

思考题与习题参考答案

绪论

一、填空

- 1、经济核算
- 2、物料衡算、经济核算、能量核算、物系的平衡关系、传递速率
- 3、液体输送、离心沉降、混合、热交换、蒸发、喷雾干燥

二、简答

1、在食品工程原理中,将这些用于食品生产工艺过程所共有的基本物理操作过程成为单元操作。例如,奶粉的加工从原料乳的验收开始,需要经过预热杀菌、调配、真空浓缩、过滤、喷雾干燥等过程;再如,酱油的加工,也包含大豆的浸泡、加热、杀菌、过滤等工序,这两种产品的原料、产品形式、加工工艺都有较大的不同,但却包含了流体的输送、物质的分离、加热等相同的物理操作过程。

2、“三传理论”即动量传递、热量传递和质量传递。

(1) 动量传递理论。随着对单元操作的不断深入研究,人们认识到流体流动是一种动量传递现象,也就是流体在流动过程中,其内部发生动量传递。所以凡是遵循流体流动基本规律的单元操作都可以用动量传递理论去研究。

(2) 热量传递理论。物体在加热或者冷却的过程中都伴随着热量的传递。凡是遵循传热基本规律的单元操作都可以用热量传递的理论去研究。

(3) 质量传递理论。两相间物质的传递过程即为质量传递。凡是遵循传质基本规律的单元操作都可以用质量传递的理论去研究。

例如,啤酒的灭菌(热量传递),麦芽的制备(动量传递,热量传递,质量传递)等。

三传理论是单元操作的理论基础,单元操作是三传理论具体应用。

3、单元操作中常用的基本概念有物料衡算、能量衡算、物系的平衡关系、传递速率和经济核算。

物料衡算遵循质量守恒定律,是指对于一个生产加工过程,输入的物料总量必定等于输出的物料总质量与积累物料质量之和。能量衡算的依据是能量守恒定律,进入过程的热量等于离开的热量和热量损失之和。平衡状态是自然界中广泛存在的现象。平衡关系可用来判断过程能否进行,以及进行的方向和能达到的限度。过程的传递速率是决定化工设备的重要因素,传递速率增大时,设备尺寸可以减小。为生产定量的某种产品所需要的设备,根据设备的型式和材料的不同,可以有若干设计方案。对同一台设备,所选用的操作参数不同,会影响到设备费与操作费。因此,要用经济核算确定最经济的设计方案。

4、流体流动过程包括流体输送、搅拌、沉降、过滤等。传热过程包括热交换、蒸发等。

传质过程包括吸收、蒸馏、萃取、吸附、干燥等。

5、(略)

流体流动

一、名词解释

- 1、流体流动时产生内摩擦力的性质
- 2、剪应力与速度梯度的关系完全符合牛顿黏性定律的流体
- 3、流场中任意点的流速不随时间变化的流动
- 4、壁面附近存在的较大速度梯度的流体层

二、填空

- 1、牛顿
- 2、剪切力、速度梯度
- 3、层流、湍流
- 4、层流、湍流、外界干扰
- 5、雷诺数、4000、湍流、2000、层流
- 6、直管阻力、局部阻力
- 7、 $\mu_{\text{平均}} = 0.82\mu_{\text{max}}$
- 8、层流区、过渡区、湍流区、完全湍流区
- 9、管子、管件、阀门
- 10、阻力系数法、当量长度法

三、选择

- 1、A
- 2、A
- 3、A

四、简答

- 1、假设流体无黏性，在流动过程中无摩擦损失；流体在管道内作稳定流动；在管截面上液体质点的速度分布是均匀的；流体的压力、密度都取在管截面上的平均值；流体质量流量为 G ，管截面积为 A 。

在管道中取一微管段 dx ，段中的流体质量为 dm 。

作用此微管段的力有：

作用于两端的总压力分别为 pA 和 $-(p+dp)A$ ；作用于重心的重力为 gdm ；

由于 $dm = \rho A dx$ ， $\sin \theta \frac{dx}{dz} = 1$

故作用于重心的重力沿 x 方向的分力为

$$g \sin \theta dm = g \rho A \sin \theta dx = g \rho A dz$$

作用于微管段流体上的各力沿 x 方向的分力之和为：

$$pA - (p+dp)A - g \rho A dz = -Adp - g \rho A dz$$

流体流进微管段的流速为 u ，流出的流速为 $(u+du)$ 。

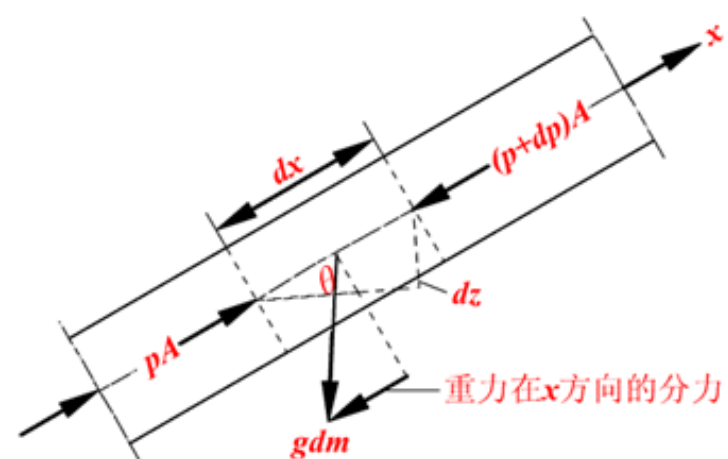
流体动量的变化速率为 $G du = \rho A u du$

合并得： $\rho A u du = -Adp - g \rho A dz \rightarrow \rho A u du = -Adp - g \rho A dz$

$g dz + u du = 0$ 对不可压缩流体， ρ 为常数，对上式积分得

$$gz + \frac{u^2}{2} = \text{常数} \quad \text{称为柏努利方程式}$$

- 2、 $gz + \frac{u^2}{2} = \text{常数}$ 上式表明：三种形式的能量可以相互转换，总能量不会有所增减，即



三项之和为一常数

3、影响流体流动类型的因素包括流体的流速 u 、管径 d 、流体密度 ρ 、流体的黏度 μ 。 u 、 d 、 ρ 越大， μ 越小，就越容易从层流转变为湍流。上述中四个因素所组成的复合数群 $du\rho/\mu$ 是判断流体流动类型的准则。这数群称为雷诺准数，用 Re 表示。 $Re \leq 2000$ ，流动类型为层流； $Re \geq 4000$ ，流动类型为湍流； $2000 < Re < 4000$ ，流动类型不稳定，可能是层流，也可能是湍流，或是两者交替出现，与外界干扰情况有关。

4、（1）观察流体流动的情况：若流体的各质点均作轴向流动，则为层流；若有径向流动，则为湍流。

（2）测流体的流速 u 、黏度 μ 、密度 ρ 和管道直径 d ，计算 $Re = du\rho/\mu$ 。 $Re \leq 2000$ ，流动类型为层流； $Re \geq 4000$ ，流动类型为湍流； $2000 < Re < 4000$ ，流动类型不稳定，可能是层流，也可能是湍流。

5、层流运动时流体运动速度较慢，与管壁碰撞不大，因此阻力、摩擦系数与 ϵ 无关， λ 只与 Re 有关。层流时， λ 糙管的流动与在光滑管的流动相同。湍流运动时 $\delta_b > \epsilon$ ，阻力与层流相似，此时称为水力光滑管。 $\delta_b < \epsilon$ Re δ_b 质点通过凸起部分时产生漩涡能耗。

五、计算题

1、绝对压强 $7.53 \times 10^4 \text{ Pa}$

2、高度 1.92 m

3、（略）

4、蒸汽压 $6.46 \times 10^5 \text{ Pa}$

5、管底压强 $1.15 \times 10^5 \text{ Pa}$

6、深度 $h \geq 5.1 \text{ m}$

7、 16.63 kN

8、 $u_{\text{果汁}} = 2.75 \text{ m/s}$ ； $u_{\text{蒸汽}} = 26.21 \text{ m/s}$

9、高度差 0.191 m

10、 $q_m = 602 \text{ kg/hr}$

11、 $h = 2.315 \text{ m}$

12、湍流

13、水流速度 1.5 cm/s

14、 0.25 倍

15、真空度为 $5.53 \times 10^4 \text{ Pa}$

16、 $p = 959.5 \times 10^3 \text{ Pa}$

17、 $P_z = 35723 \text{ W}$ 3.6 kW

18、（1）阻力为原来的 2 倍；（2）阻力为原来的一半；（3）阻力不变

19、 39.06 倍

20、（略）

21、该泵轴功率为 $7.5 \text{ kW} >$ 完成输送任务所需功率 7.01 kW ，故从功率角度考虑，该泵能完成输送任务。

22、 $P_z = 1.39 \text{ kW}$

23、开一阀门时 $V=2.0\text{m}^3/\text{h}$ ；两阀门同时打开时 $V=2.17\text{m}^3/\text{h}$

第二章 流体输送机械

一、名词解释

- 1、当进口压力等于或小于环境温度下液体的饱和蒸汽压 p_v 时，就会有蒸汽从液体中大量逸出，形成许多蒸汽和气体混合的小气泡。气泡周围的压力大于饱和蒸汽压，产生了压差，在压差作用下气泡将以很高的速度打击离心泵的金属叶片，对叶片造成损伤，这种现象称为气蚀现象。
- 2、离心泵的特性曲线 $H-Q$ 与其所在管路特性曲线 H_e-Q_e 的交点 M 称为泵在该管路的工作点
- 3、离心泵若安装在贮槽液面之上，则离心泵入口中心到贮液面的垂直高度 H_g ，称为离心泵的安装高度。
- 4、切割定律：离心泵的流量之比等于叶轮直径之比；离心泵的压头之比等于叶轮直径之比的平方；离心泵的轴功率之比等于叶轮直径之比的三次方。比例定律：离心泵的流量之比等于转速之比；离心泵的压头之比等于转速之比的平方；离心泵的轴功率之比等于转速之比的三次方。

二、填空

- 1、转速、清水
- 2、泵、管路
- 3、泵的结构、转速、流量
- 4、泵的特性、所在管路的特性
- 5、气蚀、降低进口管段流速、降低进口管阻力
- 6、直管、管件、阀门
- 7、容积损失、机械损失、水力损失

三、选择

- 1、D
- 2、D
- 3、B
- 4、A
- 5、B
- 6、C
- 7、A
- 8、B

四、简答

- 1、气蚀现象的原因：离心泵进口压力等于或小于环境温度下液体的饱和蒸汽压 p_v 时，就会有蒸汽从液体中大量逸出，形成许多蒸汽和气体混合的小气泡。这些小气泡随液体流到高压区时，气泡周围的压力大于气泡内的饱和蒸汽压，从而产生压差。在该压差作用下，气泡受

压破裂而重新凝结。凝结过程中，液体质点从四周向气泡中心加速运动，在凝结的瞬间，质点相互撞击，产生很大的局部压力，造成管路系统的振动；同时，这些气泡将以很高的速度打击离心泵的金属叶片，对叶片造成损伤，这种现象称为气蚀现象。

危害：气蚀现象会造成管路系统的振动和离心泵叶片的损伤，离心泵在严重的气蚀状态下工作时，寿命会大大缩短。

防止：泵的安装位置不能太高，即 H_g 不能太大以保证泵入口处的压力 p_1 大于液体输送温度下的饱和蒸汽压 p_v ，就可避免气蚀现象的发生。

2、改变阀门开度以调节流量，实质是改变管路特性曲线。

(1) 如图 1 所示，当阀门关小时，管路局部阻力加大，管路特性曲线变陡，泵的工作点由 M 移到 M_1 。流量由 Q_M 减小到 Q_{M1} ；

(2) 当阀门开大时，管路局部阻力减小，管路特性曲线变得平坦一些，工作点移到 M_2 ，流量增加到 Q_{M2} 。

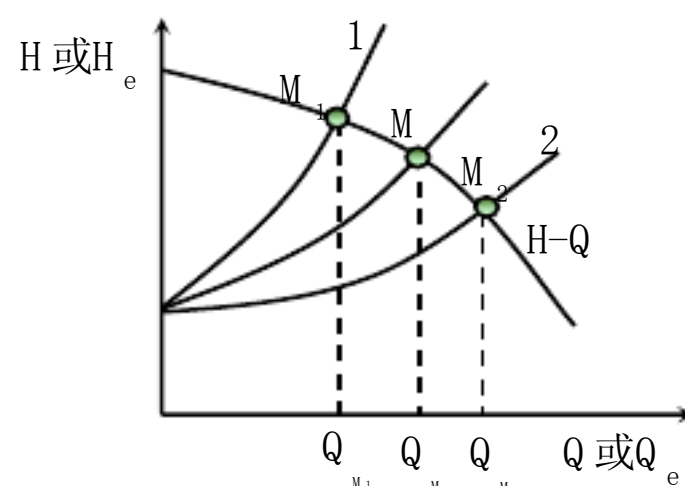


图 1 改变阀门开度调节流量的示意图

3、单位质量的流体在某一截面上所具有的总机械能与获得的能量之和等于在下一个截面上的总机械能与这两截面间消耗的能量之和。

4、离心泵的基本部件是旋转的叶轮和固定的泵壳。工作原理是叶轮旋转时，叶片就将机械能转化为液体的动能，由于离心力的作用液体从叶轮中心沿半径方向流向外周，因流道注射广，部分动能就转化为压力能，达到液体输送的目的。

5、在往复泵出口处装有旁路，如图 2 所示，当下游压力超过一定限度时安全阀将自动开启，往复泵出口总流量不变，只是通过支路的安全阀使部分液体回流从而达到改变排出管路流量的目的，以保证系统安全运转。这种方法简单方便，在生产上广泛使用，但造成一定的能力损失。

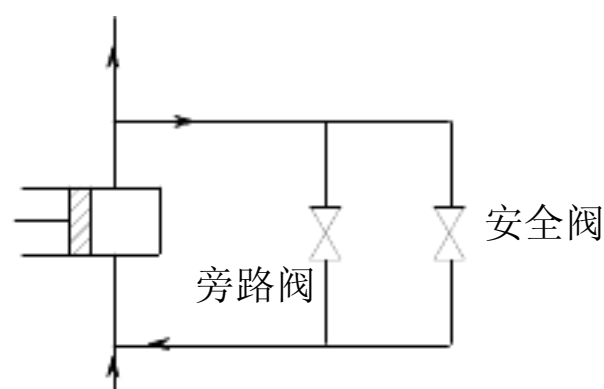


图 2 往复泵的流量调节

五、计算

- 1、吸水管内的流量 $1.56 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
- 2、扬程 28.48m；功率 42.82W
- 3、总摩擦损失 20.49J/kg 泵所作的功 80.33J 有效功率 492.40W
- 4、泵的功率 97.04W

第三章 非均相物系的分离

一、名词解释

- 1、物系内部有隔开两相的界面存在，界面两侧物料物理性质截然不同的物系称为非均相物系。
- 2、在旋风分离器分离中，理论上能被完全分离下来的最小颗粒直径。临界粒径是判断分离效率高低的重要依据。
- 3、通过重力作用使得分散相（颗粒）相对于连续相（流体）运动的过程称为重力沉降。若实现沉降的作用力是，则称为离心沉降。
- 4、通过惯性离心力作用使得分散相（颗粒）相对于连续相（流体）运动的过程称为离心沉降。
- 5、在颗粒的重力沉降过程中，在阻力、浮力与重力三个力达到平衡时的等速阶段，颗粒相对于流体的运动速度称为沉降速度。
- 6、通常将单位时间获得的滤液体积为过滤速率，而过滤速度为单位过滤面积上的过滤速率。

二、填空

- 1、恒压过滤、恒速过滤、恒压过滤
- 2、扁平、多层水平隔板
- 3、底面积、沉降速度
- 4、重力降尘室、旋风分离器、袋滤器
- 5、重力降尘室、旋风分离器
- 6、滤饼过滤、深层过滤
- 7、进料过滤、滤饼洗涤、卸除滤饼
- 8、架桥、滤饼
- 9、过滤介质、滤饼的性质
- 10、流体力学

三、选择

- 1、C
- 2、B
- 3、C
- 4、D

四、简答

- 1、旋风分离器的主体上部为圆柱，下部为圆锥。气体进口管与圆柱部分相接，气体出口管

于上方中心插入圆柱部分，圆锥部分的底部为尘灰的出口。

旋风分离器是利用惯性离心力的作用从气固混合物中分离出固相颗粒的设备。含尘气体由圆筒上部的进口管依切线方向进入，受器壁的约束而向下作螺旋运动。在惯性离心力的作用下，颗粒被抛向器壁而与气流分离，再沿器壁面落至锥底的排灰口。净化后的气体在中心轴附近由下而上作螺旋运动，最后由顶部排气管排出。

2、(1) 颗粒的浓度效应。但当颗粒浓度较高时，颗粒间会发生相互摩擦、碰撞等相互作用，且大颗粒也会拖曳着小颗粒下降，从而发生干扰沉降。

(2) 容器的壁效应。实际容器是一个有限的流体空间，当颗粒直径与壁直径相比差值较小时，容器的壁面和底面均增加颗粒沉降时的曳力，使颗粒和实际沉降速度较自由沉降速度低，称为壁效应。在斯托克斯定律区，器壁对沉降速度的影响可以修正。

(3) 颗粒形状的影响。同一种固体物质，球形或近球形颗粒比同体积非球形颗粒的沉降要快一些。颗粒的球形度越小，对应于同一 Re_t 值的阻力系数 越大，但 ζ_s 值对 的影响在滞流区并不显著，随着 Re_t 的增大，这种影响逐渐变大。

(4) 分散介质黏度 μ_f 的影响。黏度越大，越难以沉降。食品中有些悬浮液难以沉降分离，主要是因为黏度过大。

(5) 两相密度差 $\rho_s - \rho_f$ 的影响。两相密度差大则沉降速度就快，反之则慢。但对一定的悬浮液沉降而言，差值是很难改变的。

(6) 流体分子运动的影响。当颗粒直径小到与流体分子的平均自由程相近时，颗粒可穿过流体分子的间隙，其沉降速度比理论值大。另外，细粒的沉降将受到流体分子碰撞的影响，当 d_p 过小时，布朗运动的影响大于重力影响。

3、为了能分离含尘气体中不同大小的尘粒，可设计由重力降尘室、旋风分离器及袋滤器组成除尘系统。含尘气体先在重力降尘室中除去较大的尘室、然后在旋风分离器中除去大部分的尘粒，最后在袋滤器中除去较小的尘粒。当然可根据尘粒的粒度分布及除尘的目的要求，省去其中某个除尘设备。

4、常见的降尘室一般为扁平状的凹室，或在室内均匀设置多层水平隔板，构成多层降尘室。当入口处含尘气流内的颗粒沿入口截面上分布均匀地进入降尘室后，因流道截面积扩大而速度减慢，只要颗粒能够在气体通过的时间内降至室底，便可从气流中分离出来。只要气体在降尘室内的停留时间少于或等于颗粒的沉降时间即可满足除尘要求。理论上降尘室的生产能力只与其沉降面积及颗粒的沉降速度 u_t 有关，而与降尘室高度 H 无关。

5、过滤基本方程为 $\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta p \Delta \rho_s}{r' V_e}$ 。该式表示过滤进程中任一瞬间的过滤速率与有关因

素间的关系式。由方程式可知 $\Delta p \Delta \rho_s$ 为过滤的推动力， $r' V_e$ 为过滤的阻力。首先过滤速度与过滤面积有关，面积越大，过滤速度越快。过滤的速度与过滤介质两端的压力差有关，因此可以通过增加两端的压力差来加强过滤。滤饼的可压缩系数越小，过滤越容易，因此可以通过加入助滤剂加强过滤。滤浆的黏度越大，过滤越慢；过滤除了与滤饼的特性有关外，还与过滤介质的性质有关。

6、板框式压滤机主要由许多滤板和滤框间隔排列而组成。板和框多做成正方形，角端开有小孔，装合压紧后即形成供滤浆或洗水流通的孔道，框的两侧覆以滤布。过滤时，悬浮液由

离心泵或齿轮泵经滤浆通道打入框内，滤液穿过滤框两侧滤布，沿相邻滤板沟槽流至滤液出口，固体则被截留于框内形成滤饼。滤饼充满滤框后停止过滤。洗涤滤饼时，洗水经由洗水通道进入滤板与滤布之间。洗涤结束后，旋开压紧装置并将板框拉开，卸出滤饼，清洗滤布，重新组装，进行下一循环操作。

7、由于洗水里不含固相，故洗涤过程中滤饼厚度不变。因而，在恒定的压强差推动下洗涤速率基本为常数。影响洗涤速率的因素可根据过滤基本方程式来分析，则： $\frac{dV}{dt} = \frac{A \Delta p_s}{r' L_e}$ 。

对于一定的悬浮液， r' 为常数。若洗涤推动力与过滤终了时的压强差相同，并假定洗水黏度与滤液黏度相近。板框压滤机采用的是横穿洗涤法，洗水横穿两层滤布及整个厚度的滤饼，流径长度约为过滤终了时滤液流动路径的两倍，而供洗水流通的面积又仅为过滤面积的一半，因此可得：

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{4} \frac{dV}{dt} = \frac{KA^2}{8(V_e - V)}$$

滤液流率的四分之一。

8、先恒速后恒压过滤阶段时，在过滤初期维持恒定速率，泵出口表压强逐渐升高。当表压强升至能使支路阀自动开启的给定数值，则开始有部分料浆返回泵的入口，进入压滤机的料浆流量逐渐减小，而压滤机入口表压强维持恒定，后阶段的操作则为恒压过滤。对于恒压阶段，

$$(V_e^2 - V_R^2) - 2V_e(V - V_R) = KA^2 \left(\frac{1}{V_e} - \frac{1}{V} \right)$$

9、滤饼和过滤介质的阻力可常用小型试验进行测定，求出过滤常数，然后进行大设备的设计计算。在某指定的压强差下对一定料浆进行恒压过滤可得到过滤常数 K 、 q_e 、 θ_e 。恒压过滤方程式变形后可得： $\frac{dV}{dq} = \frac{2}{K} q + \frac{2}{K} q_e$ ，而 $q = V/A$ ，求出一组 q 、 V 数据（9 个以上最好），

从而得到一系列相互对应的 Δ 与 Δq 之值。经回归，即可得 q_e 、 θ_e 和 K 。

第六章 传热学

一 名词解释

1. 流体中质点发生相对位移而引起的热交换
2. 由于密度差而进行的对流
3. 依靠泵 (风机) 等外力作用进行的对流
4. 以电磁波的形式进行的热量传递
5. 吸收率为 1 的物体

二 填空

1. 补偿圈、浮头、U 形管
2. 增加传热面积、增大传热温差、提高传热系数
3. 分子的运动、固体、层流流体
4. 温度差、热传导、热对流、热辐射
5. $Re = du \rho / \mu$ 流体流动形态和湍动程度

6. $Nu = \alpha \cdot d / \lambda$ 被决定准数，包括有对流传热系数 α 的准数。反映对流传热的强弱程度
7. 有无相变、流动类型、放置方向、物理参数、管道形状
8. 大于、小于
9. 5%

三 选择

1. C
2. A
3. B
4. B
5. C 、 D

四 简答

- 1、流体的种类和相变化的情况、流体的流动状态、流体的流动原因、流体的物理性质、传热面的形状、大小及位置
- 2、(1)用于乳品、果汁饮料、清凉饮料及啤酒等食品的高温短时和超高温瞬时杀菌
(2)用于流体食品物料的快速冷却
- 3、传热速率公式 $Q = k s \Delta t_m$ 可以知道，影响间壁式换热器传热速率的因素有：总传热系数 k 、传热面积 s 、平均温度差 Δt_m 。
- 4、(略)
- 5、套式换热器优点：构造简单，能耐高压，传热面积可根据需要增减；适当的选择管内、外径，可使流体的流速较大；且双方的流体作严格的逆流，都有利于传热。
套式换热器缺点：管间接头较多，易发生泄漏；单位长度具有传热面积较小。
在需要传热面积不太大且要求压强较高或传热效果较好时，宜采用套管式换热器。

五 计算

1. $t = 1650 - 3649x \quad t = -1072 + \sqrt{7.41 \cdot 10^6 - 1.49 \cdot 10^7 x}$
2. $0.94 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $\alpha_0 = 0.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad a = -0.002$
3. $\eta = 68.54\%$
4. $q = 19.38 \text{ W}/\text{m}^2$, 81°C
5. $\Delta t = 70.3^\circ\text{C}$
6. $b = 0.071 \text{ m} \quad t = -204 \ln r - 152.5$
7. 33.51 W

$$Q = \frac{2 \pi (r_1^2 - r_0^2)}{\ln \frac{r_1}{r_0}} (t_i - t_o)$$

8.

9. (略)
10. $3.0 \times 10^5 \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$
11. (略)
12. (1) $1.1 \times 10^{-2} \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$ (2) $0.57 \times 10^{-2} \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$ (3) $1.1 \times 10^{-2} \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$
13. (略)
14. 并流 0.49m^2 , 逆流 0.42m^2 , 冷却水出口温度 35°C , 消耗量 23.93Kg/h
15. (略)
16. 1.15
17. 12.16kg 24.67kg
18. $T_2 = 70^\circ\text{C}$ $t_2 = 61.875^\circ\text{C}$
19. 89.8°C , 152.8kW
20. 红砖 $T=27^\circ\text{C}$, 密度 $=0.93$
21. 换热器 1
22. 2.25m 2.1kg/s
23. 并流: 130.65m^2 , 逆流: 45.15 m^2
24. 3.477m
25. $K=730 \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$, 123.8°C
26. (略)
27. 44.8°C , 43.9°C
28. $L=3.2\text{m}$, 87.2°C

第七章 制冷与食品冷冻

一、名词解释

- 1 制冷是利用一些物质在相态改变时产生的冷效应而获得低温源的操作过程。
- 2 制冷量也称制冷能力, 是指在一定操作条件下 (即一定的制冷剂温度、冷凝温度、过冷温度等), 单位质量的制冷剂从被冷冻物获取的热量, 以 Q 表示, 单位为 W
- 3 在制冷装置中通过相态变化, 不断循环产生冷效应的物质称制冷剂, 也称制冷工质。
- 4 制冷剂循环量。指单位时间内在制冷机中循环的制冷剂的流量。循环量也分以质量表示和容积表示两种。以质量表示的循环量 G 为 $G = \frac{Q}{q} = \frac{Q}{h_1 - h_4}$ (kg/s)

- 5 制冷系数的理论值为

$$\frac{q}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

- 6 食品在冻结过程中, 因食品中水分从表面蒸发, 造成食品质量减少或品质下降, 俗称“干耗”。

二、填空

- 1 自由水、结合水
- 2 冷藏、冻藏、冻藏
- 3 先降温达过冷状态、成核条件

4 外部非稳态传热、内部非稳态传热

5 被组织吸收重新回到原来的状态、常常就分离出来，成为汁液而流失、流失液则越多

三 简答

1 制冷方式有：空气压缩式制冷、蒸气压缩式制冷、吸收式制冷、蒸汽喷射式制冷均属于机械压缩制冷，而融解与溶解式制冷、固体升华制冷和液化气体制冷则属于非机械压缩制冷。

2 若使卡诺循环逆向进行，则其压—容图和温—熵图上的方向与卡诺循环的相反，称为制冷循环，这即为制冷机的工作原理，是制冷技术的理论基础。逆卡诺循环是由四个可逆步骤组成，即两个等温过程（膨胀、压缩）和两个绝热过程（膨胀、压缩）。

3 食品冻结过程中的温度分布为：外部传热的推动力是食品表面与冷冻介质的温度差。食品表面温度总的趋势是在温度差的作用下持续降低，传热推动力也随之逐渐减小。而在实际操作中，食品表面温度是不断变化的，且温度差直至冻结结束也不会缩小到可以忽略。这是因为表面传热温差与内部传热温差在整个冻结过程中是不断变化、密切相关的，且温度差消失的过程是极为缓慢的。

内部传热的推动力是食品表层与内部的温度差。冷冻开始时，食品中各部分的温度可视为均匀一致，当食品表面降温后，食品内部与表面形成了温度梯度，内部的热量逐渐向表面移动，使内部温度不断降低。

4 水的冻结过程：水冻结成冰的一般过程是先降温达过冷状态，而后由于体系达到了热力学的成核条件，水将在冻结温度下形成冰晶体。

食品的冻结过程：各类食品都有一个初始的冻结温度，称为食品的初始冻结点，习惯上称食品的“冰点”。食品在冷冻过程中，由于食品中往往含有大量的水分，因此，当温度不断下降至冻结点后，食品中的水分将发生冻结，这一过程与水冻结成冰的过程大致相似。但由于食品可以被看成是由固体成分与水分构成的溶液体系，食品中的水分是作为溶液中的溶剂存在的，因此食品的冻结过程又有着自身的特点。根据溶液的依数特性，其初始冻结温度总是比纯水的冰点要低。食品中的水分含量和存在状态与食品的冻结点有密切的关系。一般而言，同一种食品的冻结点与其含水量呈正相关。

5、（略）

6 食品冻结的方法有：空气冻结法，由于空气的热导率低，导热性能差，加之与食品间的换热系数小，从而食品冻结所需的时间较长。但空气资源丰富，对食品和机械材料无不良影响，所用设备也较为简单，因此用空气作介质进行食品冻结仍是目前应用最为广泛的冻结方法；间接接触冻结法，对于固态物料，可将其冻结成平板状、片状、颗粒状，有的也可冻结成物料原形单体。对于液态物料，通过与冷壁紧密接触换热，冻结成半融状态；直接接触冻结法，基于直接接触冻结法的特殊性，特别是对未加包装的食品的冻结，要求冷冻工质无毒、无异味和使用安全，对食品的性质、成分、色泽等不产生影响。

7 转筒式冻结装置，这是一种较新型的接触式连续化的冻结装置。其主体为一可旋转圆筒，由不锈钢材料制成。转筒内部空间供制冷剂直接蒸发或载冷剂通过而制冷降温，其外表面则成为冷壁，与物料进行热交换，使物料冻结。转筒的转速可根据食品冻结所需时间进行调节。

冻结装置工作时，食品物料呈散开状由入口被送至转筒表面，由于转筒表面温度很低，

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/806124023151010233>