

免疫建筑综合技术

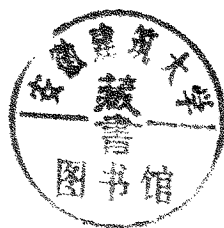
[美] 瓦迪斯瓦夫·扬·科瓦爾斯基 著
蔡浩 王晋生 等 译
龙惟定 校

- Information on biological pathogens and mechanical systems
- Build and run systems impervious to bioweapons
- Retrofit existing heating and ventilation systems
- Specific systems for use in homes, schools, hospitals, and office buildings are addressed

中国建筑工业出版社

免疫建筑综合技术

[美]瓦迪斯瓦夫·扬·科瓦尔斯基 著
蔡 浩 王晋生 等译
龙惟定 校



中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2004-4359号

图书在版编目(CIP)数据

免疫建筑综合技术/(美)科瓦尔斯基著;蔡浩等译. —北京:中国建筑工业出版社, 2005
ISBN 7-112-07878-4

I. 免... II. ①科...②蔡... III. 房屋建筑设备; 安全设备-研究 IV. TU899

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 139547 号

Immune Building Systems Technology/Wladyslaw Jan Kowalski, ISBN 0-07-140246-2
Copyright © 2003 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition copyright © 2006 by China Architecture & Building Press
本书由美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版集团正式授权我社翻译、出版、发行本书中文简体字版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

责任编辑:姚荣华 董苏华

责任设计:崔兰萍

责任校对:刘梅

免疫建筑综合技术

[美]瓦迪斯瓦夫·扬·科瓦尔斯基 著
蔡浩 王晋生 等译
龙惟定 校

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

伊诺丽杰设计室制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本:880×1230毫米 1/32 印张:18 $\frac{1}{2}$ 字数:650千字

2006年1月第一版 2006年1月第一次印刷

印数:1—3,500册 定价:68.00元

ISBN 7-112-07878-4

(13832)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

本书主要是为满足对于想提高建筑物的安全，使建筑物免受日益增长
的生物及化学恐怖袭击事件威胁的各类专业人士的需要。这些专业人员可
包括工程师、建筑师、设计师和建筑管理人员等。由于本书的主题所涉及
的范围较广，所以还能对警察、营救人员、紧急医疗救护人员、安全人
员、消防员、军事人员、流行病研究人员，以及研究大规模杀伤性生化武
器的防护问题的微生物研究人员提供有用的技术参考。

本书源于 1996 年在美国宾夕法尼亚州立大学开始的空气微生物工程学
研究。空气微生物工程学主要研究室内环境中空气传播的微生物的控制，
这一领域结合了建筑工程与微生物工程，或者可以说是关于室内环境中疾
病传播的一门建筑科学。这些室内环境传播的疾病主要是指空气传播的或
呼吸系统的疾病，但也并不仅限于这两方面的疾病。

由于美国国防尖端研究项目局(DARPA)的“免疫建筑”项目的启动，
1999 年宾夕法尼亚州立大学对于空气微生物工程学的研究经历了一次转
变。DARPA 的研究项目主要集中在发展应用于政府及军事类建筑的免疫建
筑技术。该大学的免疫建筑研究采用类似的方法，但主要集中在为商业及
居住类建筑提供经济实用的工程技术方案。虽然这一研究目前主要集中于
生化制剂的防御系统设计，但也仅仅是在更加严格的设计标准上对现有技
术的重新应用。也就是说，免疫建筑所采用空气微生物工程学的技术手段
可以防御人为故意释放的和自然发生的有害物质的事件。这两类事件之
间的区别不仅仅是在破坏程度上的，而且在事件本身性质上也有许多不同。

这本书可以用作参考手册和教科书，在内容设置上并不过分依赖于外
部的参考资料。本书对于微生物学问题的阐述相对较少，仅仅包含了和生

化武器问题直接相关的一些信息，这样使工程技术人员不必要在微生物学研究方面的一些复杂的概念上花费太多的时间。与本书讨论的这一课题相关的微生物学、生理学、遗传学、化学和物理学方面的问题在本书提供的许多参考文献中都有所论述，如果需要更详细的信息可从中得到参考。本书还附带的介绍了一些工程技术之外的知识，并且在讲解和组织方式上并不要求读者都具有特定的背景知识或者查阅本书之外的参考资料，但是要求读者熟悉一些空气微生物工程学的专业术语。为此，本书在最后为读者提供了术语表，希望读者不仅仅只知道这些术语的定义，还应当理解与之相关和暗含的一些概念。

本书中对于单位的选择代表着工程学与微生物学在普遍用法上的结合。本书大量采用公制单位(主要是 SI 单位)，在必要的情况下才使用英制单位并且进行了适当的转换。非常遗憾的是在美国并不完全认同 SI 单位制，因此工程师们至今仍不得不使用不太确定的单位转换。虽然很多行业仍然坚持使用英制单位，但是我希望工程师们能够努力熟悉公制单位，因为它是科学界首选的单位制。

为了适合工程技术人员阅读，本书简化了很多微生物学方面的信息，希望这种做法不会引起微生物学家们太多的不满。把微生物学中的复杂的信息划分为有序的组成部分和简单的方程式，的确是过于简单化了。我和大家一样都非常明白，微生物研究领域并不适合于过分简单的量化分析，而且也很难与工程领域所使用的方法保持一致。可以肯定的说，对非线性的微生物领域的问题采用线性的近似有助于工程设计，采用量化分析并计算总和的方法对于一般性的空气传播的疾病控制问题是相当有效的。事实上，对微生物学的研究数据进行分片微观管理的方法对于隐含在大量的计算模型中因为近似而产生的微小误差并不敏感。总的来说，这些误差以均值为中心并且存在相互抵消的作用。最后，为了确定空气净化和室内人员防护系统的规模，每一个工程师在设计过程中都习惯于引入安全系数，这将有助于消除在设计过程中所引入的微小误差和假设的影响。

加工和处理如此大量的微生物学和化学方面的数据，不可避免会产生一些错误。这些错误对于从事微生物学和化学领域的研究人员来说，可能要比工程技术人员表现得更加明显，我希望如果有人发现本书中的数据有问题的话，能够与我联系。这些勘误的信息将会放到宾夕法尼亚州立大学空气微生物工程学的网站上(Kowalski and Bahnfleth, 2002b)。与课题相关的其他一些资料及一些有用的研究成果都可以在网站上看到，在参考文献中列出了许多资料的网址。

最后，为了免除人们对本书是否透露过多信息的担心，本书的内容经过仔细斟酌，不包含任何可以被怀有不良企图的人所利用的详细信息。书中没有提到任何关于如何制造生化武器的信息，不幸的是，这类信息在其他一些地方可以随意获取。关于假设的生化制剂的分散装置的一些关键细节都被省略了，因为这些细节可能被用于制造和使用这些装置。如果模拟袭击情景的模型计算结果不如设想的那样准确，这可能是由于评估这个系统的工程师对于这个模拟系统的缺点还没有足够的认识，而且每一个建筑物都各不相同，模拟的结果也不能一概而论。在任何情况下，本书所提供的信息对于怀有正当目的人是有帮助的，这种帮助要远远超过被用于其他目的可能产生的不良影响。

我希望本书能够在全国范围内为设计师和管理人员在建筑中采用防护系统起到一定的促进作用。这不仅是为了消除生化武器所带来的潜在的灾害，同时也为了加强建筑物对于每天都存在的疾病传播这样一种更为常见威胁的免疫能力，这在最终也许会有助于消除一些呼吸系统的疾病。

瓦迪斯瓦夫·扬·科瓦爾斯基

(Wladyslaw Jan Kowalski, P.E., Ph.D.)

致 谢

本书的完成得到了很多人的帮助，他们对书稿进行了校阅，提供了相关的图片和必要的技术资料。在此，我衷心地感谢为本书作出贡献的所有个人以及他们所代表的公司或者组织，他们是：William Bahnfleth, Amy Musser, Stanley Mumma, Chobi Debroy, Richard Mistrick, Brad Striebig, Jelena Srebric, Gretchen Kuldau, Daniel Merdes, John Brockman, Chuck Dunn, Mike Ivanovich, Henry St.Germain, Dave Witham, Stephen Stark, Bill Perkins, Philip Mohr, Art Anderson, Wilson Poon, John Buettner, Charles Dunn, Jack Matson, Bruce Tatarchuk, Jeffery Siegel, Jing Song, Thomas Whittam, Leon Spurrell, Clarence Marsden, Larry Kilham, Linda Bartraw, John Wellock, Dave Neuffer, George Flannigan, Nancy Sabol, John Harris, Bill Jacoby, Jennifer Bowers, Bernice Black, Meryl Nass, Ann McDougall, Louis Geschwindner, Jack Kulp, Robert Gannon, Eric Peyer, George Walton, Michael Modest, Dick Huggins, John Garrett, J. Glenn Songer, Elisa Derby, Ed Westaway, Alex Wekhof, Roy D. Wallen, Leonard E. Munstermann, Brian Bush, Ken McCombs, Matt Holmquist, Steve Careaga, Jenny Moyna, Paul S. Cochrane, Camille Johnson, Neil Carson, Garry T. Cole, Basil Frasure, Amram Golombek, Ann McDougall, Hans Buur, Malcolm Jones, Chris Brown, Ariella Raz, John D. German, Cornelia Büchen – Osmond, Debra Short, Larry Schmutz, Cheryl Christiansen, Bill Sawka, Francois Elvinger, Bev Corron, Georgia Prince, Phil Sansonetti, James W. Kazura, Matthew Wolf, Scott Roberts, Teddy Pastras, Holly Krauel, Janice Bowie, Helen Lee, Sue Poremba, Eric Burnett, Franz Heinz, Christian Peters, Michael Sailor, Patrice Moore, Mik Pietrzak, Christine Bailey, Rob Crutcher,

Chuck Murray, Richard Osborne, Jim Cordaro, Raimo Vartiainen, P.J. Richardson, Beth Huber, John Antoniw, Betty Wells, Chuck Haas, Jane Whitlock, Jerry Straily, Raj Jaisinghani, Harold James, Lucas Bacha, Ted Glum, Jeff D' Angelo, Donald E. Woods, Eric Grafman, Steven J. Emmerich, Bill Thayer, Vincent Agnello, Ching - Hsing Liao, Cathi Siegel, Cynthia S. Goldsmith, Michael Bowen, Peter Charles, Dorothy Hsu, Rose Spencer, David Evans, Peter d' Erri- co, Carl Gibbard 和 Kurt Behers。

最后要感谢 Amy Alving, 他为推动和发展免疫建筑这一概念作出了贡献。

物理符号说明

下面列举的物理符号代表了在本书中采用的各种变量, 这些变量对于本书中的工程类计算和微生物学计算来说, 都属于通用变量或者标准变量。下面的符号列表中不包括在第 16 章中使用的经济学术语, 因为它们并不是标准术语或者在其他场合也有应用。在这些列举的变量中, 大多数采用的是公制单位或者 SI 单位, 不过其中也有一些变量在第 16 章中采用的是英制单位。本书中有些符号是重复使用的, 在文中对它们所代表的变量都进行了限定。作为例外, 符号 ID_{50} 既可以表示感染剂量(就生物毒剂而言), 也可以表示失能剂量(就化学毒剂而言), 该符号的确切含义取决于其具体用途。除此之外, 在本书中所有微生物的单位都一律采用“cfu”, 尽管对于病毒来说正确的单位应当是“pfu”。

a	任意常数
a	过滤介质体积填充密度(介质体积/总体积), m^3/m^3
ACH	换气次数, 1/h
a_i	纤维 i 的体积填充密度
b	任意指数
B_r	呼吸率, m^3/min 或 L/min
$C, C(t)$	浓度, 生物毒剂 cfu/m^3 , 化学毒剂取 $\mu g/m^3$
C_a	空气中的毒剂浓度, 生物毒剂 cfu/m^3 , 化学毒剂 $\mu g/m^3$
CD_{50}	半数中毒剂量, $mg \cdot min/m^3$
Ch	Cunningham 滑动系数
D	持续时间, d 或 h

D_{37}	持续时间的 37%
D_d	微粒扩散系数, m^2/s
d_f	纤维直径, μm
d_i	纤维 i 的直径, mm
D_L	对数平均直径, μm
$D_{\max}$	最大直径, μm
$D_{\min}$	最小直径, μm
Dose	剂量, $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$, mg , 或 cfu
d_p	微粒粒径, μm
dP_F	过滤器压力损失, $\text{in} \cdot \text{w} \cdot \text{g}$
E	过滤器的过滤效率, 分数
e	自然对数的底
E_D	扩散效率, 分数
E_R	拦截效率, 分数
E_s	单纤维效率, 分数
E_{Si}	纤维 i 的单纤维效率
E_t	暴露时间, s 或 min
E_{tot}	紫外线总辐射功率, μW
E_{uv}	紫外灯输出功率, μW
f	具有抵抗力的微生物占微生物总数的比例, 分数
F_i	第 i 节灯管的辐射视角系数
F_k	桑原(Kuwabara)动力学因子
frac_i	第 i 种直径的纤维的百分比含量
F_{tot}	总视角系数
H	高度, cm
hp	马力, hp
I_D, I_{Dn}	直射或者入射辐射强度, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
ID_{50}	半数失能剂量, mg/kg 或 $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$
ID_{50}	半数感染剂量, cfu/m^3
I_R, I_{Rn}	反射辐射强度, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
I_s	紫外线辐射强度, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
k	波尔兹曼常数, $1.3708 \times 10^{-23} \text{J/K}$
k	UVGI 衰亡率常数, $\text{cm}^2/(\mu\text{W} \cdot \text{s})$
KR	杀灭率, 分数或百分比

KR_i	部件 i 的杀灭率, 分数
KR_T	总杀灭率, 分数
l	灯管长度, cm
L	长度, m 或 cm
$L(Ct)_{50}$	半数致死浓时积, $mg \cdot min/m^3$
LC_{50}	半数致死浓度, mg/m^3
LD_{50}	半数致死剂量, mg/kg
l_a	灯管弧长, cm
l_a, l_b	某节灯管的长度, cm
m	具有抵抗力的微生物群体的 UVGI 衰亡率常数, $cm^2/(\mu W \cdot s)$
MDP	平均患病期, d 或 h
MIP	平均传染期, d 或 h
N	房间的每小时换气次数, 1/h
$N(t)$	t 时刻的微生物数量
N_r	拦截参数
OA	新风量, m^3/min
P	功率, W 或 μW
Pe	贝克利数
peak	感染或者传染的峰值时间, d 或 h
P_{lamp}	灯管总瓦数, W
P_v	动压, $in \cdot w \cdot g$
Q	风量, m^3/min
r	灯管半径, cm
RR	释放速率, cfu/min 或 mg/min
S	存活率, 分数
$S, S(t)$	污染源释放速率, 生物毒剂 $cfu \cdot min/m^3$, 化学毒剂 $\mu g \cdot min/m^3$
S, S_i	纤维投影面积, 纤维 i 的投影面积
SSC	稳态浓度, cfu/m^3 或 mg/kg
T	温度, K
t	时间, s, min, h 或 d
U	介质面风速, m/s
V	体积, m^3
W	宽度, cm
x	距灯管轴线的距离, cm

x	剂量, $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$, mg , cfu , 或者任意变量
X	高度参数
y	病例、受伤或死亡的总数或百分数
Y	宽度参数
Δh	增加的热量, W
ϵ	不均匀修正系数
η	吸收率
η	气体绝对黏度, $\text{N} \cdot \text{S}/\text{m}^2$
η_{fan}	风机效率, 分数
η_{motor}	电机效率, 分数
λ	气体分子平均自由程, μm
μ	微粒迁移率, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$
π	圆周率, 3.14159……
ρ	反射率, 分数或百分比
σ	标准差

目 录

前言	xii
致谢	xv
物理符号说明	xvii
第1章 概论	1
1.1 引言	1
1.2 生化战争简史	3
1.3 当今的生化恐怖主义	18
第2章 生物毒剂	22
2.1 引言	22
2.2 微生物	23
2.2.1 空气传播型病原体	26
2.2.2 带病媒介传播型病原体	38
2.2.3 食物和水传播型病原体	39
2.3 毒素	41
2.4 生物调节剂	48
2.5 生物毒剂的武器化	48
2.6 生物毒剂的粒径分布	49
2.7 紫外线照射下的微生物存活曲线	52
2.8 小结	59

第3章 化学毒剂	60
3.1 引言	60
3.2 化学毒剂的分类	60
3.3 作为设计基准的化学毒剂	65
3.4 化学毒剂模拟剂	70
3.5 小结	70
第4章 生化毒剂的剂量和流行病学	72
4.1 引言	72
4.2 生物毒剂的剂量	74
4.3 化学毒剂的接触剂量	81
4.4 生化毒剂的吸入剂量	85
4.5 生化毒剂的摄入剂量	88
4.6 毒素的致死剂量曲线	89
4.7 疾病发展曲线	90
4.8 小结	95
第5章 生化毒剂的释放方式	96
5.1 引言	96
5.2 室外释放方式	96
5.3 室内释放方式	101
5.4 食物和水传播型毒剂的释放方式	108
5.5 小结	111
第6章 建筑物及其受袭情景	112
6.1 引言	112
6.2 建筑物的类型及相对风险	114
6.2.1 商业建筑	118
6.2.2 政府建筑	123
6.2.3 食品和娱乐设施	126
6.2.4 医疗保健设施	128
6.2.5 住宿设施	129
6.2.6 教育设施	131
6.2.7 商贸设施	133

6.2.8 集会设施	135
6.2.9 特殊建筑	138
6.3 针对建筑物的袭击方式	139
6.3.1 室外释放	139
6.3.2 新风口释放	140
6.3.3 室内爆炸释放	143
6.3.4 室内被动释放	145
6.3.5 室内气溶胶化释放	145
6.3.6 风道内释放	146
6.4 小结	149
第7章 通风系统	150
7.1 引言	150
7.2 通风系统的类型	150
7.3 通风模型	151
7.3.1 采用微积分方法建立通风模型	154
7.3.2 采用数值计算方法建立通风模型	156
7.3.3 采用 CONTAMW 软件建立通风模型	160
7.4 采用计算流体动力学方法(CFD)建模	162
7.5 小结	163
第8章 空气净化与消毒系统	164
8.1 引言	164
8.2 过滤	166
8.2.1 过滤的数学模型	172
8.2.2 过滤器的应用	177
8.2.3 微生物过滤的测试结果	183
8.2.4 液态气溶胶的过滤	185
8.3 紫外线杀菌照射	187
8.3.1 UVGI 的数学建模	188
8.3.2 UVGI 系统的应用	195
8.4 UVGI 与过滤器联合使用	199
8.5 气相过滤	202
8.6 小结	207

第 9 章 建筑物受袭情景的数值模拟	208
9.1 引言	208
9.2 建筑物遭受袭击的基准情景	210
9.3 生化袭击情景的模拟	211
9.4 采用 CONTAMW 软件模拟	222
9.5 几个模型建筑的模拟	227
9.6 采用 CONTAMW 软件进行多区域模拟	233
9.7 过量袭击情景	237
9.8 突然释放的袭击情景	239
9.9 利用室外新风清除化学毒剂	241
9.10 小结	242
第 10 章 生化毒剂的检测	243
10.1 引言	243
10.2 化学检测	243
10.2.1 化学检测器的响应时间	249
10.3 生物检测	251
10.3.1 空气采样	251
10.3.2 生物传感器	253
10.3.3 粒子检测器	257
10.3.4 质谱分析和激光雷达(LIDAR)技术	260
10.4 小结	260
第 11 章 免疫建筑控制系统	261
11.1 引言	261
11.2 控制系统	261
11.3 控制系统结构	262
11.3.1 “检测 - 报警”系统	263
11.3.2 “检测 - 隔绝”系统	265
11.3.3 “检测 - 处置”系统	267
11.4 应急系统(Emergency system)	268
11.4.1 新风冲洗(Outside air purging)	268
11.4.2 二级系统(Secondary system)的运行	269
11.4.3 避难区(Sheltering zone)的隔绝	270

11.5	免疫建筑的建筑设备自动化 (Building automation)·····	271
11.6	小结·····	274
第 12 章	安全和应急程序·····	276
12.1	引言·····	276
12.2	实体安全措施 (Physical Security Measures)·····	277
12.3	事件识别 (Incident Recognition)·····	281
12.4	应急反应 (Emergency Response)·····	285
12.5	使装置失效 (Disabling Devices)·····	289
12.6	紧急疏散 (Emergency Evacuation)·····	291
12.7	就地避难 (Sheltering in Place)·····	292
12.8	医疗反应 (Medical Response)·····	294
12.9	安全规程 (Security Protocol)·····	295
12.10	人员培训·····	297
12.11	小结·····	297
第 13 章	洗消与修复·····	298
13.1	引言·····	298
13.2	物理洗消方法·····	299
13.3	化学洗消方法·····	301
13.4	臭氧·····	302
13.5	二氧化氯·····	309
13.6	SNL 泡沫·····	309
13.7	小结·····	311
第 14 章	替代技术·····	312
14.1	引言·····	312
14.2	加热消毒·····	312
14.3	低温冷冻·····	314
14.4	干燥·····	314
14.5	被动式日光照射·····	315
14.6	植物空气净化·····	315
14.7	抗菌涂层·····	316
14.8	静电过滤器·····	317