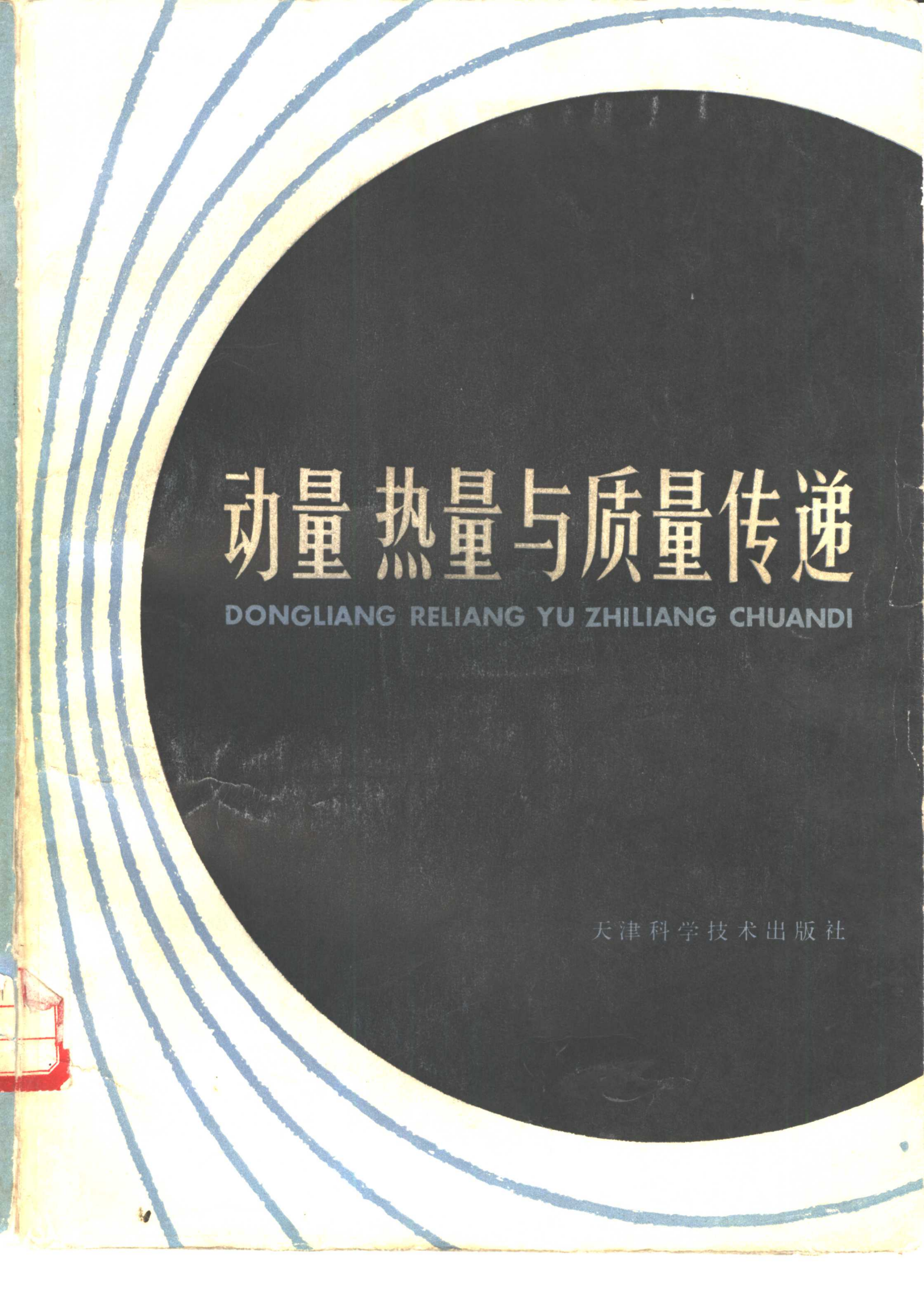




动量 热量与质量传递

DONGLIANG RELIANG YU ZHILIANG CHUANDI

天津科学技术出版社

动量、热量与质量传递

王绍亭 陈 涛 编著

天津科学技术出版社

责任编辑：吴孝铄

动量、热量与质量传递

王绍亭 陈 涛 编著

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津武清冰兴印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 26.25 字数 639,000

一九八六年六月第一版

一九八六年六月第一次印刷

印数：1—4,300

书号：15212·171 定价：5.00元

内 容 提 要

本书以类比方法论述了粘性流体动量传递、热量传递和质量传递的基本原理。全书共十三章，前两章阐述了动量、热量与质量传递的类似性和总衡算；三至六章、七至九章和十至十二章分别阐述了动量传递、热量传递和质量传递三过程的基本内容；十三章阐述了动量、热量与质量同时传递的过程，作为全书总结。

对三类传递过程的分析方法是首先建立基本微分方程，然后应用分子传递理论、边界层理论和湍流理论对各类传递过程的原理进行分析，在各种特定情况下对基本微分方程进行简化、求解，最后对结果的应用进行了讨论。在内容叙述方面，作者尽量作到由浅入深、基本概念解释详尽、公式推导步骤清晰，在重点理论概念之后附有例题，以使读者能够加深对概念的理解和理论的应用。

本书可作为化工、动力、机械、轻纺、土建、环境和生物医学工程等专业的本科大学生、研究生和教师的教学参考教材，亦可供有关领域的科研、设计和生产部门技术人员参考。

目 录

主要符号表	(1)
绪言	(12)
第一章 动量、热量与质量传递导论	(16)
第一节 动量、热量与质量传递的类似性	(16)
1-1 现象定律	(16)
1-2 动量通量、热量通量和质量通量的普遍表达式	(18)
1-3 涡流传递的类似性	(20)
1-4 普兰德数、施密特数和刘易斯数	(21)
第二节 圆管中的稳态层流	(22)
1-5 圆管中稳态层流时的速度分布	(22)
1-6 主体流速	(23)
第二章 总质量、总能量和总动量衡算	(26)
第一节 总质量衡算	(26)
2-1 简单几何体的质量衡算	(26)
2-2 通用的总质量衡算方程	(33)
第二节 总能量衡算	(36)
2-3 通用的总能量衡算方程	(37)
2-4 流体流动系统的总能量衡算	(38)
2-5 机械能衡算	(43)
第三节 总动量衡算	(45)
2-6 通用的总动量衡算方程	(45)
2-7 总动量衡算的应用	(47)
绪言、第一、第二章主要参考文献	(51)
第三章 粘性流体流动的微分方程	(52)
第一节 连续性方程	(52)
3-1 连续性方程的推导	(52)
3-2 对连续性方程的分析和简化	(54)
3-3 柱坐标系和球坐标系中的连续性方程	(57)
第二节 运动方程	(59)
3-4 用应力表示的运动方程	(59)
3-5 应力与形变速率之间的关系	(63)
3-6 粘性流体的运动微分方程 (奈维-斯托克斯方程)	(70)
3-7 柱坐标系和球坐标系中粘性流体的奈维-斯托克斯方程	(71)
3-8 用动力压力表示的奈维-斯托克斯方程	(74)
第四章 运动方程的应用	(77)
第一节 平壁间的稳态层流	(77)

4-1 平壁间的稳态层流	(77)
第二节 圆管内与套管环隙中的稳态层流	(80)
4-2 圆管内的稳态平行层流	(80)
4-3 套管环隙中的稳态层流	(84)
第三节 爬流(蠕动流)	(87)
4-4 斯托克斯阻力定律	(87)
第四节 流线与流函数	(90)
4-5 流线与流线方程	(90)
4-6 流函数	(92)
第五节 势流	(96)
4-7 理想流体	(96)
4-8 势流	(97)
第五章 边界层理论基础	(103)
第一节 边界层概念	(103)
5-1 边界层的形成	(104)
5-2 边界层厚度的定义	(105)
第二节 曳力系数	(105)
5-3 曳力系数与范宁摩擦因数	(105)
第三节 边界层方程	(107)
5-4 普兰德边界层方程的推导	(107)
第四节 边界层积分动量方程	(110)
5-5 边界层积分动量方程的推导	(110)
5-6 流体沿平板壁面流动时层流边界层的计算	(114)
5-7 管道进口段的流体流动	(118)
第五节 边界层分离	(119)
5-8 边界层分离与形体曳力	(119)
第六章 湍流	(122)
第一节 湍流的特点、起因及表征	(122)
6-1 湍流的特点	(122)
6-2 湍流的起因	(123)
6-3 时均量与脉动量	(124)
6-4 湍动强度与湍动标度	(126)
第二节 湍动时的流体运动方程(雷诺方程)与雷诺应力	(129)
6-5 雷诺方程与雷诺应力	(129)
第三节 湍流的半经验理论(普兰德动量传递理论)	(133)
6-6 普兰德动量传递理论	(133)
第四节 光滑管中的湍流	(136)
6-7 普兰德混合长与通用速度分布方程	(137)
6-8 速度分布与流动阻力	(141)
第五节 粗糙管中的湍流	(145)
6-9 粗糙管与相对砂粒糙度	(145)

6-10 速度分布与流动阻力	(147)
第六节 流体沿平板壁面流动时湍流边界层的计算	(148)
6-11 湍流边界层的计算	(148)
第七节 湍流边界层中层流内层的计算	(152)
6-12 流体由平板壁面上流过时层流内层的计算	(152)
6-13 流体在圆管中流过时层流内层的计算	(153)
第三章、第四章、第五章、第六章主要参考文献	(155)
第七章 热量传递概论与能量方程	(156)
第一节 热量传递方式	(156)
7-1 热传导	(156)
7-2 对流传热	(157)
7-3 辐射传热	(157)
7-4 同时进行导热、对流传热及辐射传热的热过程	(158)
第二节 能量方程	(160)
7-5 能量方程的推导	(160)
7-6 能量方程的特定形式	(163)
7-7 柱坐标系和球坐标系的能量方程	(165)
第八章 热传导	(167)
第一节 稳态热传导	(167)
8-1 无内热源的一维稳态导热问题的分析解	(167)
8-2 有内热源的一维稳态导热	(170)
8-3 扩展表面的导热	(172)
8-4 二维稳态导热的数值解	(176)
第二节 忽略内热阻的不稳态热传导	(180)
8-5 集总热容法	(180)
第三节 一维不稳态导热的分析解	(183)
8-6 初始条件与边界条件	(183)
8-7 半无限固体的不稳态导热	(185)
8-8 大平板的不稳态导热	(191)
8-9 平板、圆柱体和球体中一维不稳态导热问题的简易图算法	(199)
第四节 多维不稳态导热	(204)
8-10 牛曼 (Newman) 法则	(204)
第五节 不稳态导热的数值解	(208)
8-11 平板一维不稳态导热	(208)
第九章 对流传热	(212)
第一节 对流传热的机理和膜系数	(212)
9-1 对流传热的机理	(212)
9-2 热边界层	(213)
9-3 对流传热系数 (膜系数)	(213)
第二节 层流下的热量传递	(215)
9-4 平板壁面层流传热的精确解	(215)

9-5 平板层流传热的近似解	(229)
9-6 管内层流传热	(236)
第三节 湍流下的热量传递	(242)
9-7 湍流时的能量方程	(242)
9-8 涡流热扩散系数与混合长	(244)
9-9 雷诺类似律和泰勒-普兰德的修正式	(246)
9-10 卡门的传热理论	(252)
9-11 柯尔本 j_H 因数类似法	(257)
9-12 平板湍流边界层的传热计算	(260)
第四节 冷凝与沸腾传热	(265)
9-13 蒸气冷凝传热	(265)
9-14 液体沸腾传热	(271)
第七章、第八章、第九章主要参考文献	(277)
第十章 质量传递概论与传质微分方程	(278)
第一节 分子传质与对流传质	(278)
10-1 分子传质	(278)
10-2 对流传质	(279)
第二节 分子传质的速度与通量	(279)
10-3 扩散速度与平均速度	(280)
10-4 扩散通量与主体流动通量	(281)
第三节 质量传递微分方程	(284)
10-5 质量传递微分方程的推导	(284)
10-6 质量传递微分方程的特定形式	(286)
第十一章 分子传质 (扩散)	(289)
第一节 稳态分子扩散的通用速率方程	(289)
11-1 停滞介质中稳态分子扩散速率的通用积分形式	(289)
第二节 气体中的分子扩散	(290)
11-2 组分 A 通过停滞组分 B 的稳态扩散	(290)
11-3 组分 A 通过停滞组分 B 的拟稳态扩散	(293)
11-4 等分子反方向稳态扩散	(295)
11-5 多组分气体混合物的稳态扩散	(297)
11-6 气体扩散系数	(301)
第三节 液体中的分子扩散	(305)
11-7 液体中的稳态分子扩散速率方程	(305)
11-8 液体中的扩散系数	(307)
第四节 固体中的扩散	(311)
11-9 与固体结构无关的稳态扩散	(311)
11-10 与固体结构无关的不稳态扩散	(313)
11-11 多孔固体中的稳态扩散	(320)
第十二章 对流传质	(328)
第一节 对流传质系数	(328)

12-1	速度边界层对传质的影响	(328)
12-2	对流传质系数的定义	(329)
12-3	浓度边界层	(333)
第二节	层流下的质量传递	(334)
12-4	平板壁面上层流传质的精确解	(334)
12-5	平板壁面上层流传质的近似解	(341)
12-6	管内层流传质	(344)
第三节	湍流下的质量传递	(347)
12-7	湍流时的对流扩散方程、涡流扩散系数与混合长	(348)
12-8	质量、热量与动量传递之间的类似律	(350)
12-9	平板壁面上湍流传质的近似解	(357)
12-10	传质理论	(360)
第四节	对流传质系数关联式	(365)
12-11	流体流过平板、球、圆柱体和管内时的传质	(365)
12-12	流体流过填充床时的传质	(369)
12-13	液滴和气泡内的传质	(373)
第十三章	同时进行动量、热量与质量传递的过程	(374)
第一节	同时进行动量、热量与质量传递的过程	(374)
13-1	平板层流边界层中动量、热量与质量传递过程同时进行时的精确解	(374)
第二节	动量与质量同时传递的过程	(379)
13-2	降落液膜中动量与质量同时传递的过程	(379)
第三节	热量与质量同时传递的过程	(383)
13-3	湍流下热量与质量同时传递的过程	(383)
13-4	湿球温度理论	(388)
13-5	增湿与水的冷却	(391)
第十章、第十一章、第十二章、第十三章主要参考文献		(397)
附录		(398)
附录A-1	以国际单位制 (SI) 表示的部分物理常数表	(398)
附录A-2	国际单位制 (SI) 单位代号的词冠	(398)
附录A-3	主要物理量的单位换算表	(398)
附录B-1	柱坐标系中连续性方程的推导	(401)
附录B-2	球坐标系中连续性方程的推导	(402)
附录C	柱坐标系和球坐标系中能量方程的推导	(404)
附录D	高斯误差函数表	(407)
附录E	分子扩散的碰撞积分 Ω_D 与 kT/e 的关系表	(408)
附录F	纯物质的 σ 和 e/k 值	(408)

主要符号表

英文符号

- A ——面积、截面积、传热面积、传质面积, m^2 ;
 修正系数, 无因次;
 A_w ——平均扩散面积, m^2 ;
 A_r ——径向 r 处的导热面积, m^2 ;
 C ——固体比热, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$;
 系统的总摩尔浓度, kmol/m^3 ;
 C_w ——液相的平均总摩尔浓度, kmol/m^3 ;
 C_D ——曳力系数、阻力系数、平均曳力系数, 无因次;
 C_{Dx} ——局部(x 处)的曳力系数, 无因次;
 C_{Dx}^0 ——喷出参数为零时的局部曳力系数, 无因次;
 C_{if} ——组合常数, 无因次;
 D ——直径, m ;
 D_i ——管内径, m ;
 D_{AB} ——组分 A 通过组分 B 的扩散系数, m^2/s ;
 D_{ABP} ——有效扩散系数, m^2/s ;
 D_{Am} ——多组分系统中组分 A 的有效扩散系数, m^2/s ;
 D_{NA} ——过渡区扩散系数, m^2/s ;
 D_{KA} ——纽特逊扩散系数, m^2/s ;
 E ——单位质量的总能量, J/kg ;
 E_t ——总能量, J ;
 F ——力、合外力, N ;
 F_B ——质量力或体积力, N ;
 F_d ——曳力、摩擦曳力, N ;
 F_g ——单位质量流体所受的重力, N/kg ;
 F_i ——惯性力, N ;
 F_s ——表面力或机械力, N ;
 F_G ——几何因数或角系数, 无因次;
 F_e ——灰体黑度影响的校正系数, 无因次;
 F_d' ——曳力或阻力, N ;
 F_{df} ——形体曳力, N ;
 F_{ds} ——摩擦曳力, N ;
 F_{AB} ——组分 A 在组分 B 中扩散时的比例系数, $\text{kg}/(\text{kmol}\cdot\text{s})$;
 F_x, F_y, F_z ——外力在直角坐标系 x 、 y 、 z 三个方向上的分量, N ;
 F_{ix}, F_{iy}, F_{iz} ——惯性力在直角坐标系 x 、 y 、 z 三个方向上的分量, N ;

F_{xB} 、 F_{yB} 、 F_{zB} ——质量力（体积力）在直角坐标系 x 、 y 、 z 三个方向上的分量，N；
 F_{xg} 、 F_{yg} 、 F_{zg} ——流体所受的重力在 x 、 y 、 z 三个方向上的分量，N/kg；
 F_{xp} 、 F_{yp} 、 F_{zp} ——压力在直角坐标系 x 、 y 、 z 三个方向上的分量，N；
 F_{xs} 、 F_{ys} 、 F_{zs} ——净机械力在直角坐标系 x 、 y 、 z 三个方向上的分量，N；
 G ——质量速度、质量通量， $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 以单位截面积计的气相摩尔流率， $\text{kmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 G_A ——组分 A 的传质速率， kmol/s ；
 G_M ——摩尔流速， $\text{kmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 G_1 ——以单位截面积计的气相质量流率， $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 H ——焓，J/kg；
 气体的湿含量（湿度）， $\text{kg}(A)/\text{kg}(\text{干气体})$ ；
 H_t ——总焓，J；
 H_i 、 H_G ——气液界面处、气相主体中的湿含量， $\text{kg}(A)/\text{kg}(\text{干气体})$ ；
 H_G 、 H_L ——气相、液相传质单元高度，m；
 H_{is} ——绝热饱和温度下的湿度， $\text{kg}(A)/\text{kg}(\text{干气体})$ ；
 I ——湍动强度，无因次；
 空气-水蒸气混合物的焓，J/kg（干空气）；
 J_A ——相对于摩尔平均速度的组分 A 的摩尔通量（浓度梯度引起的摩尔通量），
 $\text{kmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 K ——总传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ；
 比例系数、常数，无因次；
 平衡分配系数，无因次；
 L ——长度，m；
 以单位截面积计的液相摩尔流率， $\text{kmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 L_e 、 L_t 、 L_D ——流动、传热、传质进口段长度，m；
 L_1 ——以单位截面积计的液相质量流率， $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 L_v ——湍动标度，m；
 M ——质量，kg；
 分子量， kg/kmol ；
 M_A ——组分 A 的分子量， kg/kmol ；
 M_B ——惰性组分 B 的分子量， kg/kmol ；
 M_m ——平均分子量， kg/kmol ；
 M_i ——组分 i 的质量，kg；
 M_i' ——组分 i 的摩尔量， kmol ；
 M' ——摩尔量， kmol ；
 N ——组分的总摩尔数， kmol ；
 相对于静止坐标的总摩尔通量， $\text{kmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 N_A ——相对于静止坐标的组分 A 的摩尔通量； $\text{kmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；
 $N_{A\theta}$ ——组分 A 的瞬时传质通量， $\text{kmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；

P ——总压力, N/m^2 ;
 线动量, $(\text{kg}\cdot\text{m})/\text{s}$;
 棒条周边长度, m ;
 润湿周边长度, m ;
 P_c ——临界压力, N/m^2 ;
 P_x 、 P_y 、 P_z ——线动量在直角坐标系 x 、 y 、 z 三个方向上的分量, $(\text{kg}\cdot\text{m})/\text{s}$;
 Q ——单位质量吸收的热量, J/kg ;
 Q_1 、 Q_0 ——通过端面 $x = l$ 、 $x = 0$ 处的总热量, J ;
 R ——通用气体常数, $= 8314.34, \text{J}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$;
 脉动速度关联系数, 无因次;
 R_i ——组分 i 的生成速率, kg/s ;
 R_i' ——组分 i 生成的摩尔速率, kmol/s ;
 $\dot{R}_A$ ——单位体积中组分 A 生成的摩尔速率, $\text{kmol}/(\text{m}^3\cdot\text{s})$;
 S ——凝液的流通面积, m^2 ;
 气体在固体中的溶解度, $\text{m}^3/(\text{atm}\cdot\text{m}^3)$;
 S_w ——物质 A 、 B 的分子平均截面积, m^2 ;
 T ——温度、绝对温度, K ;
 T_s ——壁面温度, K ;
 T_c ——临界温度, K ;
 U ——单位质量的内能, J/kg ;
 U_t ——总内能, J ;
 V ——体积, m^3 ;
 V_b ——床层体积, m^3 ;
 V_c ——临界体积, m^3 ;
 V_p ——颗粒体积, m^3 ;
 W ——单位质量所作的功, J/kg ;
 W_s ——单位质量所作的轴功, J/kg ;
 W' ——单位质量所作的有用功, J/kg ;
 $\dot{W}$ ——做功速率、功率, J/s ;
 $\dot{W}_s$ ——轴功率, J/s ;
 X —— x 方向上单位质量流体的质量力, N/kg ;
 X_r ——径向方向上单位质量流体的质量力, N/kg ;
 X_z ——轴向方向上单位质量流体的质量力, N/kg ;
 X_θ ——柱坐标方位角或球坐标余纬度方向上单位质量流体的质量力, N/kg ;
 X_ϕ ——球坐标方位角方向上单位质量流体的质量力, N/kg ;
 Y —— y 方向上单位质量流体的质量力, N/kg ;
 Z —— z 方向上单位质量流体的质量力, N/kg ;
 a ——比表面积, m^2/m^3 ;
 a_A 、 a_B ——组分 A 、组分 B 的质量分数, 无因次;

b —— 冷凝膜厚度, m ;
 b_i —— 组分 i 的化学计算计量数, 无因次;
 c_A 、 c_B —— 组分 A 、组分 B 的摩尔浓度, $kmol/m^3$;
 c_{Ab} —— 组分 A 的主体平均浓度, $kmol/m^3$;
 c_{Am} —— 组分 A 的平均浓度, $kmol/m^3$;
 c_{A0} —— 组分 A 在边界层外的均匀浓度, $kmol/m^3$;
 c_{As} —— 组分 A 在界面处的浓度, $kmol/m^3$;
 c_{Ai} 、 c_{Ae} —— 组分 A 在进、出口处的浓度, $kmol/m^3$;
 c_{A1} 、 c_{A2} —— 组分 A 在截面 1 和截面 2 处的浓度, $kmol/m^3$;
 $\bar{c}_A$ —— 组分 A 的时均浓度, $kmol/m^3$;
 c_A' —— 组分 A 的脉动浓度, $kmol/m^3$;
 $\bar{c}_{AL}$ —— 组分 A 在 $Y = L$ 处的总体平均浓度, $kmol/m^3$;
 $\bar{c}_{ALS}$ —— 组分 A 在紧靠固体表面的一层流体处的浓度, $kmol/m^3$;
 c_i —— 饱和液体的比热, $J/(kg \cdot K)$;
 c_p —— 定压比热, $J/(kg \cdot K)$;
 c_v —— 定容比热, $J/(kg \cdot K)$;
 c_s —— 空气的湿比热, $J/(kg \cdot K)$;
 c'_{PA} 、 c'_{PB} —— 组分 A 、组分 B 的摩尔比热, $J/(kmol \cdot K)$;
 d —— 管径、孔径, m ;
 d_c —— 圆柱体直径, m ;
 d_e —— 当量直径, m ;
 d_o —— 管外径, m ;
 d_p —— 颗粒直径, m ;
 e —— 绝对粗糙度, mm ;
 f —— 范宁摩擦因数, 无因次;
 g —— 重力加速度, m/s^2 ;
 h —— 对流传热系数或膜系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 h_x —— 局部处 (x 处) 的对流传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 h_m —— 平均对流传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 h_x^0 —— 喷出参数为零时的局部对流传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 h_G —— 包括质量流携带显热时的对流传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 j_A —— 相对于质量平均速度的组分 A 的质量通量 (浓度梯度引起的质量通量),
 $kg/(m^2 \cdot s)$;
 j_{Ax} 、 j_{Ay} 、 j_{Az} —— j_A 在 x 、 y 、 z 三个方向上的分量, $kg/(m^2 \cdot s)$;
 j_A^* —— 组分 A 的涡流扩散质量通量, $kg/(m^2 \cdot s)$;
 k —— 导热系数, $W/(m \cdot K)$;
 k_m —— 平均导热系数, $W/(m \cdot K)$;
 k_0 —— 基准温度下的导热系数, $W/(m \cdot K)$;
 k_g^0 、 k_c —— 气相传质系数, m/s ;

k_L^0 、 k_L ——液相传质系数, m/s;
 k_G^0 、 k_G ——气相传质系数, kmol/ (s·m²·P·a) ;
 k_y^0 、 k_y ——气相传质系数, kmol/ (s·m²·Δy) ;
 k_x^0 、 k_x ——液相传质系数, kmol/ (s·m²·Δx) ;
 k_{cx}^0 、 k_{cx} ——局部处 (x 处) 的对流传质系数, m/s;
 k_{cm}^0 、 k_{cm} ——平均对流传质系数, m/s;
 $(k_{cx}^0)^0$ ——喷出参数为零时的局部对流传质系数, m/s;
 k_{Lm} ——液相平均传质系数, m/s;
 k_H ——以湿度差为推动力的传质系数, kg/ (s·m²·ΔH) ;
 l ——长度, 平面间的距离, m;
 普兰德混合长, m;
 l_w ——摩擦功或损耗功, J/kg;
 n ——系统的组分数, 无因次;
 相对于静止坐标的总质量通量, kg/ (m²·s) ;
 n_A 、 n_B ——相对于静止坐标的组分 A 、组分 B 的质量通量, kg/ (m²·s) ;
 p_A ——组分 A 的分压, N/m²;
 p_d ——动力压力, N/m²;
 p_s ——静压力, N/m²;
 p_0 ——远离物体处的压力, N/m²;
 p_j ——不扩散组分的总分压, N/m²;
 p_{BM} ——惰性组分 B 的对数平均分压, N/m²;
 p_{im} ——不扩散组分的对数平均分压, N/m²;
 p_{AG} 、 p_{Ai} ——组分 A 在气相主体、气液界面处的分压, N/m²;
 $\bar{p}$ ——时均压力, N/m²;
 p' ——脉动压力, N/m²;
 $\bar{p'}$ ——脉动压力的时均值, N/m²;
 q ——热流速率, J/s;
 单位宽度的体积流率, m³/ (s·m) ;
 $\dot{q}$ ——单位体积中释放的热速率, J/ (m³·s) ;
 q_x ——局部处 (x 处) 的热流速率, J/s;
 q_r ——径向 (r 处) 的热流速率, J/s;
 q_l ——热损失速率, J/s;
 $q_{0\theta}$ ——端面 ($x = 0$) 处的瞬时导热速率, J/s;
 r ——管半径、径向距离, m;
 r_1 ——内管半径, m;
 r_2 ——外管半径, m;
 r_A ——单位体积中组分 A 的生成速率, kg/ (m³·s) ;
 组分 A 的分子半径, m;
 r_0 ——球体或柱体的半径, m;

$r_{\max}$ ——最大流速处距管中心的距离, m;
 $\bar{r}$ ——孔道的平均半径, m;
 s ——表面更新率, s^{-1} ;
 t ——温度, K;
 t_c ——主体平均温度, K;
 t_c ——中心面温度, K;
 t_f ——流体的温度, K;
 t_m ——平均温度, K;
 t ——壁面温度, K;
 t_1, t_2 ——进、出口温度, K;
 t_∞ ——基准温度, 初始温度 (不steady导热中), 边界层外的均匀温度, K;
 t_w ——冷凝壁温度, K;
 t_d ——干球温度, K;
 t_{wet} ——湿球温度, K;
 t_w ——绝热饱和温度, K;
 t_{sat} ——蒸气或液体的饱和温度, K;
 $\bar{t}$ ——时均温度, K;
 t' ——脉动温度, K;
 u ——流速, 相对于静止坐标的流体质量平均速度, m/s;
 u_A, u_B ——组分A、组分B相对于静止坐标的速度 (绝对速度), m/s;
 u_t ——主体平均流速, m/s;
 u_∞ ——远离物体的平行流流速, 边界层外的均匀流速, m/s;
 u_e ——空塔流速, m/s;
 u_l ——层流内层外缘流速, m/s;
 u_M ——相对于静止坐标的流体摩尔平均速度, m/s;
 $u_{\max}$ ——最大流速, 管中心处流速, m/s;
 u_x, u_y, u_z ——流速在直角坐标系 x, y, z 三个方向上的分量, 瞬时流速, m/s;
 u_r, u_θ, u_z ——流速在柱坐标系 r, θ, z 三个方向上的分量, m/s;
 u_r, u_ϕ, u_θ ——流速在球坐标系 r, ϕ, θ 三个方向上的分量, m/s;
 u_{Mx}, u_{My}, u_{Mz} ——摩尔平均速度 u_M 在 x, y, z 三个方向上的分量, m/s;
 $u_{r0}, u_{\phi0}, u_{\theta0}$ ——球体表面上 r, ϕ, θ 三个方向上的流速分量, m/s;
 $\bar{u}_x, \bar{u}_y, \bar{u}_z$ ——直角坐标系 x, y, z 三个方向上的时均流速分量, m/s;
 u'_x, u'_y, u'_z ——直角坐标系 x, y, z 三个方向上的脉动流速分量, m/s;
 u_{ys} ——在壁面处垂直于壁面方向上的速度, m/s;
 u^* ——摩擦速度, $\sqrt{\tau_s/\rho}$, m/s;
 $\bar{u}_A$ ——组分A的均方根速度, m/s;
 v ——流体的比容, m^3/kg ;
 v_A, v_B ——组分A、组分B的分子扩散体积, $cm^3/gmol$;
 v_b ——标准沸点下的分子体积, $cm^3/gmol$;

v_c ——临界分子体积, cm^3/gmol ;
 w ——质量流率, 冷凝液流率, kg/s ;
 w' ——摩尔流率, kmol/s ;
 w'_i ——组分*i*的摩尔流率, kmol/s ;
 x ——距平板前缘的距离, m ;
 x_1 ——平板的半厚度或由绝热壁算起的厚度, m ;
 x_c ——临界距离, m ;
 x_i ——组分*i*的摩尔分数(分子分数), 无因次;
 x_{BM} ——惰性组分*B*的对数平均摩尔分数, 无因次;
 y ——距壁面的距离, m ;
 y_0 ——两平壁间距离的二分之一, m ;
 y_A, y_B ——组分*A*、组分*B*在气相中的摩尔分数, 无因次;
 y_{BM} ——气相惰性组分*B*的对数平均摩尔分数, 无因次;
 $\bar{y}_B$ ——组分*B*的平均摩尔分数, 无因次;
 y_B' ——组分*B*的摩尔分数与不扩散组分的摩尔分数之比, $y_B/(1-y_A)$, 无因次;
 z ——高度, 扩散距离, 填料层高度, m ;
 z_θ ——在 θ 瞬时的扩散距离, m 。

希腊文符号

α ——热扩散系数(导温系数), m^2/s ;
 夹角, 速度向量与控制面外向法线之间的夹角, rad ;
 截面速度分布校正系数, 无因次;
 β —— x 轴与重力方向之间的夹角, rad ;
 温度系数, K^{-1} ;
 Γ ——单位周长上液体的质量流率, $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$;
 δ ——速度边界层厚度, m ;
 δ_b ——层流内层厚度, m ;
 δ_f ——虚拟的导热膜厚度, m ;
 δ_D ——浓度边界层厚度, m ;
 δ_D' ——传质的虚拟层流层厚度, m ;
 δ_t ——温度边界层厚度, m ;
 ϵ ——涡流(运动)粘度, m^2/s ;
 ϵ_H ——涡流热扩散系数, m^2/s ;
 ϵ_M ——涡流质量扩散系数, m^2/s ;
 e ——空隙率, 无因次;
 ϵ_{AB} ——*A*、*B*分子间作用的能量, erg ;
 ζ ——温度边界层厚度与浓度边界层厚度之比, δ_t/δ , 无因次;
 θ ——时间, s ;
 柱坐标方位角、球坐标余纬度, rad ;

θ' ——柱、球坐标系微分衡算方程中的时间, s;
 θ_c ——有效暴露时间(溶质渗透理论), s;
 λ ——分子平均自由程, Å;
 潜热, J/kg;
 λ'_A 、 λ'_B ——组分A、组分B的摩尔潜热, J/kmol;
 μ ——流体的粘度, (N·s)/m²;
 μ_B ——溶剂的粘度, (N·s)/m²;
 μ_l 、 μ_G ——液体、气体的粘度, (N·s)/m²;
 μ_s ——液体在饱和温度下的粘度, (N·s)/m²;
 ν ——流体的运动粘度, m²/s;
 ρ ——流体的密度, kg/m³;
 ρ_A 、 ρ_B ——组分A、组分B的密度, kg/m³;
 ρ_v 、 ρ_l ——蒸气、饱和液体的密度, kg/m³;
 ρ_{Am} ——组分A的平均密度, kg/m³;
 ρ_{AL} ——组分A的液态密度, kg/m³;
 ρ_{A0} ——组分A在边界层外的均匀密度, kg/m³;
 ρ_{As} ——组分A在界面处的密度, kg/m³;
 σ ——表面张力, N/m;
 热辐射中斯蒂芬—波尔茨曼常数, $=5.669 \times 10^{-8}$ W/(m²·K⁴);
 σ_x 、 σ_y 、 σ_z ——x、y、z方向上的法向粘性应力分量, N/m²;
 σ_{AB} ——平均碰撞直径, Å;
 τ ——剪应力、表面应力(机械应力), N/m²;
 过剩温度, K;
 曲折因数, 无因次;
 τ_s ——作用在壁面上的剪应力, N/m²;
 τ_{xx} ——局部处(x处)的摩擦应力, N/m²;
 τ' ——涡流剪应力或雷诺应力, N/m²;
 $\bar{\tau}$ ——剪应力的时均值, N/m²;
 $\bar{\tau}'$ ——湍流剪应力的时均值, N/m²;
 $\bar{\tau}''$ ——总时均剪应力, N/m²;
 τ_{xx} 、 τ_{yy} 、 τ_{zz} ——作用在与x、y、z轴相垂直面上x、y、z方向上的法向应力分量, N/m²;
 τ_{xy} ——作用在与x轴相垂直面上的y方向上的剪应力分量, N/m²;
 τ_{xz} ——作用在与x轴相垂直面上的z方向上的剪应力分量, N/m²;
 τ_{yz} ——作用在与y轴相垂直面上的z方向上的剪应力分量, N/m²;
 τ_{zx} ——作用在与z轴相垂直面上的x方向上的剪应力分量, N/m²;
 τ_{zy} ——作用在与z轴相垂直面上y方向上的剪应力分量, N/m²;
 $\tau_{r\theta}$ ——作用在与r相垂直的球面上 θ 方向上的剪应力分量, N/m²;
 Φ ——单位体积中的功率消耗, 单位体积流体的摩擦热速率, J/(m³·s);