备	224
7.2.1.3	操作过程	225
7.2.2	干燥器法测量建材中甲醛释放量	227
7.2.2.1	测量原理	227
7.2.2.2	测量过程	227
7.2.2.3	干燥器法测量结果的影响因素	228
7.2.3	气候箱法测量建材中甲醛释放量	228
7.2.3.1	测试原理	228
7.2.3.2	测试条件	229
7.2.3.3	测试过程	229
7.2.3.4	影响因素分析	229
7.2.3.5	中美气候箱法测量甲醛释放量的方法比较	230
7.2.4	色谱法	230
7.2.5	可溶性重金属的检测方法	230
7.2.5.1	测试原理	230
7.2.5.2	测试准备	231
7.2.5.3	测试	232
7.2.5.4	结果处理	232
7.2.6	混凝土外加剂中释放氨的蒸馏滴定测定法	232
7.2.6.1	原理	232
7.2.6.2	测试准备	233
7.2.6.3	测试过程	233
7.2.6.4	结果计算	233
7.2.7	建材中有机挥发物释放量测定的非标准方法	233
7.2.7.1	原理	234
7.2.7.2	测试装置	234
7.2.7.3	测试流程	236
7.2.7.4	测试举例	236
	参考文献	238

第 1 章 概 论

人类社会在进入信息时代以后，生活的转型使得人们停留在室内的时间越来越长。据统计，人的一生约有 80% 以上的时间在室内度过^[1]。室内是人们生活、工作和社交的主要场所。因此，室内环境是否有污染、室内空气质量如何等问题越来越引人关注。

1.1 室内空气质量的概念

室内空气质量，也称室内空气品质（Indoor Air Quality），简称 IAQ，是指居室空间的空气质量，包括空气的温度、湿度、洁净度、新鲜度，这其中又以洁净度为最重视的指标，洁净度是指空气中有害物质的含量，如 CO₂、可吸入颗粒、VOC 及细菌等。

室内空气质量的概念是 20 世纪 70 年代后期在一些发达国家出现的。当时出于节约能源的考虑，建筑物的气密性大大提高，由此带来室内通风率不足，致使室内空气污染事件频频发生。使得人们开始深入研究和探讨室内空气质量对人类健康的影响，污染物的来源及可行的解决途径等。

近年来，随着我国经济建设的迅猛发展以及人民生活水平的迅速提高，百姓购房、居室装饰装修已成消费热点。但是，市场上装饰装修材料的质量良莠不齐，有些装饰装修材料的有害物质含量没有得到有效控制，消费者的室内环境意识淡薄，给室内空气带来了一定程度的污染，由此所诱发的各种疾病和室内环境案件，严重影响了人民群众的身心健康和正常的生活。室内空气质量的检测与控制到了非重视不可的地步。

1.2 室内空气质量检测

室内空气质量检测就是用科学的方法连续或间断地测量能描述空气质量的因子，为室内空气质量的评价及控制提供依据的科学活动。检测的数据既要准确，又要具有代表性、完整性和可比性，还要有良好的重复性和再现性^[2]。

我国的《室内空气质量标准》规定的检测项目由与人体健康有关的物理、化学、生物和放射性污染物等因子组成，包括温度、相对湿度、空气流速、新风量、二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、二氧化碳、氨、臭氧、甲醛、苯、甲苯、二甲苯、苯并[a]芘、可吸入颗粒、总挥发性有机物、细菌总数及氡等 19 项指标^[3]。该标准由国家质量监督检验检疫总局标准委员会组织卫生部和原国家环保局根据国务院指示于 2001 年 12 月着手制定，2002 年 11 月 19 日正式发布，2003 年 3 月 1 日正式实施，目的是对室内空气质量进行全面控制，保护人们的健康不受损害。该标准的实施为广大消费者解决室内空气污染问题提供了有力武器。

《室内空气质量标准》规范了室内空气质量的检测方法，其中各种化学污染物的检验方法等效采用了已经颁布的国家标准和国外标准，具体参见本章 1.5 节。

实际上，能够用于检测室内空气污染物的方法有很多，国内目前的检测技术条件可以满足常见污染物如 NO_2 、 CO_2 、 SO_2 、 HCHO 、细菌总数等的检测要求，但对于某些污染物的检测，如可挥发性有机物，还存在一些问题。目前国内对挥发性有机物的定性、定量主要是采用仪器法，如色谱仪或更高级的色谱质谱联用仪，还有以传感器技术为基础的各种测定仪，但这些仪器要么操作复杂，检测过程繁琐，要么检测数据误差较大，还有待进一步地研究与完善。

1.3 室内空气质量控制

室内空气质量的控制包含两个方面：一是通过控制进入居室的装饰装修材料、建筑材料以及人员活动等，从源头上减少或消除污染物，保证居室的空气质量达到标准要求；二是对建成建筑采用通风及空气净化等手段降低室内空气的污染物含量。

由于室内空气污染物的来源复杂，对不同污染源的控制方法也就不同。对于一般建筑，主要通过三种方法进行源头控制：一是少用释放污染物严重的建筑材料或物品；二是在建材的生产过程采取措施，降低其在使用时的污染物散发量；三是在建筑设计、建材及设施使用过程中采取措施抑制污染物散发。

通风是用室外新鲜或未被污染的空气来置换或稀释室内被污染或不新鲜空气的过程。其主要目的是提供呼吸所需的新鲜空气，稀释室内污染物或气味。

由于室内空气污染问题日益严重，对各类室内空气净化技术的研究与开发日益迅速。常用的空气净化技术有吸附、机械过滤和静电过滤。现有的空调系统一般都装有吸附和过滤装置。活性炭是常用的吸附剂，其寿命由室内空气中气态污染物的浓度和种类、空气流速、活性炭量及吸附效率等决定。吸附饱和后，需更新或进行解吸处理。因此，光催化氧化等新的有害气体清除技术受到关注。光催化氧化是在光的照射下（如波长 365nm 的紫外线），在催化剂（如二氧化钛）表面将有机物氧化为二氧化碳和水，其有效性已被许多实验证实。在成为适用技术前，还需要对高速气体中低浓度有机物的处理效果、光催化氧化过程中可能产生的副产物、提高催化剂表面的传质效率等方面进行进一步研究。此外，负离子净化技术、臭氧技术以及低温等离子体技术等也逐步受到关注^[4,5]。

1.4 室内空气质量指标

描述室内空气质量的指标包括：物理性指标、化学性指标、生物性指标和放射性指标^[3]。当室内空气的物理性指标不满足人体的舒适性要求，各种化学成分或放射物含量超过规定标准时，室内空气的质量就很差。

1.4.1 物理性指标

描述室内空气质量的物理性参数有空气的温度、湿度、气流速度及新风量等。

1.4.1.1 温度

人类最敏感的是空气温度，它对人体热调节起着主要的作用。温度开始升高时，

机体的第一个适应过程是皮肤末梢毛细血管扩张, 皮肤温度升高, 与环境的辐射和传导对流散热量增加。气温继续增加时, 汗腺的活动显著增加, 当气温在 33°C 以上时, 出汗几乎成为唯一的散热方式^[2]。相反, 当气温降低时, 通过中枢神经系统的调节, 人体皮肤的末梢毛细血管收缩, 血流量减少, 皮肤温度减低, 使辐射、传导及对流散热量均减少。

1.4.1.2 相对湿度

相对湿度是指空气中实际水汽压与同一温度条件下的饱和水汽压之比, 计量单位为百分数(%)。空气的相对湿度影响人体的热平衡和温热感。当空气温度过高和过低时, 相对湿度的影响明显, 但温度适中时, 相对湿度的影响不显著。当环境温度比较高时, 机体主要依靠蒸发散热来维持热平衡, 空气湿度高会妨碍汗液蒸发, 因而破坏人体的热平衡。当环境温度很低时, 空气湿度高可使机体的散热加速, 此时身体的辐射热被空气的蒸汽吸收, 在潮湿的环境中衣服易吸收水分, 其导热性增高, 人体会感到更加寒冷。

1.4.1.3 空气流速

室内空气流速主要指由室内外温差、压差、人工通风、空调、室内热源等引起室内空气流动时的空气速度。空气流速对人体的影响与季节有关。夏季空气的流动可促使人体散热, 使人感到舒适。但是, 当气温高于皮肤温度时, 空气流动使人体从环境吸收的热更多, 则人感到不适。冬季流动的空气加大了人体散热使人感觉更加寒冷, 特别是在低温和高湿的环境中, 过大的空气流速会使人感觉过冷。室内空气的流速以不大于 1m/s 为宜。

1.4.1.4 新风量

新风量是指由室外补给室内的新鲜空气量。目前大多数国家是根据室内 CO_2 的浓度来确定新风量的。 CO_2 无色无味, 但与人的新陈代谢密切相关, 因此被作为室内空气新鲜程度的指标。计算新风量的基础是质量平衡。人每天吸入的空气量约为 10m^3 , 其中 21% 是氧气, 0.032% 是二氧化碳^[2]。在人的呼出气中, 二氧化碳占 4%~5%, 氧气占 15%~16%。一间屋中, 要使二氧化碳的含量限制在 0.1%, 必须保证每人每小时有 30m^3 的新鲜空气。此外, 新风量不仅要考虑人体的生理需要, 也要考虑稀释室内其他的污染物。

1.4.2 化学性指标

1.4.2.1 二氧化碳

二氧化碳是一种无色、无臭的气体, 易溶于水, 也极易被碱液吸收。室内空气中的二氧化碳主要来源于人的呼吸、燃料燃烧、吸烟、生物发酵及植物呼吸等。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中二氧化碳的限值是 0.10%。

1.4.2.2 甲醛

甲醛(HCHO)是一种无色易溶于水的刺激性气体, 其 40% 的水溶液可用做消毒剂(即福尔马林), 此溶液的沸点为 -19.5°C , 在室温下极易挥发, 可经呼吸道吸收, 因此已经被世界卫生组织确定为可疑致癌物。甲醛的来源广泛。室外空气中, 甲醛主要来源于石油、煤、天然气等燃料的燃烧, 润滑油的氧化分解、汽车排放、大气光化学反应。室内空气中的甲醛主要来源于建筑材料、家具、各种黏合剂涂料及合成纺织品等。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中甲醛的限值是 $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.3 苯系物

苯 (C_6H_6) 是一种无色透明油状的液体, 具有强烈的芳香气味, 是室内挥发性有机物之一, 易挥发, 易燃, 不溶于水, 但溶于乙醇、乙醚等许多有机溶剂。各种建筑材料的有机溶剂中存在大量的苯, 比如各种油漆的添加剂和稀释剂, 一些防水材料的添加剂中均含有苯。在日常生活中, 苯也用作装饰材料、人造板家具、黏合剂、空气消毒剂和杀虫剂的溶剂。室内空气质量标准规定的室内空气中苯的限值为 $0.11\text{mg}/\text{m}^3$ 。

甲苯和二甲苯均为无色、有芳香气味、具有挥发性、易燃、燃点低的液体。由于甲苯和二甲苯常被用作建筑材料、装饰材料及人造板家具的溶剂和黏合剂, 新装修的房间中能测出高含量的甲苯和二甲苯。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中甲苯和二甲苯的限值均为 $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.4 总挥发性有机物

挥发性有机化合物 (volatile organic compounds, VOCs) 一般是指沸点在 $50\sim 250^\circ\text{C}$ 的化合物。按其化学结构可分为烷烃、芳烃类、烯烃、卤烃类、酯类、醛类、酮类和其他等 8 类。室内空气中的 VOCs 主要来源于有机溶剂, 如油漆、含水涂料、黏合剂、化妆品、洗涤剂、捻缝胶等; 建筑材料, 如人造、泡沫隔热材料、塑料板材等; 室内装饰材料, 如壁纸、其他装饰品等; 纤维材料, 如地毯、挂毯和化纤窗帘; 办公用品, 如油墨、复印机、打印机等; 燃料和烟叶的不完全燃烧; 人体排泄物; 室外的工业废气、汽车尾气、光化学烟雾等。

总挥发性有机物 (total volatile organic compounds, TVOCs) 是指利用 Tenax GC 或 Tenax TA 采样, 用非极性色谱柱 (极性指数小于 10) 分析, 保留时间在正己烷和正十六烷之间的挥发性有机化合物^[3,6]。随着化学品和各种装饰材料的广泛使用, 室内挥发性有机化合物 (VOCs) 的种类不断增加, 因此用总挥发性有机物 (TVOCs) 作为室内空气质量 (IAQ) 的指示剂, 来评价暴露在 VOCs 环境下产生的健康和舒适效应。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中 TVOCs 限值是 $0.60\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.5 苯并 [a] 芘

苯并 [a] 芘 (benzo [a] pyrene) 为多环芳香烃类化合物。无色至淡黄色、针状、晶体 (纯品), 熔点为 179°C , 沸点为 475°C 。是多环芳烃中毒性最大的一种致癌物。主要来源于含碳燃料及有机物的热解过程。烟气中的悬浮颗粒物上常吸附有苯并 [a] 芘, 随颗粒散布于大气后, 可污染空气、水源和土壤等。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中苯并 [a] 芘的限值为 $1.0\text{ng}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.6 氨气

氨为无色而有强烈刺激气味的气体。目前室内空气中的氨气主要来源于建筑施工中的混凝土防冻剂、室内装饰材料和木制板材。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中氨气的限值是 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.7 二氧化硫

二氧化硫 (SO_2) 是一种具有强烈辛辣刺激气味的无色气体。环境中的 SO_2 主要来源于含硫燃料的燃烧, 如煤和石油; 含硫矿石的冶炼; 化工、炼油和硫酸的生产过程等。我国大多数居民以烧原煤、煤饼、煤球以及蜂窝煤的小煤炉做饭取暖, 因此, 室内空气中的 SO_2 主要来源于煤的燃烧, 另外室内吸烟也是室内 SO_2 的重要来源。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中 SO_2 的限值是 $0.50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.8 二氧化氮

二氧化氮 (NO_2) 是一种红褐色的有特殊刺激性臭味的气体。室外空气中的二氧化氮主要来自于自然界的氮循环过程, 而室内空气中的二氧化氮则主要来自烹调、取暖用燃料的燃烧、室内吸烟及进入室内的车辆废气等。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中二氧化氮的限值是 $0.24\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.9 一氧化碳

一氧化碳是一种无色、无味、无刺激性的有害气体。室内空气中的一氧化碳主要来源于家庭烹饪中燃料的燃烧和吸烟等人为活动, 同时也来源于室外空气, 尤其是位于繁忙交通道路两侧的建筑。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中一氧化碳的限值是 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.10 可吸入颗粒物

可吸入颗粒物是指空气动力学当量直径小于或者等于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物。由于体积小、质量小, 能较长时间地飘浮于空气中, 所以称为飘尘, 因为可进入人体呼吸道, 故称为可吸入颗粒物。

室内空气颗粒物的来源很多, 主要有燃料的燃烧、吸烟、室外和空调系统带入, 二次扬尘等。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中可吸入颗粒物的限值是 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.2.11 臭氧

臭氧 (O_3) 是一种无色有特殊臭味的气体。正常大气中的臭氧含量极少。室内的臭氧主要来源于电视机、复印机、激光印刷机、负离子发生器、紫外灯、电子消毒柜等的使用。 O_3 的毒性主要表现在对呼吸系统的强烈刺激和损伤方面。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中臭氧的限值是 $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.3 生物性指标

室内空气质量标准中规定的室内空气的生物性指标为细菌总数, 用 cfu/m^3 来计量, 即每立方米空气落下的细菌数, 通常用个数表示, 称之为“菌落” (colony forming units, CFU), 是细菌培养后, 由一个或几个细菌繁殖而形成的一细菌集落, 简称 cfu, 并作为室内空气中细菌总数的计量单位。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中细菌总数为 $2500\text{cfu}/\text{m}^3$ 。

1.4.4 放射性指标

氡 (Rn) 是由镭衰变产生的自然界唯一的天然放射性惰性气体。氡无色、无味。空气中氡原子衰变的产物被称为氡子体, 为金属离子。常温下, 氡及子体在空气中能形成放射性气溶胶, 很容易被呼吸系统截留, 并在局部区域不断累积, 长期吸入含氡量高的空气可诱发肺癌。室内氡的来源主要有房基土壤、建筑材料、户外空气、供水及天然气等。我国《室内空气质量标准》中规定的室内空气中氡的标准值为年平均 $400\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

1.5 室内空气质量标准

我国《室内空气质量标准》中的主要控制指标如表 1-1 所示, 规定的各指标的检测方法如表 1-2 所示^[3,6]。

表 1-1 《室内空气质量标准》中主要控制指标^[3]

序号	参数类别	指标	单位	标准值	备注
1	物理性	温度	℃	22~28 16~24	夏季空调 冬季采暖
2		相对湿度	%	40~80 30~60	夏季空调 冬季采暖
3		空气流速	m/s	0.3 0.2	夏季空调 冬季采暖
4		新风量	m ³ /(h·人)	30	
5	化学性	二氧化硫	mg/m ³	0.5	1h 均值
6		二氧化氮	mg/m ³	0.24	1h 均值
7		一氧化碳	mg/m ³	10	1h 均值
8		二氧化碳	%	0.10	日均值
9		氨(NH ₃)	mg/m ³	0.20	1h 均值
10		臭氧(O ₃)	mg/m ³	0.16	1h 均值
11		甲醛	mg/m ³	0.10	1h 均值
12		苯	mg/m ³	0.11	1h 均值
13		甲苯	mg/m ³	0.20	1h 均值
14		二甲苯	mg/m ³	0.20	1h 均值
15		苯并[a]芘	ng/m ³	1.0	1h 均值
16		可吸入颗粒 PM ₁₀	mg/m ³	0.15	日均值
17		总挥发性有机物	mg/m ³	0.60	8h 均值
18	生物性	细菌总数	cfu/m ³	2500	依据仪器定
19	放射性	氡	Bq/m ³	400	年平均值

表 1-2 室内空气质量检测方法^[3]

序号	检测项目	检测方法	来源
1	二氧化硫	甲醛溶液吸收-盐酸玫瑰苯胺分光光度法	GB/T 16128
2	二氧化氮	改进的 Saltzman 法	GB 12372
3	一氧化碳	(1)非分散红外法 (2)不分光红外线气体分析法 (3)气相色谱法 (4)汞置换法	GB 9801 GB/T 18204.23
4	二氧化碳	(1)不分光红外线气体分析法 (2)气相色谱法 (3)容量滴定法	GB/T 18204.24
5	氨	(1)靛酚蓝分光光度法、纳氏试剂分光光度法 (2)离子选择电极法 (3)水杨酸分光光度法	GB/T 18204.24 GB/T 14669 GB/T 14679
6	臭氧	(1)紫外光度法 (2)靛蓝二磺酸钠分光光度法	GB/T 15438 GB/T 18204.27
7	甲醛	(1)AHMT 分光光度法 (2)酚试剂分光光度法、气相色谱法 (3)乙酰丙酮分光光度法	GB/T 16129 GB/T 18204.26 GB/T 15516
8	苯	气相色谱法	GB/T 11737 GB/T 18883
9	甲苯、二甲苯	气相色谱法	GB/T 11737 GB/T 14677
10	苯并[a]芘	高效液相色谱法	GB/T 15439
11	可吸入颗粒物	撞击式称重法	GB/T 17095
12	TVOC	气相色谱法	GB/T 18883