

研究生教学用书

教育部学位管理与研究生教育司推荐

# 大气边界层动力学

*Dynamics of Atmospheric  
Boundary Layer*

赵 鸣 编著

高等教育出版社

**研究生教学用书**

教育部学位管理与研究生教育司推荐

# 大气边界层动力学

Dynamics of Atmospheric  
Boundary Layer

赵 鸣 编著

高等教育出版社



## 内容简介

本书论述大气边界层动力学的基本原理,并尽量反映新的研究成果。内容包括近地层动力学、全边界层相似理论及其应用、大气边界层闭合模式、稳定和不定边界层的空间结构和时间演化、非均匀下垫面上的边界层动力学、三力和四力平衡边界层动力学、边界层和自由大气间的相互作用中的某些问题。大气边界层动力学与大气科学各部分都有密切关系,本书既考虑了它与大气物理学有关的部分,也考虑了它与天气动力学有关的部分。本书可作为大气科学类专业研究生的教材,也可供大气科学和相关专业,如环境保护、地理、农林、水利及相关工程科学(如风能利用、建筑设计)等部门的科学工作者参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

大气边界层动力学/赵鸣编著. —北京:高等教育出版社,2006.7

ISBN 7-04-018947-X

I. 大... II. 赵... III. 大气边界层-大气动力学  
IV. P433

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 052770 号

|      |     |      |     |      |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|
| 策划编辑 | 沈 俐 | 责任编辑 | 张海雁 | 封面设计 | 李卫青 |
| 责任绘图 | 宗小梅 | 版式设计 | 史新薇 | 责任校对 | 姜国萍 |
| 责任印制 | 朱学忠 |      |     |      |     |

|      |                |      |                                                                   |
|------|----------------|------|-------------------------------------------------------------------|
| 出版发行 | 高等教育出版社        | 购书热线 | 010-58581118                                                      |
| 社 址  | 北京市西城区德外大街 4 号 | 免费咨询 | 800-810-0598                                                      |
| 邮政编码 | 100011         | 网 址  | <a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>         |
| 总 机  | 010-58581000   |      | <a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>         |
| 经 销  | 蓝色畅想图书发行有限公司   | 网上订购 | <a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>       |
| 印 刷  | 临沂银光印刷包装有限公司   |      | <a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a> |
|      |                | 畅想教育 | <a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>         |
| 开 本  | 787×960 1/16   | 版 次  | 2006 年 7 月第 1 版                                                   |
| 印 张  | 23.25          | 印 次  | 2006 年 7 月第 1 次印刷                                                 |
| 字 数  | 380 000        | 定 价  | 34.60 元                                                           |

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18947-00



# 前 言

本书大部分取自笔者二十多年来为南京大学大气科学系大气物理和大气环境及气象学两个专业研究生开设的“大气边界层动力学”课程讲的内容。考虑到近年来该学科取得了很多新进展,因此本书在内容和章节安排上都作了较大改动,增加了不少新内容。特别是近年来在用动力气象学观点研究大气边界层方面取得了很多新发展,这方面我国学者取得了丰硕成果,因此本书又增加了这方面的内容(第八、第九章)。凡这方面的部分内容有的书中已有讨论的(如伍荣生的《大气动力学》),我们此处将尽量从简,着重叙述其他书中未见的内容。关于湍流脉动场的谱分析部分,主要是资料的分析结果,在本科生教学内容中已涉及,本书只作简略介绍,而不作详细叙述。

大气边界层动力学与大气科学各部分都有密切关系,本书既考虑了它与大气物理学有关的部分,也考虑了它与天气动力学有关的部分。

本书可作为大气科学类各专业研究生的教材,也可供大气科学和相关专业的科学工作者参考。在用作教材时,可视需要而对书中内容作适当取舍。

由于很多研究成果是第一次总结于书中,难免有不妥或谬误之处,敬请读者批评指正。

赵 鸣

南京大学中尺度灾害天气教育部重点实验室  
南京大学大气科学系

2004年10月

# 符 号 表

(通用符号不标章号,在某些章中同一符号有其他含义者,用括号标出章号)

|             |                                        |
|-------------|----------------------------------------|
| $A$         | 相似性函数,地面反射率(7),内边界层顶处热通量与底处热通量之比(7)    |
| $A'$        | 考虑非定常均匀时的相似性函数                         |
| $A_h$       | 用实际边界层高度时的相似性函数                        |
| $A_m$       | 一种修正后的相似性函数                            |
| $A_{\min}$  | 土壤全干时反射率                               |
| $A_\lambda$ | 考虑斜压的相似性函数                             |
| $A_0$       | 定常均匀时相似性函数                             |
| $B$         | 相似性函数,Bowen 比(3)                       |
| $B'$        | 考虑非定常均匀时的相似性函数                         |
| $B_h$       | 用实际边界层高度时的相似性函数                        |
| $B_m$       | 一种修正后的相似性函数                            |
| $B_\lambda$ | 考虑斜压的相似性函数                             |
| $B_0$       | 定常均匀时相似性函数                             |
| $B_H^{-1}$  | 由温度的标量粗糙度定义的参数                         |
| $B_V^{-1}$  | 由水汽的标量粗糙度定义的参数                         |
| $C$         | 相似性函数,某种标量(5)                          |
| $C_D$       | 拖曳系数                                   |
| $C_{DN}$    | 中性拖曳系数                                 |
| $C_E$       | 总体水汽输送系数                               |
| $C_H$       | 总体热输送系数                                |
| $C_{HN}$    | 中性总体热输送系数                              |
| $C_h$       | 用实际边界层高度时的相似性函数                        |
| $C_m$       | 一种修正后的相似性函数                            |
| $C_\theta$  | 一种总体热输送系数                              |
| $C_\lambda$ | 考虑斜压的相似性函数                             |
| $C_0$       | 与辐射等有关的与温度日变化成正比的量                     |
| $D$         | 相似性函数,无量纲稳定度(6)                        |
| $D_h$       | 用实际边界层高度时的相似性函数                        |
| $E$         | 湍流动能,水汽通量,地面处水汽通量(6),Ekman 数(8),蒸发量(4) |

---

|                  |                                           |
|------------------|-------------------------------------------|
| $E_h$            | 边界层顶端流动能                                  |
| $E_m$            | Blackadar 模式中负面积与正面积之比                    |
| $F$              | 湍流能谱函数(1), 无量纲热通量(6)                      |
| $F_H$            | 总体热输送系数与其中性值的比                            |
| $F_M$            | 拖曳系数与其中性值的比                               |
| $F_s$            | 到地面短波辐射通量                                 |
| $F_0$            | 向下长波通量                                    |
| $G$              | 地转风速, 进入土壤热通量(3), 广义无摩擦风(4), 地面通量(7)      |
| $\mathbf{G}$     | 地转风矢                                      |
| $G_s$            | 进入土壤热通量                                   |
| $G_0$            | 地面地转风速, 定常均匀时的地转风速(4)                     |
| $H$              | 湍流热通量, 感热通量, 山顶高度(7), 边界层高度(8), 高度尺度(8)   |
| $\mathbf{H}$     | 分子热通量                                     |
| $H_g$            | Blackadar 模式中地面热通量                        |
| $H_i$            | Blackadar 模式中第 $i$ 层处热通量(6), 内边界层顶处热通量(7) |
| $H_l$            | 潜热通量                                      |
| $H_m$            | Blackadar 模式中 $z_m$ 处热通量                  |
| $H_s$            | 感热通量, 进入土壤的热通量(7)                         |
| $\mathbf{H}_t$   | 湍流热通量                                     |
| $H_0$            | 地面热通量                                     |
| $H_l$            | Blackadar 模式中近地层热通量                       |
| $I_s$            | 到地面的短、长波辐射之和                              |
| $I_{s0}$         | $I_s$ 的日平均值                               |
| $I_{s1}$         | $I_s$ 的变化振幅                               |
| $I_u$            | 地面长波辐射                                    |
| $I_0 \downarrow$ | 大气逆辐射                                     |
| $K$              | 湍流交换系数, 湍流波数(1)                           |
| $K_c$            | 标量 $c$ 的湍流交换系数                            |
| $K_E$            | 湍能的湍流交换系数                                 |
| $K_h$            | 湍流热量交换系数                                  |
| $K_m$            | 湍流动量交换系数                                  |
| $K_q$            | 湍流水汽交换系数                                  |
| $K_T$            | 分子热传导系数                                   |
| $K_x$            | 水平湍流交换系数                                  |
| $K_z$            | 垂直湍流交换系数                                  |

- $K_e$  湍能耗散率的湍流交换系数  
 $K_0$  地面处  $K$  值,  $K$  场水平展开时的常数项(8)  
 $K_1$  1 m 处  $K$  值  
 $L$  Monin-Obukhov 长度, 长度尺度(4, 8, 9), 湍流尺度(1), 山水平长度特征值(7)  
 $L_t$  森林的叶面积指数  
 $L_v$  蒸发潜热  
 $L_w$  考虑湿度订正的 Monin-Obukhov 长度  
 $L_s$  全边界层的高度尺度  
 $M$  土水有效率  
 $N$  Blackadar 模式中负面积  
 $P$  机械湍能产生率(6), Blackadar 模式中正面积(6), Exner 函数(7), 平均地面参数(7)  
 $P_b$  热力湍能产生率  
 $P_s$  机械湍能产生率  
 $Pr$  Prandtl 数  
 $Q$  水汽通量  
 $R$  气体常数, 湍流相关系数(1), 地面辐射差额的日平均值(6), 人为加热(7), 入射辐射(7), 长波辐射引起的位温变化(9)  
 $R_j$   $j$  方向的辐射通量  
 $R_N$  向下净辐射  
 $R_{nb}$  裸土上空气中的净辐射通量  
 $R_{nt}$  森林上空气中的净辐射通量  
 $R_{ns}$  草地上空气中的净辐射通量  
 $R_1$  地面辐射差额的日振幅  
 $Rb$  总体里查逊数  
 $Re$  雷诺数  
 $Re_c$  雷诺数的临界值  
 $Re_1$  湍流运动的雷诺数  
 $Re^*$  粗糙度雷诺数  
 $Rf$  通量里查逊数  
 $Ri$  梯度里查逊数  
 $Ri_c$  临界里查逊数  
 $Ro$  边界层 Rossby 数, Rossby 数(8)  
 $S$  全边界层稳定度参数, 湍流能谱函数(1), 风切变(4), 一种风切变表

|                   |                                          |
|-------------------|------------------------------------------|
|                   | 示(5,7), 网格面积(7)                          |
| $S_D$             | 表征边界层内外参数比的特征量                           |
| $S_H$             | 表征边界层内外参数比的特征量                           |
| $T$               | 绝对温度, 湍能总耗散(9)                           |
| $T_a$             | 夜间温度的一种时间尺度(6), 气温(7)                    |
| $T_d$             | 土壤下界温度                                   |
| $T_i$             | 夜间温度的一种时间尺度                              |
| $T_g$             | 下垫面温度                                    |
| $T_m$             | 时间尺度                                     |
| $T_s$             | 土壤温度                                     |
| $T_0$             | 基态绝对温度, 气温日平均值(6)                        |
| $T_1$             | 温度对基态温度的偏差, 近地面空气温度(6)                   |
| $T_2$             | 土壤温度                                     |
| $T_*$             | 摩擦温度                                     |
| $U_g$             | 广义无摩擦风的分量                                |
| $U_*$             | 局地摩擦速度                                   |
| $V$               | 特征速度尺度, 总风速, 复速度(6)                      |
| $\mathbf{V}$      | 速度矢量                                     |
| $V_a$             | Blackadar 模式中近地层总风速                      |
| $V_d$             | 复地转偏差                                    |
| $V_{d0}$          | 复地转偏差初值                                  |
| $V_g$             | 广义无摩擦风的分量                                |
| $V_h$             | 边界层顶风速                                   |
| $V_{gr}$          | 梯度风速                                     |
| $\mathbf{V}_{gr}$ | 梯度风矢量                                    |
| $W$               | 总风速(6), 复速度(8)                           |
| $W_d$             | 复地转偏差                                    |
| $W_g$             | 复地转风                                     |
| $W_i (i=1, 2, 3)$ | 复速度                                      |
| $W_0$             | $W$ 按 $Ro$ 数展开时的零次项                      |
| $W_1$             | $W$ 按 $Ro$ 数展开时的一次项                      |
| $W^*$             | $W$ 的共轭复数                                |
| $Y$               | 混合位势                                     |
| $a$               | 单位体积植被内叶面积(6), 森林的叶面积密度(6), 土壤导温系数的方根(6) |

|              |                                           |
|--------------|-------------------------------------------|
| $a_0$        | 塔层风速廓线公式中的参数                              |
| $a_1$        | 塔层风速廓线公式中的参数                              |
| $b$          | 无量纲应力高度分布中的幂指数的虚数部分                       |
| $b_0$        | 塔层风速廓线公式中的参数                              |
| $b_1$        | 塔层风速廓线公式中的参数                              |
| $c$          | 标量                                        |
| $c_d$        | 地转拖曳系数的平方,植被内部平均拖曳系数(6)                   |
| $c_g$        | 地转拖曳系数                                    |
| $c_{ij}$     | 过渡湍流模式中的交换系数                              |
| $c_p$        | 空气定压比热                                    |
| $c_s$        | 土壤的比热                                     |
| $c_0$        | 湍流动量交换系数表达式中的常数,塔层位温廓线公式中的参数(4)           |
| $c_1$        | 湍能耗散率表达式中的常数,塔层位温廓线公式中的参数(4)              |
| $d$          | 零平面位移,界面亚层高度(3),气块在稳定气层中所能上升的距离(6)        |
| $e$          | 绝对湿度                                      |
| $e_b$        | 附加湍能                                      |
| $e_g$        | 地表绝对湿度                                    |
| $f$          | 地转参数,一种湍流无量纲频率(1),山形函数(7)                 |
| $g$          | 重力加速度                                     |
| $g_b$        | 与底通量有关的相似性函数                              |
| $g_t$        | 与顶通量有关的相似性函数                              |
| $h$          | 边界层高度,粗糙元高度(3),森林高度(6),内边界层顶高度(7),锋面高度(9) |
| $h_d$        | 风向达地转风的高度                                 |
| $h_e$        | 夜间边界层高度平衡值                                |
| $h_i$        | 逆温高度                                      |
| $h_n$        | 无量纲内边界层顶高度                                |
| $h_s$        | 近地层顶高度,局地地形高度(9)                          |
| $h_T$        | 热力边界层高度                                   |
| $h_0$        | 初始边界层高度                                   |
| $k$          | 卡门常数                                      |
| $\mathbf{k}$ | 垂直单位矢量                                    |
| $k_T$        | 分子导温系数,塔层位温廓线中的参数(4)                      |

|           |                                                                                                               |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $l$       | 混合长,特征长度尺度(1,5),平均的混合长(6),内层高度(7)                                                                             |
| $l_i$     | 稳定层底湍流的长度尺度                                                                                                   |
| $l_0$     | 特征长度尺度                                                                                                        |
| $l_1$     | 1 m 处混合长                                                                                                      |
| $m$       | 风廓次律中的幂次,塔层风廓线中的参数(4),某气层单位时间内与近地面气层进行质量交换时那部分质量与该层总质量之比(6),无量纲热通量高度分布中的幂指数(6),无量纲位温高度分布中的幂指数(6),湍流交换系数的方根(6) |
| $n$       | 湍流频率(1),塔层风廓线中的参数(4),无量纲应力高度分布中的幂指数的实数部分(6),无量纲位温高度分布中的幂指数(6)                                                 |
| $n_t$     | 森林覆盖率                                                                                                         |
| $n_s$     | 草地覆盖率                                                                                                         |
| $p$       | 压力                                                                                                            |
| $p_v$     | 植物的水汽蒸腾通量                                                                                                     |
| $p_0$     | 基态压力,气压场展开中的常数项(8),地面气压(9)                                                                                    |
| $p_1$     | 压力对基态压力的偏差                                                                                                    |
| $q$       | 比湿,湍动能二倍的平方根(5)                                                                                               |
| $q_a$     | Blackadar 模式中近地面层比湿                                                                                           |
| $q_m$     | 饱和比湿                                                                                                          |
| $q_s$     | 地表面处的空气湿度                                                                                                     |
| $q_{sat}$ | 饱和比湿                                                                                                          |
| $q_0$     | $z_0$ 或地面处比湿                                                                                                  |
| $q_*$     | 摩擦湿度                                                                                                          |
| $r$       | 相对湿度,自然坐标中等压线曲率半径(8)                                                                                          |
| $r_c$     | 叶孔阻抗                                                                                                          |
| $s$       | 一种稳定度参数(4),无量纲风切变(6)                                                                                          |
| $t$       | 时间                                                                                                            |
| $t_i$     | 自由对流时温度尺度                                                                                                     |
| $t_*$     | 局地摩擦速度                                                                                                        |
| $u$       | 风速, $x$ 方向风速                                                                                                  |
| $u_a$     | Blackadar 模式中近地面层 $u$ 风速                                                                                      |
| $u_b$     | 边界层风分量                                                                                                        |
| $u_E$     | Ekman $u$ 风速                                                                                                  |
| $u_f$     | 自由对流时速度尺度,自由大气风分量(8)                                                                                          |
| $u_g$     | $x$ 方向地转风速                                                                                                    |

|                   |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|
| $u_{gh}$          | $x$ 方向边界层顶地转风速                      |
| $u_h$             | 植被顶高度 $h$ 处风速(6), 内边界层顶处风速(7)       |
| $u_i$             | $i$ 方向风速                            |
| $u_j$             | $j$ 方向风速                            |
| $u_m$             | 边界层平均 $x$ 方向风速(4), 混合层中平均风速(7)      |
| $u_T$             | 半地转理论中边界层顶 $x$ 方向风速                 |
| $u_0$             | 上风向平地风速(7), $W_0$ 的实部(8)            |
| $u_1$             | 1 m 处风速, 塔层中风速(4)                   |
| $u_{10}$          | 10 m 处风速                            |
| $u_*$             | 摩擦速度                                |
| $u'_*$            | 用广义无摩擦风时相似律中的摩擦速度, 上风摩擦速度(7)        |
| $\mathbf{u}_*$    | 摩擦速度矢量                              |
| $u_{*0}$          | 地面处摩擦速度                             |
| $\hat{u}_0$       | 无量纲扰动速度                             |
| $v$               | $y$ 方向风速                            |
| $v_a$             | Blackadar 模式中近地面层 $v$ 风速            |
| $v_b$             | 边界层风分量                              |
| $v_E$             | Ekman $v$ 风速                        |
| $v_f$             | 自由大气风分量                             |
| $v_g$             | $y$ 方向地转风速                          |
| $v_{gh}$          | $y$ 方向边界层顶地转风速                      |
| $v_m$             | 边界层平均 $y$ 方向风速                      |
| $v_r$             | 径向速度                                |
| $v_T$             | 半地转理论中边界层顶 $y$ 方向风速                 |
| $v_\theta$        | 切向速度                                |
| $v_0$             | $W_0$ 的虚部                           |
| $w$               | 垂直风速, 复速度(4)                        |
| $w_E$             | 边界层顶抽吸速度                            |
| $w_s$             | 特征速度                                |
| $w_*$             | 自由对流时的湍流特征速度                        |
| $\bar{x}$         | 物理量 $x$ 的平均值                        |
| $x'$              | 物理量 $x$ 的脉动值, 物理量 $x$ 的上风向值(7)      |
| $\overline{x'^2}$ | 物理量 $x$ 的脉动值的方差                     |
| $z_a$             | Blackadar 模式中近地面层气象量所在高度            |
| $z_i$             | 对流边界层顶高度, Blackadar 模式中第 $i$ 层高度(6) |

|                |                                                                       |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $z_m$          | Blackadar 模式中位温与 $\theta_a$ 相等处的高度                                    |
| $z_0$          | 粗糙度                                                                   |
| $z_{0b}$       | 裸地粗糙度                                                                 |
| $z_{0h}$       | 温度的标量粗糙度                                                              |
| $z_{0q}$       | 湿度的标量粗糙度                                                              |
| $z_{0s}$       | 草地粗糙度                                                                 |
| $z_1$          | 近地层中某高度(3), Blackadar 模式中近地面层厚度(6)                                    |
| $\Delta S$     | 增速因子                                                                  |
| $\Delta\theta$ | 边界层顶底间位温差, 对流边界层顶处位温跃变(6, 7), 暖冷气团位温差(9)                              |
| $\Lambda$      | 全边界层的高度尺度                                                             |
| $\Lambda_1$    | 局地 M-O 长度                                                             |
| $\Lambda_0$    | 与边界层高度正比的参数                                                           |
| $\Lambda_1$    | 与边界层高度正比的参数(4), 长度尺度(5)                                               |
| $\Lambda_2$    | 长度尺度                                                                  |
| $\Pi, \Pi_i$   | 相似理论中的无量纲量                                                            |
| $\Phi$         | 局地相似性函数                                                               |
| $\Phi_m$       | 局地相似性函数                                                               |
| $\Phi_h$       | 局地相似性函数                                                               |
| $\Phi_w$       | 局地相似性函数                                                               |
| $\alpha$       | 地转风与地面风的交角, 逆温廓线中的幂指数(6)                                              |
| $\alpha'$      | 边界层上界风与地面风的交角                                                         |
| $\alpha_h$     | 湍流热量交换系数与湍流动量交换系数的比                                                   |
| $\alpha_0$     | 定常均匀时地转风与地面风的交角                                                       |
| $\alpha'_0$    | 非定常均匀时地转风与地面风的交角                                                      |
| $\beta$        | 浮力参数, 稳定度订正中的常数(4, 6), 上界风与地面风的交角(4), 对流边界层顶通量与底通量的比(6), Rossby 参数(9) |
| $\beta_m$      | Businger-Dyer 公式中的常数                                                  |
| $\beta_h$      | Businger-Dyer 公式中的常数                                                  |
| $\gamma$       | 干湿表常数(3), 自由大气位温直减率(6), 无量纲位温梯度(6)                                    |
| $\gamma_c$     | 反梯度输送中的参数                                                             |
| $\gamma_h$     | Businger-Dyer 公式中的常数                                                  |
| $\gamma_m$     | Businger-Dyer 公式中的常数                                                  |
| $\delta_E$     | 高度尺度                                                                  |
| $\delta_{ij}$  | kroneker 函数                                                           |

|                  |                                     |
|------------------|-------------------------------------|
| $\epsilon$       | 湍能耗散率, 发射率(6), $K$ 的幂次律中参数(7)       |
| $\epsilon_{ijk}$ | 一种交变张量符号                            |
| $\zeta$          | Monin-Obukhov 参数                    |
| $\zeta_g$        | 地转涡度                                |
| $\zeta_l$        | 局地稳定度参数                             |
| $\eta$           | 无量纲高度, 垂直伸缩坐标(8), 无量纲锋面高度(9)        |
| $\eta_j$         | 地球旋转轴方向的单位矢量在第 $j$ 坐标轴上的分量          |
| $\theta$         | 位温                                  |
| $\theta_a$       | Blackadar 模式中近地面层位温                 |
| $\theta_b$       | 边界层顶位温                              |
| $\theta_i$       | 初始位温                                |
| $\theta_m$       | 混合层内位温                              |
| $\theta_v$       | 虚位温                                 |
| $\theta_{vm}$    | 边界层平均虚位温                            |
| $\theta_s$       | 地面处位温, 与冷却速率有关的量(6)                 |
| $\theta_{sv}$    | 地面处虚位温                              |
| $\theta_0$       | $z_0$ 处位温, 基态位温(9)                  |
| $\theta_1$       | 1 m 处位温                             |
| $\lambda$        | 无穷远处混合长, 风与风切变间的比例系数(8)             |
| $\lambda_s$      | 土壤热传导系数                             |
| $\lambda_x$      | 斜压参数                                |
| $\lambda_y$      | 斜压参数                                |
| $\mu$            | 全边界层的稳定度参数                          |
| $\nu$            | 分子粘性系数                              |
| $\xi$            | 过渡湍流模式中的气象量(5), 无量纲高度(6), 垂直向下坐标(6) |
| $\rho$           | 密度                                  |
| $\rho_s$         | 土壤的密度                               |
| $\rho_0$         | 基态密度, 地面密度(9)                       |
| $\rho_1$         | 密度对基态密度的偏差, 冷气团密度(9)                |
| $\rho_2$         | 暖气团密度                               |
| $\sigma$         | Stefan-Boltzmann 常数, 无量纲湍流应力(6)     |
| $\sigma^*$       | $\sigma$ 的共轭复量                      |
| $\sigma_s$       | Stefan-Boltzmann 常数                 |
| $\sigma_x$       | 变量 $x$ 的标准差                         |
| $\tau$           | Reynold 应力, 动量通量, 特征时间尺度(1)         |

|             |                                              |
|-------------|----------------------------------------------|
| $\tau_0$    | 地面应力                                         |
| $\tau_1$    | Reynold 应力除以密度                               |
| $\tau$      | 应力矢                                          |
| $\tau_0$    | 地面应力矢                                        |
| $\tau_g$    | 地面处动量通量                                      |
| $\tau_h$    | $h$ 高处应力                                     |
| $\tau_{ij}$ | Reynold 应力                                   |
| $\tau_x$    | $-\rho \overline{u'w'}$ 或 $-\overline{u'w'}$ |
| $\tau_y$    | $-\rho \overline{v'w'}$ 或 $-\overline{v'w'}$ |
| $\varphi$   | 纬度                                           |
| $\phi$      | 一种稳定度函数(6), 无量纲位势场偏差(8)                      |
| $\phi_m$    | 无量纲风速梯度                                      |
| $\phi_h$    | 无量纲位温梯度                                      |
| $\phi_m^*$  | 有植被时风速廓线订正函数                                 |
| $\phi_h^*$  | 有植被时位温廓线订正函数                                 |
| $\phi_e$    | 无量纲湍能耗散率                                     |
| $\psi_m$    | 非中性风速廓线中的订正函数                                |
| $\psi_h$    | 非中性位温廓线中的订正函数                                |
| $\omega$    | 地球自转角速度                                      |
| $\omega_B$  | Brunt-Vaisälä 频率                             |

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话:(010) 58581897/58581896/58581879

传 真:(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址:北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编:100011

购书请拨打电话:(010) 58581118