



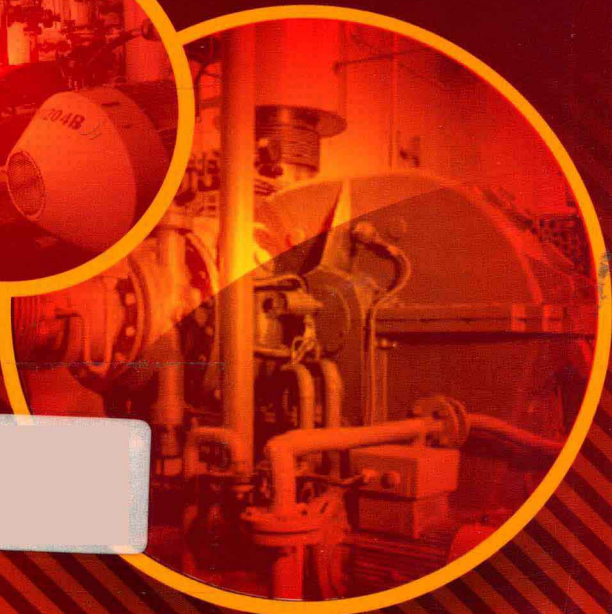
高职高专项目导向系列教材

物料输送与传热

★ 刘春玲 于月明 主编
★ 高金文 主审

WULIAO

SHUSONG YU CHUANRE



化学工业出版社

序

辽宁石化职业技术学院是于 2002 年经辽宁省政府审批，辽宁省教育厅与中国石油锦州石化公司联合创办的与石化产业紧密对接的独立高职院校，2010 年被确定为首批“国家骨干高职立项建设学校”。多年来，学院深入探索教育教学改革，不断创新人才培养模式。

2007 年，以于雷教授《高等职业教育工学结合人才培养模式理论与实践》报告为引领，学院正式启动工学结合教学改革，评选出 10 名工学结合教学改革能手，奠定了项目化教材建设的人才基础。

2008 年，制定 7 个专业工学结合人才培养方案，确立 21 门工学结合改革课程，建设 13 门特色校本教材，完成了项目化教材建设的初步探索。

2009 年，伴随辽宁省示范校建设，依托校企合作体制机制优势，多元化投资建成特色产学研实训基地，提供了项目化教材内容实施的环境保障。

2010 年，以戴士弘教授《高职课程的能力本位项目化改造》报告为切入点，广大教师进一步解放思想、更新观念，全面进行项目化课程改造，确立了项目化教材建设的指导思想。

2011 年，围绕国家骨干校建设，学院聘请李学锋教授对教师系统培训“基于工作过程系统化的高职课程开发理论”，校企专家共同构建工学结合课程体系，骨干校各重点建设专业分别形成了符合各自实际、突出各自特色的人才培养模式，并全面开展专业核心课程和带动课程的项目导向教材建设工作。

学院整体规划建设的“项目导向系列教材”包括骨干校 5 个重点建设专业（石油化工生产技术、炼油技术、化工设备维修技术、生产过程自动化技术、工业分析与检验）的专业标准与课程标准，以及 52 门课程的项目导向教材。该系列教材体现了当前高等职业教育先进的教育理念，具体体现在以下几点：

在整体设计上，摒弃了学科本位的学术理论中心设计，采用了社会本位的岗位工作任务流程中心设计，保证了教材的职业性；

在内容编排上，以对行业、企业、岗位的调研为基础，以对职业岗位群的责任、任务、工作流程分析为依据，以实际操作的工作任务为载体组织内容，增加了社会需要的新工艺、新技术、新规范、新理念，保证了教材的实用性；

在教学实施上，以学生的能力发展为本位，以实训条件和网络课程资源为手段，融教、学、做为一体，实现了基础理论、职业素质、操作能力同步，保证了教材的有效性；

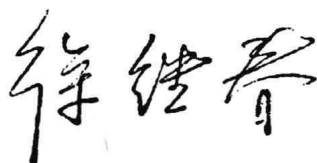
在课堂评价上，着重过程性评价，弱化终结性评价，把评价作为提升再学习效能的反馈

工具，保证了教材的科学性。

目前，该系列校本教材经过校内应用已收到了满意的教学效果，并已应用到企业员工培训工作中，受到了企业工程技术人员的高度评价，希望能够正式出版。根据他们的建议及实际使用效果，学院组织任课教师、企业专家和出版社编辑，对教材内容和形式再次进行了论证、修改和完善，予以整体立项出版，既是对我院几年来教育教学改革成果的一次总结，也希望能够对兄弟院校的教学改革和行业企业的员工培训有所助益。

感谢长期以来关心和支持我院教育教学改革的各位专家与同仁，感谢全体教职员工的辛勤工作，感谢化学工业出版社的大力支持。欢迎大家对我们的教学改革和本次出版的系列教材提出宝贵意见，以便持续改进。

辽宁石化职业技术学院 院长



2012 年春于锦州

前言

本书是为了适应“基于工作过程系统化”的课程改革思路，更好地实施以项目导向任务驱动的“教、学、做”一体化的教学模式而编写的。

本书在编写过程中，以培养高技能人才为目的，突出石化高职办学特色，理论知识以“必需”和“够用”为度，以化工生产相关岗位需求和职业标准为依据，选取教材内容。注重“用理论指导实际”的操作训练，具有较强的职业性和实践性。

本书主要介绍物料输送与传热的基本原理、典型设备的结构和操作方法。内容包括液体输送过程与操作、气体输送过程与操作、固体输送过程与操作、物料换热过程与操作、物料加热过程与操作五个学习情境。

每个情境都是一个完整的工作过程，以真实的生产工艺为载体，从认识物料输送与传热系统为切入点，完成生产实际中的输送和传热任务，相关的理论知识和操作技能在各任务的实施过程中得到学习和锻炼。本书可以作为高职高专石油化工类专业的专业基础课教材（需要配套的实训设备等）。

本书在编写过程中，锦州石化公司常减压车间徐磊、三催化车间董振坡，辽宁石化职业技术学院的刘淑娟、李英、王红、刘静云、段树彬、李玉环等，给予了大力支持，在此表示感谢。

由于编者的水平有限，难免存在不妥之处，敬请使用此书的教师和同学们批评指正。

编 者

2012 年 6 月

目 录

❖ 学习情境一	液体输送过程与操作	1
子情境一	认识液体输送过程	1
任务一	认知液体输送系统及化工管路	1
任务二	观察液体流动	5
子情境二	水的输送	12
任务一	分析水的输送装置的工艺流程	12
任务二	流体阻力的测定	19
任务三	离心泵性能的测定	23
任务四	反应釜进料	26
子情境三	加压液体的输送操作	30
子情境四	原油的输送	34
❖ 学习情境二	气体输送过程与操作	39
子情境一	认识气体输送机械	39
子情境二	裂解气的输送	43
任务一	分析裂解气输送的工艺流程	43
任务二	裂解气输送装置的开停车操作	45
❖ 学习情境三	固体输送过程与操作	50
子情境一	认识固体输送过程	50
子情境二	气力输送	54
任务一	认识气力输送过程	54
任务二	催化裂化催化剂在提升管中输送的 分析	55
任务三	催化裂化催化剂在斜管中输送的 分析	58
❖ 学习情境四	物料换热过程与操作	61
子情境一	认识物料换热过程	61
子情境二	空气-水蒸气的换热	64
任务一	分析空气-水蒸气的换热工艺 流程	64
任务二	空气-水蒸气换热装置的操作	68
子情境三	换热网络的操作	74
子情境四	常减压蒸馏装置的换热	78
❖ 学习情境五	物料加热过程与操作	82
子情境一	认识物料加热过程	82
子情境二	烃类原料的加热	86
任务一	分析烃类原料的加热工艺流程	86
任务二	烃类原料加热的开停车操作	88
子情境三	常减压蒸馏装置加热炉的操作	94
任务一	常压炉的烧焦操作	94
任务二	减压炉燃料燃烧的分析	96
❖ 附录		101
❖ 参考文献		108

 学习情境一

液体输送过程与操作

【情境导读】

液体输送是石油化工生产中最普遍的操作，无论从设备的投资费用还是操作费用来看在石油化工生产过程中都占有相当重要的地位。本学习情境以“四位一体、常减压蒸馏装置、机泵拆装中心”为载体，从“认识液体输送过程”为切入点，完成水的输送和原油的输送。液体输送过程的理论知识和操作技能在各任务实施过程中得到学习和锻炼。

【学习目标】

液体输送过程与操作教学目标见表 1-1。

表 1-1 液体输送过程与操作教学目标

能力目标	知识目标
(1)能进行泵的开车操作；	(1)掌握物料输送过程中管路的构成、布置、计算及安装原则；
(2)能进行离心泵的选用安装；	(2)掌握输送操作的基本原理；
(3)在流体输送过程中能进行流量、液位、压力的测量与控制调节；	(3)掌握物料输送设备的结构、工作原理；
(4)能够识读、绘制液体输送的流程图；	(4)掌握液体输送过程中的基本计算；
(5)能进行液体物料的输送	(5)掌握液体输送过程典型故障及处理方法

子情境一 认识液体输送过程

任务一 认知液体输送系统及化工管路

 【任务描述】

以液体输送装置——水的输送系统、常减压蒸馏装置为载体，按实际流程分析液体输送系统。能够明确液体输送系统的组成；了解工业上液体输送的方式；认识组成液体输送系统的管子、阀门、管件结构和作用。

 【任务实施】

- 步骤一：观看液体输送过程的动画，对液体输送过程形成初步认识。
- 液体输送系统由液体输送机械、化工管路、仪表及控制调节系统组成。
- 步骤二：实训基地现场参观液体输送装置——水的输送系统，对液体输送过程进行感性认识。
- 液体输送方式见表 1-2。
- 步骤三：对常减压蒸馏装置（见图 1-1）进行分析，进一步了解液体输送系统的组成。

表 1-2 液体输送方式

液体输送方式	工 艺 特 点	应 用 场 合
机械输送	借助液体输送机械对液体做功,液体获得能量。易于控制调节	最常见的液体输送方式,应用范围广
压力输送	通入压缩空气。间歇操作,不易调节,流量小	适合输送易燃、易爆和具有腐蚀性的液体
重力输送	依靠设备之间的位差。操作稳定	工艺要求流量稳定
真空输送	依靠抽真空系统生成的负压,流程复杂,调节繁琐	常用于有毒物料的输送,间歇操作

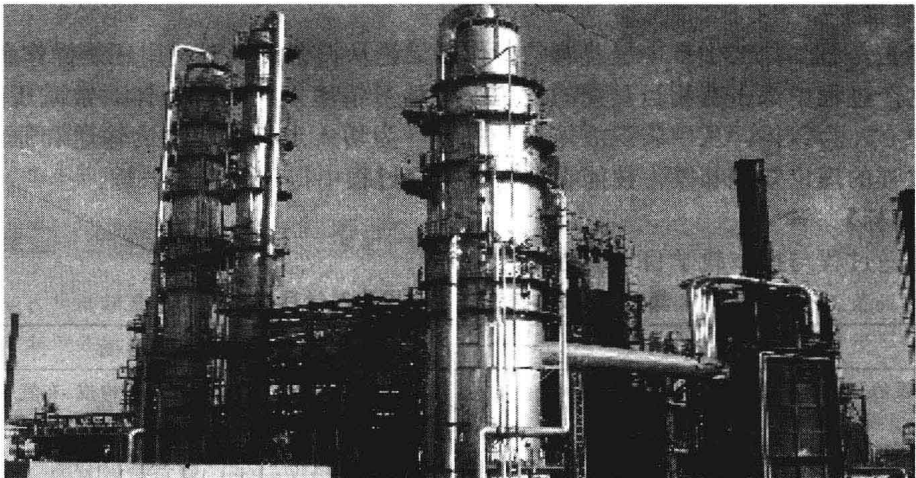


图 1-1 常减压蒸馏装置

注：步骤二、步骤三可以同时分组进行。

步骤四：现场进行管路的拆装，了解化工管路的组成。

注：在教师指导和配合下，学生按照管路拆装操作规程进行操作，要求掌握管子、阀门、管件等安装的基本技术。

步骤五：观看各种阀门的动画，了解工作原理及内部结构。

【知识链接】

一、液体输送系统的组成

液体输送系统在化工生产装置中普遍存在，如图 1-2 所示。

液体输送系统由液体输送机械、化工管路、仪表及控制调节系统组成。

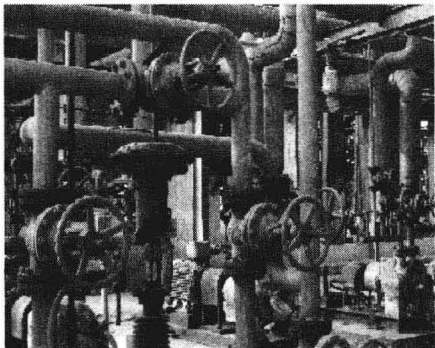


图 1-2 液体输送系统

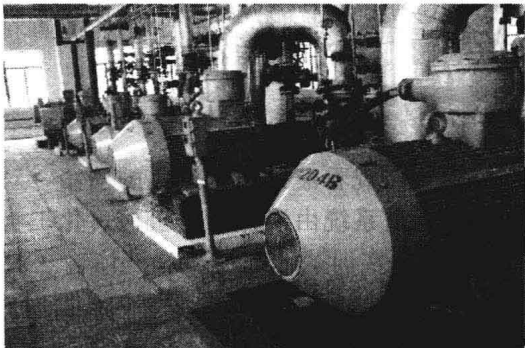


图 1-3 离心泵

1. 液体输送机械

液体输送机械是液体输送过程中的主要设备，可为液体提供机械能。按照工作原理不同分为离心式、往复式、旋转式和流体作用式。其中以离心式最为常见。图 1-3 为离心泵的外观图。

2. 化工管路

管路是将化工设备有机、科学联系在一起的纽带，也是物料转移的通道。在化工生产工艺过程中管路把各关键设备连在一起，维持着生产的正常进行。化工管路主要由管子、阀门和管件组成，另外，还有附属于管路的管架、管卡、管撑等部件。

化工管路根据铺设方式分为简单管路和复杂管路两大类。简单管路为管径相同或不同的单一管线；复杂管路指的是分支管路、汇合管路及并联管路（见图 1-4）。

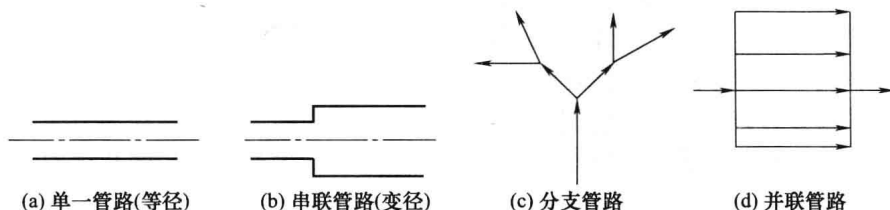


图 1-4 化工管路

(1) 管子 管材通常按制造管子所使用的材料来进行分类。可分为金属管、非金属管和复合管，其中以金属管占绝大部分。金属管主要有钢管、铸铁管和有色金属管。其中钢管分为有缝钢管和无缝钢管。非金属管主要有陶瓷管、水泥管、玻璃管、塑料管和橡胶管等。塑料管的用途越来越广，很多原来用金属管的场合逐渐被塑料管所代替。

管子的规格通常用“外径×壁厚”来表示，比如 $\phi 208\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的钢管表示管子的外径 208mm、管子壁厚是 4mm 的钢管。标准化的管子规定了管子的公称直径和公称压力，公称直径用 DN 表示，如 $DN80$ 表示该管公称直径为 80mm，它是内径的近似值。公称压力是指管材 20℃ 时持续输送水的工作压力，用 PN 表示。

(2) 管件 管件是用来连接管子以达到延长管路、改变管路方向或直径、分支、合流或封闭管路的附件的总称。最基本的管件如图 1-5 所示，其用途有如下几种。



图 1-5 化工管件

① 用以改变流向：90°弯头、45°弯头、180°回弯头等。

② 用以堵截管路：管帽、丝堵（堵头）、盲板等。

③ 用以连接支管：三通、四通，有时三通也用来改变流向，多余的一个通道接头用管帽或盲板封上，在需要时打开再连接一条分支管。

④ 用以改变管径：异径管、内外螺纹接头（补芯）等。

⑤ 用以延长管路：活接头、法兰、管箍（束节）、螺纹短节等。法兰多用于焊接连接管路，而活接头多用于螺纹连接管路。在闭合管路上必须设置活接头或法兰，尤其是在需要经常维修或更换的设备、阀门附近必须设置，因为它们可以就地拆开，就地连接。

（3）阀门 阀门是用来开启、关闭及控制化工设备和管路中介质流动的机械装置。在化工生产过程中，操作人员根据生产工艺的要求，用它来接通或切断介质的流通管路，用它来改变介质的流动方向，调节介质压力和控制介质的流量，在遇到设备超压状态时，用它排泄压力，保证设备的安全运行。根据阀门在管路中的作用不同分为截止阀、节流阀、止回阀、安全阀、疏水阀等；根据阀门的结构形式不同可分为闸阀、球阀、蝶阀、隔膜阀等；根据制造阀门的材质不同分为铸铁阀、不锈钢阀、塑料阀以及陶瓷阀等；按启动动力来源有他动启闭阀和自动启闭阀，他动又有手动、气动和电动。下面是工业生产中常用的几种阀门，见表 1-3。

表 1-3 常见阀门

图例	名称	结 构 特 点	用 途
	止回阀	止回阀是一种根据阀前、后的压力差自动启闭的阀门，其作用是使介质只作一定方向的流动，安装时应注意介质的流向与安装方向	止回阀一般适用于清洁介质，泵的出口通常安装有止回阀
	截止阀	构造比较复杂，流体阻力较大，但密闭性与调节性能较好，主要部件为阀盘与阀座，流体自下而上通过阀座	不宜用于黏度大且含有易沉淀颗粒的介质
	闸阀	主要部件为一闸板，通过闸板的升降以启闭管路。这种阀门全开时流体阻力小，全闭时较严密	多用于大直径管路上作启闭阀，不宜用于含有固体颗粒或物料易于沉积的流体
	球阀	阀芯呈球状，中间为一与管内径相近的连通孔，结构简单，启闭迅速，操作方便，体积小，重量轻，零部件少，流体阻力也小	化工生产过程中普遍应用，但不宜用于调节流量
	旋塞阀	其主要部分为一可转动的圆锥形旋塞，中间有孔，当旋塞旋转至 90°时，流动通道即全部封闭。需要较大的转动力矩	温度变化大时容易卡死，不能用于高压
	安全阀	是为了管道设备的安全保险而设置的截断装置，它能根据工作压力而自动启闭，将管道设备的压力控制在某一数值以下，从而保证其安全	主要用在高压设备上
	疏水阀	用于蒸汽管网和设备中，能自动排出凝结水、空气及其他不凝气体，阻止水蒸气泄漏	用于蒸汽管路中

3. 仪表及控制调节系统

化工生产过程中,为了完成生产任务,需要对工艺参数进行控制调节。这就需要有仪表来显示和调节各参数。物料输送过程主要控制压力、温度、流量和液位等参数。生产过程控制仪表根据所测量的参数不同分为温度测量仪表、压力测量仪表、流量测量仪表、物位测量仪表和机械量测量仪表等。

一个自动调节系统主要是由调节对象、测量元件(变送器)、调节器、执行机构组成,如图 1-6 所示。

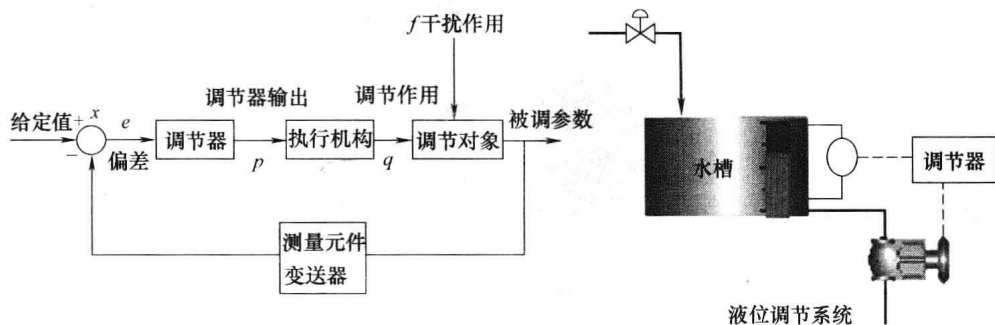


图 1-6 控制系统组成

二、管路布置安装

管路的组装有两种类型：一类是不可拆式，主要是采用焊接方法连接；另一类是可拆式，即用法兰、丝扣、活接等方法连接。

可拆式组装要点：先将管路按现场位置分成若干段组装。然后从管路一端向另一端固定接口逐次组合；也可以从管路两端接口向中间逐次组合。在组合过程中，必须经常检查管路中心线的偏差，尽量避免因偏离过大而造成最后合拢的接口处偏差太大。

管路的安装包括：管路安装、法兰和螺纹接合、阀门安装和水压试验。

(1) 管路安装 管路的安装应该保证横平竖直。水平管路其偏差不大于 15mm/10m，全长不能大于 50mm，垂直管偏差不能大于 10mm。

(2) 法兰与螺纹接合 螺纹接合时，管路端部应加工外螺纹，利用螺纹与管箍、管件和活管接头配合固定。密封通过锥管螺纹的咬合和在螺纹之间加敷的密封材料来实现。常用的密封材料是白漆加麻丝或四氟膜。

法兰安装时要做到对正、不反口、不错口、不张口。紧固法兰时要做到：未加垫片前，将法兰密封面清理干净，其表面不得有沟纹；垫片的位置要放正，应加入单层垫片；在紧螺栓时要按对称位置的顺序拧紧，两头应露出 2~4 扣；管道安装时，每对法兰的平行度、同心度应符合要求。

(3) 阀门安装 阀门安装前应将其清理干净，处于关闭状态下安装。单向阀、截止阀及调节阀安装时要注意介质流向。

(4) 水压试验 管路安装完毕后，要对管路系统进行水压试验。试验压力（表压）为 294kPa，持续 5min，若未发现渗漏现象，则水压试验合格，管路安装的严密性符合要求。

任务二 观察液体流动

【任务描述】

观察自然界及化工生产过程中液体的流动，明确液体流动的规律及在化工生产过程中的

应用。借助雷诺实验装置了解液体流动的类型。



【任务实施】

步骤一：观察液体流动，了解自然界中液体流动的现象，分析流动规律（见图 1-7，图 1-8）。

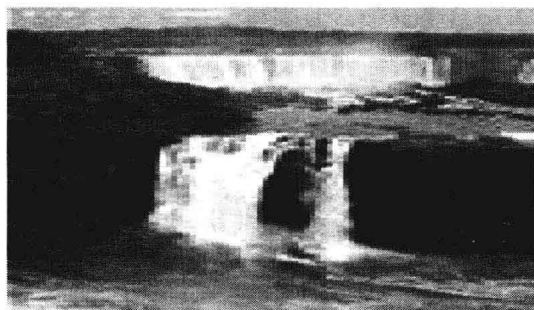


图 1-7 瀑布上方的水较下面的水有更大的功能

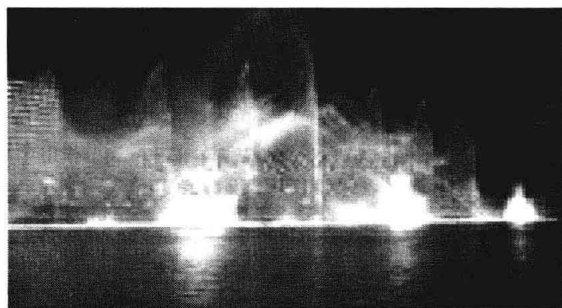


图 1-8 静压能使喷泉喷出

静止的流体遵循流体静力学方程，稳定流动的流体遵循质量守恒——连续性方程，能量守恒——伯努利方程。

步骤二：液体的压力、液位、液封的测定。

1. 利用液柱压差计测流体的压力和压差

U 形管压差计的结构如图 1-9 所示。它是一根 U 形玻璃管，内装指示液 A，密度为 ρ_A 。当用 U 形管压差计测量设备内两点的压差时，可将 U 形管两端与被测两点直接相连，利用压差计读数 R 的数值就可以计算出两点间的压强差。

$$p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho) g R \quad (1-1)$$

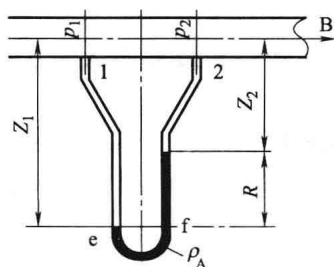


图 1-9 U 形管差压计结构图

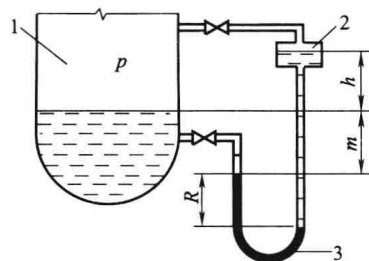


图 1-10 液位测量

如图 1-10 所示，常温下水在一水平等径管内以一定流量流过。以水银作为指示剂，测得 R 是 20mm，求两测点的压差。

已知水银、水的密度分别是 13600 kg/m^3 、 1000 kg/m^3 。

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= (\rho_A - \rho) g R = (13600 - 1000) \times 9.81 \times 0.02 \\ &= 2472 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

2. 压差法测定液位

在化工和炼油生产中，经常要了解容器内液体的贮存量，或对设备内液位进行控制，因此，常常需要测量液位。测量液位的装置较多，但大多数遵循流体静力学基本原理。如图 1-10 在容器或设备 1 的外边设一平衡小室 2，其中所装的液体与容器中相同，液面高度维持在容器中液面允许到达的最高位置。用一装有指示液的 U 形管压差计 3 把容器和平衡室连通起来，由压差计读数 R 利用静力学基本方程即可算出容器内的液面高度。

$$h = \frac{\rho_A - \rho_R}{\rho} R \quad (1-2)$$

3. 液封高度的计算

在化工和炼油生产中,为了控制设备内气体压强不超过规定的数值,常常使用安全液封(或称水封)装置,包括安全液封、切断水封、溢流水封。

步骤三:求取不同截面处的流速。

如图 1-11 所示,管路由一段 $\phi 89 \times 4 \text{ mm}$ 的管 1、一段 $\phi 108 \times 4 \text{ mm}$ 的管 2 连接而成。若水以 $9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 的体积流量流动,试求水在 1、2 段管内的速度。



图 1-11

解:管 1 的内径为

$$d_1 = 89 - 2 \times 4 = 81 \text{ (mm)}$$

则水在管 1 中的流速为

$$u_1 = \frac{V_s}{\frac{\pi}{4} d_1^2} = \frac{9 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.081^2} = 1.75 \text{ (m/s)}$$

管 2 的内径为

$$d_2 = 108 - 2 \times 4 = 100 \text{ (mm)}$$

则水在管 2 中的流速为

$$u_2 = u_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = 1.75 \times \left(\frac{81}{100} \right)^2 = 1.15 \text{ (m/s)}$$

步骤四:确定流体输送机械所需的功率。

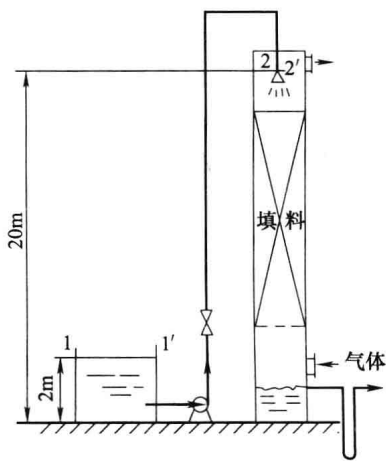


图 1-12 常压逆流吸收塔

有一用水吸收混合气中氨的常压逆流吸收塔(见图 1-12),水由水池用离心泵送至塔顶,经喷头喷出。泵入口管为 $\phi 108 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 无缝钢管,管中流量为 $40 \text{ m}^3/\text{h}$,出口管为 $\phi 89 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 无缝钢管。池内水深为 2 m ,池底至塔顶喷头入口处的垂直距离为 20 m 。管路的总阻力损失为 60 J/kg ,喷头入口处的压强为 140 kPa (表压)。设泵的效率为 65% 。试求泵所需的功率 (kW)。

解:取水池液面 1—1' 截面为上游截面,喷头入口 2—2' 截面为下游截面,并以 1—1' 截面为零势能基准面,列两截面间的伯努利方程式

$$gz_1 + \frac{1}{2} u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} + W_e = gz_2 + \frac{1}{2} u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} + \sum h_{f_{1-2}}$$

式中, $z_1 = 0$, $z_2 = 20 - 2 = 18 \text{ (m)}$, $u_1 \approx 0$

泵出口管内径: $d_2 = 89 - 2 \times 3.5 = 82 \text{ (mm)}$

泵出口管内流速(即喷头入口处的流速)

$$u_2 = \frac{V_s}{0.785 d_2^2} = \frac{40/3600}{0.785 \times (0.082)^2} = 2.1 \text{ (m/s)}$$

$p_1(\text{表}) = 0$, $p_2(\text{表}) = 140 \text{ kPa}$, $\sum h_{f_{1-2}} = 60 \text{ J/kg}$ 。

将上述已知量代入伯努利方程,压强均使用表压,得

$$\begin{aligned} W_e &= g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \sum h_{f_{1-2}} \\ &= 9.81 \times 18 + \frac{140 \times 1000}{1000} + \frac{(2.1)^2}{2} + 60 = 340.45 \text{ (J/kg)} \end{aligned}$$

泵的效率是单位时间内流体从泵获得的机械能与泵的输入功率之比, 则泵的功率为

$$N = \frac{W_e W_s}{\eta}$$

式中, $W_s = A_2 u_2 \rho = 0.785 \times (0.082)^2 \times 2.1 \times 1000 = 11.1 \text{ (kg/s)}$

$$N = \frac{W_e W_s}{\eta} = \frac{340.45 \times 11.1}{0.65 \times 1000} = 5.81 \text{ (kW)}$$

步骤五: 进行雷诺实验, 观察流体在管内流动的两种状态。

如图 1-13 所示为雷诺实验装置示意图。水箱维持水位恒定, 箱中有一水平玻璃直管, 其出口处有一阀门用以调节流量。水箱上方装有带颜色的小瓶, 有色液体经细管注入玻璃管内。从实验中观察到, 当水的流速从小到大时, 有色液体变化如图 1-14 所示。实验表明, 流体在管道中流动存在两种截然不同的流型。

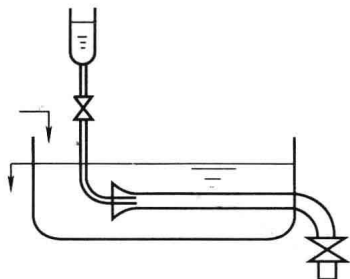


图 1-13 雷诺实验图

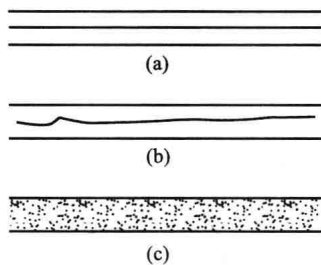


图 1-14 流体流动型态示意

(1) 层流 (或滞流) 如图 1-14 (a) 所示, 流体质点仅沿着与管轴平行的方向作直线运动, 质点无径向脉动, 质点之间互不混合。

(2) 湍流 (或紊流) 如图 1-14 (c) 所示, 流体质点除了沿管轴方向向前流动外, 还有径向脉动, 各质点的速度在大小和方向上都随时变化, 质点互相碰撞和混合。

步骤六: 小组讨论, 师生共同总结流体流动的规律在化工生产中的应用。



【知识链接】

一、流体流动的基本概念

1. 流体的压强

(1) 压强定义及其单位换算关系 流体垂直作用于单位面积上的力称为流体的静压强, 简称压强用 p 表示, 单位为 Pa。此外, 还有其他单位如 atm (标准大气压)、某流体柱高度等。其换算关系为:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} = 1.0133 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.033 \text{ kgf/cm}^2$$

工程上为了使用和换算方便, 常将 1 kgf/cm^2 近似地作为一个大气压, 称为 1 工程大气压。

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 735.6 \text{ mmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa}$$

注意: 用液柱高度表示压强时, 必须指明流体的种类如 760 mmHg、10.33 mH₂O。

(2) 表示方法

① 绝对压强 (简称绝压) 它是以绝对零压 (绝对真空) 做基准测得的压强, 称为绝对压强, 是流体的实际压强。

② 表压强 以当时当地的大气压强 (外界大气压强) 为基准测得的压强称为表压强。所用测压仪表称为压力表, 压强表上的读数是流体实际压强与当时当地大气压强的差值。即

$$\text{表压强} = \text{绝对压强} - \text{大气压强}$$

③ 真空度 当被测流体的绝对压强小于外界大气压强时,所用测压仪表称为真空表。真空表上的读数表示被测流体的绝对压强低于外界大气压强的数值,称为真空度。见图 1-15。

2. 流量与流速

(1) 流量 单位时间内流经管道任意截面的流体的量即为流量。流量分为体积流量 (q_V 表示,单位为 m^3/s) 和质量流量 (q_m 表示,单位为 kg/s 或 kg/h)。

体积流量与质量流量的关系为

$$q_m = q_V \rho \quad (1-3)$$

(2) 流速

① 流速 流速即单位时间内流体质点在流动方向上所流经的距离,单位为 m/s 。

平均流速 u , 即流体的体积流量 q_V 与管道截面积 A 之比

$$u = \frac{q_V}{A} \quad (1-4)$$

式中 u ——管道截面的平均流速, m/s (习惯上将平均流速简称为流速)。

② 质量流速 单位时间内流经管道单位截面积的流体质量,称为质量流速,以 G 表示,单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

质量流速与流速的关系为

$$G = \frac{q_m}{A} = \frac{q_V}{A} \rho = u \rho$$

流量与流速的关系为

$$q_m = q_V \rho = u A \rho$$

由于气体的体积流量随压强和温度而变化,气体的流速也随之而变,故工程采用质量流速计算较为方便。

二、流体流动遵循的规律

1. 流体静力学方程

流体在重力和压力作用下处于静止时的平衡规律称为流体静力学基本方程。

如图 1-16 所示容器内液面上方的压强为 p_0 , 液柱高度为 h , 液体的密度为 ρ , 则 B 点的压力为

$$p = p_0 + \rho g h \quad (1-5)$$

式中 p ——液体内部任意点的压力, Pa ;

p_0 ——液面上方的压力, Pa ;

ρ ——液体的密度, kg/m^3 。

式 (1-5) 称为流体静力学基本方程

对于静止的、连续的同一种流体,处于同一水平面上各点的压强处处相等。压强相等的面称为等压面。在静止流体中,水平面即为等压面。

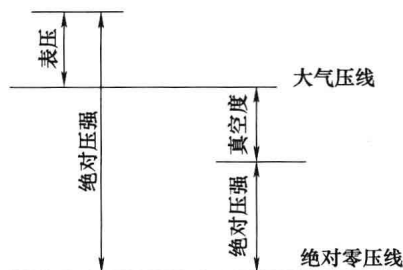


图 1-15 绝对压强、表压与真空度的关系

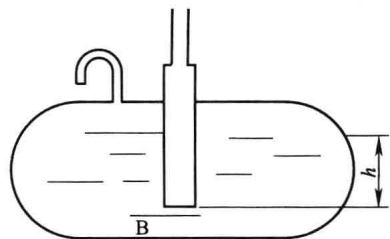


图 1-16 罐内液体示意图

2. 连续性方程

流体流动分为稳定流动和不稳定流动,若系统的参变量不但随所在空间位置而变化而且也随时间变化,则称为不稳定流动。若流体各截面上的温度、压强、流速等参量仅随所在空间位置变化,而不随时间变化,这种流动称之为稳定流动。在炼油厂、化工厂中,连续生产

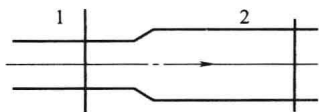


图 1-17 稳定流动系统

流体质量必然相等，即

$$q_{m1} = q_{m2} \quad (1-6)$$

或

$$\rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2 \quad (1-7)$$

$$\rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2 = \rho u A = \text{常数} \quad (1-8)$$

式(1-6)~式(1-8)均称为连续性方程，对不可压缩流体， $\rho = \text{常数}$ ，连续性方程可写为

$$q_V = u_1 A_1 = u_2 A_2 = u A = \text{常数} \quad (1-9)$$

对于圆形管道，式(1-9)可变形为

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (1-10)$$

式(1-10)说明不可压缩流体在圆形管道中，任意截面的流速与管内径的平方成反比。以上各式与管路安排及管路上的管件、输送机械等都无关。

3. 伯努利方程——稳定流体的能量守恒

(1) 流体的机械能 在如图 1-18 所示的稳定流动系统中，流体从截面 1—1' 流入，截面 2—2' 流出。选定在 1—1'、2—2' 截面间作衡算，取 0—0' 面为基准水平面，流体的机械能有以下几种形式。

① 位能 流体受重力作用在不同高度处所具有的能量称为位能。1kg 的流体所具有的位能等于 gz ，其单位为 J/kg。

② 动能 流体以一定速度流动时所具有的能量称为动能。1kg 的流体所具有的动能为 $\frac{1}{2}u^2$ ，其单位为 J/kg。

③ 静压能 在静止或流动的流体内部，任一处都有相应的静压强，流体所具有的这种能量称为静压能或流动功。质量为 m 的流体在 1—1' 截面处的体积为 V ，将此体积流体推过截面为 A 的 1—1' 截面走

过的距离 V/A ，此过程的流动功即进入该截面的压强能为静压能 = 力 × 距离 = $pA \cdot \frac{V}{A} = pV$ ，单位为 J/kg。

位能、动能、静压能三种能量均为流体在截面处所具有的机械能，三者之和称为某截面上的总机械能。

(2) 系统与外界交换的能量 在实际生产过程中流体输送机械对流体做功，1kg 流体从流体输送机械所获得的能量称为外加能量或有效功，用 W_e 表示，其单位为 J/kg。

流体在流动的过程中，要克服各种阻力而损失掉一部分能量这些损失称为能量损失。若将 1kg 流体在流动过程中因克服摩擦阻力而损失的能量用 $\sum h_f$ 表示，其单位为 J/kg。

理想流体是指没有黏性的流体。在流动过程中没有摩擦阻力，即没有能量损失。根据能

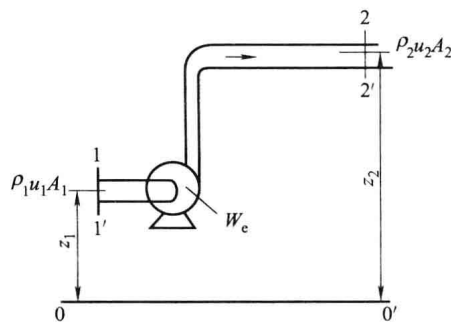


图 1-18 流体流动的总能量衡算

量守恒定律, 在管路中没有其他外力作用和外加能量条件下则有:

$$gz_1 + \frac{1}{2}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} = gz_2 + \frac{1}{2}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} \quad (1-11)$$

式中 gz ——1kg 的流体所具有的位能, J/kg;

$\frac{1}{2}u^2$ ——1kg 的流体所具有的动能, J/kg;

$\frac{p}{\rho}$ ——1kg 流体所具有的静压能, J/kg。

式 (1-11) 称为理想流体伯努利方程式。伯努利方程式的适用条件是不可压缩流体做稳定流动, 在管路中没有其他外力或外部能量输入 (出)。

在图 1-18 中, 在 1—1' 截面与 2—2' 截面之间有

$$gz_1 + \frac{1}{2}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} + W_e = gz_2 + \frac{1}{2}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} + \sum h_f \quad (1-12)$$

以单位重量流体为基准, 将式 (1-12) 各项同除以重力加速度 g , 可得

$$z_1 + \frac{1}{2g}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho g} + H_e = z_2 + \frac{1}{2g}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho g} + H_f \quad (1-13)$$

式中 gz 、 $\frac{1}{2g}u^2$ 、 $\frac{p}{\rho g}$ ——分别称为位压头、动压头和静压头, 表示单位重量 (1N) 流体所具有的能量, m;

H_f ——压头损失, 为单位重量的流体输送过程的能量损失, m;

H_e ——有效压头 (外加压头), 为单位重量的流体从流体输送机械所获得的能量, m。

式 (1-12)、式 (1-13) 为实际流体的伯努利方程式, 虽然各项的单位为 m , 与长度的单位相同, 但在这里应理解为 m 液柱, 其物理意义是指单位重量流体所具有的机械能可以把它自身从基准水平面升举的高度。

三、流体的流动型态

当流体沿固体壁面流动时截面上的各点流速并不相等, 管子中心处速度最大, 越接近管壁速度越小, 贴近管壁处速度为零。流体在管内流动型态由雷诺数来判断。

1. 雷诺数

采用不同的流体和不同的管径进行雷诺实验, 发现流速 u , 管径 d 、黏度 μ 、密度 ρ 都能引起流体流动状态的变化。经过分析研究, 雷诺将这几个因素组合为一个复合数群, 以 Re 表示, 简称雷诺数。

$$Re = \frac{d\rho u}{\mu} \quad (1-14)$$

2. 判断依据

雷诺数是一个无量纲的数群。实验表明, 流体在管内流动时, 当 $Re < 2000$ 时, 为层流流动, 此区称为层流区; 当 $Re > 4000$ 时, 一般出现湍流, 此区称为湍流区; 当 $2000 \leq Re \leq 4000$ 时, 可能是层流流动, 也可能是湍流流动, 与外界干扰有关, 该区称为不稳定的过渡区。在生产操作中, 常将 $Re > 2000$ (有的资料中为 3000) 的情况按湍流来处理。

层流时平均速度与管中心最大速度之比 $u/u_{\max}$ 等于 0.5。湍流时平均速度与管中心最大速度之比 $u/u_{\max}$ 约等于 0.82。



【考核评价】

认识液体输送过程的考核评价见表 1-4。

表 1-4 认识液体输送系统的考核评价表

考核内容	分值	考核要点	得分
认识流体输送系统	5	液体输送系统的组成	
	10	阀门的种类和作用	
	5	管件的种类及作用	
	5	管路常见故障及处理措施(拓展)	
化工管路拆装	5	准备工作	
	10	拆装操作	
	5	试压操作	
	5	安全及其他	
静力学方程的工业应用	5	静力学方程掌握	
	10	工业上的应用	
连续性方程的工业应用	5	连续性方程掌握	
	5	工业上的应用	
伯努利方程的工业应用	10	伯努利方程掌握	
	15	伯努利方程的应用	
合计	100		

子情境二 水的输送

任务一 分析水的输送装置的工艺流程



【任务描述】

对水的输送装置流程进行分析。明确本装置的输送介质，输送方式；确定关键设备泵的类型、结构及工作原理；了解装置的附属设备，确定管路中物料的走向，绘制装置的流程图。



【任务实施】

步骤一 实训基地现场查水输送装置的流程，了解此装置的主要设备组成。

1. 查流程前的准备

- ① 进入现场前穿好工作服，戴好安全帽。
- ② 把安全放在首位，要做到“一看天，二看地”，三要注意身边的“动”设备。
- ③ 要遵章守纪，团结协作。

2. 输送信息的采集

输送介质的名称、性质和输送介质的状态。
此装置输送介质为水，常温常压下为液态。
输送方式有四种：机械输送，重力输送，压力输送，真空输送。

3. 关键设备和附属设备的确定

完成表 1-5。