



中等职业教育教材

ZHONGDENG ZHIYE JIAOYU JIAOCAI

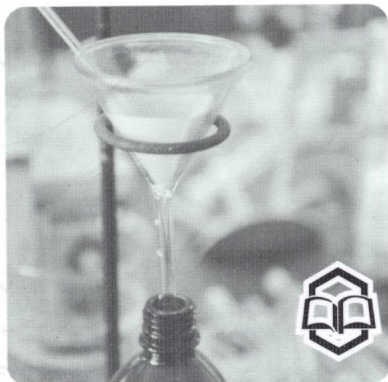
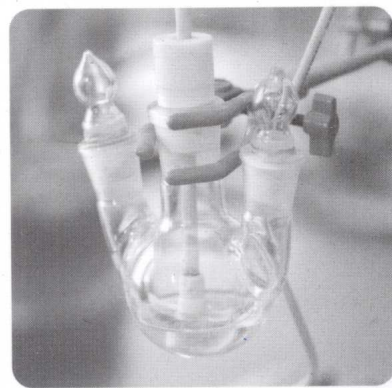
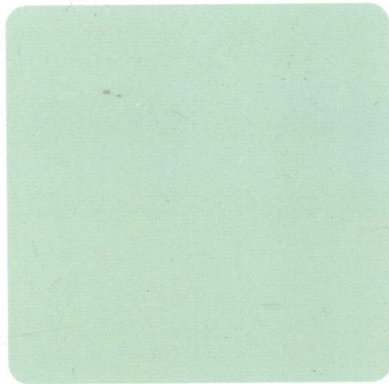
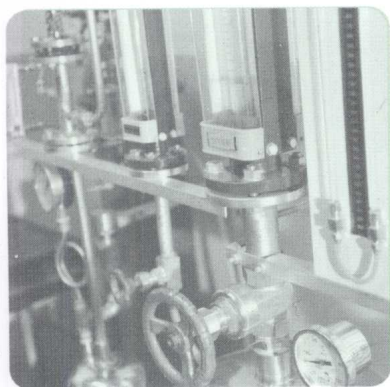
化工基础

张传梅 主编

薛彩霞 副主编

李绍岭 主审

HUAGONG JICHU



化学工业出版社

中等职业教育教材

化工基础

张传梅	主 编
薛彩霞	副主编
李绍岭	主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书结合中职学生特点,对于化工基础的知识进行了系统的介绍。具体内容包括:流体流动与输送,非均相物系的分离与设备,传热,蒸发,气体吸收,蒸馏,固体干燥,煤气化合成甲醇,日用化学品简介,化工安全知识。附录部分给出了相关物理性质及化学性质的数据。本教材采用任务引领型的教学模式,图文并茂、简单明了,强化学生实践性联系,加强实训。

本书可作为中等职业学校化工专业教材,也可作为相关专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

化工基础/张传梅主编. —北京:化学工业出版社, 2010.7

中等职业教育教材

ISBN 978-7-122-08824-6

I. 化… II. 张… III. 化学工业-专业学校-教材 IV. TQ

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 108746 号

责任编辑:旷英姿

文字编辑:颜克俭

责任校对:徐贞珍

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数356千字 2010年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00 元

版权所有 违者必究

前言

本书是针对非化工专业、中等职业层次的学生的教材。本书也可供有关科技人员参考，并可供职业培训和化工技校作为教学教材使用，还可作为高职高专非化工专业教学教材。为了顺应全国中等职业教育教学改革的需要，培养符合社会需要的应用型人才，本书有以下特点。

(1) 采用任务引领型的教学模式

倡导以学生为主体、以教师为主导的教学理念，采用项目教学的授课模式，将知识通过案例导出，以情景引入的方式展示在学生面前，进而让学生思考能用什么理论来解决这个案例，然后由教师引出理论，引导学生分析问题、解决问题。通过引出问题→分析问题→解决问题的诱导模式，将理论逐步分解成一个个知识点，再将知识点按其内在逻辑组合成相对独立的单元，将理论一层层地揭示出来，最后达到解决问题的目的。在解决问题的时候，强调师生互动，让学生参与寻找已知条件、分析未知条件，最后教师与学生共同解决未知问题。这样就像老师带领学生进入了实验室，触摸应用，认知理论，完成实践。课堂让学生查取的资料，可以锻炼学生与老师的合作能力，课后有双边交流练习，让学生广泛查找相关知识，自己寻找答案，下次上课时再分组交流，由分散练习到集中练习，充分发挥学生的主观能动性，有利于激发学生的学习兴趣 and 自信心。

(2) 图文并茂，简单明了

尽可能多用图形和照片说明问题。简化理论，使其浅显易懂，减少冗长理论的阐述，将抽象的理论形象化、具体化，加强学生的直观感。

(3) 强化学生实践性练习

课后附带多种练习，广泛收集相关知识在工业生产及人们生活中的应用，通过填空、判断、问答、思考、计算等练习，让学生解决实际问题，达到学以致用目的。

(4) 加强实训

对课程涉及的典型试验，项目教学之后，都有实验实训练习，让实训从理论中来再到理论中去，将理论和实践有机结合起来，起到巩固所学的作用。

本书由河南化工职业学院张传梅主编，并编写项目三、项目六；陕西省石油化工学校薛彩霞为副主编，并编写项目一、项目五、项目七；河南化学工业职业学院付玲编写项目二、项目十；新疆化学工业学校周金辉编写项目八、项目九；新疆化学工业学校朱江编写项目四。初稿完成后，由新疆化学工业学校李绍岭审稿。

本书在编写过程中，各编写学校的领导和老师给予了大力的支持和帮助，北京东方仿真控制技术有限公司提供了部分资料，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，不当之处在所难免，恳请各位专家和使用本书的师生及读者批评指正。

编者

2010年3月

目 录

绪 论	1
任务 1 了解化工生产过程	1
任务 2 认识本课程的性质、作用和内容	1
任务 3 学习本课程的任务和方法	2
项目一 流体流动与输送	3
任务 1 了解流体输送在化工生产中的 应用	3
任务 2 学习流体的密度	4
1. 密度的定义	4
2. 影响气体密度的因素	6
任务 3 学习流体的压力	6
1. 压力的定义	6
2. 压力的测量	6
任务 4 学习流体的黏度	7
1. 流体黏度的定义	7
2. 流体黏度的获得	7
3. 影响流体黏度的因素	7
任务 5 学习流体的流量和流速	8
1. 流量	8
2. 流速	9
任务 6 如何实现流体的输送过程	10
1. 伯努利方程	10
2. 学习流体输送问题的解决办法	11
任务 7 了解流体阻力	15
1. 流体的流动形态	15
2. 流体的阻力	16
任务 8 认识化工管路	17
1. 化工管路的构成与标准化	17
2. 管子与管件	18
3. 管路的连接	20
任务 9 认识流体输送机械	25
1. 认识离心泵	25
2. 认识其他类型泵	29
实践环节	34
思考与练习	36
项目二 非均相物系的分离与设备	38
任务 1 了解非均相物系分离在化工生产中的 应用	38
1. 应用	38
2. 非均相物系的分类和分离方法	38
任务 2 认识重力沉降及设备	39
1. 降尘室	40
2. 连续沉降槽	41
3. 提高重力沉降速度的方法	42
任务 3 认识离心沉降及设备	43
1. 旋风分离器	43
2. 其他离心沉降设备	44
3. 提高离心沉降速度的方法	46
任务 4 认识过滤操作及设备	47
1. 过滤的基础知识	47
2. 过滤设备	49
3. 提高过滤速度的方法	51
思考与练习	52
项目三 传热	53
任务 1 了解传热在化工生产中的应用	53
1. 传热过程的分类	53
2. 工业传热方式	53
任务 2 认识传热设备	55
1. 直接接触式换热器	55
2. 蓄热式换热器的类型	55
3. 间壁式换热器	55
4. 热管式换热器	55

任务3 学习换热器传热量的计算	57	2. 对流传热系数的影响因素	62
1. 潜热法	57	任务6 学习冷、热流体经过间壁换热器传	
2. 显热法	57	热速率的计算	64
3. 焓差法	57	1. 解决案例的理论引导	64
任务4 学习换热器固体壁面内导热量的		2. 解决案例的步骤	65
计算方法	58	任务7 学习间壁换热器壁温的计算	67
1. 单层平壁导热量的计算	58	任务8 学习传热过程的强化方法	71
2. 多层平壁导热量的计算	59	1. 理论引导	71
3. 圆筒壁的稳态热传导导热率的计算	60	2. 具体措施	71
任务5 学习对流传热速率的计算	62	实践环节	73
1. 对流传热速率的计算	62	思考与练习	76
项目四 蒸发	78		
任务1 了解蒸发在化工生产中的应用	78	3. 蒸发器的辅助装置	84
1. 应用	78	任务3 认识蒸发过程的影响因素	85
2. 蒸发操作的分类	78	1. 影响生产强度的因素	85
3. 蒸发操作的流程	78	2. 影响溶液沸点升高的因素	85
任务2 认识蒸发设备的结构及工作原理	80	3. 降低热能消耗的措施	86
1. 循环型蒸发器	80	思考与练习	87
2. 单程型蒸发器	82		
项目五 气体吸收	88		
任务1 了解气体吸收在化工生产中的应用	88	任务5 了解影响吸收操作的因素	92
1. 分离混合气体以获得一定的组分	88	1. 温度	92
2. 回收混合气体中有价值的组分	88	2. 压力	92
3. 除去有害组分以净化气体	88	3. 气流速度	93
4. 工业废气的治理	88	4. 喷淋密度	93
任务2 了解气体的溶解度	88	5. 吸收剂的选择	93
任务3 认识吸收操作流程	89	任务6 如何确定吸收剂的用量	93
1. 流程	89	任务7 填料层高度的确定	96
2. 吸收过程的分类	90	实践环节	99
任务4 学习吸收操作过程的有关计算	91	思考与练习	104
项目六 蒸馏	106		
任务1 了解蒸馏操作在化工生产中的		任务3 学习气液平衡关系	108
应用	106	1. 认识基本的气液平衡关系	108
1. 酒的生产	106	2. 用相对挥发度表示的平衡关系	111
2. 石油的分离	106	任务4 精馏原理和精馏流程	112
3. 天然香料的提取	106	1. 精馏原理	113
4. 海水淡化技术	106	2. 精馏流程	114
任务2 蒸馏的分类	106	任务5 认识蒸馏塔的结构和蒸馏效果	115
1. 简单蒸馏	107	1. 认识蒸馏设备	115
2. 平衡蒸馏	107	2. 板式塔气液传质状况	120

3. 填料塔与板式塔的比较.....	121	1. 最大回流比和最小回流比.....	127
任务 6 精馏塔的产品浓度和产品量的关系 ...	121	2. 通过吉利兰图求取理论塔板数.....	128
任务 7 熟知理论塔板数的计算	122	3. 实际塔板数的确定.....	129
1. 理论板的概念和恒摩尔流假定.....	122	4. 产品质量的影响条件.....	129
2. 精馏段操作线方程的建立.....	122	任务 9 精馏装置的热量衡算	130
3. 提馏段操作线方程的建立.....	123	1. 冷凝器的热负荷与冷却剂用量的	
4. 根据分离任务逐板计算法求理论塔		计算.....	130
板数.....	125	2. 再沸器热负荷与加热剂用量的计算.....	131
任务 8 认识回流比的大小对理论塔板数的		实践环节	132
影响	127	思考与练习	134
项目七 固体干燥	136		
任务 1 了解固体干燥在化工生产中的应用 ...	136	耗用量的计算	142
1. 干燥的方法及应用.....	136	任务 4 了解影响干燥速率的因素	144
2. 认识干燥流程.....	136	1. 干燥速率.....	144
3. 干燥操作的分类.....	136	2. 影响干燥速率的因素.....	145
任务 2 学习干燥进行的条件	137	任务 5 认识干燥设备	145
1. 干燥过程的原理.....	137	1. 常见的干燥器.....	145
2. 湿空气的性质.....	139	2. 干燥器的选择.....	148
3. 物料中所含水分的性质.....	140	实践环节	149
任务 3 学习干燥过程水分蒸发量和空气		思考与练习	152
项目八 煤气化合成甲醇.....	153		
任务 1 了解甲醇的性质和用途	153	2. 甲醇原料气中一氧化碳的变换工序.....	160
1. 甲醇的性质.....	153	3. 脱硫工序.....	162
2. 甲醇的用途.....	154	4. 原料气的脱碳工序.....	164
任务 2 认识煤气化合成甲醇的基本原理 ...	154	5. 甲醇的合成.....	165
任务 3 认识煤气化合成甲醇的生产路线 ...	155	6. 粗甲醇的精馏.....	170
1. 甲醇原料气的制备.....	155	思考与练习	170
项目九 日用化学品简介	171		
任务 1 了解肥皂类	171	2. 美容用化妆品.....	174
1. 洗衣皂.....	171	3. 口腔卫生用化妆品	175
2. 高级增白洗衣皂.....	172	4. 毛发用化妆品.....	175
任务 2 了解香皂类	172	任务 4 了解其他日用化学品	176
1. 护肤香皂.....	173	1. 香料.....	176
2. 保健香皂.....	173	2. 香精.....	176
3. 药物香皂.....	173	3. 专用清洁剂.....	176
任务 3 了解化妆品	173	4. 沐浴用化学品.....	177
1. 护肤用化妆品.....	174	思考与练习	177
项目十 化工安全知识	178		
任务 1 了解化工生产事故的特点	178	任务 2 了解化学危险物质及分类	179

1. 我国危险化学品的分类.....	179	1. 工业毒物及其分类.....	190
2. 国外危险化学品分类简介.....	181	2. 化学中毒现场急救.....	191
3. 危险化学品的安全标志.....	182	3. 常见危险化学品中毒与急救.....	191
任务3 学习防火防爆技术	183	4. 综合防毒措施	193
1. 燃烧的基础知识.....	183	任务5 了解劳动保护基本常识	196
2. 爆炸的基础知识.....	185	1. 化学灼伤及其防护.....	197
3. 控制点火源.....	187	2. 工业噪声的危害与防治.....	198
4. 控制可燃物和助燃物.....	188	3. 生产性粉尘的危害与防治.....	199
5. 灭火方法.....	189	思考与练习	201
任务4 学习工业防毒技术	190		
附录.....	202		
附录一 化工常用法定计量单位及单位 换算	202	附录十 气体比热容共线图（常压 下用）	214
附录二 常用固体材料的密度和比热容	205	附录十一 气体热导率共线图 （常压下用）	215
附录三 干空气的重要物理性质 （101.33kPa）	205	附录十二 液体比汽化焓（蒸发潜热） 共线图	217
附录四 水的重要物理性质	206	附录十三 常见气体水溶液的亨利系 数 E	218
附录五 饱和水蒸气表（按温度排列）	207	附录十四 双组分气液平衡数据与温度 （或压力）的关系	219
附录六 饱和水蒸气表（按压力排列）	208	附录十五 IS 型单级单吸离心泵性能表	220
附录七 液体黏度共线图	210		
附录八 气体黏度共线图（常压下用）	212		
附录九 液体比热容共线图	213		
参考文献	223		

绪 论

任务 1 了解化工生产过程

化学工业是以自然资源为原料,以工业规模对原料进行加工处理,通过物理变化和化学变化,使资源成为生产资料和生活资料的加工业。化工生产过程的最明显的特征就是化学变化。为了使化学反应过程得以经济有效地进行,必须创造及维持适宜的条件,对原料进行适当的预处理,以便创造具有一定的压力、温度、组成等适合化学反应的环境条件;反应后的产品必须经过后处理分离、提纯,获得符合质量标准的产品;对未完成反应的原料,还要进行循环利用。这些反应前的预处理和反应后的产品处理以及原料的循环处理,主要发生的是物理变化,进行的是物理操作。因此,化工生产过程是若干个物理处理过程与若干个化学反应过程的组合。

古老的化学工业有燃料、漆器、陶瓷、炼丹、酿酒、火药、造纸等。近代化学工业以发展无机化工产品为特征。18 世纪末,发展了制酸、制碱工业。19 世纪末 20 世纪初,以石油化工和有机化工为主要特征,逐步实现了化工生产装置的大型化和自动化。化学工业的突飞猛进,新技术不断涌现,高科技迅速发展,在国民经济中发挥着越来越重要的作用。

任务 2 认识本课程的性质、作用和内容

化工基础是一门基础技术课,是学习化工生产过程基本知识和共同性操作规律的综合性课程,它阐明如何运用物理和化学理论,并结合化学工程中的观点和方法来解决化工生产中的实际问题。化工生产过程中,除了化学反应以外,还牵涉物理处理过程,这些物理处理过程称为单元操作。本课程的内容分为化工单元操作、典型的化工工艺、化工安全、日用化学品的相关知识的介绍和分析应用。

化工单元操作是化工生产过程中普遍采用的,遵循共同的物理学定律,所用设备相似,具有相同作用的基本操作。本课程介绍典型的单元操作、典型的化学生产工艺以及化工安全技术和常识,它是一门理论性和实践性都很强的课程。本课程介绍的单元操作过程有流体流动与输送、非均相物系的分离、传热、蒸发、蒸馏、吸收、干燥,通过学习掌握或了解其基本原理、计算方法、典型设备及操作注意事项。

化工工艺是使原料进行物理变化或化学变化,生产出物质产品。化学工艺过程要求的不仅是单一某台设备的性能优良,更重要的是全系统的性能优良,要求做到低耗、环保、高效、安全、可持续发展。本课程对较为典型的化学工艺过程进行介绍和分析。

化工安全是介绍化工生产中的各种事故和职业性危害的原因,并采取措施,以消除各种危害的原因或改善劳动条件。化工生产处理的物质往往具有易燃、易爆、腐蚀性强和有毒害物质多等特点,且生产装置趋向大型化,一旦发生事故,波及面很大,对国民经济及所在地

区的人民安全可能带来难以估计的损失和灾害。所以，了解化工安全的意义十分重大，是化工生产管理中的重要部分。

任务3 学习本课程的任务和方法

本课程的学习任务是：获得常用化工单元操作及设备的基础知识和基本原理，初步掌握化工单元操作及典型设备的有关计算和设计方法，熟悉典型化学产品的生产工艺和流程特点，了解化工典型设备的构造和性能，初步认识化工安全的相关知识。为从事本专业技术工作和安全生产及健康生活打下良好的基础。

化学工程的特点是过程影响因素多、制约条件多。学习本课程的过程中，要建立工程概念。工程概念就是理论上的正确性，技术上的可行性，操作上的安全性，经济上的合理性。本课程是理论性和实践性都很强的学科；强调理论知识与工程实践并重的原则；熟悉工程计算方法，培养基本计算能力。

项目一 流体流动与输送

任务1 了解流体输送在化工生产中的应用



想一想 液体可以自然地高处向低处流动，如果用泵来驱动，就可以实现从低处向高处流动，也可以克服阻力向远距离输送，这些过程是如何实现的呢？

为了明白上述问题，学习流体机械能的衡算理论。

【案例1】高位槽送料：高层住宅的用水是通过顶层的水箱来实现的，我们称之为高位槽。高位槽送料是一种由高处向低处送料的情况，是利用容器、设备之间的位差，将处在高位设备内的液体输送到低位设备内的操作。输送时，只要在两个设备之间用一根管道连接即可。高位槽的高度与流体的流量有直接的关系，即对于相同的输送管路，高位槽的高度越高，所输送流体的流量越大。另外，对于要求流体稳定流动的场合，为避免输送机械带来的波动，也常常设置高位槽。图1-1是甲醇汽化流程中用液体泵将甲醇送到高位储槽。

【案例2】输送机械送料：我国南水北调、西气东输工程，就是实现把我国南方长江的水，通过机械设备做功送到北方需要的地方；把新疆塔里木油田的天然气通过管道送到千家万户等，都是通过机械设备（泵或风机）加压被输送到所需要的地方。这种通过输送机械来实现流体输送的操作称为输送机械送料。

【案例3】压缩气体送料：化工生产过程中如果需要远距离输送腐蚀性物料，一般采用压缩空气或惰性气体代替输送机械来输送物料，这种通过压缩空气实现物料输送的操作称为压缩空气送料。压缩气体送料是一种由低处向高处送料的情况。通过给上游流体施加一定的压力来完成物料的输送过程。但此操作流量小且不易调节，只能间歇输送物料。压缩空气送料时，空气的压力必须能够保证完成输送任务。图1-2是压缩空气输送硫酸的流程。

【案例4】真空抽料：通过真空系统造成的负压来实现流体输送的操作称为真空抽料。真空抽料是一种由低处向高处送料的情况。通过给下游设备抽真空造成上下游设备之间的压力差来完成流体的输送过程。真空抽料以其结构简单、操作方便、没有动件的优点适用于化工生产中的很多场合；但由于流量调节不方便，需要真空系统，所以不适用于输送挥发性的液体。图1-3是用真空泵将设备3抽真空，来实现输送碱液的过程。

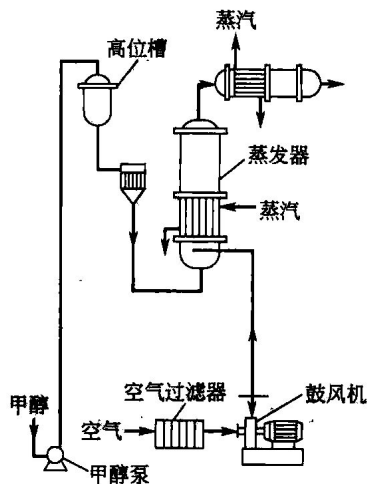


图1-1 甲醇汽化流程中用液体泵将甲醇送到高位储槽

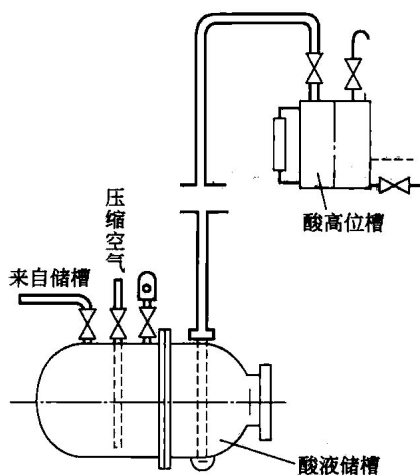


图 1-2 压缩空气输送硫酸的流程

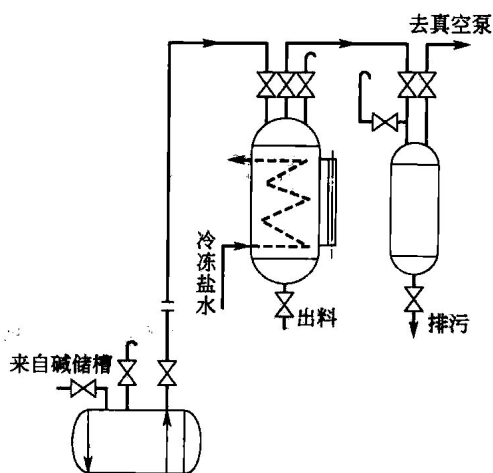


图 1-3 真空抽料输送流程



双边交流

通过上面的学习，仔细观察图 1-1~图 1-3，然后回答下列问题。

1. 图 1-1 中，甲醇是通过_____方式被送入高位槽，要使高位槽中的液体被送入蒸发器中，要求高位槽的高度必须_____蒸发器的高度。该流程中采用了_____送料和_____送料的方式。
2. 图 1-2 中，酸液储槽中的酸是通过_____的方式被送入酸高位槽的，这种送料方式称为_____送料。
3. 图 1-3 中，烧碱中间槽中的烧碱是通过_____的方式被送入烧碱高位槽的，真空汽包的作用是_____，该输送方式称为_____送料。

任务 2 学习流体的密度



想一想 同样大小的气球，氢气球比空气球轻；相同体积的棉花要比铁块轻得多。为什么相同体积的物体，质量是不同呢？

这是因为物质的密度不同。下面来了解流体的密度。

1. 密度的定义

流体的密度是指单位体积流体的质量，用符号 ρ 来表示，国际单位是 kg/m^3 。可以表示为：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 m ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

(1) 液体的密度

① 液体密度的获得 方法一：实验测取；方法二：查资料。



双边交流

1. 水池内装有 1m^3 的水，它的质量是 1000kg ，你知道它的密度吗？

2. 通过附录查取下列液体的密度: 20℃ 时, 水的密度是_____, 苯的密度是_____。

② 影响液体密度的因素 影响液体密度的因素有压力和温度。但压力的变化对液体密度的影响很小(压力极高时除外), 故液体常被称作不可压缩性流体, 工程上常忽略压力对液体密度的影响。温度变化时, 绝大多数液体的密度会有所变化, 温度升高时, 液体密度略有下降。例如, 277K 时, 纯水的密度是 1000kg/m^3 , 293K 时是 998.2kg/m^3 , 373K 时是 958.4kg/m^3 。

(2) 气体的密度

【案例 5】 氮气的体积分数为 79%、氧气的体积分数为 21% 的某混合气, 当其压力为 100kPa, 温度为 300K 时, 该混合气的密度是多少?

1. 解决案例的理论引导

气体密度的获得如下。在工程计算中, 当温度不太高、压力不太大时, 气体可以看作理想气体, 由理想气体状态方程可以得到气体密度的计算式:

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (1-2)$$

式中 ρ ——气体的密度, kg/m^3 ;

p ——气体的压力, kPa;

M ——气体的摩尔质量, kg/kmol ;

R ——通用气体常数, 取 $8.314\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$;

T ——气体的温度, K。

对于混合气体, 式(1-2) 可以写为: $\rho_m = \frac{pM_m}{RT}$ (1-3)

其中 M_m ——混合气体的平均相对分子质量, kg/kmol , 可由式(1-4) 进行计算。

$$M_m = y_1 M_1 + y_2 M_2 + \cdots + y_n M_n \quad (1-4)$$

式中 $M_1, M_2, \cdots, M_n$ ——混合气中各组分的摩尔质量, kg/kmol ;

$y_1, y_2, \cdots, y_n$ ——混合气中各组分的摩尔分数, 对理想气体来说, 各组分的摩尔分数、体积分数、压力分数都相等。

也可以用式(1-5) 计算:

$$\rho_m = \rho_1 y_1 + \rho_2 y_2 \quad (1-5)$$

2. 解决案例的步骤

方法一: 由式(1-5) 来计算混合气的密度

① 列出已知条件: 氮气的体积分数 $y_1 =$ _____, 氧气的体积分数 $y_2 =$ _____

② 氮气的密度: $\rho_1 = \frac{pM}{RT} = \frac{(\quad) \times (\quad)}{8.314 \times (\quad)} = 1.123 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

氧气的密度: $\rho_2 = \frac{pM}{RT} = \frac{(\quad) \times (\quad)}{8.314 \times (\quad)} = 1.283 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

③ 计算混合气的密度:

$$\rho_m = \rho_1 y_1 + \rho_2 y_2 = 1.123 \times 0.79 + 1.283 \times 0.21 = 1.1566 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

方法二: 由式(1-3) 来计算混合气的密度:

① 混合气的平均相对分子质量:

$$M_m = y_1 M_1 + y_2 M_2 = 0.79 \times 28 + 0.21 \times 32 = 28.84 \text{ (kg/kmol)}$$

② 计算混合气的密度：由式(1-3) 得到：

$$\rho_m = \frac{PM_m}{RT} = \frac{100 \times 28.84}{8.314 \times 300} = 1.156 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

2. 影响气体密度的因素

影响气体密度的因素有温度和压力，通过以上学习可以知道，气体密度随压力的增大而增大、随温度的增大而减小。

任务3 学习流体的压力



想一想 我们都听说锅炉内温度过高会爆炸，是因为锅炉内压力太高而材料承受不了而引起爆炸。什么是压力？

1. 压力的定义

压力是指流体垂直作用于单位面积上的力，也称压强，其定义式为：

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-6)$$

式中 p ——流体的压力，Pa；

F ——垂直作用在面积 A 上的力，N；

A ——流体的作用面积， m^2 。

在化工生产中，压力是一个非常重要的控制参数，为了测定操作条件下压力的大小，常常要在设备上安装测量仪表，传统的测量压力的仪表有两种，即压力表和真空表，所测得的压力称为表压和真空度，而并非实际压力即绝对压力，它们三者之间的关系是：

表压 = 绝对压力 - 大气压力

真空度 = 大气压力 - 绝对压力

由此可以看出，表压所反映的是设备内部实际压力比大气压力所高出的数值，而真空度所反映的是设备内部实际压力比大气压力所低的数值。在表示压力大小时，必须注明其表示方法，否则默认为绝对压力。

例如：600kPa 表示绝对压力，100kPa（表压）表示系统的表压力，100kPa（真空度）表示系统的真空度。

【案例6】 某真空精馏塔在大气压力为 100kPa 的地区工作，其塔顶的真空表读数为 90kPa，当塔在大气压力为 86kPa 的地区工作时，若维持原来的绝对压力，则真空表的读数变为多少？

解决案例的步骤如下。

① 分析：该精馏塔的绝对压力维持不变。

② 在大气压力为 100kPa 的地区工作时的绝对压力为： $p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} - p_{\text{真}} = 100 - 90 = 10 \text{ (kPa)}$ 。

③ 在大气压力为 86kPa 的地区工作时的绝对压力为： $p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} - p_{\text{真}} = 86 - p_{\text{真}} = 10 \text{ (kPa)}$
则： $p_{\text{真}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kPa}$ 。

2. 压力的测量

在化工生产中，压力通常是由仪表来测量得到的，通常所用的有压力表、真空表、压力

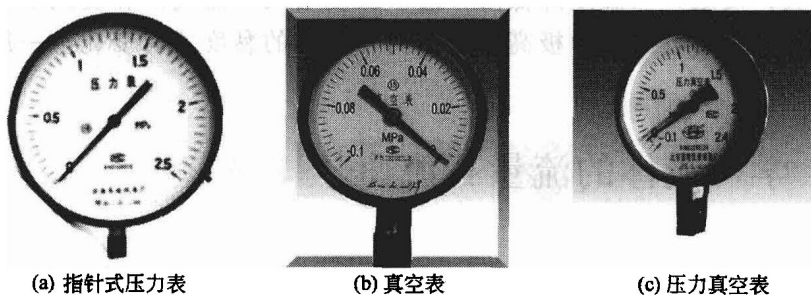


图 1-4 几种常见的测压仪表

真空表等，如图 1-4 所示。图 1-4(a) 是一种指针式压力表，除此之外，还有数字式压力表，可以将压力的大小以数字的形式直接反映出来。测量压力时，直接将仪表安装在所要测量的设备或管道上，直接读取表盘面上的读数即可。



双边交流

要想测量一个设备内部的压力，什么情况下安装压力表，什么情况下安装真空表？请将你们讨论的结果写下来。

常用到的压力的单位有很多种，它们之间的单位换算为：

$$1 \text{ atm} = 1.033 \text{ at} = 101.33 \text{ kPa} = 760 \text{ mmHg} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 98.07 \text{ kPa} = 735.6 \text{ mmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O}$$

任务 4 学习流体的黏度



想一想 把一桶水倒出来花费的时间，与倒出一桶油花费的时间相比，时间一样吗？是不是倒出油花费的时间长一些？为什么？

为了弄清这个问题，我们学习流体的黏度。

1. 流体黏度的定义

实际流体流动时流体内部分子之间都会有内摩擦力，衡量内摩擦力的特性称为流体的黏性。黏性大的流体，分子间的内摩擦力大，流动性差，流动阻力大；反之则小。衡量流体黏性大小的物理量称之为黏度，用符号 μ 来表示，黏度是流体本身的一种属性，只有实际流体才具有黏性，理想流体是没有黏性的。

2. 流体黏度的获得

流体的黏度通过图表查取或通过实验测定，其国际单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，它与其物理制单位泊 (P) 或厘泊 (cP) 之间的换算关系为：

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P} = 1000 \text{ cP}$$



双边交流

通过附录查取下列液体的黏度。

20℃ 时，水的黏度是_____；50℃ 时，水的黏度是_____。

20℃ 时，空气的黏度是_____；50℃ 时，空气的黏度是_____。

3. 影响流体黏度的因素

由以上练习可以发现：温度变化时，流体黏度变化很大，温度升高，液体黏度减小，

而气体黏度增大；反之，当温度降低时，液体黏度增大，而气体黏度减小。但压力对液体黏度的影响可以忽略，当压力极高或极低时，气体的黏度才有变化；一般情况下不予考虑。

任务5 学习流体的流量和流速

 **想一想** 生活用水管里的水，在水压高的时候流得快，水压低的时候，流得很慢，甚至呈滴状，所以水流有快有慢。那么，怎样衡量流体快慢？

下面介绍衡量流体流动快慢的两个量：流量和流速。

1. 流量

(1) 流量的定义 流量是指单位时间内所流过的流体的量，分为体积流量和质量流量。用 q_v 和 q_m 表示，单位为 m^3/h （或 m^3/s ）和 kg/h （或 kg/s ），其关系式为：

$$q_m = \rho q_v \quad (1-7)$$

(2) 流体流量的测量 在化工生产过程中，常常需要测量流体的流量。测量流体流量的仪表很多，常用的有转子流量计、孔板流量计、文丘里流量计等。下面分别加以简单介绍。

① 转子流量计 如图 1-5(a) 所示，转子流量计是由一支上粗下细的倒微锥形玻璃管及

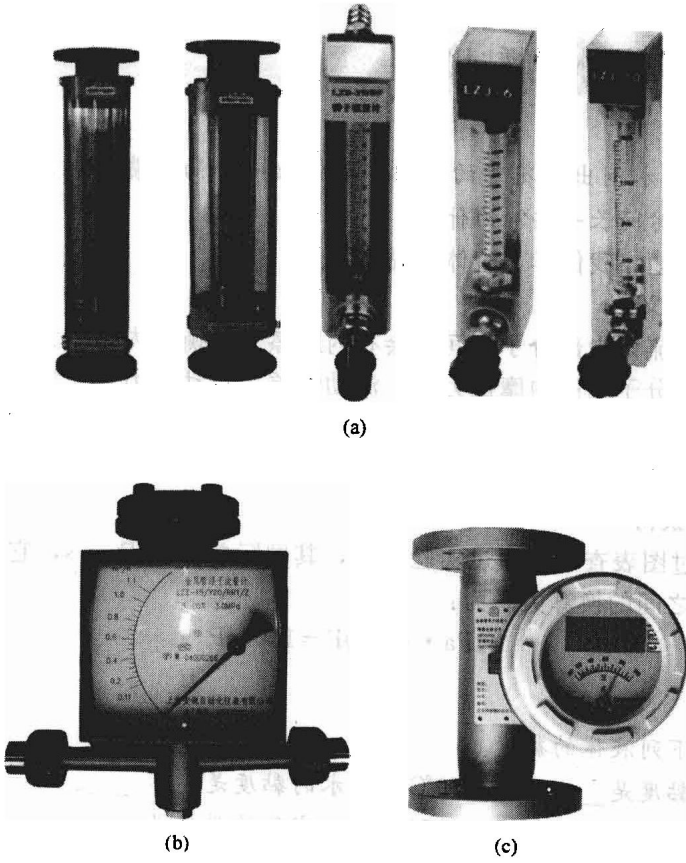


图 1-5 转子流量计

直径略小于玻璃管直径的转子（浮子）构成，转子材料的密度应大于被测流体的密度。

当流量为零时，转子处于玻璃管的底部。当一定流量的流体自下而上通过转子与玻璃管的间隙时，转子就会上升，直到静止在某一位置，此时，转子最大截面处所对应的刻度就是被测流体的流量。

需要注意的是，转子流量计上的刻度值，一般是在出厂前用 20℃ 的清水（测量液体的流量计）或 20℃、101.3kPa 的空气（测量气体的流量计）进行标定的，若实际生产中用来测量其他介质时，则应进行校核或重新标订。

转子流量计具有读数方便、阻力损失小、测量范围较宽的优点，但由于玻璃管不能承受高温高压、易碎的缺点，使得其在使用过程中受到一定的限制。

转子流量计必须垂直安装在管路上，而且流体必须下进上出，操作时应该缓慢开启阀门，以免转子突然升降击碎玻璃管。

目前工业上常见的转子流量计还有如图 1-5(b)、(c) 所示，可以从仪表盘的指针对应刻度直接读取数据。

② 孔板流量计 如图 1-6 所示，孔板流量计是在管道中装有一块中央开有圆孔的金属板，要求孔板中心线与管道中心线重合。图 1-6(a) 为测量原理图，由孔板进出口的压差来获得流体的流量；图 1-6(b) 在孔板的两侧装上 U 形管测压差；图 1-6(c) 将流量值直接显示在仪表上。

孔板流量计具有结构简单、更换方便，价格低廉的优点；其缺点是阻力损失大，不适用于流量变化较大的场合。

孔板流量计安装时，要注意孔板的中心线必须与被测管路的中心线重合，而且孔板的前后都必须有稳定段，即一段大于 50 倍管路直径的直管。

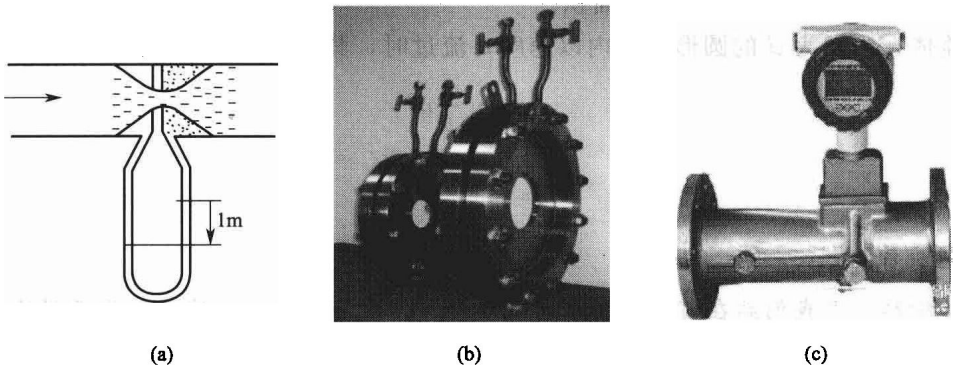


图 1-6 孔板流量计

③ 文丘里流量计 如图 1-7 所示。文丘里流量计用文丘里管代替了孔板，其他与孔板相同，但克服了孔板流量计阻力大的缺点。图 1-7(a) 是通过 U 形管压差计来反映流量，图 1-7(b) 是将流量通过转换直接显示在仪表上。

除了以上介绍的几种流量计外，生产上常见的还有如图 1-8 所示的电磁流量计等。

🌀 双边交流 目前工业上所用到的流量计有很多，通过网络进行查询，然后大家相互交流，了解流量计的不同种类、技术及各种应用情况。

2. 流速

流速的定义：流体在单位时间内流过的距离，用 u 表示。