

工 程 传 热 原 理

范治新 编

化 学 工 业 出 版 社

序 言

化工生产，不但要设法控制化学反应温度，以节约原料，提高产率，还应减少热损失，充分回收利用余热，降低企业能耗。因此，从事化工设计、运行和研究的科技人员，必须具备工业传热的基本知识，以便提高各种传热设备的性能，改进各种保温隔热和热保护措施。为革新工艺流程和设备、采用新材料和新方法提供必要的条件。

传热学是高等学校化工类专业学习《化工原理》和《传递过程原理》课程的一个主要内容。这几年，虽然陆续出版了一些教科书，然而，教科书要求贯彻“少而精”的原则，取材受到学时和篇幅的限制，内容应当反映比较成熟和稳定的基础理论和基本知识。范治新同志根据他多年来在清华大学讲授传热学课程和从事化工热过程设备生产科研工作的心得，编著成《工程传热原理》，供作教学参考书，从广度和深度上补充了基本教材在结合化工生产实际方面的不足。

全书取材较新，编入了数值计算、两相流的传热、辐射网络法、换热器的传热单元数法等，对发展高效传热设备的一些动态和化工生产中常易遇到的非牛顿流体的流动和传热作了专章介绍；还专题论述了多组分蒸汽冷凝器、含不凝气体的冷凝冷却器、立式热虹吸再沸器等设计计算方法，可作为进一步深入学习传热理论和设计计算方面的参考书。

全书试用SI单位，文字通顺，并且详举例题，各章附有

思考题、习题和参考文献，为教和学的启发引伸提供方便。当然，这种尝试，难免会有某些缺陷，还有待于在使用中接受考验。希望本书读者能对所发现的欠妥和错误之处，给予指正。

王朴宣

1979年11月

目 录

第一章 结 论

1-1 概 述	(1)
1. 传热的三种基本方式	(1)
(1) 热传导	(2)
(2) 热对流	(2)
(3) 热辐射	(2)
2. 稳定传热和不稳定传热	(3)
3. 几种常用的单位制	(4)
(1) 国际单位制	(4)
(2) 重力单位制	(5)
(3) MKKS单位制	(5)
1-2 传热速度计算	(8)
1. 传热速度方程式的一般形式	(8)
2. 各种传热方式下计算传热速度的基本公式	(9)
(1) 导热	(9)
(2) 对流给热	(12)
(3) 辐射换热	(13)
3. 复杂传热过程计算	(14)
(1) 热阻的并联	(14)
(2) 热阻的串联	(15)
4. 按单位面积计算的热阻	(16)
1-3 界面温度计算	(17)

〔本章内容小结〕	(19)
〔复习思考题〕	(20)
〔习题〕	(21)

第二章 热 传 导

2-1各种物质的导热系数	(22)
1. 气体的导热系数	(23)
2. 液体的导热系数	(24)
3. 金属的导热系数	(24)
4. 非金属固体的导热系数	(25)
2-2一维稳定导热	(26)
1. 平壁	(26)
(1) 单层壁	(26)
(2) 多层壁	(28)
(3) 复合壁	(29)
2. 圆管壁	(31)
(1) 单层壁	(31)
(2) 多层壁	(33)
(3) 临界绝热直径	(33)
3. 圆球壁	(35)
4. 翅片传热	(36)
(1) 等截面直翅片导热的分析解	(36)
(2) 翅片效率	(41)
(3) 翅片设计中需要考虑的几个问题	(46)
5. 接触热阻	(48)
〔复习思考题〕	(49)
2-3复杂导热问题的求解	(50)
1. 导热问题的一般数学模型	(50)

(1) 导热微分方程	(50)
(2) 单值条件	(54)
2. 导热问题的分析解	(55)
(1) 具有内热源的稳定导热	(55)
(2) 不稳定导热	(57)
a. 一维不稳定导热, $Bi < 0.1$ 的情况	(57)
b. 一维不稳定导热, $Bi > 0.1$ 的情况	(60)
c. 多维不稳定导热, $Bi > 0.1$ (Newman 法则)	(65)
3. 导热问题的数值计算法	(66)
(1) 节点温度方程	(67)
(2) 用迭代法求解稳定温度场	(72)
(3) 用松弛法求解稳定温度场	(74)
(4) 不稳定温度场的数值计算法	(76)
4. 二维稳定导热的图解计算——流场标绘法	(79)
5. 导热问题的模拟法	(82)
6. 导热形状因子	(83)
〔复习思考题〕	(89)
〔习题〕	(89)
〔参考文献〕	(93)

第三章 单相对流给热

3-1 流体的流动和对流给热的关系	(95)
1. 热边界层及其对给热系数的影响	(95)
2. 边界层内的能量传递机理	(97)
3. 进口段内边界层的发展过程	(98)
4. 自然对流过程中的速度边界层和温度边界层	(104)
3-2 经验公式的建立方法	(105)
1. 因次分析法	(105)
(1) 因次分析原理	(105)

(2) 强制对流给热过程的因次分析	(107)
(3) 自然对流给热过程的因次分析	(110)
(4) π 定理	(110)
2. 实验安排及其结果整理	(111)
(1) 实验安排	(111)
(2) 经验公式的整理	(113)
3. 常用准数的计算式及其物理意义	(117)
3-3 单相对流给热计算	(126)
1. 管内强制对流	(126)
(1) 层流区	(126)
(2) 过渡区	(128)
(3) 湍流区	(128)
2. 管外强制对流	(132)
(1) 流体绕流单管	(132)
(2) 流体横向流过管束	(132)
3. 自然对流给热	(135)
(1) 大空间自然对流	(135)
(2) 同时有辐射换热存在的自然对流	(136)
(3) 封闭空间内的自然对流	(136)
(4) 水平环隙内的自然对流	(138)
4. 降膜给热	(141)
(1) 竖管降膜给热	(141)
(2) 横管降膜给热	(143)
5. 搅拌釜内对流给热	(143)
(1) 釜内壁给热系数	(143)
(2) 釜液升温及冷却时间	(144)
3-4 单相对流给热影响因素的分析	(144)
1. 流速的影响	(145)
2. 流道尺寸及形状的影响	(147)

3. 流体物性变化的影响	(150)
4. 壁面粗糙度的影响	(152)
5. 热流分布状态的影响	(153)
6. 混合对流	(154)
3-5 对流给热和摩擦阻力之间的关系	(160)
1. 雷诺类比	(160)
2. 热量传递和动量传递的相似性	(164)
3-6 边界层及对流给热的近似分析解	(167)
1. 速度边界层计算	(167)
(1) 边界层动量方程	(167)
(2) 沿平板的流动	(169)
(3) 管内流动	(174)
2. 层流给热的近似分析解	(174)
(1) 边界层热流方程	(174)
(2) 流过平板的层流给热	(176)
(3) 圆管内的层流给热	(178)
〔本章内容小结〕	(180)
〔复习思考题〕	(183)
〔习题〕	(184)
〔参考文献〕	(185)

第四章 有相变的给热过程

4-1 蒸汽的冷凝给热	(187)
4-2 膜层冷凝的近似分析	(189)
4-3 冷凝给热的实用计算式	(193)
1. 管外冷凝	(193)
2. 管内冷凝	(197)
3. 不互溶混合物的冷凝	(198)

4. 水平翅片管外冷凝	(198)
4-4 冷凝给热影响因素的分析	(200)
1. 冷凝温差	(200)
2. 冷凝负荷	(200)
3. 冷凝面的高度及布置方式	(201)
4. 流体物性的影响	(203)
5. 蒸汽的流速和流向的影响	(203)
6. 表面情况的影响	(203)
7. 蒸汽过热的影响	(204)
8. 不凝气的影响	(205)
9. 混合蒸汽冷凝	(206)
4-5 沸腾给热过程分析	(208)
1. 给热机理	(208)
(1) 气泡的产生	(210)
(2) 气泡的脱离	(212)
2. 沸腾曲线	(213)
4-6 影响沸腾给热的因素	(217)
1. 壁面过热度 Δt 的影响	(217)
2. 操作压力的影响	(217)
3. 加热面材料及性质的影响	(217)
4. 流体性质的影响	(219)
5. 加热面的形状及布置的影响	(219)
6. 添加剂的影响	(220)
4-7 池内沸腾给热计算	(221)
1. 沸腾给热系数	(221)
(1) 单组分液体沸腾	(221)
(2) 混合液的沸腾	(222)
2. 沸腾危机和临界热流强度	(223)
(1) 计算公式	(224)

(2) 影响因素的分析	(226)
4-8 流动沸腾给热	(227)
1. 流动沸腾过程分析	(227)
2. 两相流动及给热计算	(232)
(1) 两相流型的确定	(232)
(2) 两相流中气液相体积分数计算	(234)
(3) 两相流的摩擦压力损失	(236)
(4) 两相流的给热系数	(239)
3. 流动沸腾危机	(241)
(1) 概述	(241)
(2) 影响因素分析	(242)
(3) 计算公式	(250)
4. 两相流动的不稳定性	(253)
(1) 概述	(253)
(2) 流动状态漂移	(254)
(3) 流体脉动	(257)
〔本章内容小结〕	(262)
〔复习思考题〕	(265)
〔习题〕	(266)
〔参考文献〕	(267)

第五章 辐射换热

5-1 热辐射的基本概念	(270)
5-2 热辐射的基本定律	(272)
1. 辐射能按照波长分布的定律——普朗克定律	(273)
2. 四次方定律 (斯蒂芬-玻尔兹曼定律)	(275)
3. 黑度和吸收率的关系 (克希霍夫定律)	(279)
4. 余弦定律 (兰贝特定律)	(280)
5-3 物体间的辐射换热	(283)

1. 辐射换热的一般情况	(283)
2. 封闭空腔内物体与空腔内壁的辐射换热	(285)
3. 遮热原理	(287)
4. 空间任意位置的两个表面之间的辐射换热	(291)
(1) 角系数	(291)
(2) 换热计算	(292)
5. 辐射换热公式的一般形式	(295)
6. 辐射网络法	(296)
5-4 气体辐射	(301)
1. 气体辐射的特点	(301)
2. 二氧化碳和水蒸汽的黑度和吸收率	(303)
3. 气体和外壳间的辐射换热	(307)
4. 辐射给热系数	(309)
5-5 炉内传热	(312)
1. 燃烧室传热计算原理	(313)
(1) 有效受热面积	(314)
(2) 总辐射能到达率 ψ	(316)
(3) 烟气平均温度 T_g	(322)
(4) 管壁平均温度	(322)
2. 管排布置对辐射传热的影响	(322)
(1) 管周吸热量的分布	(323)
(2) 炉墙在辐射传热中的作用	(324)
3. 对流段传热计算	(325)
(1) 光管管外总给热系数 α_o	(325)
(2) 钉头管管外总给热系数 α_{o_s}	(326)
[本章内容小结]	(327)
[复习思考题]	(329)
[习题]	(330)
[参考文献]	(331)

第六章 换热设备的设计计算

6-1 换热设备的设计计算	(332)
1. 基本公式	(332)
(1) 热平衡方程	(333)
(2) 传热速度方程	(333)
(3) 压力降限制方程	(333)
2. 传热系数计算	(333)
3. 污垢热阻	(334)
4. 有效平均温差	(338)
(1) 对数平均温差	(338)
(2) 温差修正系数	(341)
5. 流体的定性温度——卡路里温度	(348)
6. 折流挡板	(349)
7. 流速	(351)
8. 流体通过壳程或管程的比较及选择	(353)
(1) 一般原则	(354)
(2) 管程和壳程流动状态的比较	(354)
(3) 管程和壳程给热系数比较	(354)
(4) 管程与壳程压力降比较	(356)
9. 壳程压力降计算和流路分析法简介	(357)
10. 换热器设计计算步骤及所用公式	(360)
11. 换热器设计示例	(368)
6-2 换热器的校核计算和传热单元数法	(373)
1. 传热单元数 (NTU) 法	(373)
(1) 换热器有效度 E	(373)
(2) 传热单元数 NTU	(374)
(3) 有效度和传热单元数之间的关系	(374)
2. 余热回收的最佳传热面积计算	(381)

6-3混合蒸汽冷凝过程的设计计算	(384)
1. 混合蒸汽冷凝的特点	(384)
2. 混合蒸汽冷凝器的传热计算	(385)
3. 含有不凝性气体蒸汽冷凝的特点	(396)
4. 用三点法计算冷凝-冷却器	(398)
6-4立式热虹吸再沸器设计计算	(406)
1. 工作原理	(406)
2. 设计计算	(407)
3. 再沸器计算示例	(413)
〔本章内容小结〕	(428)
〔复习思考题〕	(429)
〔参考文献〕	(430)

第七章 传热过程的强化

7-1概述	(433)
7-2一种新型导热元件——热管	(436)
1. 结构和工作原理	(436)
2. 热管的工作极限	(438)
3. 常用热管的型式	(439)
(1) 吸液芯热管	(439)
(2) 重力热管	(439)
(3) 离心力热管	(439)
(4) 导热性可变的热管	(440)
4. 应用	(440)
7-3单相对流换热过程的强化	(441)
1. 粗糙壁面	(442)
2. 旋转流动	(444)
3. 加热面或流体的振动	(446)
4. 添加剂	(446)

5.其它方法	(449)
7-4 沸腾给热过程的强化	(450)
1.粗糙壁面	(450)
2.旋转流动	(452)
3.填充物	(453)
4.流体振动	(454)
5.添加剂	(454)
6.合理的翅片形式	(455)
7.表面处理	(456)
7-5 冷凝给热过程的强化	(457)
1.管壁表面开槽	(457)
2.珠状冷凝	(459)
〔本章内容小结〕	(459)
〔复习思考题〕	(461)
〔参考文献〕	(462)

第八章 非牛顿流体的流动和传热

8-1 非牛顿流体的物理性质及其分类	(465)
1.概述	(465)
2.非牛顿流体的分类	(466)
(1)非时变型非牛顿流体	(467)
a.宾哈姆塑性流体	(467)
b.拟塑性型流体	(468)
c.胀塑性型流体	(469)
(2)时变型非牛顿流体	(469)
a.触融性流体	(470)
b.触凝性流体	(470)
c.时变流体和非时变流体之间的关系	(471)
(3)粘弹性流体	(471)

3. 稠度系数和流动行为指数	(473)
8-2非牛顿流体的流动特性	(476)
1. 管内层流时的阻力计算	(476)
(1) 牛顿流体	(478)
(2) 宾哈姆塑性流体	(478)
(3) 指数规律型流体	(479)
(4) 通用摩擦系数和广义雷诺数	(480)
2. 管内层流时的速度分布	(481)
(1) 牛顿流体	(481)
(2) 指数型非牛顿流体	(482)
(3) 宾哈姆型流体	(483)
3. 湍流时的阻力计算和速度分布	(484)
(1) 从层流过渡到湍流的判据	(484)
(2) 阻力计算	(485)
(3) 速度分布	(486)
8-3非牛顿流体传热	(487)
1. 管内层流给热的分析解	(488)
(1) 管内层流给热的基本方程	(488)
(2) 牛顿流体	(489)
(3) 适用于非牛顿流体的一般解	(490)
2. 管内层流给热的经验关联式	(490)
(1) 牛顿流体	(490)
(2) 塑性流体	(491)
(3) 指数型流体	(491)
(4) 非牛顿流体的一般关系式	(492)
3. 管内湍流给热	(494)
4. 板式换热器	(494)
5. 搅拌釜传热	(495)
6. 非牛顿流体的导热系数和比热计算	(496)

(1) 导热系数	(496)
(2) 比热	(497)
〔本章内容小结〕	(497)
〔复习思考题〕	(499)
〔参考文献〕	(499)

第九章 相似理论和模型实验

9-1 对流给热过程的数学物理分析	(501)
1. 换热微分方程式	(502)
2. 导热微分方程式	(502)
3. 运动微分方程式	(504)
4. 连续性方程式	(508)
9-2 相似现象的特性	(511)
1. 几何相似	(511)
(1) 无因次图形在实用上的意义	(511)
(2) 对应位置在无因次坐标上的表示	(514)
2. 物理现象的相似	(514)
9-3 现象相似的必要和充分条件	(517)
1. 流体动力学相似的条件	(517)
2. 热相似的条件	(521)
3. 结论	(525)
9-4 模型实验和相似放大	(526)
1. 模型实验	(526)
(1) 几何相似	(527)
(2) 物性相似	(527)
(3) 边界条件相似	(528)
(4) 定型准数相等	(528)
(5) 控制因素	(530)
(6) 规模效应问题	(532)

2. 相似放大方法	(533)
(1) 直接放大法	(534)
(2) 间接放大法	(534)
(3) 外推放大法	(535)
〔复习思考题〕	(542)
〔本章内容小结〕	(543)
〔参考文献〕	(544)

附 录

1. 单位换算表	(545)
2. 水的物理性质	(554)
3. 某些液体的重要物理性质	(556)
4. 干空气的物理性质	(560)
5. 常用材料的重度、导热系数、热容量和导温系数	(563)
6. 液体密度通用线图	(566)
7. 液体粘度列线图	(567)
8. 气体粘度列线图	(571)
9. 液体比热列线图	(573)
10. 气体比热列线图	(575)
11. 液体气化潜热列线图	(577)
12. 液体 Pr 数列线图	(579)