

隔离病房设计原理

许钟麟 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

2003年发生“非典”之前,人们对传染病的印象比较淡薄,国内外关于传染病隔离病房的研究与建设几近空白。那场“非典”之后,我国学者特别是本书作者对隔离病房进行了研究(本书就是其成果——动态隔离新理念的总结),并从影响隔离效果的各因素分析中得出可以用于指导设计的具体原则和措施,突破了隔离病房要高负压、密封门和全新风的传统认识,为科学、简便、经济地建设隔离病房提供了依据。

本书既是科研专著,也是实用的设计参考书,可供设计人员、研究人员、工程建设人员、医疗行政和病房管理人员使用,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

隔离病房设计原理 / 许钟麟著. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-017556-5

I. 隔… II. 许… III. 隔离(防疫)-病房-建筑设计 IV. TU 246.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071978 号

责任编辑:杨家福 / 责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年7月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年7月第一次印刷 印张:11 3/4

印数:1—3 000 字数:226 800

定价:50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(VA 03)

前 言

我从事空气洁净与污染控制技术的研究已 40 余年,在 2003 年以前,从未想过要搞负压隔离病房的研究。2003 年的那场“非典”以后,负压隔离病房这一问题才引起了我的注意:隔离病房压差的作用到底有多大?开门后的对流是不是有影响?于是,我们有意识地在做日常检测业务时测了一下压差和门缝风速的关系、开门后气流的流动状况。当这些数据单独呈现在我们面前时,实在是杂乱无章。可是当我们掌握了一定量的数据,并把它们按某种要求整理后,在理论分析时一种“动态隔离”的新理念就在自己脑海里形成了。

2004 年下半年作者参加了原中国卫生经济学会医疗卫生建筑与装备专业委员会组织的赴港参观考察。参观的医院隔离病房差不多都是应急而建的,个别新建的以及开展实验用的实验病房的建设依据基本上都是参照美国疾病预防控制中心(CDC)1994 年的有关文献中的相关资料。后来我们又考察了我国台湾省的一些医院,其基本情况也大体如此。

我们看到的和在国内文献上查到的关于负压隔离病房不外乎都是采用高负压、密闭门和全新风,似乎只有这些措施才能达到隔离之效。这和我们上面提到的隔离新理念相差颇大。于是,我们决定通过实验求证。

在广东申菱空调公司的支持下,正式建起了实验室,并以动态隔离理念为线索,开展了研究。至 2006 年初研究工作结束,研究成果(9 篇论文待陆续发表)完全证实了动态隔离的必要性和可行性。为了推广这一研究成果,建立更科学的隔离病房,作者撰写了本书。

作者相信,既然我国发生了“非典”,给了我们认识隔离病房更多的机会,我们就应该得到属于我们自己的体会、经验,直至理论和创新。我们一定要认真地、科学地进行探索和总结,这就是作者写这本书的动机。

既然是探索,难免有偏差,甚至粗糙,诚恳希望广大读者批评指正。

最后,我要向和我一道参加检测、实验和提供文献的同事表示衷心的感谢。

目 录

前言	
第一章 导论	1
参考文献	4
第二章 感染的传播	5
2.1 传染性疾病的分类	5
2.2 感染传播的途径	5
2.3 空气传播	6
2.3.1 空气传播是医院感染的主要途径,是隔离病房的主要预防对象	6
2.3.2 空气传播的严重性	7
2.4 气溶胶和飞沫	8
2.4.1 气溶胶	8
2.4.2 飞沫	8
2.4.3 打喷嚏产生的飞沫和气溶胶	9
2.4.4 微生物气溶胶的尺度	11
2.4.5 飞沫和气溶胶的运动	14
2.4.6 飞沫和气溶胶在传播方式上的差异	16
2.5 影响空气传播感染的因素	17
参考文献	17
第三章 隔离	19
3.1 隔离的概念	19
3.1.1 隔离的分类	19
3.1.2 屏障隔离	19
3.1.3 压差隔离	21
3.1.4 气流隔离	22
3.1.5 缓冲隔离	24
3.2 两次隔离	24
3.2.1 一次隔离	24
3.2.2 二次隔离	28
3.2.3 静态隔离和动态隔离	28
参考文献	28
第四章 压差	30
4.1 压差的物理意义	30

4.2	压差的作用	30
4.2.1	压差是实现静态隔离的主要措施	30
4.2.2	压差的时间特性	32
4.2.3	压差抵消污染传播的能力	33
4.3	压差的确定	38
4.4	压差风量的确定	41
4.5	压差的表示	44
	参考文献	50
第五章	门的卷吸作用和人的裹带作用	51
5.1	门的卷吸作用	51
5.2	人的裹带作用	52
5.3	门的动特性	53
5.3.1	门动特性实验	53
5.3.2	门开关时逆流的可视化	54
5.3.3	压差和逆流风速的关系	56
5.3.4	压差和开门时间的关系	57
	参考文献	58
第六章	温差	59
6.1	室内外温差的作用	59
6.2	温差对流换气量平衡方程	66
6.3	温差对流对污染交换量的影响	68
6.3.1	温差和污染交换量的关系	68
6.3.2	换气次数对温差的影响	70
6.3.3	实验结果	72
6.4	垂直温差的作用	74
	参考文献	75
第七章	缓冲室	76
7.1	负压隔离病房缓冲室	76
7.1.1	基本模式	76
7.1.2	污染量分析	76
7.1.3	隔离系数	82
7.1.4	影响负压室缓冲室作用的因素	83
7.1.5	实验验证	85
7.2	正压隔离病房缓冲室	97
7.2.1	基本模式	97

7.2.2	侵入污染对洁净度的影响	98
7.2.3	正压隔离病房缓冲室的设计	100
	参考文献	101
第八章	上送下排(回)——隔离病房气流组织的基本原则	102
8.1	概述	102
8.2	回风口速度场	103
8.3	送风口的速度衰减	104
8.4	跟随速度与沉降速度	111
8.5	速度的合成和涡流	112
	参考文献	113
第九章	隔离病房送、排(回)风口的位置	114
9.1	基本原则	114
9.2	主流区的应用	116
9.3	相关的评价指标	121
9.3.1	病人口部正上方污染物浓度衰减为病人口部呼吸区浓度 1% 时的无量纲高度	121
9.3.2	在给定高度下污染物的室平均无量纲浓度	121
9.3.3	全室通风效率	121
9.3.4	局部吹风不满意率 PD	121
9.4	数值模拟结果	122
9.4.1	单床隔离病房的几何模型	122
9.4.2	单床模拟结果	123
9.4.3	实验验证	127
	参考文献	133
第十章	换气次数	134
10.1	概述	134
10.2	隔离病房的两种系统模式	135
10.2.1	循环风系统	135
10.2.2	全新风系统	136
10.3	室内发菌量的确定	137
10.3.1	一般病人的发菌量	137
10.3.2	呼吸系统发菌量分析	137
10.4	室内菌浓度标准的确定	140
10.5	换气次数计算	142
10.5.1	以最小的飞沫核即 $0.075\mu\text{m}$ 为标准计算	142

10.5.2	以最多的飞沫核即从 $10\mu\text{m}$ 蒸发后的 $1.6\mu\text{m}$ 为标准计算	143
10.5.3	以室内普通微生物微粒为标准计算	143
10.5.4	以环境标准计算	143
	参考文献	144
第十一章	循环风的应用	145
11.1	一般认识	145
11.2	高效过滤器的作用	147
11.2.1	高效过滤器滤菌效率	147
11.2.2	实验验证	148
11.3	负压高效排风无泄漏装置	153
11.3.1	无泄漏装置的重要性	153
11.3.2	动态气流密封负压高效排风装置的原理	155
11.4	动态气流密封的理论分析	160
11.4.1	物理模型	160
11.4.2	计算	160
11.5	安全维护	162
11.6	经济性分析	163
	参考文献	164
第十二章	隔离病房设计要点	165
12.1	隔离病房分类	165
12.2	对平面布局的要求	166
12.3	对病房建筑的要求	169
12.4	对净化空调系统的要求	170
12.5	对室内气流组织的要求	174
12.6	对压差设置的要求	177
12.7	对部分设计参数的要求	179
	参考文献	179

第一章 导 论

2002年11月6日,首例严重急性呼吸综合症(SARS)患者在广东省佛山市被发现,2003年2月11日,第一份关于疫情暴发的正式报告提交到世界卫生组织,那时已有305人受到感染和5人因此死亡。截止到2003年8月7日,短短的6个月的时间内,疫情迅速扩散到全球34个国家和地区,累计报告疑似病例8437例,916人死亡。那时,广大群众的行动自由受到限制,经济贸易活动受到严重打击,仅就远东地区而言,初步估计经济损失达到300亿美元^[1]。

从SARS(在我国被称为非典型肺炎,简称非典)的暴发流行反思医院感染控制,可以认为对传染疾病认识有误区:

- (1) 认为经济发达可促进传染病自然消亡,而现在威胁人类健康的主要是心、脑血管疾病、肿瘤和糖尿病。
- (2) 传染病最终可被生物科技所征服。
- (3) 漠视传染病的长期存在和成为人类第一杀手的趋势。

表1.1说明,30余年来在新发现的传染病中很多的是最严重的空气传染的疾病,但却未能引起广泛的、足够的重视。

表 1.1 1973 年以来发现的新传染病(据徐秀华)

年份	病原体	所致疾病
1973	轮状病毒	世界范围婴儿腹泻的主要原因
1975	细小病毒 B19	5号病,慢性溶血性贫血中的再障危象
1976	隐孢子虫	隐孢子虫病,急性小肠结肠炎
1977	埃博拉病毒	埃博拉出血热
1977	肺军团菌	军团病
1977	汉坦病毒	肾综合症出血热
1977	空肠弯曲杆菌	空肠弯曲杆菌肠炎
1977	丁型肝炎病毒	丁型肝炎
1980	人嗜 T 淋巴细胞病毒 I 型	T 细胞淋巴瘤/白血病
1981	金黄色葡萄球菌产毒株	中毒性休克综合症
1982	大肠杆菌 O157:H7	出血性结肠炎
1982	伯氏疏螺旋体	莱姆病
1982	人嗜 T 淋巴细胞病毒 II 型	毛细胞白血病

续表

年份	病原体	所致疾病
1983	人类免疫缺陷病毒	艾滋病
1983	幽门螺杆菌	消化性溃疡病
1986	环孢子球虫	顽固性腹泻
1988	人疱疹病毒 6 型 (HHV-6)	突发性玫瑰疹
1989	查菲氏欧利希氏体	人欧利希氏体病
1989	丙型肝炎病毒	丙型肝炎
1990	戊型肝炎病毒	戊型肝炎
1992	巴尔通杆菌	猫抓病, 杆菌性血管瘤病
1992	O139 群霍乱弧菌	O139 霍乱
1993	汉坦病毒分离株	汉坦病毒肺综合症
1995	庚型肝炎病毒	庚型肝炎
1995	Hamdra 病毒	TTV 肝炎
1997	朊毒体 (prion)	人类疯牛病
1997	输血传播病毒 (TTV)	肝炎
1998	尼派病毒	脑炎、膜脑炎
2001	汉塔病毒突变型	肺综合症积水病
2001	阿萨希丝孢霉菌	阿萨希丝孢霉菌病
2003	SARS 相关冠状病毒	传染性非典型肺炎

因此,对公共卫生防疫项目的投入锐减,全国传染病院数量减少,设备陈旧,特别是没有称得上真正是隔离病房的传染病房。就是国外,例如美国,大部分传染病医院在 20 世纪 50 年代即被关闭。

在医护人员中,对灭菌的观念虽有所增强,但对隔离的意识则大大的削弱,对来自空气的传播感染已失去戒心或非常轻视。结果不仅使对传染病医疗卫生方面科研工作薄弱,在隔离病房建设方面的科研工作则完全空白。

于是在我国被称为“非典”传染病的暴发初期,最重要而紧迫的任务是要尽快将确诊的和疑似的病人安置在隔离病房内,避免交叉感染。但是由于没有现成的标准的隔离病房,只能首先宣布一些原则性规定,强制或建议采取一些临时紧急措施。

2003 年 4 月,世界卫生组织 WHO 在其修订的《医院 SARS 感染控制导则》中对 SARS 病房给出了关于负压、有卫生设施的单间、独立送排风等原则性建议。

我国建设部办公厅、卫生部办公厅 2003 年 4 月 30 日向各省、自治区、直辖市建委、卫生局及有关部门发出《关于做好建筑空调通风系统预防非典型肺炎工作的

紧急通知》，要求在非典型肺炎收治、隔离、观察以及发现有非典型肺炎病人的场所，一律严禁使用中央空调，以阻断非典型肺炎病毒的传播途径。2003年5月5日卫生部公布的《传染性非典型肺炎医院感染指导原则(试行)》再次强调：医院在易于隔离的地方设立相对独立的发热门诊(急)诊、隔离留观室，指定收治传染性非典型肺炎的医院设立专门病区，室内与室外自然通风对流，自然通风不良者则必须安装足够的通风设施(如排气扇)，禁用中央空调。同月又提出了《收治传染性非典型肺炎患者医院建筑设计要则》，做了一些最基本的原则性规定。同时发布的还有我国建设部、卫生部、科技部联合印发的《建筑空调通风系统预防“非典”确保安全使用的应急管理措施》。

另外，要求采取由普通病房改建隔离病房的措施。诸如天津第一中心医院、北京中日友好医院和香港8家医院(伊丽莎白医院、威尔斯亲王医院、东区尤德夫人那打素医院、玛嘉烈医院、屯门医院、雅丽氏何妙龄那打素医院、联合医院和广华医院)等都进行了这种局部改造甚至是大规模的整体改建(有的改建了而未赶上使用)。当时，我国对隔离病房有最迫切的要求，而隔离病房对其建设的迫切要求又是：

- (1) 保护患者之外的病人、医护人员不受传染。
- (2) 保护室外环境不受污染。
- (3) 保护患者之间不发生交叉感染。

但实际情况是，“非典”不仅危及病人，而且在病房中、病区内也危及医护人员，北京及香港地区人员感染率接近或超过20%，台湾地区高达30%。这表明，病房内的气流组织效果不佳，根本无法迅速、有效地将污染的空气排至室外，保护医护人员的安全。所以，医院内控制空气途径感染成为当时首要矛盾，而通风净化系统成为传染性隔离病房改造、新建的核心。

由于没有合乎要求的隔离病房，如前所述，我国大陆地区、香港和台湾地区以及其他国家纷纷将普通病房改建成隔离病房，从作者看到的一些实例看，这些病房根本不符合传染控制的基本概念。

2003年为贯彻《突发公共卫生事件应急条例》，各地级市均要改建扩建传染病医院、后备医院或传染病区，为此，我国国务院颁布了第376号令。于是，在2004年下半年各省级城市纷纷新建公共卫生中心或传染病医院，于是隔离病房建设出现了高潮。《传染病医院建筑设计规范》、《传染病医院施工及验收规范》也在制订之中。于是，如何以最有效控制的理念与技术措施建设隔离病房成为我们面临的重大课题。

针对这一状况，作者所在的中国建筑科学研究院空气调节研究所对以SARS等为代表的空气传播传染病负压隔离病房进行了科学研究。在新传染病不断出现、

旧传染病复燃的今天,探讨传染病隔离病房的设计问题,显然其意义十分重大。

本书是作者对自己应用空气洁净技术原理首次涉足隔离病房研究的成果的初步小结,针对隔离病房设计中出现的“高负压、密封门、全新风”的不完全认识提出了“动态隔离”的新理念。早期理论性研究成果已用于指导开展“隔离病房隔离效果的研究”这一课题,部分成果已为《传染病医院建筑设计规范》采纳。抛砖以求引玉,以期对隔离病房隔离原理的研究有更大的拓展。

参 考 文 献

- [1] WHO, Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS): Status of the outbreak and lessons for the immediate future, 20 May 2003

第二章 感染的传播

本章感染的传播并不是一个纯医学的命题,感染传播的机理和途径是研究隔离病房隔离原理和措施必须首先要了解的问题,是建立隔离病房设计原理的基础。如果将本章内容看成仅仅是介绍相关的知识那就错了,本章的目的是要从工程学的角度分析这个原本是纯医学的命题。

2.1 传染性疾病的分类

根据 2004 年 12 月 1 日起实施的《中华人民共和国传染病防治法》的规定,传染病分为甲类、乙类和丙类。

甲类传染病是鼠疫、霍乱。

乙类传染病是指传染性非典型肺炎、艾滋病、病毒性肝炎、脊髓灰质炎、人感染高致病性禽流感、麻疹、流行性出血热、狂犬病、流行性乙型脑炎、百日咳、白喉、新生儿破伤风、猩红热、布鲁氏疾病、淋病、梅毒、钩端螺旋体病、血吸虫病、疟疾。

丙类传染病是指流行性感冒、流行性腮腺炎、风疹、急性出血性结膜炎、麻风病、流行性和地方性斑疹伤寒、黑热病、包虫病、丝虫病以及除霍乱、细菌性和阿米巴性痢疾、伤寒和副伤寒以外的感染性腹泻病。

该规定还明确规定,对乙类传染病中传染性非典型肺炎、炭疽中的肺炭疽和人感染高致病性禽流感,采取甲类传染病的预防、控制措施。其他乙类传染性传染病和突发原因不明的传染病需要采取甲类传染病的预防、控制措施的,由国务院卫生行政部门及时报经国务院批准后予以公布、实施。

2.2 感染传播的途径

关于疾病感染的传播要有三个条件:传染的微生物源、易感人群、传播途径。

关于第三个条件即传播途径,总起来看只有两大类:接触传播,包括血液传播(如输血、注射、划伤、创伤等所引起)、体液传播(如性生活、接吻、哺乳等所引起)、食入传播(如食入不洁食品、饮用不洁水所引起)、虫媒传播(如虫叮,在皮肤上有虫爬过划伤所引起);来源于空气传播的接触传播。后者是指如果空气消毒不彻底,微生物气溶胶沉积到身上、手上或其他手可触及的表面上,再通过接触易感部位同样

也可以发生感染。Willam 有句名言：“凡能经空气传播的也能经接触传播^[1]。”

2.3 空气传播

2.3.1 空气传播是医院感染的主要途径,是隔离病房的主要预防对象

全球有 41 种主要传染病,其中经空气传播的就达 14 种,在各种具体途径中占首位。全球因微生物气溶胶引起呼吸道感染的占感染疾病总数的 20%。我国呼吸道感染占医院感染总数的 23.3%~42.1%,居各种具体感染途径之首^[2]。

通过空气传播呼吸道感染的病原体有 30 多种,具体如下:

细菌类:如肺炎球菌、大肠埃球菌、绿脓杆菌、克雷伯氏杆菌、沙雷氏杆菌、沙门氏杆菌、军团杆菌、结核杆菌、金黄色葡萄球菌、肠链球菌等;

真菌类:如烟曲霉菌、根霉菌、毛霉菌、白色念珠菌、组织胞浆菌等;

病毒类:如冠状病毒、流感病毒、麻疹病毒、带状疱疹病毒、腮腺炎病毒、天花病毒、水疱病毒、出血热病毒、柯萨奇病毒;

立克次氏体:如 Q 热;

还有支原体、衣原体等。

呼吸道感染的最严重病例莫过于肺结核。早在 1994 年美国疾病预防控制中心(CDC)的《卫生保健设施中防止结核分支杆菌传播指南》^[3]就指出:“新的肺结核感染很快发展成为活动性肺结核,与该病突发有关的死亡率很高(在 43%~93%之间)。此外,从诊断到死亡的时间很短,时间间隔的中值为 4~16 周。”

据 2004 年 6 月 29 日我国国务院新闻发布会宣布,我国目前有肺结核病人约 450 万,其中传染性肺结核病人约 150 万人,居全球第二位。75%的肺结核病人年龄在 15~45 岁之间,每年约有 145 万新发病例,每年因结核病而死亡人数达到 13 万,大大超过因其他传染病死亡人数的总和。

又据 2006 年 2 月 13 日报载,2005 年全国共报告法定传染病 4428548 例,死亡 13263 人,报告发病率为 338.70/10 万,死亡率为 1.01/10 万,病死率为 0.30%。与 2004 年相比,发病率上升了 9.77%,死亡率上升了 81.92%。

2005 年全国共报告甲、乙类传染病 3508114 例,死亡 13185 人,发病率为 268.31/10 万,死亡率为 1.01/10 万,病死率为 0.38%,与 2004 年相比,发病率上升了 9.77%,死亡率上升了 83.31%。报告发病数居前五位病种依次为肺结核、乙型肝炎、痢疾、淋病、梅毒,占发病总数的 85.66%。死亡数居前五位病种依次为肺结核、狂犬病、艾滋病、乙型肝炎、新生儿破伤风,占死亡总数的 89.40%。

就医院感染来说,传染性肺结核也是空气传播的主要控制对象之一。

2.3.2 空气传播的严重性

空气传播也就是呼吸道感染的严重性在于以下几方面:

1) 暴发性——在短时间内,能造成大量人群感染,例如 1976 年发生在美国的军团菌感染使 182 人肺部感染,导致 29 人死亡。

2) 感染面积大——造成全国全球大流行,例如历次流感大流行。

3) 感染剂量特别低——感染剂量大大低于其他感染传播途径,如呼吸道内沉着 1 个 Q 热立克次氏体就可以发生感染;食入兔热杆菌要多到 1 亿个才能使人感染,吸入 10~ 50 个兔热杆菌,就会发病;又如腺病毒的呼吸道半数感染剂量也仅仅是组织培养半数感染剂量的一半。试验还表明,如果延长吸入时间,虽然吸入量超过了最小感染量的许多倍,仍无感染作用。所以,控制感染的要求不仅像美国疾病预防控制中心(CDC)在其防止结核在卫生保健设施中传播的指南中所说的是“防止传播和降低传染性飞沫核的浓度”,而且尤其要控制的是起感染作用的病毒剂量。应该特别强调的是,开始暴露时空气中的病毒浓度起着主要作用。

4) 交叉性,如沙门氏菌为消化道感染菌,却在小儿病房发现呼吸道感染病例;虫媒病毒中的委内瑞拉马脑炎病毒、黄热病病毒等可通过呼吸道感染;肝炎病毒、梅毒亦可由高速旋转的牙钻产生的微生物气溶胶感染他人^[4]。

又如在对一新生儿病房为期 11 个月的传染病调查中发现 7 次鼠伤寒沙门氏菌(噬菌体 2 型)胃肠炎的暴发流行,其传染的暴发不是来自污染的食物,而是来自吸尘器收集袋中受该菌污染的尘埃,最后一例发生后的 10 个月在尘埃中还分离出鼠伤寒沙门氏菌。

过去认为麻疹是由飞沫液滴引起的面对面直接接触传染的疾病,而美国密执安州某医院儿科诊室在一次麻疹暴发流行中,发现受感染的 4 名幼儿中有 3 人都没有这种直接接触史,原来是患儿咳嗽,每分钟可排出 144 个感染单位的病毒颗粒,可能由此引起空气感染^[5]。

甚至连主要通过消化道感染的乙型肝炎病毒,都有空气传播感染的证据,所以认为病毒携带者通过其唾液飞沫可比手的接触更易造成乙肝病毒对环境的污染。空气样本中的病毒阳性检出率见表 2.1^[5]。

表 2.1 公共场所空气样本中 HBsAg 检出情况

采样点	样本数	阳性样本数	阳性率%	采样点	样本数	阳性样本数	阳性率%
医院门诊	10	3	30	候车室	8	2	25
卡拉 OK 厅	8	2	25	郊区野外	5	0	0

2.4 气溶胶和飞沫

2.4.1 气溶胶

气溶胶是指含有分散相固态或液态悬浮微粒的空气介质,是一种分散体系。从气溶胶力学角度考察,其大小可为 $10^{-7} \sim 10^{-1} \text{cm}$ ^[6],但通常是指 $10^{-7} \sim 10^{-2} \text{cm}$ 。如果上述微粒是或含有微生物,即为微生物气溶胶。

医院内可产生气溶胶和微生物气溶胶的操作有支气管镜检查、雾化吸入、气管切开和插管、吸痰、引流、尸检、镜涂片造成液丝断裂、吸管排液时的飞溅或产生的气泡、拔出注射针头的颤动、打开培养皿盖使盖内有传染性的凝结水薄膜破裂。

2.4.2 飞沫

病人讲话、咳嗽和打喷嚏时不仅产生气溶胶,还产生飞沫,特别是打喷嚏,情形如图 2.1 所示^[7]。



(a) 讲话



(b) 咳嗽



(c) 喷嚏

图 2.1 病人讲话、咳嗽和打喷嚏的情景

关于飞沫的界定比较乱,有人分为大飞沫、飞沫,有人分为飞沫($5\sim 10\mu\text{m}$)、液滴($> 10\mu\text{m}$),有人分为小飞沫和大飞沫,有人分为飞沫、气溶胶。本书按气溶胶定义,一般将粒径大于 $100\mu\text{m}$ 、不能在空气中悬浮很久的微粒称为飞沫,而比此小的微粒和飞沫经蒸发剩下的飞沫核,则称为气溶胶。飞沫落到被褥、衣服和地面上,干燥后由于抖动、清扫又将带菌灰尘扬起,成为再生微生物气溶胶。

2.4.3 打喷嚏产生的飞沫和气溶胶

图 2.2 是打喷嚏产生飞沫(图中的大飞沫)和气溶胶(图中的小飞沫)的情况^[8]。

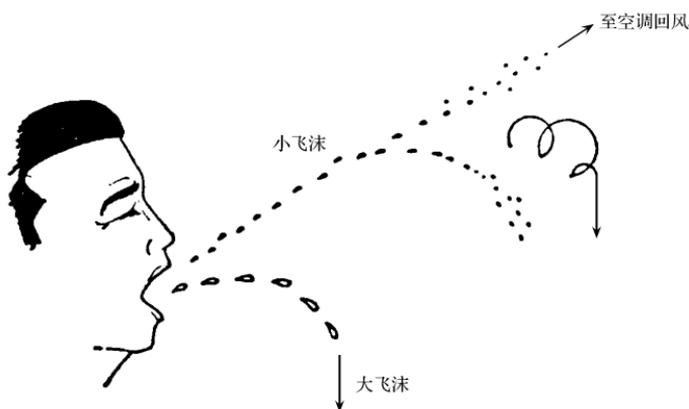


图 2.2 打喷嚏产生飞沫和气溶胶

图 2.3 是打喷嚏喷出的飞沫和气溶胶实际情况的近镜头^[9]。



图 2.3 打喷嚏的照片

图 2.4 给出了经常被引用的讲话、咳嗽和喷嚏时释放病毒气溶胶数目的粒径分布图^[10]。最初粒径范围主要在 0.5~ 100 μm 之间,5~ 50 μm 则占主要地位。第十章将讲到随着水分的蒸发这些粒径将迅速变小。

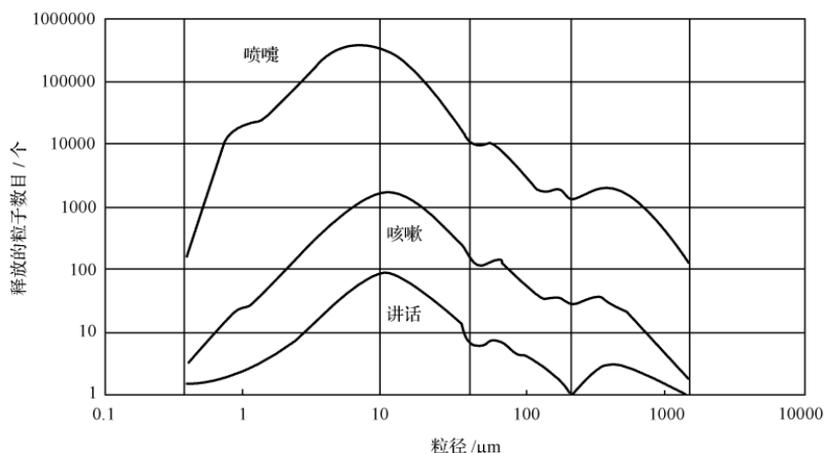


图 2.4 打喷嚏释放气溶胶的粒径分布

表 2.2 为有关研究者计算出的 10 μm 以内的气溶胶及包括全部液滴的释放率。

表 2.2 液滴气溶胶释放率

释放方式	释放速度/(m/s)	释放方向	释放率		文献
讲话	1	斜上 50°	< 10 μm	0.085 $\mu\text{g/s}$	[7]
			液滴气溶胶全部	5.12 mg/s	[11]、[12]
				0.072 $\mu\text{g/s}$	[7]
咳嗽	10	垂直向上	< 10 μm	2.4 $\mu\text{g/s}$	[7]
			液滴气溶胶全部	23.5 mg/s	[7]
				6.7 mg/s	[11]、[12]
喷嚏	100	垂直向上	< 10 μm	$5.9 \times 10^{-7} \text{kg/s}$	[7]
			液滴气溶胶全部	$1320.4 \times 10^{-6} \text{kg/s}$	[7]

在呼出和喷出物中,既有大的飞沫,也有小的气溶胶(小飞沫)微粒。呼出气溶胶数量取决于呼气速度,正常呼出数量不多。一个空洞型肺结核病人每小时通过呼吸可排出 13 个传染性飞沫核,但在 4 周时间里,也可使 27 人被传染^[13]。

但一声咳嗽,可喷出 3500 个气溶胶微粒,相当于正常说话 5min 时间内排出的微粒数。

一声喷嚏最多可喷出近 100 万个微粒。

咳嗽产生的气溶胶虽然远远少于喷嚏,从图 2.3 可见约为喷嚏的 1/100~1/1000,但频率却是后者的 10 倍。

病人不论是咳嗽还是喷嚏,其喷出的液滴微粒中大部分都含有活性病原体。

2.4.4 微生物气溶胶的尺度

1. 等价直径

微生物也是一种固体微粒,微粒大小如表 2.3 所示^[14]。

表 2.3 微生物的尺度(μm)

藻类	3~ 100	病毒	0.008~ 0.3
原生动物		脊髓灰质炎病毒	0.008~ 0.03
菌类		流行性乙型脑炎病毒	0.015~ 0.03
细菌		鼻病毒	0.015~ 0.03
白色、金黄色葡萄球菌	0.3~ 1.2	肝炎病毒	0.02~ 0.04
炭疽杆菌	0.46~ 0.56	SARS 病毒 ^[15]	0.06~ 0.2
普通化浓杆菌	0.7~ 1.3	腺病毒	0.07
肠菌	1~ 3	呼吸道融合病毒	0.09~ 0.12
伤寒杆菌	1~ 3	流行性腮腺炎病毒	0.09~ 0.19
大肠菌	1~ 5	副流感病毒	0.1~ 0.2
白喉菌	1~ 6	麻疹病毒	0.12~ 0.18
乳酸菌	1~ 7	狂犬病病毒	0.125
肺杆菌	1.1~ 7	天花病毒	0.2~ 0.3
结核菌	1.5~ 4	肠道病毒	0.3
破伤风菌	2~ 4	立克次氏次	0.25~ 0.6
水肿菌	5~ 10		

表 2.3 中的尺寸是生物微粒的裸尺寸。图 2.5 是 SARS 冠状病毒在电子显微镜下的真实图像^[16]。

细菌和病毒在空气中是不能单独存在的,常在比它们大数倍的尘粒等载体表面发现,例如,SARS 病毒主要以飞沫和飞沫核为载体,即使飞沫不断蒸发,最后的飞沫核也比病毒的真实大小要大。这种载体的大小,用作者提出过的等价直径(主要是沉降等价直径)来衡量。

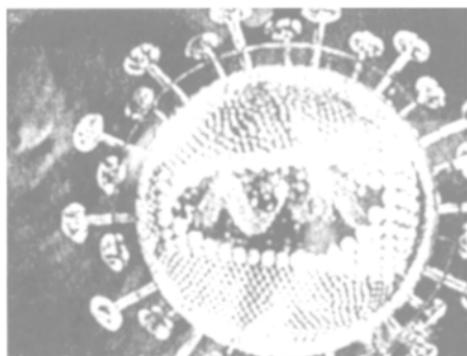


图 2.5 SARS 冠状病毒图像

按空气中的浮游菌量和沉降菌量即可算出沉降等价直径。表 2.4 是一部分普通手术室的测定数据[同济大学医院建筑空调课题研究组,生物洁净技术的原理和应用(第一部分),同济大学科技情报站,1982 年]。

表 2.4 手术室的细菌等价直径

序号	测定场所	浮游菌	沉降菌(30min)/(个/皿)	等价直径/ μm
1	苏州第一医院心脏手术前	3700	82	6.36
2	苏州第一医院心脏手术中	3500	34	7.71
3	苏州第一医院心脏手术前	5500	106	6.03
4	苏州第一医院心脏手术中	2600	58	7.83
5	上海华山医院骨科手术前	8200	136	6.94
6	上海华山医院骨科手术前	6250	128	8.42
7	上海华山医院骨科手术前	5400	107	6.14
8	上海华山医院骨科手术中	4500	83	9.12
9	上海华山医院骨科手术中	4000	97	6.84
10	上海华山医院骨科手术中	3350	63	7.54
11	上海华山医院骨科手术中	5400	72	8.42
12	上海华山医院骨科手术中	4000	77	7.36

作者从测定数据总结出对洁净场所沉降等价直径可有 $1\sim 5\mu\text{m}$,一般场所可为 $6\sim 8\mu\text{m}$,人活动多且较脏的场所可达 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。

病毒虽然只有 $0.008\sim 0.3\mu\text{m}$,但也适用等价直径的概念:王毓明等在味精厂采集细菌的病毒噬菌体时,测出平均等价直径为 $3\mu\text{m}(2\sim 5\mu\text{m})^{[17]}$ 。

2. 气溶胶尺度的大小对致病的影响

是小微粒的致病性强还是大微粒致病性强,这和应采取怎样的清除措施有关,所以,首先应了解上呼吸道的生理解剖结构及防御功能。

图 2.6 所示是呼吸道的各部位^[18]。

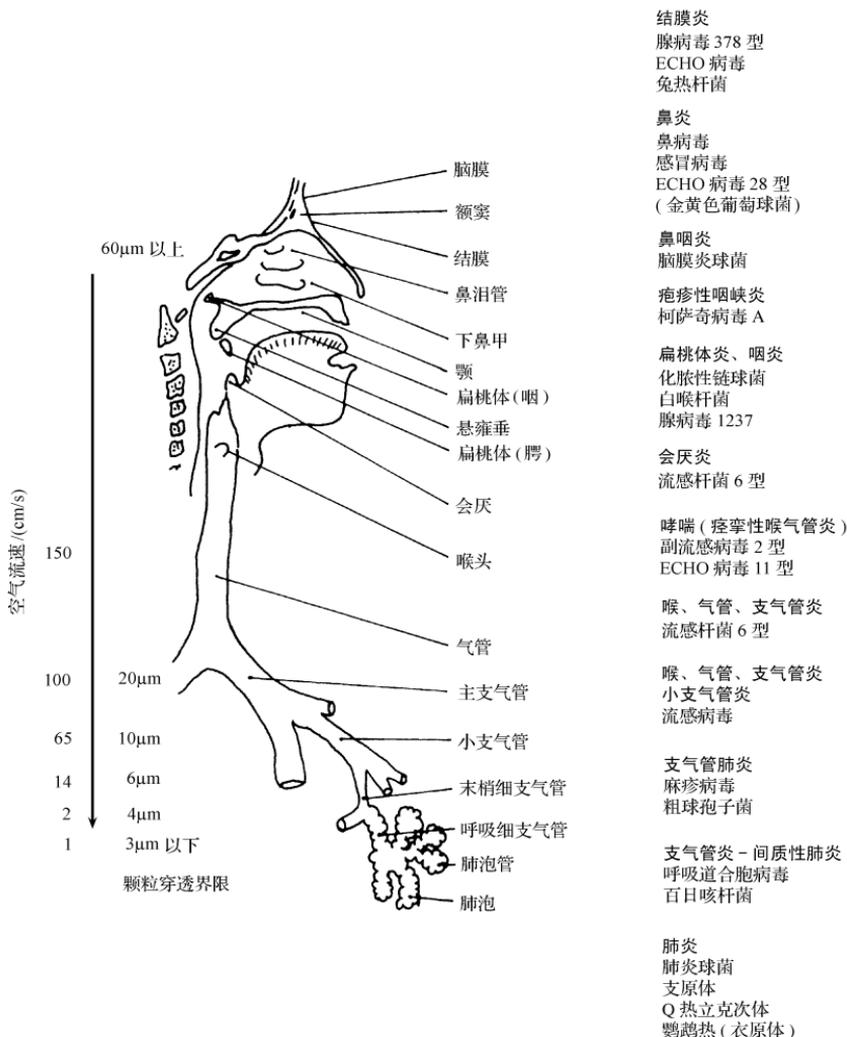


图 2.6 病原体气溶胶进入呼吸道及其感染的部位

当大于 $5\mu\text{m}$ 的大微粒被吸入时,首先被鼻甲、气管、较大的支气管、终末支气

管等处的膜毛挡住,只有 1~ 5 μm 的小微粒才能进入肺泡部分,而肺泡最易感染。

据外国学者实测,气溶胶微粒大小与致病关系如表 2.5 所列^[19]。

表 2.5 气溶胶粒子大小与炭疽芽孢对豚鼠呼吸道致病力的关系

气溶胶粒子的平均直径/ μm	对呼吸道芽孢的半数致死量	小于 6 μm 的粒子/%	小于 6 μm 粒子中的芽孢/%
13	700000	0.75	0.02
12	660000	1.7	0.75
8.2	353000	40	15.0
6.8	221000	45	28
4.9	74000	98	95
2.7	66500	100	100
1.5	22800	100	100

从表 2.5 看出,微粒越大,所需的芽孢致死量越多,所以小微粒更危险;但据于玺华等国内学者的研究,否定了小于 6 μm 的微粒是感染有效粒子的看法,认为微粒大小并不是半数致死量 LD_{50} 的唯一决定因素。大微粒也表现出相当的重要性,因为深入到呼吸道深部的小微粒更利于细胞的吞噬和运走。

2.4.5 飞沫和气溶胶的运动

飞沫的沉降喷出的飞沫由于大而很快沉降下来。

沉降速度和粒径的关系见图 2.7^[20],图中微粒的密度 ρ 为 2。

可见:5 μm 的小飞沫从 1m 的高度沉降下来约需 32min;10 μm 的“小飞沫”从 1m 的高度沉降下来约需 7min;100 μm 的飞沫从 1m 的高度沉降下来约需 4s。这就是说,肉眼可见的大飞沫从其喷出后沉降到床上或地上,只需几秒钟。

飞沫由于惯性运动在获得咳嗽等产生的初速度后外力即消失,而只依靠惯性作减速运动(先不考虑气流力和摩擦阻力)。

若运动距离以 S_R 表示,则有

$$S_R = C\tau v \quad (2.1)$$

式中: C ——滑动修正系数,但对于 10 μm 以上的大微粒来说, $C=1$;

τ ——张弛时间,表明飞沫从某一初始稳定状态变化到某一终了状态所需的时间

$$\tau = \frac{d_p^2 \rho_p}{18\mu} \quad (2.2)$$

其中 d_p 为飞沫直径, ρ_p 为飞沫密度, μ 为气体黏滞系数, 20 $^{\circ}\text{C}$ 时, $\mu=1.83 \times 10^{-5}$ 。

在气溶胶力学中, S_R 表征微粒的曲线运动,还可以确定如微粒从研磨机中被甩出多远。 S_R 计算结果见表 2.6。

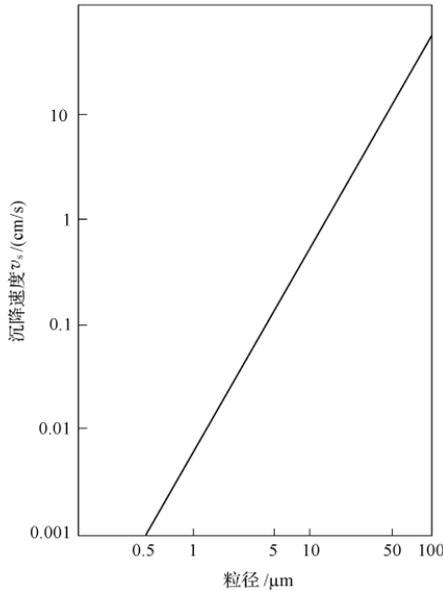


图 2.7 沉降速度和粒径的关系

表 2.6 在惯性力作用下 20℃ 时微粒 ($\rho = 2$) 的水平运动距离

粒径 / μm	S_R / cm	
	$v_0 = 100 \text{cm/s}$	$v_0 = 1000 \text{cm/s}$
100	0.6	6
10	0.06	0.6
5	0.016	0.16
1	0.0007	0.007

表中数据说明即使在非常高的初速度下,可以运动的距离仍是很小,微粒可迅速地减慢到接近停止状态。也就是说,如果扔一个气溶胶微粒,即使是大微粒,也不可能把它扔得很远。人的咳嗽气流速度约为每秒几米,则由表 2.6 可知大飞沫的运动距离在此初速度下也仅有几厘米。喷嚏的初速度要大于几十米,运动距离也只有 10~20cm。总之由于速度迅速衰减,所以水平运动距离极短,不论是飞沫或气溶胶要靠这个机械力飞扬是不可能的。

5 μm 以下的气溶胶(小飞沫或飞沫核)微粒的惯性运动距离很小,它主要跟随气流运动。

5 μm 以下微粒跟随气流速度达到气流速度的 0.9~1,而大微粒例如飞沫则远小于 1。

2.4.6 飞沫和气溶胶在传播方式上的差异

由上面分析可知,由于打喷嚏的力不能使大飞沫或小飞沫和飞沫核抛出很远,在静止空气中,不考虑阻力,飞沫核应比飞沫抛得更近。

可是从实际生活和从图 2.2 可以见到,气溶胶(小飞沫和飞沫核)飞得比飞沫(大飞沫)远,这就因为不论飞沫或气溶胶的运动都主要受气流的支配。打喷嚏不仅给予微粒以初速度,打出的气流速度也是带动微粒运动的主要因素。

飞沫一面在气流带动下前进,一面受重力作用沉降,还要受到阻力作用,所以只能前进很小距离,约在 0.9m 以内^[21]。

气溶胶受重力影响很小,主要被气流带动而前进,如有回风,则吸向回风口,因此可传播至更远更广的地方。

因此,在传播方式上飞沫(大飞沫)和气溶胶(小飞沫和飞沫核)还是有所区别。但是大飞沫最终大部分要变成飞沫核(详见第十章)即气溶胶。至于冠状病毒,据报道主要存在于分泌物和液滴飞沫中,所以除了靠接触传播外,空气传播是重要渠道。

香港淘大花园的 SARS 感染事实证明了 SARS 冠状病毒存在气溶胶传播的途径,世界卫生组织也指出防范 SARS 病毒传播要注意空气途径传播的隐患。

所以,不能因为飞沫前进不足 1m 距离,而得出所谓“三英尺外没危险”的错误结论^[22]。

病原体能否靠飞沫或气溶胶(飞沫核)传播,要看其对载体能提供的水分、养料的依赖程度,如果依赖性大,则作为小微粒的气溶胶可能不具备为其提供足以维持其活性的水分与养料,于是气溶胶的运动就不能成为它的传播途径。

以往的研究曾表明,液滴、飞沫最大可达 100 μm ,可以认为其尺寸是连续变化的,并因在空气中得到蒸发而变成很小的气溶胶微粒(即国外文献中所称的飞沫核)进入再循环空气中,这样就更增加了冠状病毒传播的复杂性和危险性,也就产生了既有对远距离排风控制的需要(例如香港淘大花园下水道排气的影响),也有近距离隔离或一次隔离的需要(例如近距离接触病人的医护人员较多地感染非典的事实)。

总之,造成气溶胶和飞沫可能传播开来的环境因素如下:

- (1) 空间相对窄小并且封闭,使得传染性微粒越聚越多。
- (2) 局部或全面通风量不足,使得传染微粒得不到稀释,达到了足以传染致病的浓度(所谓感染剂量)。
- (3) 有传染性微粒的空气再循环,增加了感染的几率。
- (4) 在压差作用下传染性微粒通过缝隙由一侧向另一侧渗透,或者在气流带

动下由一端向另一端转移,提供了增加浓度的机会。

因此,一切控制气溶胶和飞沫传播的目的,都在于防止传播或降低传染性气溶胶和飞沫的浓度,美国 CDC1994 年 10 月 28 日发布的《卫生保健设施中防止结核分支杆菌传播指南》中也指出了这一点。

2.5 影响空气传播感染的因素

影响空气传播感染的因素主要有以下 4 种,前 3 种影响在空间内外的传播,后 1 种影响空间之内的传播。

(1) 压差。

隔离病房内如对外呈正压,将造成对外污染;如果对其外面的邻室保持一定大小的相对负压,可以防止污染经缝隙外泄,长期以来被认为是控制污染的最重要的因素。

(2) 门的卷吸作用和人的裹带作用。

门的开关都将扇动空气,使其在瞬间发生向外或向内流动,是造成污染的一个因素。另一方面随着人进出房间,将有一部分空气随着进出,也是造成污染的一个因素。

(3) 温差。

室内外存在温差几乎是普遍现象,在开门瞬间,在热压的作用下,将有空气从门的上部或下部进入或流出房间,这是一个未被充分认识的造成污染的因素。

(4) 气流。

气流是影响空间内部即室内空气传播感染的重要因素,在乱流气流的条件下,室内气流会得到很快混合,特别当存在涡流时,污染很难很快排除,故感染的可能性会持续很长时间,因此定向气流是隔离病房所要求的必要条件。

参 考 文 献

- [1] 于玺华主编,现代空气微生物学,11,北京:人民军医出版社,2002
- [2] 于玺华、车凤翔主编,现代空气微生物学及采检鉴技术,54,北京:军事医学科学出版社,1998
- [3] CDC1994:Guidelines for preventing the Transmission of Mycobacterium Tuberculosis in Health Care Facilities
- [4] 于玺华主编,现代空气微生物学,60~ 63,北京:人民军医出版社,2002
- [5] 车凤翔主编,空气生物学原理及应用,149,北京:科学出版社,2004
- [6] H A Фyкe 著,顾震潮等译,气溶胶力学,8,北京:科学出版社,1960
- [7] 邓伟鹏,医院建筑内防止 ASRS 病房传播与感染的综合措施及对策研究,同济大学博士学位论文,2005

- [8] 日本空气清净协会编,空气洁净ハンドブック,79,东京:オーム社,1980
- [9] 赵彬、张昭、李先庭,室内人体飞沫传播的数值研究,暖通空调,SARS特辑,V33,31,2003(原出处:Jim Deacon et al. University of Edinburgh, 科研、论文及其教学内容的综合学术网页:lattp://helios, bto. ed. ac. uk/bto/microbes. htm)
- [10] W J Kowalsk, William Bahnfleth, Airborne, Respiratory Diseases and Mechanical Systems for Control of Microbes, Heating/Piping/Air Conditioning Engineering, Jul, 1998
- [11] 赵彬、张昭、李先庭,室内不同通风方式下生物颗粒的分布比较,暖通空调,SARS特辑,Vol. 33, 2003
- [12] 加藤信介,感染の建筑环境的课题と予測,IAQ 国际研讨会——SARSと建筑环境,2004
- [13] 于玺华主编,现代空气微生物学,321,北京:人民军医出版社,2002
- [14] 许钟麟著,空气洁净技术原理(第三版),308~ 310,北京:科学出版社,2003
- [15] 中国疾病预防控制中心编,传染性非典型肺炎防治问答,北京:中国协和医科大学出版社,2003
- [16] 科技日报电子版(WWW. stdaily. com),4月25日,2003
- [17] 于玺华、车凤翔 主编,现代空气微生物学及采检鉴技术,82,北京:军事医学科学出版社,1998
- [18] 于玺华主编,现代空气微生物学,8,北京:人民军医出版社,2002
- [19] 于玺华主编,现代空气微生物学,56,北京:人民军医出版社,1998
- [20] 许钟麟著,空气洁净技术原理(第三版),189,北京:科学出版社,2003
- [21] 盖劳特·迪特,手术室和传染病医院设计理念(含S3/S4实验室基本要求),第六届中国国际(上海)洁净技术论坛文集,219,2003
- [22] 车凤翔等主编,空气生物学原理及应用,196,北京:科学出版社,2004

第三章 隔 离

3.1 隔离的概念

3.1.1 隔离的分类

根据空气洁净技术原理,隔离是防止感染和交叉感染,特别是防止由空气流动引起的空间内外感染传播,实现感染控制的有效措施。

例如,对肺结核病人隔离的延误或隔离时间不足,隔离病房通风不充分,被认为是导致肺结核病传染期加长的重要原因。

隔离的概念细分为4种,即屏障隔离、压差隔离、气流隔离、缓冲隔离。

3.1.2 屏障隔离

利用平面规划时设置的抗渗性屏障或者无空气交换的密闭空间,对可能引起污染和交叉污染的空气流动进行物理阻隔,即实现屏障隔离,也称物理隔离。其形式有:带密封门的隔离壁板,如图 3.1 所示;带密封门的隔离小室,如图 3.2 所示;带传递窗的隔离墙,如图 3.3 所示。

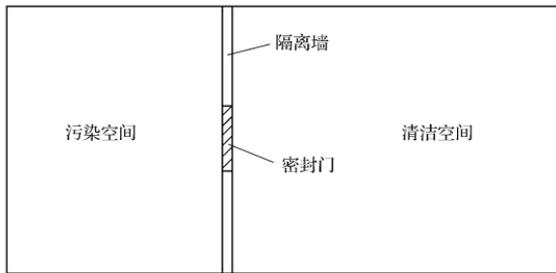


图 3.1 带密封门的隔离壁板

传递窗主要用作污染区与清洁区之间物料的短暂非连续的传递。

传递窗是设在房间墙壁上的两面有门的箱体,可以落地,其开关造成的空气交换如图 3.4 所示。

气闸室如图 3.5 所示,是作为洁净室的辅助部分,最早由 1961 年的美国空军技术条令 T. O. 00-25-203 提出;气闸室是位于洁净室入口处的小室。气闸室的几个门在同一时间内只能打开一个,其目的是为了防止外部受污染的空气流入洁净

室内,从而起到“气密”作用。

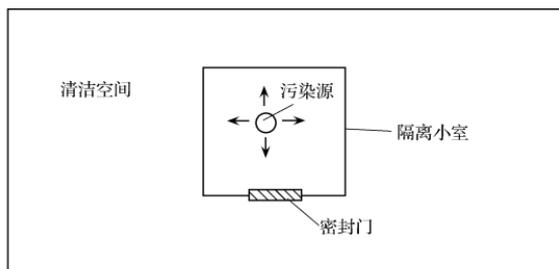


图 3.2 带密封门的隔离小室

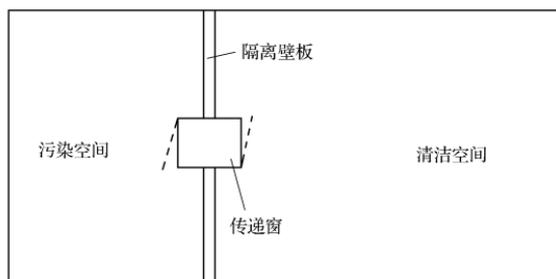


图 3.3 带传递窗的隔离墙

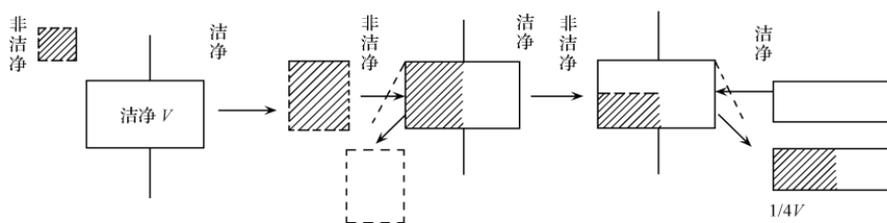


图 3.4 传递窗及其减少传播污染示意

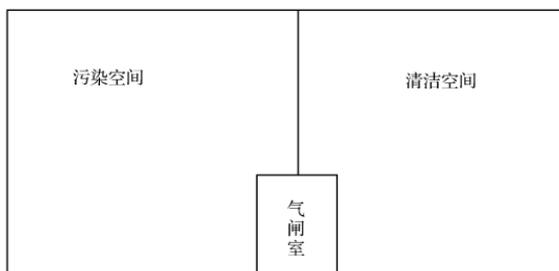


图 3.5 气闸室

当然,气闸室也可防止内部污染空气流出来污染环境。

世界卫生组织也曾在其《药品生产质量管理规范》(GMP)中指出:“气闸室指具有两扇门的密封空间,设置于两个或好几个房间之间,例如不同洁净度级别的房间之间。其目的是在有人需要出入这些房间时,气闸室可把各房间之间的气流加以控制。气闸应分别按人用及物用设计使用。”

可见,气闸室仅是一间门可联锁或不同时开启的房间,与传递窗一样,当其体积不大时,它带给另一侧的污染空气量最多相当于其体积的 $1/4$ 。但这个污染空气与进入缓冲室的污染空气是不同的,是未被洁净空气稀释过的。

有的文献对气闸室提出了换气要求,但不明确。有换气要求的气闸室本书在后面划入缓冲室详加论述。

3.1.3 压差隔离

通过在两个相邻相通区域(房间)之间建立空气的梯度压差,使这一压差由防止污染一侧向污染一侧降低,从而防止由于某种因素的带动使污染通过区域(房间)间的缝隙由污染一侧进入防止污染一侧。

一般应把要保护的高压侧或要隔离的低压侧设于平面的尽头或中心,如图 3.6 所示,即隔离病房对外的压差可以是正压的,也可以是负压的,但本书主要针对的是负压。

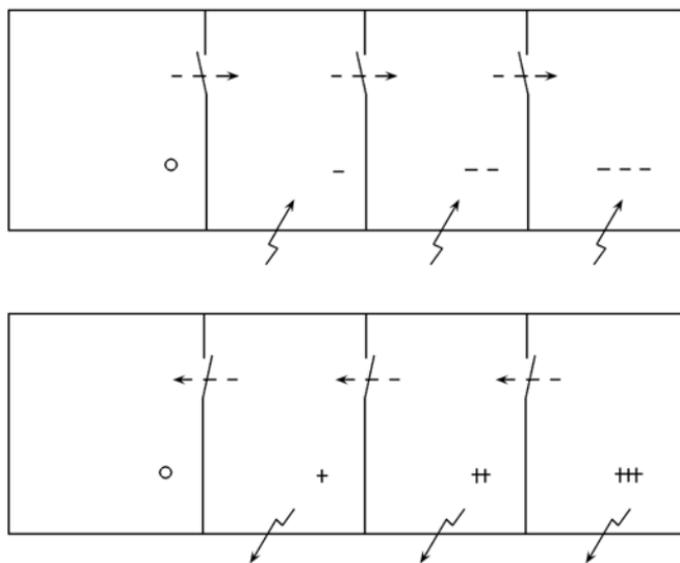


图 3.6 平面上的梯度压差

图中“+”号表示该房间有组织进入的空气(送风) $>$ 有组织排出的空气(回风或排风);“++”号表示上述差异的程度更大,即有组织进入的空气(送风) \gg 有组

织排出的空气(回风或排风)。“++”和“+”的差别在于程度,本质上都是进(风)多,出(风)少,对与室外环境相通的缝隙都具有压出作用,而防止渗入。

图中“-”号表示该房间有组织进入的空气(送风) $<$ 有组织排出的空气(回风或排风);“- -”号表示上述差异的程度更大,有组织进入的空气(送风) \ll 有组织排出的空气(回风或排风)。“- -”和“-”的差别也在于程度,本质上都是进(风)少,出(风)多,对与室外环境相通的缝隙都具有吸入作用,即防止渗出。

压差以正号(+)表示正压隔离,压差以负号(-)表示负压隔离。

正压隔离状态或负压隔离状态都相应于一切孔洞都处于关闭的状态。因此,压差隔离实质上是静态隔离,即在室内外没有空气流动、人员活动的状态下的隔离。

3.1.4 气流隔离

在开启的门口、洞口或者一个空间区域有正常的人、物和气流的流动情况,即动态情况下,通过具有一定速度的气流保持从清洁区向污染区的流动,以实现从污染区向清洁区的污染传播的隔离。

对于一个常开的洞口来说,要靠压差抵挡洞口另一侧的污染是不现实的,例如,一个 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ 的洞口,当其两侧房间维持 5Pa 压差时,通过该洞口从一边流向另一边的空气量将达到 $416\text{m}^3/\text{h}$,对于不是很大的房间来说,多补充这样多的新风是很困难的。

在平面规划时当必须在相邻区域间开这样的洞口时,德国最早提出的流动空气抵抗污染的概念可以被用于这种场合,而最近则被国际标准ISO明确用于隔离污染,并提出通过孔洞的气流速度应大于 0.2m/s ^[1]。以上要点可用图3.7表示。

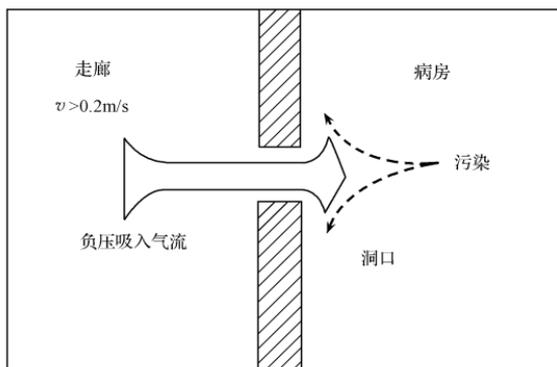


图 3.7 负压房间从洞口吸入速度的作用

要注意这一速度是不适用于开门这种情况的。之所以采用 0.2m/s ,是因为除去另一侧直接向洞口吹风外,正常的气流流动速度一般不超过 0.2m/s ,一侧靠正常气流流动速度是不容易穿过有速度大于 0.2m/s 的外流气流的洞口进入另一侧的。

假定此洞口仍为 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$, 则保持 0.2m/s 的外流气流速度在两侧只需约 0.04Pa 的压差, 也就是说两侧压差小到测不出来, 甚至因测定误差而可能出现负值的结果, 但是此时对洞口内外的污染传播确实实现了隔离。

2003 年 3 月 SARS 暴发初期, 为应付急需的需要, 香港部分公立医院在改造的病房内已加装窗口式排气扇, 使气流由走廊进入病房, 再经病床排出窗外。

广州市第八人民医院传染病病房在 2003 年“非典”期间也采用了这一办法, 通过在病房外窗上设 5~6 个向外排风的排风扇, 在病房走廊侧内墙上设 2 个向病房进风的进风扇, 使室内空气不可能向内走廊再由内走廊向病区外倒流, 从而达到了隔离——气流隔离的效果, 见图 3.8。

使用效果是没有发生病区内的交叉感染。但由于风速太大, 又时值初春, 病人盖了被子还有冷的感觉。

其实由于房间不大, 并不需要 5~6 台排风扇, 而且进风扇也可不要, 最多在门上开个百叶窗就可以了。

当然, 这里没有考虑排风对外面的影响, 这是在非常情况下出现的最简单的一种隔离形式。香港在“非典”后期的隔离病房正式设计中已要求排风必须经高效过滤器过滤。

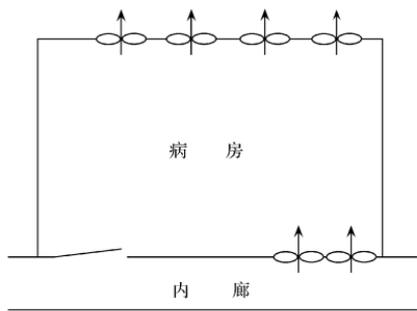


图 3.8 非常情况下一种最简单的隔离形式

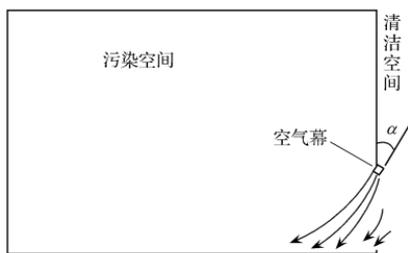


图 3.9 空气幕

对于一个门大小的常开洞口来说, 要保持 0.2m/s 的风速所需要的风量太大了, 是不易实现的。可以通过悬挂条形门帘方式减小空气流通的面积, 也可以设空气幕, 如设吸入口, 位置应使尽量吸入空气幕的和外部的空气, 见图 3.9。

空气幕应设在清洁区一侧上方, 喷射角度 α 宜朝向温度高的一侧, 一般采用 $10^\circ \sim 20^\circ$ 。图中污染空间温度低, 污染冷空气将由门下对流入温度高的清洁空间, 但由于受到斜吹空气幕的阻挡, 这一对流可受到遏制。

以上两种方法均使用在大空间, 不适用于隔离病房。《传染病医院建筑设计规范》就规定不设空气幕。