

# 建筑的自然通风 ——设计指南

NATURAL VENTILATION IN BUILDINGS :  
A DESIGN HANDBOOK



[法] 弗朗西斯·阿拉德 编著  
李珺杰 李苑 李紫微 董磊 译  
宋晔皓 校

中国建筑工业出版社

# 建筑的自然通风 ——设计指南

[法] 弗朗西斯·阿拉德 编著  
李珺杰 李苑 李紫微 董磊 译  
宋晔皓 校

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2007- 2483 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑的自然通风——设计指南/(法)阿拉德编著;李珺杰等译.  
—北京:中国建筑工业出版社,2015.9

ISBN 978-7-112-18181-0

I. ①建… II. ①阿… ②李… III. ①建筑—自然通风—建筑设计—指南 IV. ①TU834.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 122424 号

Natural Ventilation in Buildings—A Design Handbook

Published by James & James (Science Publishers) Ltd.

Copyright ©1998 Mat Santamouris

All rights reserved.

Chinese Translation Copyright © 2015 China Architecture &  
Building Press

本书由英国 Earthscan 出版社授权翻译出版

责任编辑:程素荣 戚琳琳 张鹏伟

责任设计:董建平

责任校对:张颖 关健

建筑的自然通风——设计指南

[法]弗朗西斯·阿拉德 编著

李珺杰 李苑 李紫薇 董磊 译

宋晔皓 校

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

\*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:16¼ 字数:392千字

2015年10月第一版 2015年10月第一次印刷

定价:52.00元

ISBN 978-7-112-18181-0

(27385)

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)

# 前 言

本书是与欧洲委员会第十七能源总局合作完成的 ALTENER 项目框架计划的成果。ALTENER 项目关注可再生资源在社会中的推广。此项目的推广行动框架为：

- 研究和测评正在编撰的技术标准和规范；
- 采取措施支持成员国关于利用可再生资源进行基础设施的扩建和新建的提议；
- 采取措施促进国家、社会和国际活动之间建立一个良好的信息合作网络平台；
- 研究与评价合理的措施，目的在于评估技术的可行性，以及工业开发生物能在经济及环境方面的优势。

正在进行的 AIOLOS 项目的总体目标是编写一本具体的关于建筑高效利用被动式自然通风的教育读本，它可以用于所有的教育活动，也可以用于包括建筑行业以内的所有专业。这本书的目的是为从事建筑方面的专业人士提供一切必要的关于建筑高效利用自然采光通风的知识、工具及信息，在建筑中实现降低制冷能耗，提高室内热舒适度水平，改善室内空气质量的目标。

本书有三个主要目标：

- 报道和提供当前关于自然通风基本科学知识的发展进程以及近几年项目研发中已有的技术和工具。
- 展示在不同的欧洲国家实施和评价各个策略的真实案例，并且提出技术壁垒和技术策略的局限性。
- 不但为设计者提供易于掌握的指导方针、在设计之初的要点，并且提供项目评估的软件以及大量的策略分析。

所有的工作由教育和科研机构（Educational and Scientific Institutions）团队承担完成，该团队在欧洲参与了多次在建筑合理用能以及改善制冷的被动式策略方面的科研项目。这个团队已和以圣马洛斯（M·Santamouris）和代斯卡拉奇（E·Dascalaki）为代表的雅典大学能源效率教育小组的中心机构（Central Institution for Energy Efficiency Educational team）取得合作。

真诚地感谢下面所列团队和机构所作出的宝贵贡献：

- 意大利都灵理工大学的格罗索以及意大利 Conphoebus 的 S. Sciuto and C. Priolo；
- 法国里昂 IASH/ENTPE 的 G. Guarracino, M. Bruant 以及 V. Richalet；
- 葡萄牙波尔图大学的 E. 马拉多纳 E. Maldonado 和 J. L. 亚历山大 J. L. Alexandre；
- 西班牙塞维利亚大学的 S. Alvarez
- 比利时 BBRI 的 P. Wouters, L. Vandaele 以及 D. Ducarme；

- 法国拉罗谢尔大学的 K. Limam 和 M. Abadie，他们在最终版本的校正中做出了贡献。

同样还要感谢康科迪亚大学的 F. Haghigat 对此书的首次评论和建议。

我们欢迎对本书关于内容的结构方面的任何建议及意见。

本书作者：弗朗西斯·阿拉德

# 目 录

## 前言

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 第1章 绪论 .....                         | 1  |
| 1.1 为什么要自然通风? .....                  | 1  |
| 1.2 自然通风调控室内空气质量及室内温度 .....          | 2  |
| 1.2.1 自然通风调节室内空气质量 .....             | 2  |
| 1.2.2 夏季自然通风和热舒适度 .....              | 3  |
| 1.3 自然通风容易利用么? .....                 | 4  |
| 第2章 自然通风的基础知识 .....                  | 6  |
| 2.1 风的特性及风对建筑的影响 .....               | 6  |
| 2.1.1 气候和微气候:不同的气候区域 .....           | 6  |
| 2.1.2 近地面风场结构 .....                  | 7  |
| 2.1.3 城市环境中的风 .....                  | 14 |
| 2.1.4 风对建筑的影响 .....                  | 17 |
| 2.2 室内气候 .....                       | 20 |
| 2.2.1 室内热平衡 .....                    | 20 |
| 2.2.2 质量转移预测 .....                   | 22 |
| 2.2.3 墙体热传递的基本元素 .....               | 25 |
| 2.3 自然通风的降温潜能 .....                  | 27 |
| 2.3.1 概述 .....                       | 27 |
| 2.3.2 自然通风及舒适度 .....                 | 28 |
| 2.3.3 建筑与自然通风 .....                  | 29 |
| 参考文献 .....                           | 42 |
| 第3章 预测方法 .....                       | 45 |
| 3.1 经验模型 .....                       | 45 |
| 3.1.1 预测自然通风状态下建筑内部空气流动速率的简化方法 ..... | 46 |
| 3.1.2 自然通风下建筑内空气速度评估的简化方法 .....      | 48 |
| 3.2 网络模型 .....                       | 63 |
| 3.2.1 介绍 .....                       | 63 |
| 3.2.2 自然通风物理机制的诠释 .....              | 64 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 3.2.3 通过大开口和缝隙的空气流动 ..... | 70  |
| 3.2.4 数学方法 .....          | 73  |
| 3.2.5 利用实验数据的内部模型比较 ..... | 75  |
| 3.3 分区模型和 CFD 模型 .....    | 83  |
| 3.3.1 介绍 .....            | 83  |
| 3.3.2 分区建模 .....          | 83  |
| 3.3.3 计算流体力学 .....        | 86  |
| 3.4 确定开口尺寸的方法 .....       | 88  |
| 3.4.1 介绍 .....            | 88  |
| 3.4.2 简化的经验方法 .....       | 89  |
| 3.4.3 计算机网络方法 .....       | 95  |
| 3.4.4 比较分析 .....          | 96  |
| 附件 A 风压系数计算的参数化模型 .....   | 98  |
| 附件 B 计算流体力学基本方程 .....     | 111 |
| 参考文献 .....                | 116 |
| <br>                      |     |
| 第 4 章 诊断技术 .....          | 119 |
| 4.1 诊断技术的背景 .....         | 119 |
| 4.2 诊断研究的目的 .....         | 119 |
| 4.3 物理参数和监测设备 .....       | 120 |
| 4.3.1 温度记录 .....          | 120 |
| 4.3.2 通风测量 .....          | 121 |
| 4.3.3 空气流速测量 .....        | 125 |
| 4.3.4 外部气候 .....          | 125 |
| 4.3.5 咨询 .....            | 126 |
| 4.4 诊断结果的解释说明 .....       | 126 |
| 4.5 结论 .....              | 127 |
| 参考文献 .....                | 128 |
| <br>                      |     |
| 第 5 章 关键障碍 .....          | 129 |
| 5.1 介绍 .....              | 129 |
| 5.1.1 建筑运行中的障碍 .....      | 129 |
| 5.1.2 建筑设计阶段的障碍 .....     | 130 |
| 5.1.3 其他障碍 .....          | 130 |
| 5.1.4 关于障碍的可能方法 .....     | 130 |
| 5.2 障碍类型和可能的解决方法 .....    | 131 |
| 5.2.1 安全性 .....           | 131 |
| 5.2.2 噪声 .....            | 133 |



|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 5.2.3 空气污染 .....                 | 133 |
| 5.2.4 遮阳 .....                   | 135 |
| 5.2.5 穿堂风 .....                  | 136 |
| 5.2.6 用户无意识和使用模式 .....           | 136 |
| 5.2.7 建筑规范 .....                 | 137 |
| 5.2.8 控制 .....                   | 140 |
| 5.2.9 合适的设计工具的匮乏 .....           | 142 |
| 5.2.10 对建筑的影响 .....              | 142 |
| 5.2.11 建筑师风险的增加 .....            | 142 |
| 5.2.12 设计的收费结构 .....             | 144 |
| 5.3 结论 .....                     | 144 |
| 参考文献 .....                       | 144 |
| <br>                             |     |
| 第6章 自然通风的设计指导与技术方案 .....         | 146 |
| 6.1 设计指导 .....                   | 146 |
| 6.1.1 场地设计 .....                 | 146 |
| 6.1.2 设计方案 .....                 | 150 |
| 6.1.3 建筑设计 .....                 | 151 |
| 6.1.4 开口设计 .....                 | 166 |
| 6.2 技术解决方案 .....                 | 174 |
| 6.2.1 传统建筑中的自然通风技术 .....         | 174 |
| 6.2.2 居住建筑中的自然通风 .....           | 179 |
| 6.2.3 现代非居住建筑中的自然通风和混合通风系统 ..... | 180 |
| 参考文献 .....                       | 186 |
| <br>                             |     |
| 第7章 自然通风的建筑 .....                | 188 |
| 7.1 独户住宅（葡萄牙波尔图市） .....          | 189 |
| 7.1.1 场地特征 .....                 | 190 |
| 7.1.2 建筑的介绍 .....                | 191 |
| 7.1.3 建筑材料 .....                 | 193 |
| 7.1.4 使用模式 .....                 | 194 |
| 7.1.5 夏季建筑的热学性能 .....            | 194 |
| 7.1.6 通风策略的影响 .....              | 195 |
| 7.1.7 使用者的响应 .....               | 196 |
| 7.1.8 结论 .....                   | 197 |
| 7.2 公寓大楼（CATANIA，意大利） .....      | 197 |
| 7.2.1 场地特征 .....                 | 198 |
| 7.2.2 建筑描述 .....                 | 199 |



|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| 7.2.3 建筑构造 .....                                 | 200 |
| 7.2.4 使用模式 .....                                 | 201 |
| 7.2.5 热环境和通风策略的影响 .....                          | 201 |
| 7.2.6 结论 .....                                   | 204 |
| 7.3 办公建筑: MELETITIKILTD (雅典, 希腊) .....           | 204 |
| 7.3.1 场地特征 .....                                 | 206 |
| 7.3.2 建筑描述 .....                                 | 206 |
| 7.3.3 建筑构造 .....                                 | 208 |
| 7.3.4 使用模式 .....                                 | 209 |
| 7.3.5 考虑通风后建筑性能 .....                            | 209 |
| 7.3.6 结论 .....                                   | 213 |
| 7.4 PLEIAGE 住宅 (LOUVAIN-LA-NEUVE, 比利时) .....     | 214 |
| 7.4.1 场地特征和气候条件 .....                            | 215 |
| 7.4.2 建筑设计 .....                                 | 215 |
| 7.4.3 夏季建筑的热工性能 .....                            | 219 |
| 7.4.4 通风作为被动降温技术的性能评价 .....                      | 222 |
| 7.4.5 红外线热成像 .....                               | 224 |
| 7.4.6 AIOLOS 模拟及与试验数据的对比 .....                   | 225 |
| 7.4.7 结论 .....                                   | 226 |
| 7.4.8 致谢 .....                                   | 227 |
| 7.5 海洋之门(PORTE OCEANE)住宅楼(LA ROCHELLE, 法国) ..... | 227 |
| 7.5.1 地段特征 .....                                 | 228 |
| 7.5.2 户型描述 .....                                 | 229 |
| 7.5.3 建筑结构 .....                                 | 230 |
| 7.5.4 夏季建筑的热工性能 .....                            | 231 |
| 7.5.5 结论 .....                                   | 233 |
| 7.6 学校建筑 (LYON, 法国) .....                        | 233 |
| 7.6.1 场地特征 .....                                 | 234 |
| 7.6.2 建筑描述 .....                                 | 234 |
| 7.6.3 建筑结构 .....                                 | 237 |
| 7.6.4 热质量 .....                                  | 238 |
| 7.6.5 使用模式 .....                                 | 238 |
| 7.6.6 夏季建筑的热工性能 .....                            | 238 |
| 7.6.7 通风技术的影响 .....                              | 239 |
| 7.6.8 结论 .....                                   | 240 |
| 专业词汇对照 .....                                     | 242 |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 为什么要自然通风?

设计合理的节能建筑需要平衡考虑两方面的因素:

- 建筑表皮的蓄热能力以及选取适当的供热、制冷及自然采光技术;
- 一个舒适的室内环境,包括热舒适度、有效的自然通风以及室内空气质量。

总体来说,这些都是基于优秀的实践和标准的原则之上,它们证明了社会和技术发展。

回望过去的 25 年,我们察觉到在这些方面的进步是巨大的。在所有的西方国家特别是欧洲国家,直到 1973 年都没有一个真正意义原在建筑设计中理性运用能源的政策。那个时候,能源并不昂贵且易于获得,建筑的室内热环境及质量主要是成功实践的结果。

在 1973 年石油危机之后,我们可以看到,所有西方国家开始意识到能源的匮乏,进而做出了关于加强能源控制的政策。能源危机反映在建筑中的最主要的一个结果,就是因全球化的节能而大大缩减了制冷及供热能量消耗,但却忽略了使用者的舒适度和健康问题。此时期在各个国家同时进行拟定的国家新政策中,主要关注于建筑如何在供热及制冷方面大量缩减能耗,其解决方案的目的也在于最大可能地增加围护结构的隔热性能,或通过密闭的围护结构减小空气渗透来降低建筑的能量损失。在这期间,我们看到了西方国家在建筑研究方面的切实进展,新出台的政策也有效地减少了建筑方面的能量消耗。

但是,随之而来的还有不断增加的混乱,如影响使用者健康的湿度冷凝和霉菌的滋长。又如在夏季或过渡季,因室内温度过高而影响使用者的热舒适度,低换气率而导致的低劣室内空气质量,都会影响到使用者的生产率和业绩。

20 世纪 80 年代开始关注专门针对降低能源消耗的第一批节能法规带来的后果。其结果是引发了在建筑使用者中病态建筑综合症及建筑相关疾病的危机。这些都提醒着研究人员、政策的制定者和设计师,建筑的首要功能应是为其使用者提供一个舒适健康的生活环境,抵御室外恶劣的气候环境,在此之后才是节能问题。这就是新世纪之初所谓的“能源效率”的全球性话题。

节能的进程直至 20 世纪 90 年代开始明确,不能够将室内的空气质量和室外环境分而治之。至此,建筑设计的理念开始倾向于考虑所有的环境因素,应是基于大量的质量标准基础上的考量而不仅仅是从性能的单一角度考虑。这些环境的评价标准对生产和技术方面也进行了重大的修改,例如放弃了 CFCs(氟氯化碳)在 HVAC(供热,自然通风及空调)系统中的使用,并且在国家政策中要求设计者调整主动空调系统的使用量。这些环境评价标准还强调了建筑与环境一体化设计的必要性,并且关注于更加自然地整体地利用被动式供热制冷技术或者其他更多能够提升室内气候条件因素的潜在设计。

综合考虑各种不同的因素，建筑的自然通风体现出具有相当吸引力的解决策略，它既能保证良好的室内质量，又能满足不同地区的舒适度条件。在 1994 年欧盟举办的 ZEPHYR 建筑设计竞赛中，大部分项目采用了自然通风采光作为最基本的被动式降温的技术，为室内提供了适宜的环境。

此外，自然通风又似乎回答了很多使用者对机械通风不满的问题，例如机械通风带来的噪声问题，健康问题（病态建筑综合症往往与机械 HVAC 系统联系起来），日常维护以及能耗问题。与此相反，自然通风因其节约能源（无需机械系统），易于集成到建筑中且恰当的结合能够提供健康和舒适环境而更加受到使用者的青睐。

## 1.2 自然通风调控室内空气质量及室内温度

自然的采光通风在为使用者提供良好室内空气质量和室内热舒适度方面起着很重要的作用。

### 1.2.1 自然通风调节室内空气质量

自然通风作为实现适宜的室内空气质量的策略之一，关键在于为室内空间提供新鲜的空气以及起到稀释室内污染物浓度的作用。良好的室内空气质量可以防止因污浊空气引起的使用者的烦闷不适和疾病。一个恶劣的环境会使建筑成为一座病态的建筑，使这期间使用该建筑的人可能会患上轻微的疾病。健康的室内空气质量标准是典型的基于风险评估的基础之上，它既不是最大允许浓度也不是最大允许剂量。在浓度较高时，允许短时间的对外开放要优于长期的暴露于室外。

确保适宜的室内空气质量的自然通风依赖于空气总量以及空间内主要污染物源的性质。如果已知一种放射物的特性，那么就可以计算出所需的通风效率，以此来防止污染浓度超过事先设定好的浓度范围。如图 1.1 给出了如下策略：污染程度随气流速度呈指数下降。如果我们知道了污染指数，则我们将很容易确定所需的气流速度。

事实上，确定出污染源是非常重要的。需要通过最高的通风速率去控制该污染物。

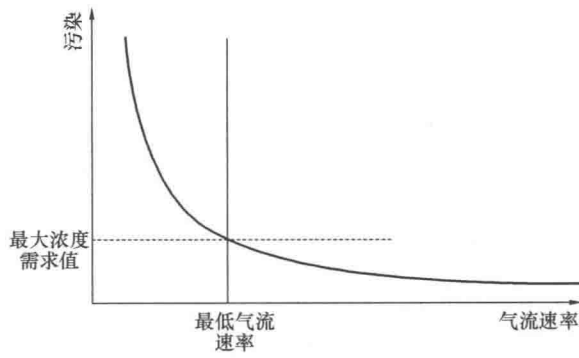


图 1.1 自然通风调节室内空气质量

因此，充分的自然通风水平可以控制主要污染源，它将足以维持室内残留的污染度低

于标准浓度的限值。

在一座能够自然通风的建筑里,空气的流通是不需要消耗能量的;唯一的能量需求是在供暖季节加热室内空气。在这种情况下,能量的需求将直接因通风率的增加而增加。在自然通风的情况下,不同的气候季节和风的特点决定了建筑物内的热环境。此外,使用者的行为,例如开关门窗也对建筑物能量消耗有着巨大的影响。图 1.2 所示反映了通风率与污染程度和能量消耗之间的关系。

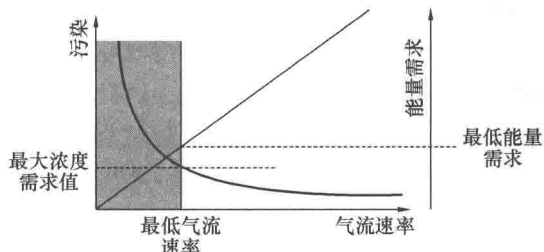


图 1.2 污染程度与能耗的结合进程

通过充足的新风供给确保适宜的室内空气质量是非常重要的,但同样也要控制以避免过高的通风率。因此,实现降低能耗和适宜的室内空气质量结合起来的优化设计就显得尤为重要,需要保持室内通风速率在一定的区域范围之内。

### 1.2.2 夏季自然通风和热舒适度

热传感器通过各项热参数可以准确客观地感知热舒适度,故而在感知热舒适度方面起着关键性的作用。在本书的第 8 章有 ASHRAE 基本原则中对热舒适度的全面的资料回顾。人体的热舒适度因人而异,有人喜好热,有人却偏爱冷。因其受到多项因素的影响,在热舒适度方面取得共识,是一个非常复杂的问题。

影响总体舒适度的参数有三种:

- 物理参数。包括大气温度、周围热环境(辐射温度或者表面温度)、空气的相对湿度、当地气流速度(均值和动荡值)、气味、周围的颜色、光线强度以及噪声指数。
- 心理参数。包括使用者的年龄、性别及个性
- 外在参数。包括人的活动、穿着及社会条件。

这些影响因素中,当地的环境即干球温度、湿度和风速在热舒适度方面起着最为重要的作用。它们可以评估这些物理参数的多种组合,以及穿衣和活动的程度。

使用者的热舒适度不能仅仅通过简单的人体热平衡来表示;许多心理上的因素也应当纳入其中。然而在人体热平衡中,每个参数积极和消极的影响都有可能成为实现适宜的热舒适度条件的策略。穿着就是一个例子,它是个人根据自身的热舒适度需求而调整的最简单的参数。

调整人体周围的气流运动也可以帮助控制热舒适度水平。空气的运动决定了人体周围的对流换热和质量交换。在夏季,较高的风速将加快皮肤表面的蒸发速度,从而有效地降温。尽管自然通风可以将较高的空气温度降至舒适区范围之内,然而室内空气流速的上限建议控制在  $0.8\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以内。超过了这个值,风会将散纸吹乱。这样的空气流动速度,可以使一个即使超过舒适度范围  $2^{\circ}\text{C}$  的房间,在 60% 的相对湿度下,仍然保持最佳的舒适度。这就意味着使用者可以在较高的气温下,仍可以有一个良好的热舒适度。

第二个直接影响舒适条件的自然通风的作用,是消除或减少室内得热,限制引起建筑物内气温升高的因素。这是在中部或南部气候条件下传统的降温策略,这些建筑有大量的

开窗朝向室外。在这种情况下，换气率会非常高以至于室内和室外达到同样的温度。这种情况下常常需要轻质高效的建筑结构，这种策略需要结合良好的遮阳措施以免墙体表面的太阳辐射渗入室内。

当室外温度在舒适温度范围内时，这种技术非常有效。然而这种策略不适用于那些在使用时需要室内送风控制的建筑。因此还需要另一种技术在非使用时段时降低建筑物结构温度，这种技术叫做夜间通风。建筑物的结构在夜间降温，也降低了使用时间段内热量。

温度的下降是由于吸收了由使用者、维护设备所产生的热量，而使室内维持在一个适宜的条件下。图 1.3 所示为该方法降温潜力的一个例子。

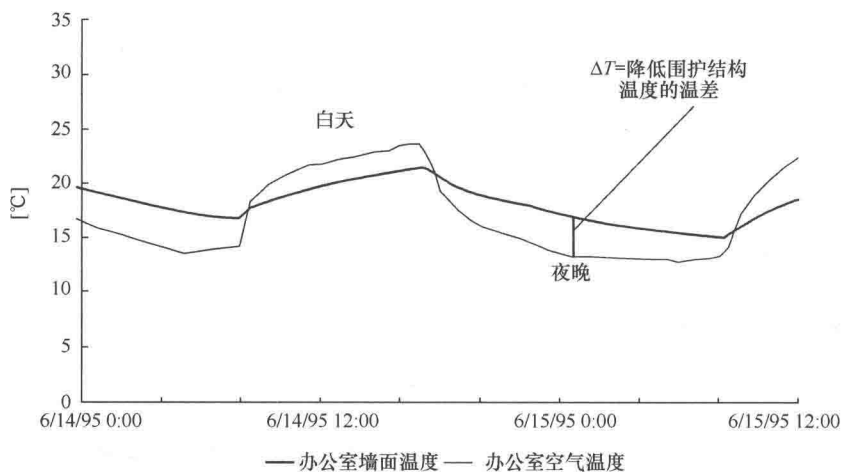


图 1.3 夜间通风的降温潜力

### 1.3 自然通风容易利用么？

自然通风非常吸引设计师和建筑师，因为自然通风是实现适宜的室内空气质量，满足各种气候条件下舒适度要求的一个强大的解决策略。在多数情况下，室内空气质量所需的最小的室内换气率是容易确定的数值，而夏天建筑的热调节所需的最大的换气率则需要更好地确定。

不同类型的建筑，如在中度温和的气候条件下，低层住宅、学校、中型的办公、建筑改建及公共建筑，需要符合逻辑且适宜的自然通风技术。对外打开的窗常常让我们联想到自然通风，尤其是在环境好的地方，常给建筑师们提供了广阔的创作空间。相对于机械系统安装、维护和运行费用来讲，自然通风还是一个非常经济且不占空间的方法。在这种情况下，夏天任何短期的不适可以也是可以被使用者容忍的。

然而“自然”同样意味着效果的不确定性以及建筑内效率的难控制性。如加热升温一般，物理现象通常符合一个简单的原理，但他们存在很多不确定性并不容易控制。

例如随机的室内气流方式就很难确定空气和墙体表面的热交换量。

此外，在很多城市环境下，空气和噪声污染使得室外空气质量和声环境并不适宜。在这种情况下，利用自然通风就不合适，或者需要特殊设计以避免直接的与室内外环境的

气体交换。当一个特殊的设计需要风导管时，风导管的直径会比机械通风的风导管要粗很多。为了使其更加高效，自然通风仍需要具有高渗透性建筑材料。对于某些特殊的建筑群来讲，这会引起安全隐患，违背防火及安全规范。在一些复杂的平面设计或多个房间的建筑设计中，没有特别的设计考虑就有可能无法实现新风供给或者混合送风。

这些例子都说明自然通风虽是非常吸引人的设计，但好的自然通风设计需要通过大量的现象及标准来检验，这并不是一个容易掌握的过程。

本书主要面向需要大量自然通风背景资料的设计师、建筑师、决策者及工程师。每一章节都解决一个方面的问题，易于理解，相邻章节也不需要特别的参考书目。

紧随绪论部分，本书下面几章的内容是：

第2章：为更好地理解风对建筑的影响以及建筑热环境的内容提供基本和必要的资料。

第3章：关注自然通风的模拟，通过简单的原理计算流体力学（CFD），基于本书提供的设计工具引入中间模型。

第4章：展示多种技术策略，研究策略在自然通风方面的优劣。

第5章：提出了自然通风的局限性，指出其关键的问题所在。

第6章：阐述了设计指南以及实现自然通风的技术。

第7章：提供了欧洲 ALTENER/AIOLOS 项目中关于建筑自然通风的一些实例。

## 第 2 章 自然通风的基础知识

F·阿拉德 (F. Allard) S·阿瓦雷兹 (S. Alvarez) 编

### 2.1 风的特性及风对建筑的影响

#### 2.1.1 气候和微气候：不同的气候区域

世界气象组织将气候定义为“以对某一地区气象要素进行长期统计为特征的天气状况的综合表现。”应当区分不同区域的不同气候。

##### 2.1.1.1 全球范围

全球范围的尺度有几千公里。这个尺度关乎地球的天文特性（球状的行星，相对于黄道面旋转轴的倾斜度以及围绕着太阳旋转的轨迹），导致各个气候区因纬度和季节的不同，呈现出不同的气候特点。除此之外，同样气候区的气候特征也因海洋和陆地分布平衡的不同而存在差异。

地面辐射平衡以及周围存在的重要的湿度来源决定了地面以上空气的湿热特点。如果在一个足够重要的表面之上且这些条件在长时间保持稳定，则将会产生大量同性质的空气，然后在空气流通过程中传递出去。

Peguy 认为在地球的表面总共有八种气体：北极地区的空气；温暖的大陆（干燥）或海洋（湿润）的极地空气；炙热的大陆（干燥）或海洋（湿润）的极地空气；大陆（干燥）或海洋（湿润）的热带空气；赤道的空气。由于地域的限制因素所形成这些不同的气体，或多或少地影响着它们所覆盖的区域的气候条件，特别是在温和的地区，例如西欧就会受到不同气团冲突的影响。

气候要素中主要的特性包括了气温、风以及降水。在 Queney 的论述中，陆地夏季最高的气温产生在亚热带的纬度地区（墨西哥 7 月份  $30^{\circ}\text{C}$ ；东南亚及撒哈拉沙漠  $35^{\circ}\text{C}$ ；澳大利亚、西南非及巴拉圭 1 月份  $30^{\circ}\text{C}$ ），陆地冬季最低气温产生在高纬度地区（西伯利亚及格林兰岛 1 月份  $-40^{\circ}\text{C}$ ；南极洲 7 月份  $-40^{\circ}\text{C}$ ）。北半球陆地中心全年的温差超过了  $40^{\circ}\text{C}$ ，但在两个热带地区之间的海域，全年的温差却不超过  $5^{\circ}\text{C}$ 。

##### 2.1.1.2 区域范围

区域范围的尺度约有几百公里。区域的气候特性受到自然地貌的影响。例如空间和距离上与山体的关系，与海洋的距离，或者空气流通中心区与区域位置的关系。

##### 2.1.1.3 本地范围

本地范围也称作地理气候范围，其尺度约有 10 公里。地域气候受到周边自然景观形态的调节，例如靠近山谷、连绵的小山或者海洋。受到这些因素的影响，风的性质则会被改变，形成了一定程度的热风，降水或者昼夜温差的热效应。



本地气候的产生是当地范围内气候条件以及一些调节因素的综合结果。这些调节因素包括了市区范围、与海洋的距离、紧邻的湖水或者其他自然景观特点（山谷或山体等等）。

海洋具有比陆地更高的热惯性。这是由于水的热容量较高，水中因季节性温度变化大约在  $8^{\circ}\text{C}$  左右；昼夜的温差在季节性温差的基础上再加上  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。海水在夏季时蓄热，然后在冬季时放热。当温和的海风吹过，沿海地带陆地的空气就被加热了。

此外，由于内陆地区昼夜辐射平衡的差异很大，特别是在晴空条件下。昼夜温度差异在距离海岸线  $10\sim 20$  公里以内会因受到海洋空气的影响而减小。在靠近海岸线 10 公里处，温差约在  $3^{\circ}\text{C}$ ：

- 在冬季，最低温度的升高是昼夜温度的幅度的增加主要原因。
- 在夏季，较高的最低温度和较低的最高温度是昼夜温度的幅度减小的主要原因。
- 在大风盛行的天气和阴天，温差会相对缩小。

当气流到达海边，因为被粗糙的地面减缓，导致气流上升。由于靠近海洋的空气具有高浓度的凝结核（含盐），靠近海洋的陆地会有更充裕的降水；这被称之为“堇现象”。

一片水体还可能引起部分水蒸汽压差的增加，特别是当水面周围受到植物遮挡，使得蒸发和蒸腾的速度弱于直接水面蒸发的速度的时候。

由于穿越不连续的陆地与海洋，气流被粗糙的地面降低了速度。同时，北半球的气流偏离向左。

#### 2.1.1.4 微气候范围

这个尺度只有几百米的范围。这是人类唯一可以通过人工智能来改变气候的尺度，例如筑造防风篱或者防风坡，再或者根据主导风向、阳光和附近水系，找出适宜的城市布局方式等等。

此外，受这些微气候环境的影响，水平方向上的温差引起水平的压力梯度，从而带动了空气的运动。

### 2.1.2 近地面风场结构

#### 2.1.2.1 大气边界层

不同时间段的风速数据资料（图 2.1）显示风速呈无规律且变化巨大的现象。这样的随机行为被称为湍流。在低大气层里，地面的障碍物以及不稳定的热气流会产生湍流。随着高度的增加湍流会随之减小。

瞬时的风速可以通过统计方法计算出来，计算方式是：

- 风速是平均值和波动值的求和。纵向分量  $u(t)$  得：

$$u(t) = \bar{u} + u'(t) \quad (2.1)$$

其中： $u(t)$  是瞬间数值， $\bar{u}$  是平均值  $u'(t)$  是波动值

- 平均风速为：

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt \quad (2.2)$$

取平均值的过程是取一个独立的时间段，并且应是  $T$  时间段内的二次均值；在大气较

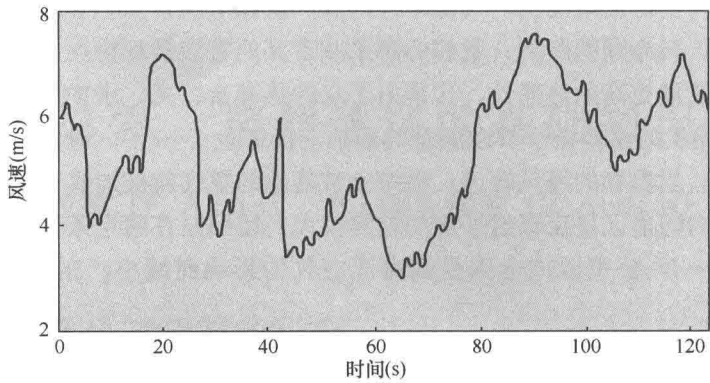


图 2.1 近地面风速的典型记录

低部分中，实验室中的  $T$  值应该控制在十分钟到一个小时之间。

● 由于附着物和非渗透条件，较平坦的表面均匀流的垂直速度和横向速度分量为零，瞬时速度  $V(t)$  为：

$$\bar{u} + u'(t), \bar{v} + v'(t), \bar{w} + w'(t)$$

其中  $u'(t)$  为纵向波动值， $v'(t)$  为横向波动值， $w'(t)$  为竖向波动值。

● 如果忽略风速中的热分层的影响（以一座普通建筑为例），那么可以初步预测，气流的方向在靠近地面处可能会很稳定（100 米深）。 $x$  轴方向表示平均气流方向，平均流动速度只决定于距地面的高度  $z$  值的大小。

对于一个水平方向的稳定气流，忽略分子黏度（molecular viscosity），纳维-斯托克斯方程为：

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{2.3}$$

不可压缩流的连续性方程为：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{2.4}$$

将雷诺兹分解速度向量（方程 2.1）代入纳维-斯托克斯方程，得：

$$\frac{\partial (u'w')}{\partial z} = 0 \tag{2.5}$$

从这个方程可以看出湍流动量通量不随高度的变化而变化。在地表（ $z = 0$ ）和高度  $z$  之间重新整理公式 2.5，得：

$$-u'w' = \frac{\tau_0}{\rho} \tag{2.6}$$

其中  $\tau_0$  是地面摩擦力。 $\tau_0$  常常等于  $\Delta u^{*2}$ ， $\Delta u^*$  在速度领域称为摩擦速度。雷诺（Reynolds）分解让我们能够在气流方程中引入湍流的影响。为了保证方程平衡，雷诺应力应当在方程中表示出来。

首先需要基于湍流和分子运动之间的类比。波动速度  $u'$  随位移的距离  $l$  呈线性变化， $w'$  与  $u'$  数量级相同。这就是普朗特混合长度理论，如公式（2.7）所示：

$$u' \cong -\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} l, w' = -cu' \tag{2.7}$$