



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 冶金传输原理

吴 铨 编



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

# 冶金传输原理

吴 铨 编

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2011

## 内 容 提 要

本书共分四篇，分别为动量传输、热量传输、质量传输、传输现象的类比和耦合。从传输现象出发，系统介绍了动量传输、热量传输和质量传输的基本概念、基本规律和基本方法。介绍了传输现象在冶金工程中的应用，以及化学反应的传质理论与化学动力学之间的关系。基于三种传输现象的类似性，探讨了冶金传输原理的课程体系。针对传输过程的非平衡态线性不可逆特点，讨论了传输过程中的耦合概念。书中各章均有提要、小结、思考题和习题；书末附有常用数据表和索引。

本书可作为冶金工程和材料加工工程等专业的本科生教材，也可作为有关人员学习传输原理的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

冶金传输原理/吴铿编. —北京:冶金工业出版社,  
2011.12

普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5024-5530-9

I. ①冶… II. ①吴… III. ①冶金—过程—传输—  
高等学校—教材 IV. ①TF01

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第267894号

出版人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号, 邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰 美术编辑 李新 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5530-9

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2011年12月第1版,2011年12月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;21.75印张;582千字;331页

49.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前 言

上世纪70年代以来，很多发达国家都将传输原理列为理工科大学的必修课程，国内也于80年代将其作为本科生的必修课。国内的冶金院校先后出版了多部冶金传输原理教材，对该课程的发展起到了非常重要的作用。随着科学技术的发展，工程专业的基础学科不断扩大，传输原理已在原有流体力学、传热学、传质学的基础上发展成为一门独立的学科，其中由J. R. Welty等编写的《动量、热量和质量传递原理》已经出版了第4版，它标志着传输原理课程体系已经基本成熟。

对于冶金学科而言，经典的平衡热力学主要研究平衡体系，并用来研究非平衡体系的变化方向和限度问题，平衡热力学理论已经非常成熟。近平衡热力学研究近平衡体系，重点是不可逆过程中力学量之间的线性关系。传输现象涉及近平衡态的线性不可逆过程，而线性非平衡态热力学理论已经成熟，如传输原理中的动量、热量和质量传输理论，但不同力学量之间的耦合关系是目前非平衡态热力学的研究热点，也是传输原理发展的方向。

为了适应学科发展和教学过程的新要求，笔者在北京科技大学张先棹主编的《冶金传输原理》的基础上，重点参考了《动量、热量和质量传递原理》的结构、体系和内容，同时吸收国内著名的流体力学、传热学和传质学教材的相关内容，编写了这部面向冶金工程专业本科生的冶金传输原理新教材。

本教材第一篇为动量传输，共8章。首先介绍了动量传输的基本原理和基本方程，并将其应用于解决一系列具体问题，然后较为详细地讨论了边界层理论，最后对相似原理作了简要介绍。第二篇为热量传输，共7章。在介绍传热基本概念的基础上，讨论了导热方程，以及稳态和非稳态传热，然后推导了对流换热微分方程，并较为详细地讨论了热边界层的相关理论和对流换热的经验关联式，最后从热辐射的基本定律和辐射换热计算两方面介绍辐射传热。第三篇为质量传输，共6章。在保持传输原理经典体系的前提下，对分子扩散传质

和对流流动传质进行了较为详细的介绍，讨论了质量边界层的相关理论和对流传质的经验关联式，对相际传质也进行了介绍。第四篇为传输现象的类比和耦合，共2章。将传输原理分成4篇是本书在结构上的一种新的探索。通过三种传输现象的类比，有助于学生深入认识动量、热量和质量传输现象。该篇首先探讨了传输原理的体系和结构，力图使学生更好地掌握传输原理的整体框架。然后对传输现象的线性耦合作用进行简单介绍，以开拓学生的视野，培养学生对艰深理论问题的兴趣，以利于创新能力的培养。

本教材参考了一些著作和文献，在此对相关著作和文献的作者表示感谢。

曲英教授和吴懋林教授对本书的初稿提出了宝贵的意见。曲英教授特别提供了多年收集的质量传输数据，并对教材中传输现象耦合等内容给予了充分的肯定，编者对他们表示衷心的感谢。

编者与李士琦教授、刘应书教授、宋波教授和成国光教授就冶金传输原理的相关问题进行了有益的讨论。特别是李士琦教授，提出了一些颇具哲理的关于课程结构的看法。这些讨论和看法对提升教材水平大有裨益，编者表示深深的谢意。

非常感谢北京科技大学教务处和冶金与生态工程学院对本教材的大力支持。

编者所在课题组的研究生和本科生为教材编写付出了大量辛勤的劳动，在此一并表示感谢。

限于编者的水平，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

**吴 轶**

于北京科技大学

# 目 录

第一篇 动量传输 .....	1
1 传输原理中流体的基本概念 .....	3
1.1 流体及连续介质模型 .....	3
1.2 流体的密度和重度 .....	4
1.3 流体的压缩性 .....	5
1.4 流体的黏性 .....	6
1.5 牛顿流体和理想流体 .....	8
1.6 黏性动量流密度(通量) .....	9
1.7 作用在流体上的质量力和表面力 .....	9
1.7.1 质量力 .....	9
1.7.2 表面力 .....	10
1.8 系统及控制体 .....	10
1.9 单位与量纲 .....	11
1.10 小结 .....	12
思考题 .....	12
习题 .....	13
2 控制体法(积分方程) .....	14
2.1 质量守恒积分式 .....	14
2.2 质量守恒积分式的应用 .....	14
2.3 动量守恒积分式 .....	16
2.4 动量守恒积分式的应用 .....	16
2.5 能量守恒积分式 .....	18
2.6 重力作用下流体平衡基本方程 .....	19
2.7 小结 .....	21
思考题 .....	21
习题 .....	21
3 描述流体运动的方法 .....	23
3.1 雷诺试验和卡门涡街 .....	23
3.1.1 雷诺试验 .....	23
3.1.2 卡门涡街 .....	24
3.2 描述流体运动的两种方法 .....	24

3.2.1 拉格朗日法 .....	24
3.2.2 欧拉法 .....	25
3.3 质点导数 .....	25
3.4 拉格朗日法和欧拉法的转换 .....	27
3.4.1 拉格朗日法转换到欧拉法 .....	27
3.4.2 欧拉法转换到拉格朗日法 .....	28
3.5 流体运动的基本概念 .....	29
3.5.1 定常流动和非定常流动 .....	29
3.5.2 均匀流动和非均匀流动 .....	29
3.5.3 平面流和轴对称流 .....	29
3.5.4 迹线 .....	29
3.5.5 流线 .....	30
3.5.6 流管 .....	31
3.5.7 流束 .....	31
3.5.8 流量 .....	32
3.6 小结 .....	32
思考题 .....	32
习题 .....	33
<b>4 动量传输的微分方程 .....</b>	<b>34</b>
4.1 连续性微分方程 .....	34
4.2 理想流体运动方程(欧拉方程) .....	36
4.3 伯努利方程(理想流体定常流动沿流线的积分) .....	37
4.4 伯努利方程的应用 .....	40
4.4.1 文丘里管 .....	40
4.4.2 皮托管 .....	41
4.5 实际流体运动方程——纳维-斯托克斯方程 .....	42
4.6 小结 .....	45
思考题 .....	46
习题 .....	46
<b>5 管道中的流动 .....</b>	<b>48</b>
5.1 圆管中的层流流动 .....	48
5.1.1 速度分布 .....	48
5.1.2 流量与平均流速 .....	49
5.1.3 阻力及阻力系数 .....	49
5.2 湍流的流动 .....	50
5.2.1 临界雷诺数 .....	50
5.2.2 充分发展流 .....	51

5.2.3	湍流的描述 .....	51
5.2.4	几种典型的湍流 .....	52
5.2.5	湍流的切应力 (雷诺应力) .....	52
5.3	普朗特混合长度理论 .....	53
5.4	圆管内湍流速度分布 .....	55
5.5	圆管中的摩擦阻力系数 .....	57
5.5.1	水力光滑和水力粗糙 .....	57
5.5.2	摩擦阻力系数 .....	58
5.5.3	非圆形截面的管道摩擦损失的计算 .....	61
5.6	气体通过固体散料层的公式 .....	61
5.6.1	卡门公式 .....	61
5.6.2	欧根公式 .....	63
5.7	管路计算 .....	63
5.7.1	能量方程 .....	64
5.7.2	流动能量损失 .....	64
5.7.3	管路损失计算 .....	64
5.8	小结 .....	66
	思考题 .....	67
	习题 .....	67
<b>6</b>	<b>边界层理论 .....</b>	<b>69</b>
6.1	边界层的基本概念 .....	69
6.1.1	边界层理论 .....	69
6.1.2	边界层的厚度 .....	69
6.1.3	边界层的状态和特点 .....	70
6.2	边界层微分方程 .....	70
6.2.1	微分方程的简化 .....	70
6.2.2	平板层流边界层的布拉修斯解 .....	72
6.2.3	布拉修斯解的作用 .....	74
6.3	冯·卡门动量积分方程 .....	75
6.3.1	冯·卡门积分方程的导出 .....	75
6.3.2	冯·卡门积分方程的应用 .....	77
6.4	小结 .....	79
	思考题 .....	79
	习题 .....	79
<b>7</b>	<b>可压缩气体的流动和射流简介 .....</b>	<b>80</b>
7.1	可压缩气体的相关概念 .....	80
7.1.1	压缩性与声速 .....	80



7.1.2	马赫数 .....	81
7.1.3	可压缩气体与不可压缩气体的差别 .....	82
7.2	可压缩气体一元稳定等熵流动的基本方程 .....	83
7.3	一元稳定等熵气流的基本特性 .....	85
7.3.1	滞止状态 .....	85
7.3.2	临界状态 .....	86
7.3.3	极限状态 .....	86
7.4	气流参数与流通截面的关系 .....	87
7.5	喷管的计算和分析 .....	88
7.5.1	收缩喷管 .....	88
7.5.2	拉瓦尔喷管 .....	90
7.6	射流和气液两相流动 .....	91
7.6.1	自由射流 .....	92
7.6.2	气体流过液体表面的流动 .....	93
7.6.3	气体喷入液体中的流动 .....	93
7.6.4	气体垂直喷入液体中的流动 .....	94
7.6.5	气体垂直喷向液体表面的流动 .....	94
7.7	小结 .....	95
	思考题 .....	96
	习题 .....	96
<b>8</b>	<b>相似原理与模型研究方法 .....</b>	<b>98</b>
8.1	相似的概念 .....	98
8.1.1	相似性质和相似条件 .....	98
8.1.2	流动的力学相似 .....	98
8.2	相似原理 .....	99
8.2.1	特征数的导出 .....	100
8.2.2	特征数的物理意义 .....	101
8.2.3	特征数的转换 .....	102
8.3	量纲分析 .....	103
8.3.1	量纲的基本概念 .....	103
8.3.2	量纲和谐原理 .....	103
8.3.3	$\pi$ 定理或白金汉定理 .....	103
8.3.4	$\pi$ 定理的应用 .....	103
8.4	模型研究方法 .....	107
8.4.1	近似模化法 .....	107
8.4.2	黏性流体的稳定性和自模化性 .....	107
8.4.3	模型实验的数据处理 .....	108
8.5	小结 .....	108

思考题 .....	108
习题 .....	109
<b>第二篇 热量传输 .....</b>	<b>111</b>
<b>9 热量传输的基本方式 .....</b>	<b>113</b>
9.1 导热 .....	113
9.2 对流 .....	116
9.3 辐射 .....	117
9.4 组合传热 .....	118
9.5 小结 .....	119
思考题 .....	119
习题 .....	120
<b>10 导热微分方程 .....</b>	<b>121</b>
10.1 导热微分方程 .....	121
10.2 导温系数 (热扩散系数) .....	122
10.3 柱坐标系和球坐标系的导热微分方程 .....	123
10.4 定解条件 .....	123
10.5 小结 .....	125
思考题 .....	126
习题 .....	126
<b>11 一维稳态和非稳态导热 .....</b>	<b>127</b>
11.1 通过平壁的一维稳态导热 .....	127
11.1.1 第一类边界条件: 表面温度为常数 .....	127
11.1.2 第三类边界条件: 周围介质温度为常数 .....	130
11.2 通过圆筒壁的一维稳态导热 .....	131
11.2.1 第一类边界条件: 表面温度为常数 .....	132
11.2.2 第三类边界条件: 周围介质温度为常数 .....	134
11.2.3 临界绝热层直径 .....	136
11.3 非稳态导热的基本概念 .....	137
11.3.1 非稳态导热的概念 .....	137
11.3.2 平壁内非稳态温度场的主要特点 .....	138
11.3.3 周期性的非稳态导热 .....	138
11.3.4 非稳态导热的特点 .....	138
11.4 薄材的非稳态导热 .....	138
11.4.1 薄材的概念 .....	138
11.4.2 薄材的非稳态导热——集总参数法 .....	140

11.5	半无限大物体的一维非稳态导热	142
11.6	有限厚物体的一维非稳态导热	144
11.6.1	第一类边界条件: 表面温度为常数	144
11.6.2	第三类边界条件: 周围介质温度为常数	145
11.7	导热问题的数值解法简介	149
11.7.1	有限元法	149
11.7.2	有限差分法	150
11.7.3	需要注意的一些问题	151
11.8	小结	152
	思考题	152
	习题	152
<b>12</b>	<b>对流换热的基本方程和分析解</b>	<b>154</b>
12.1	对流换热概述	154
12.2	对流换热微分方程组	155
12.2.1	换热微分方程	155
12.2.2	热量传输微分方程	155
12.2.3	连续性方程	157
12.2.4	运动(动量传输)方程	157
12.3	对流换热边界层微分方程组	158
12.3.1	温度(热)边界层	158
12.3.2	边界层对流换热微分方程组	158
12.4	对流换热边界层微分方程组的分析解	159
12.4.1	平板层流换热的分析解	159
12.4.2	液体金属流过平板时的对流换热	161
12.5	对流换热边界层积分方程近似解	162
12.6	小结	164
	思考题	164
	习题	165
<b>13</b>	<b>对流换热的特征数及其关联式</b>	<b>166</b>
13.1	对流换热的特征数和量纲分析	166
13.1.1	对流传热中的重要特征数	166
13.1.2	对流换热量纲分析	167
13.2	强制对流换热及其关联式	169
13.2.1	管内强制对流换热	169
13.2.2	外部流动的强制对流换热	172
13.3	自然对流换热及其关联式	173
13.3.1	大空间自然对流换热关联式	174

13.3.2 有限空间自然对流换热 .....	176
13.4 小结 .....	178
思考题 .....	178
习题 .....	178
<b>14 热辐射的基本定律 .....</b>	<b>180</b>
14.1 热辐射的基本概念 .....	180
14.1.1 热辐射的本质和特点 .....	180
14.1.2 辐射力和辐射强度 .....	181
14.2 热辐射的基本定律 .....	183
14.2.1 黑体的概念 .....	183
14.2.2 普朗克定律 .....	183
14.2.3 斯忒藩-玻耳兹曼定律 .....	184
14.2.4 兰贝特定律 .....	186
14.3 实际物体的热辐射特性 .....	187
14.3.1 辐射能的吸收、反射和透射 .....	187
14.3.2 实际物体的辐射 .....	188
14.3.3 发射率(辐射率或黑度) .....	188
14.3.4 基尔霍夫定律 .....	192
14.3.5 灰体 .....	192
14.4 小结 .....	193
思考题 .....	193
习题 .....	194
<b>15 辐射换热计算 .....</b>	<b>195</b>
15.1 黑体表面间的辐射换热 .....	195
15.1.1 角系数的定义 .....	195
15.1.2 角系数的性质 .....	196
15.1.3 角系数的确定方法 .....	197
15.1.4 两个非凹黑表面的辐射换热和辐射空间热阻 .....	200
15.1.5 封闭的辐射换热 .....	201
15.2 灰体表面间的辐射换热 .....	201
15.2.1 有效辐射 .....	202
15.2.2 辐射表面热阻 .....	202
15.2.3 两非凹灰体表面间的辐射换热 .....	202
15.3 辐射换热的网络方法 .....	204
15.3.1 基本网络单元 .....	204
15.3.2 两个面之间辐射换热网络 .....	205
15.3.3 三个表面间的辐射换热网络 .....	205

15.3.4	两表面间有隔热屏时的辐射换热网络 .....	206
15.4	气体辐射 .....	208
15.4.1	气体辐射的特点 .....	208
15.4.2	气体的吸收定律 .....	208
15.4.3	气体的发射率和吸收率 .....	209
15.4.4	火焰辐射的概念 .....	214
15.5	气体与围壁表面间的辐射换热 .....	214
15.6	小结 .....	215
	思考题 .....	216
	习题 .....	216
<b>第三篇</b>	<b>质量传输</b> .....	<b>219</b>
<b>16</b>	<b>质量传输的基本概念</b> .....	<b>221</b>
16.1	分子扩散 .....	221
16.2	分子扩散系数 .....	221
16.2.1	气体的分子扩散系数 .....	222
16.2.2	液体的分子扩散系数 .....	223
16.2.3	固体的分子(原子)扩散系数 .....	224
16.3	对流传质 .....	226
16.4	质量传输中的浓度 .....	227
16.4.1	常用浓度单位 .....	227
16.4.2	稳态传质与非稳态传质 .....	228
16.5	传质流密度 .....	228
16.6	小结 .....	231
	思考题 .....	231
	习题 .....	232
<b>17</b>	<b>质量传输的微分方程</b> .....	<b>233</b>
17.1	质量传输平衡方程式 .....	233
17.2	质量传输方程的定解条件 .....	235
17.3	模拟分子扩散过程的步骤 .....	237
17.4	小结 .....	239
	思考题 .....	239
	习题 .....	239
<b>18</b>	<b>分子扩散</b> .....	<b>241</b>
18.1	一维稳态无化学反应的传质 .....	241
18.1.1	固体中的分子扩散 .....	241

18.1.2 气体中的分子扩散 .....	243
18.2 一维稳态有化学反应的传质 .....	245
18.2.1 一级化学反应的变面积分子扩散 .....	245
18.2.2 一级化学反应的恒定面积分子扩散 .....	249
18.3 静止介质中非稳态分子扩散 .....	250
18.3.1 半无限大物体, 表面浓度为常数 .....	251
18.3.2 有限厚度, 介质中扩散组分的浓度为常数 .....	252
18.3.3 有限厚度, 表面浓度为常数 .....	252
18.4 小结 .....	253
思考题 .....	253
习题 .....	254
<b>19 对流传质 .....</b>	<b>255</b>
19.1 对流传质基本概念 .....	255
19.2 对流传质中的重要参数 .....	256
19.3 层流浓度边界层的精确解 .....	258
19.4 浓度边界层的近似解 .....	263
19.5 小结 .....	264
思考题 .....	265
习题 .....	265
<b>20 对流传质的特征数及其关联式 .....</b>	<b>266</b>
20.1 对流传质的量纲分析 .....	266
20.1.1 强制对流传质 .....	266
20.1.2 自然对流传质 .....	267
20.1.3 对流传质关联式中的特征数 .....	268
20.2 流过平板、球体和圆柱体的传质 .....	268
20.2.1 流体平行流过平板时的传质 .....	268
20.2.2 流体流过球体时的传质 .....	270
20.2.3 流体垂流流过单个圆柱时的传质 .....	271
20.3 管道内的湍流传质 .....	272
20.4 流体流过填充床和流化床的传质 .....	273
20.5 湿壁塔内的传质 .....	274
20.6 对流传质过程的模拟步骤 .....	274
20.7 小结 .....	275
思考题 .....	275
习题 .....	275
<b>21 相际传质 .....</b>	<b>276</b>
21.1 相际平衡与平衡浓度 .....	276

21.2 相际对流传质基本模型 .....	276
21.2.1 边界层内的传质模型 I——薄膜理论 (有效边界层) .....	276
21.2.2 边界层内的传质模型 II——渗透理论 .....	277
21.2.3 边界层内的传质模型 III——表面更新模型 .....	278
21.3 双膜理论与相际稳态综合传质 .....	279
21.3.1 气液两相界面的传质 .....	279
21.3.2 渣金两相界面的传质 .....	282
21.4 具有化学反应的相际稳态综合传质 .....	284
21.4.1 铁矿石的还原 .....	284
21.4.2 碳粒的燃烧 .....	286
21.5 具有传热过程的相际稳态综合传质 .....	288
21.6 小结 .....	289
思考题 .....	290
习题 .....	290
<b>第四篇 传输现象的类比和耦合 .....</b>	<b>293</b>
<b>22 传输现象的类比特性 .....</b>	<b>295</b>
22.1 动量、热量和质量传输基本概念和参数类比 .....	295
22.1.1 传输基本概念的类比 .....	295
22.1.2 物性和流动传输参数的类比 .....	295
22.2 动量、热量和质量传输的类比 .....	296
22.2.1 动量传输与热量传输的类比 .....	296
22.2.2 动量传输与质量传输的类比 .....	297
22.3 类比的特征数 .....	298
22.4 雷诺类比和柯尔伯恩类比 .....	298
22.4.1 雷诺类比 .....	299
22.4.2 柯尔伯恩类比 .....	301
22.5 动量、热量和质量边界层的类比 .....	303
22.6 冶金传输原理课程体系与结构的初步探讨 .....	305
22.7 小结 .....	306
思考题 .....	306
习题 .....	307
<b>23 传输现象的耦合特性 .....</b>	<b>308</b>
23.1 线性流密度和耦合效应 .....	308
23.2 不可逆过程热力学的基本概念 .....	310
23.2.1 不可逆过程 .....	310
23.2.2 基本原理和熵增速率 .....	310

23.3 近平衡体系的线性不可逆过程热力学 .....	311
23.4 昂色格倒易关系 .....	313
23.5 小结 .....	315
思考题 .....	315
附录 .....	316
附录1 大气压下干空气的物理性质 .....	316
附录2 大气压下水的物理性质 .....	317
附录3 几种常见气体的物理性质 (20℃) .....	317
附录4 对流换热微分方程组各方程式在圆柱坐标系中的表达形式 .....	317
附录5 气体动力函数表 ( $k = 1.400$ ) .....	318
附录6 在大气压下气体的物理参数 .....	319
附录7 饱和水的热物理性质 .....	322
附录8 气体中的二元扩散系数 .....	323
附录9 液体中的二元扩散系数 .....	324
附录10 液—液质量传输试验中的相关数据选择 .....	324
附录11 一些气—液反应的试验性相关数据 .....	325
中英文人名对照表 .....	326
名词术语索引 .....	328
参考文献 .....	331



# 第一篇

## 动量传输

流体的动量传递包含流体的运动，以及产生运动的力。根据牛顿第二定律，体系的受力等于其动量的时间变化率。除重力之外，作用在流体上的压力和剪应力，均可认为是微观（分子）动量传递所致。因此，本篇既可以称为流体力学，也可以称作动量传输。

流体力学是一门古老而富有活力的学科。流体力学的演变过程大体分为四个阶段：

(1) 静力学。这一阶段以两千多年前阿基米得（Archimedes）和帕斯卡（Pascal）分别关于浮力和静水压力的研究为代表。至今还流传着阿基米得利用浮力原理确定皇冠含金量的佳话。

(2) 理想流体力学。从17世纪开始，一些卓越的数学家从不计流体的黏性、压缩性和表面张力的纯数学角度研究流体的运动，构建了流体力学学科的雏形——理想流体力学。这一阶段以伯努利（Bernoulli）、欧拉（Euler）和拉格朗日（Lagrange）的工作为主要代表。但由于忽略黏性，导致了流体绕过物体流动但阻力为零的错误结论。

(3) 流体动力学。这一阶段研究的特征是理论与试验的结合。18世纪的突出成就是纳维（Navier）、哈根（Hagen）、泊肃叶（Poiseuille）、斯托克斯（Stokes）等人创立的黏性流体力学。进入19世纪，在理论研究遇到困难的情况下，开始主要依赖试验，由雷诺（Reynolds）、弗劳德（Froude）、瑞利（Rayleigh）等人创立了相似理论，奠定了试验流体力学的基础。自20世纪初普朗特（Prandtl）创立的边界层理论，以及湍流理论的出现，流体力学进入了与工程实际相结合的蓬勃发展时期，因此普朗特和冯·卡门（von Karman）也成为近代流体力学的奠基人。我国著名的力学家周培源、钱学森和郭永怀等也在近代流体力学的发展中做出过重要贡献。

(4) 计算流体力学。20世纪中叶，计算机的出现为流体力学的求解提供了强有力的手段。计算机、计算数学在流体力学中的应用催生了流体力学的新分支——计算流体力学（简称CFD），它的崛起给流体力学这一古老的学科注入了新的生命力。计算流体力学历史虽然不长，但其解决实际工程问题的能力，以及迄今所取得的巨大成果，使它越来越受到关注。目前，已有众多的求解工程问题的CFD商用软件，较流行的有CFX、PHOENICS、FLOW-3D等。

流体力学发展至今，不断派生出新的学科分支，但从研究手段上可划分为理论流体力学、实验流体力学和计算流体力学。这三大分支构成了流体力学的完整体系。

很多冶金过程与动量传输现象有着密切的关系。例如，氧气顶吹转炉炼钢过程涉及：超声速射流的获得，氧气射流与熔池的相互作用，气泡的成核和长大，气泡搅动下的循环流动等；再如，高炉、烧结的气—固两相流动，真空脱气，吹氩搅拌的气—液两相流动，废钢熔化，脱氧剂与合金液的液—固两相流动，渣—钢间传质的液—液两相流动等，都与动量传输有关。

从所研究问题的特点出发，可将流体力学问题分为两大类：