



室内空气流动 数值模拟

李先庭 赵彬◎著

NUMERICAL ANALYSIS
ON INDOOR AIR FLOW



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

室内空气流动数值模拟

Numerical Analysis on Indoor Air Flow

李先庭 赵 彬 著



机械工业出版社

本书在简要介绍射流理论和区域模型后,重点介绍了采用计算流体力学方法计算室内空气流动时的一些特殊问题,包括风口模型、热源模型、污染源模型、结露与凝结模型等,给出了室内颗粒运动和分布的数值模拟方法,介绍了室内空气分布的常见评价指标及其数值计算方法,包括空气龄、换气效率、送风可及性、污染物年龄、排污效率、污染源可及性、余热排除效率及热舒适指标,并给出考虑人员分布的方法和对评价指标的修正,最后给出了带回风的实际系统中污染物和全程空气龄的计算方法。这些概念、理论和方法,对于创造非均匀的室内空气环境具有重要的意义。

本书是从事室内空气分布数值研究的重要参考资料,可用于建筑环境与设备工程专业、供热供燃气通风与空调工程专业高年级本科生和研究生的教学,还可供土木建筑、制冷、环境、电子、航空航天、制药、船舶、交通、农业等专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

室内空气流动数值模拟/李先庭,赵彬著. —北京:机械工业出版社, 2009. 1

ISBN 978-7-111-25540-6

I. 室… II. ①李…②赵… III. 室内空气—空气流动—数值模拟—研究生—教材 IV. TU834. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 174992 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘涛 责任编辑:刘涛 冯铤

版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉

封面设计:王伟光 责任印制:乔宇

北京中兴印刷有限公司印刷

2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

170mm×228mm·16.75 印张·325 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-25540-6

定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379720

封面无防伪标均为盗版

前 言

人的一生有70%以上的时间是在室内度过的，室内空气环境的好坏不仅关系到人的舒适与健康，也会影响工业产品的质量和劳动生产效率，还与创造室内空气环境需要的能量关系密切。良好的室内空气流动形式是实现室内合理温度、湿度、风速和污染物分布的基础，尤其是目前在特别强节能的大环境下，如何保障室内空气环境的需要，又能最大限度地节约创造室内空气环境的能耗，是摆在从事室内空气环境研究和创造的人士面前的重要课题。而目前不论是工程设计，还是产品制造，对室内空气流动的关注还远远不够，人们对室内空气流动形式的重要性还缺乏认识，对分析室内空气流动的工具还缺乏了解。本书针对室内空气流动的特殊性，在简要介绍射流理论和区域模型的基础上，重点介绍了越来越广泛应用于室内空气环境模拟的计算流体力学方法。这些理论和方法，为非均匀室内空气环境的创建打下了良好的基础。

通过本书的学习，读者不仅可以掌握室内空气流动数值模拟方法，还可以了解常用的模拟计算工具，为室内空气流动数值模拟的研究与应用打好基础。本书的主要内容是作者近十年来在此方向的研究成果，涉及许多本领域的发展前沿，目前国际上还没有与本书体系相类似的著作。

本书的写作是作者的恩师彦启森教授多年的夙愿，彦先生生前曾说好为本书写序，由于他老人家的过早仙逝，未能在他生前将本书撰写完成，成为作者的终生遗憾。为此，谨以本书表达对导师的深切怀念！

清华大学建筑技术科学系蔡浩、马晓钧、朱奋飞、彭军、邵晓亮、李蓉樱、赵阳等同学在本书撰写过程中帮助整理了大量资料和排版工作，在此表示衷心的感谢！

由于作者水平所限，有不妥和错误之处，恳请读者给予批评指正。

李先庭 赵 彬

主要符号表

- $a_P, a_W, a_E, a_N, a_S, a_B, a_T$ ——离散方程的系数
- A_c ——风口外形面积 (m^2)
- A_e ——风口有效面积 (m^2)
- A_0 ——等效喷射面积 (m^2)
- $A_{C_r}^{n_r, p}(\tau)$ ——房间 n_r 内污染源在 τ 时刻对室内任意一点 p 的污染源可及性
- $A_{C_r}^{n_r, p}$ ——稳态时房间 n_r 内污染源对室内任意一点 p 的污染源可及性
- $A_{C_r}^{n_r, n_R}$ ——第 n_r 个房间内的污染源对房间中与第 n_u 个 GAHU 相连的第 n_R 个回风口的污染源可及性
- $A_{C_c}^{n_c, p}(\tau)$ ——在时段 τ 内第 n_c 个污染源在任意点 p 处的污染源可及性
- $A_{DF}^{n_r, n_{DF}, p}$ ——稳态状况下, 第 n_r 个房间的第 n_{DF} 个直接新风口对房间 n_r 中 p 点的可及性
- $A_{DF}^{n_r, p}$ ——第 n_r 个房间的所有新风送风口对房间内任意一点 p 的送风可及性
- $A_S^{n_u, n_r, p}(\tau)$ ——第 n_u 个空调箱在 τ 时刻对第 n_r 个房间内任意一点 p 的送风可及性
- $A_S^{n_u, n_r, p}$ ——稳态时第 n_u 个空调箱对第 n_r 个房间内任意一点 p 的送风可及性
- $A_S^{n_u, n_R}$ ——稳态状况下, 第 n_u 个 GAHU 的所有送风口对第 n_r 个房间中与第 n_u 个 GAHU 相连的第 n_R 个回风口的送风可及性
- $A_S^{n_u, n_S, p}$ ——稳态状况下, 第 n_u 个 GAHU 的第 n_S 个送风口对房间 n_r 中 p 点的可及性
- $A_S^{n_S, p}(\tau)$ ——在时段 τ 内第 n_S 个送风口在室内位置 p 处的送风可及性
- b ——离散方程的源项
- B ——射流浮力通量 (N/s)
- C ——组分浓度 (kg/kg)
- C_C ——克宁汉 (Cunningham) 修正系数
- C_D ——颗粒所受流体拽力系数
- C_d ——射流喷射系数
- c_p ——空气比定压热容 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
- $C^{n_r, p}(t)$ ——房间 n_r 内任意点 p 在时刻 t 时的污染物浓度
- $C^{n_r, p}$ ——稳态下, 房间 n_r 内 p 点的污染物浓度
- C_r ——稳态下, 当污染源存在时房间 n_r 的排风口污染物平均浓度

- C_{OD} ——室外空气的污染物浓度
 C_R ——系统中只有一个 GAHU 时回风的污染物浓度
 $C_R^{n_u}$ ——第 n_u 个 GAHU 的回风浓度
 $C_R^{n_u, n_r}$ ——第 n_u 个空调箱回风中来自房间 n_r 的回风的混合浓度
 $C_R^{n_u, T}$ ——第 n_u 个 GAHU 的总回风浓度
 C_S ——系统中只有一个 GAHU 时的送风口送入空气中污染物浓度
 C_S^0 ——所有的直接新风入口的污染物浓度
 $C_S^{n_u}$ ——第 n_u 个空调箱的送风口送入空气中污染物浓度
 C_S^{NS} ——“新加回”系统中第 n_s 个循环送风口送入空气中污染物浓度
 D_e ——送风口的等效直径 (m)
 d_p ——颗粒直径 (μm)
 g_i —— i 方向之重力加速度 (m/s^2)
 H, h ——空气定压比焓值 (J/kg), 某些部分也特别指明 H 为房间高度 (m)
 J_{in} ——风口入流动量流量 ($\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$)
 k ——湍流动能 (m^2/s^2)
 K ——射流轴心速度衰减系数, 某些部分也特别指明 K 为颗粒平均沉降率 (h^{-1})
 l ——湍流特征长度或风道长度 (m)
 L ——风口送风量 (m^3/s)
 m ——风口入流质量流量 (kg/s)
 $M(\tau)$ ——在时间 τ 内的房间污染物总量 (kg)
 M ——面积律的插值权系数
 n ——房间的换气次数 (次/h)
 N_{DF} ——房间 n_r 中的直接新风送风口数量
 n_{DF} ——房间 n_r 中的直接新风送风口编号
 N_R ——房间 n_r 内与第 n_u 个空调箱相连的回风口数
 n_R ——房间 n_r 内与第 n_u 个空调箱相连的回风口编号
 N_r ——系统中存在的房间个数
 n_r ——系统中房间编号
 N_S ——房间 n_r 内与第 n_u 个空调箱相连的送风口数/新加混系统的循环送风口数
 n_s ——房间 n_r 内与第 n_u 个空调箱相连的送风口编号
 N_u ——系统中存在的独立的空气处理装置个数
 n_u ——系统中空气处理装置的编号
 P, p ——空气压力 (Pa)
 Pe ——贝克列数

- Q ——通风量 (m^3/s)
 Q^{n_r} ——房间 n_r 的总通风量
 Q^{n_r, n_u} ——第 n_u 个空调箱的回风中来自房间 n_r 的风量
 Q^{n_r, n_u, n_R} ——第 n_u 个空调箱的回风中来自房间 n_r 中与第 n_u 个空调箱相连的第 n_R 个回风口的风量
 $Q_{F_u}^{n_u}$ ——第 n_u 个空调箱的总新风量
 $Q_{R_u}^{n_u}$ ——第 n_u 个空调箱的总回风量
 $Q_{R_u}^{n_u, n_r}$ ——第 n_u 个 GAHU 从第 n_r 个房间的回风量
 $Q_{S_u}^{n_u}$ ——第 n_u 个空调箱的总送风量
 q_w ——壁面热流量 (W/m^2)
 r ——射流横断面上某考察点距离轴心的径向距离 (m)
 r^{n_r, n_u, n_R} ——第 n_u 个空调箱的回风中来自房间 n_r 中与第 n_u 个空调箱相连的第 n_R 个回风口的风量占来自房间 n_r 的风量的比
 r_F ——系统中只有一个 GAHU 时的新风比
 $r_{F_u}^{n_u}$ ——第 n_u 个 GAHU 的新风比
 $r_{R_u}^{n_u}$ ——系统中只有一个 GAHU, GAHU 从第 n_r 个房间的回风占其总回风的比例
 $r_{R_u}^{n_u, n_r}$ ——第 n_u 个 GAHU 从第 n_r 个房间的回风占其总回风的比例
 $r_{0.5}$ ——断面上流速为轴心速度 0.5 倍之点距离轴心的径向距离 (m)
 R ——空气常数, 约 $297 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 R_{fa} ——风口有效面积系数
 S_c ——组分浓度源 (kg/s)
 S ——满意度
 S_H ——热源 (W)
 S^{n_r} ——房间 n_r 内污染源总散发率
 T ——空气温度 (K)
 T^+ ——无量纲温度
 T_b ——周围环境平均温度 (K)
 T_w ——壁面温度 (K)
 T_0 ——风口出口温度 (K)
 T_m ——轴心温度 (K)
 T_r ——环境平均辐射温度 (K)
 T_{ref} ——参考温度 (K)
 t ——时刻 (s)

- U_0 ——射流出口速度 (m/s)
 U^+ ——无量纲速度
 $U(u), V(v), W(w)$ ——三个直角坐标的速度 (m/s)
 U_m ——射流轴心速度 (m/s)
 U_r ——风口实际入流速度 (m/s)
 V ——房间体积 (m^3)
 V_s ——颗粒沉降速度 (m/s)
 x_0 ——射流虚源位置距离风口的距离 (m)
 $X(x), Y(y), Z(z)$ ——三个直角坐标
 y^+ ——距离壁面的无量纲距离

希腊字母

- α ——松弛因子, 权重
 $\alpha^{n_u \cdot n_u}$ ——由流场决定的系数
 $\alpha^{n_s \cdot n_s}$ ——“新加混”系统计算过程中由流场决定的中间变量
 β ——空气热膨胀系数 (1/K)
 β^{n_u} ——由流场和污染源决定的系数
 β^{n_s} ——“新加混”系统计算过程中由流场和污染源决定的中间变量
 γ^{n_u} ——由流场、新风等决定的系数
 ϕ ——各种空气流动物理量的统称
 δ^{n_u} ——由流动特征、污染源、和净化效果决定的中间变量
 δ ——射流速度半宽度 (m)
 δ_T ——射流温度半宽度 (m)
 δ_{ij} ——克罗内克符号
 κ ——von Karman 常数
 τ_R ——颗粒松弛 (响应) 时间 (s)
 τ_p ——空气龄 (s)
 τ_{rl} ——空气从当前时刻到离开时刻的残留时间 (s)
 τ_r ——空气从进入到离开房间时的驻留时间 (s)
 τ ——所考察的时间段 (s)
 $\tau^{n_r \cdot p}$ ——第 n_r 个房间中任意点 p 的空气龄 (s)
 $\tau_{\Lambda}^{n_r \cdot p}$ ——当 GAHU 的送风空气龄为 0 时的房间 n_r 空气龄 (s)
 τ_d ——风道内空气龄的变化 (s)
 τ_d^p ——风道中任意点 p 的空气龄 (s)
 $\tau_{d,F}^{n_r}$ ——新风回风混合前新风空气龄, 即新风道空气龄增量 (室外新风空气龄为 0) (s)

- $\tau_{d,F}^{n_u}$ ——第 n_u 个 GAHU 新回风混合前的新风空气龄 (s)
 $\tau_{DF}^{n_r, n_{DF}}$ ——第 n_r 个房间中第 n_{DF} 个直接新风口的空气龄 (s)
 $\tau_{d,R}^{n_r}$ ——与第 n_r 个房间相连的回风道空气龄增量 (s)
 $\tau_{d,R}^{n_u}$ ——第 n_u 个 GAHU 的回风道空气龄增量 (s)
 $\tau_{d,S}^{n_r}$ ——与第 n_r 个房间相连的送风道空气龄增量 (s)
 $\tau_{d,S}^{n_u}$ ——第 n_u 个空气处理设备的送风道空气龄增量 (s)
 $\tau_F^{n_u}$ ——第 n_u 个 GAHU 中混风前新风的空气龄 (s)
 τ_{mix} ——在 GAHU 处的新风与回风混合后的空气龄 (s)
 $\tau_{mix}^{n_u}$ ——第 n_u 个 GAHU 新回风混合后的空气龄 (s)
 τ_n ——房间的名义时间常数 (s)
 $\bar{\tau}_p$ ——房间空气龄的平均值 (s)
 τ_R ——系统只有一个 GAHU 时, 新回风混合前的回风空气龄 (s)
 $\tau_R^{n_r}$ ——第 n_r 个房间回风口处回风空气龄 (s)
 $\tau_R^{n_u}$ ——第 n_u 个 GAHU 中回风混合前的空气龄 (s)
 $\tau_R^{n_r, n_u, n_R}$ ——第 n_r 个房间中与第 n_u 个 GAHU 相连的第 n_R 个回风口处的空气龄 (s)
 $\tau_{r,R}^{n_r}$ ——第 n_r 个房间的回风口处房间空气龄 (s)
 $\tau_{r,R}^{n_u}$ ——与第 n_u 个 GAHU 相连的房间回风口处的房间空气龄 (s)
 $\Delta\tau_R^{n_r, n_u, n_R}$ ——从第 n_r 个房间中的第 n_R 个回风口到第 n_u 个 GAHU 混风前的空气龄增量 (s)
 $\tau_S^{n_r}$ ——第 n_r 个房间送风口处送风空气龄 (s)
 $\tau_S^{n_u}$ ——第 n_u 个 GAHU 中回风与新风混合后的送风空气龄 (s)
 $\tau_{S_0}^{n_r, p}$ ——当所有送风口空气龄为 0 时, 第 n_r 个房间中的任意点 p 的房间空气龄 (s)
 $\tau_{S_0}^{n_r, n_u, n_R, p}$ ——当所有 GAHU 的送风空气龄为 0 时, 第 n_r 个房间中与第 n_u 个 GAHU 相连的第 n_R 个回风口处的空气龄 (s)
 $\tau_S^{n_r, n_u, n_S}$ ——第 n_r 个房间中与第 n_u 个 GAHU 相连的第 n_S 个送风口处的空气龄 (s)
 $\Delta\tau_S^{n_r, n_u, n_S}$ ——从第 n_u 个 GAHU 的送风段初始位置到第 n_r 个房间中的第 n_S 个送风口的空气龄增量 (s)
 τ_w ——壁面切应力 (Pa)
 ϵ ——湍流动能耗散率 [$J/(kg \cdot s)$]
 λ ——空气热导率 (导热系数) [$W/(m \cdot K)$]
 λ_1 ——空气平均自由程 (μm)

- λ_t ——当量湍流传热系数 [$W/(m \cdot K)$]
 ρ ——空气密度 (kg/m^3)
 μ_l, μ ——空气层流动力粘度 ($Pa \cdot s$)
 μ_t ——湍流粘性系数, ($Pa \cdot s$)
 μ_{eff} ——等效粘性系数, ($Pa \cdot s$)
 ν ——空气层流运动粘度 (m^2/s)
 ν_t ——空气湍流运动粘度 (m^2/s)
 Γ_{eff} ——等效热扩散率 (m^2/s)
 η ——系统中只有一个 GAHU 时的污染物净化效率
 $\eta_{ref}^{n_r}$ ——房间 n_r 的直接新风的污染物净化效率
 η_r ——余热排除效率
 η^{n_u} ——第 n_u 个 GAHU 的污染物净化效率
 Γ ——污染物或空气龄的扩散系数 (m^2/s)
 σ ——玻尔兹曼 (Boltzmann) 常数
 σ_H ——焓的当量普朗特 (Prandtl) 数
 σ_k ——湍流动能的当量普朗特 (Prandtl) 数
 σ_ϵ ——湍流动能耗散率的当量普朗特 (Prandtl) 数

特征数

- Ar ——阿基米德 (Archimedes) 数
 Pe ——贝克莱 (Peclet) 数
 Pr ——层流普朗特 (Prandtl) 数
 Pr_t ——湍流普朗特 (Prandtl) 数
 Ra ——瑞利 (Rayleigh) 数
 Re ——雷诺 (Reynolds) 数
 Re_t ——湍流雷诺 (Reynolds) 数

下标

- a ——空气相
 p ——颗粒相
 w, e, n, s, b, t ——离散控制体各面
 W, E, N, S, B, T ——离散控制体中心节点
 i, j, k ——三个直角坐标
 eff ——等效
 ref ——参考点

- in, 0——送风口出口 (房间入流)
- m——射流轴心
- w——壁面
- t——湍流
- S——送风
- R——回风
- F——新风
- E——排风
- DF——直接新风
- OD——室外
- d——管道

缩略语

- ADPI——空气分布特性指标
- ASHRAE——美国供热制冷空调工程师协会
- ASM——代数应力模型
- AHU——空气处理装置
- CFD——计算流体力学
- DEA——直接排风
- DFA——直接新风
- DNS——直接数值模拟
- EA——排风
- EVM——涡粘系数模型
- FA——新风
- FAHU——新风空调箱
- FCU——风机盘管
- FVM——有限容积法
- GAHU——通用空气处理装置
- IACS——集成污染源可及性
- IAQ——室内空气品质
- IEA——国际能源组织
- IPMV——综合预测平均投票率
- LES——大涡模拟
- OD——人员分布密度
- PMV——预测平均投票率

- PPD——预测不满意百分率
 RA——回风
 RAC——房间空调器
 RANS——雷诺平均方程
 RSM——雷诺应力模型
 SA——送风
 SARS——严重急性呼吸综合征（俗称：传染性非典型肺炎）
 SIMPLE——压力耦合方程的半隐式算法

录 目

1	.....	.....
2	.....	.....
3	.....	.....
4	.....	.....
5	.....	.....
6	.....	.....
7	.....	.....
8	.....	.....
9	.....	.....
10	.....	.....
11	.....	.....
12	.....	.....
13	.....	.....
14	.....	.....
15	.....	.....
16	.....	.....
17	.....	.....
18	.....	.....
19	.....	.....
20	.....	.....
21	.....	.....
22	.....	.....
23	.....	.....
24	.....	.....
25	.....	.....
26	.....	.....
27	.....	.....
28	.....	.....
29	.....	.....
30	.....	.....
31	.....	.....
32	.....	.....
33	.....	.....
34	.....	.....
35	.....	.....
36	.....	.....
37	.....	.....
38	.....	.....
39	.....	.....
40	.....	.....
41	.....	.....
42	.....	.....
43	.....	.....
44	.....	.....
45	.....	.....
46	.....	.....
47	.....	.....
48	.....	.....
49	.....	.....
50	.....	.....
51	.....	.....
52	.....	.....
53	.....	.....
54	.....	.....
55	.....	.....
56	.....	.....
57	.....	.....
58	.....	.....
59	.....	.....
60	.....	.....
61	.....	.....
62	.....	.....
63	.....	.....
64	.....	.....
65	.....	.....
66	.....	.....
67	.....	.....
68	.....	.....
69	.....	.....
70	.....	.....
71	.....	.....
72	.....	.....
73	.....	.....
74	.....	.....
75	.....	.....
76	.....	.....
77	.....	.....
78	.....	.....
79	.....	.....
80	.....	.....
81	.....	.....
82	.....	.....
83	.....	.....
84	.....	.....
85	.....	.....
86	.....	.....
87	.....	.....
88	.....	.....
89	.....	.....
90	.....	.....
91	.....	.....
92	.....	.....
93	.....	.....
94	.....	.....
95	.....	.....
96	.....	.....
97	.....	.....
98	.....	.....
99	.....	.....
100	.....	.....

目 录

前言

主要符号表

第一章 室内空气流动数值模拟方法概述	1
第一节 室内空气流动所涉及的范畴	1
第二节 室内空气流动数值模拟的发展历程	2
一、射流理论与区域模型	2
二、计算流体力学方法	3
第三节 学习室内空气流动数值模拟的目的	4
参考文献	6
第二章 射流理论和区域模型	9
第一节 空调送风射流分类	9
第二节 自由射流	11
一、等温自由射流	11
二、非等温自由射流	14
第三节 有限空间射流	15
一、受限射流	15
二、贴壁射流	16
第四节 用射流理论设计气流组织	16
一、工作区平均速度和温度的校核	17
二、侧上送气流组织形式贴附长度的校核	18
第五节 区域模型方法	18
一、区域模型的基本概念	18
二、区域模型的基本方法	19
三、区域模型的应用示例	23
第六节 新型分区方法及应用示例	24
一、新型分区方法	24
二、应用示例	27
三、区域模型小结	29
参考文献	30
第三章 计算流体力学基础	31
第一节 室内空气流动数值计算的物理模型	31

第二节 室内空气流动数值计算的数学模型	32
一、控制微分方程	32
二、边界条件和初始条件	33
第三节 湍流模型	34
一、湍流模拟概述	34
二、湍流模型	36
三、壁面函数法	44
第四节 典型数值计算方法	46
一、方程的离散	46
二、离散方程的求解	51
三、流场与其他变量的迭代求解: SIMPLE 算法	55
第五节 其他数值计算方法简介	57
一、有限元法	57
二、有限差分法	58
三、有限分析法	58
四、边界元法	59
五、谱分析方法	59
第六节 典型商用 CFD 软件简介	59
参考文献	61
第四章 室内空气流动模拟中的特殊问题	63
第一节 数值计算的风口模型	63
一、风口模型问题的重要性和传统风口描述方法的弊端	63
二、直接描述类风口模型	65
三、间接描述类风口模型	67
四、 N 点风口模型	72
五、实际连接条件下的 N 点风口模型	76
第二节 热源模型	84
一、人体的散热特性	84
二、设备散热特性的研究	93
三、灯光散热特性的研究	94
四、热源模型的简化处理方法	95
第三节 污染源模型	96
一、污染源及污染物散发特点	96
二、气态物质的散发和分布模拟	97
三、污染物去除装置模型	99
第四节 结露与凝结模型	99
第五节 辐射换热的计算	100

一、辐射换热计算的重要性及特殊性	100
二、辐射计算的方法	102
三、辐射换热条件下室内空气流动的数值模拟	104
第六节 室内空气流动的简捷数值模拟方法	111
一、湍流模型	111
二、计算速度问题	113
三、室内空气流动的简捷数值模拟方法的建立	117
四、算例验证	118
参考文献	121
第五章 室内颗粒运动和分布的数值模拟	125
第一节 室内颗粒运动和分布数值模拟的意义	125
第二节 集总参数法	126
第三节 室内颗粒运动的轨道模型模拟和应用	127
一、室内颗粒运动的轨道模型	127
二、室内颗粒轨道模型验证	132
三、颗粒轨道模型应用：不同通风室内颗粒运动规律比较	133
第四节 室内颗粒分布的滑移通量模型和应用	138
一、室内颗粒作为连续相的前提条件分析	138
二、室内颗粒的滑移通量模型	139
三、颗粒分布简捷数值模拟方法应用：不同通风室内颗粒分布扩散规律比较	143
参考文献	151
第六章 室内空气分布的评价指标与数值计算	155
第一节 送风有效性指标	155
一、空气龄	156
二、换气效率	161
三、送风可及性	164
第二节 污染物去除有效性指标	166
一、污染物年龄	166
二、排污效率	167
三、污染源可及性	169
四、余热排除效率	172
第三节 热舒适指标	172
一、平均辐射温度和操作温度	172
二、PMV、PD和PPD	173
三、空气分布特性指标(ADPI)	174
四、不均匀系数	174
五、热舒适指标计算示例	175

第四节 考虑人员分布的修正	176
一、修正的换气效率	177
二、修正能量利用系数	180
三、集成污染源可及性和 PMV	182
第五节 体育场馆气流组织评价体系	182
一、考虑人员分布的评价指标	183
二、体育场馆气流组织评价体系	183
三、评价体系的应用实例	187
参考文献	188
第七章 带回风系统的室内空气流动模拟方法	190
第一节 通风空调系统的分类	190
一、常见通风空调系统形式	190
二、通用通风空调系统物理模型	194
第二节 通用通风空调系统中污染物分布的计算方法	195
一、几个简化假设	195
二、几个重要的基本概念	196
三、通用通风空调系统中污染物分布计算方法	198
第三节 通用通风空调系统全程空气龄计算方法	199
一、全程空气龄概念的提出	200
二、风道中空气龄的数值计算	200
三、多股空气混合时空气龄的数值计算	202
四、送风口处空气龄与房间中全程空气龄分布之间的关系	203
五、通用通风空调系统中全程空气龄计算方法	205
第四节 计算模型的应用	208
一、几种典型系统中污染物分布举例	208
二、几种典型系统中全程空气龄分布举例	215
参考文献	230
附录	231
附录 A 常见空调风口的多元三通量风口模型	231
附录 B 常见实际连接下的风口模型修正	232

第一章 室内空气流动数值模拟方法概述

第一节 室内空气流动所涉及的范畴

随着经济的发展和水平的提高,人们在室内的时间越来越长。据统计,绝大多数人有70%~90%的时间是在室内度过的^[1]。因此,室内空气环境的好坏,对于人们的舒适、健康具有重要的意义。同时,良好的室内空气环境还是保障产品质量、提高生产效率的重要手段。

传统的室内空气流动主要是指建筑内的空气流动。但随着经济的发展和人们活动能力的提高,室内空气流动所涉及的范畴也在进一步扩展。根据应用对象的特点,可将室内空气流动所涉及的对象分为如下几类:

(1) 建筑环境 建筑环境是室内空气流动最重要的对象,通常包括商用建筑、住宅建筑及地下建筑等。典型商用建筑包括写字楼、酒店、医院、商场、学校、体育场馆、剧场、车站、机场等;住宅建筑则包括高层住宅、多层住宅、别墅、庄园等;地下建筑种类各异,包括地铁、地下隧道、人防工程等。

(2) 交通工具 交通工具与人的关系越来越密切,被称为“移动的建筑”。交通工具包括各类汽车、火车、飞机、轮船等。

(3) 洁净室 洁净环境是一种特殊的建筑环境,包括用于大规模集成电路生产制造的洁净车间、医院手术室、制药和食品包装的GMP车间、洁净动物房等。

(4) 人工气候室 人工气候室在工农业生产中被广泛应用,包括精密仪器工作间、武器和装备性能测试室、植物园、种子培养室等要求恒温恒湿的地方。

(5) 国防工业 在国防工业中,有很多特殊的环境对室内空气流动要求比较高,如军舰、坦克、装甲车、潜艇等军用装备中舒适与生命环境的维持,飞船、航天飞机及空间站中微重力条件下的环境创造,各种导弹装备的实验与发射平台环境的维持等。

(6) 工业生产 在工业生产过程中,经常要控制工艺环境和生产环境的温度、湿度、颗粒浓度等,如钢铁、化工、冶金、采矿等。

从上面的应用对象可以看出,室内空气流动所涉及的对象基本上可分为三种类型:人居环境,主要关注人的健康与舒适,需要控制室内空气温度、湿度、污染气体和悬浮颗粒物浓度;动植物生命环境,主要关注对象是动物与植物,需要