

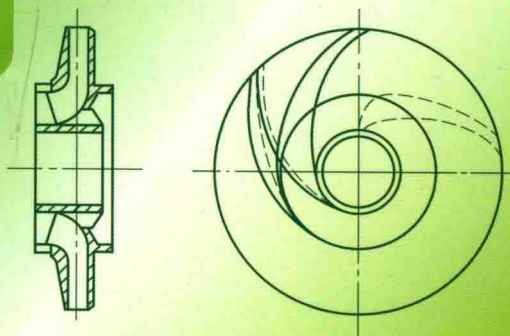
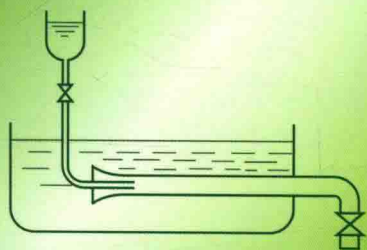


高职高专示范院校建设规划教材

流体机械结构与维护

★ 周 文 主 编
★ 周林军 孙泽胜 副主编
★ 王志斌 主 审

LIUTI JIXIE JIEGOU
YU WEIHU



化学工业出版社

高职高专示范院校建设规划教材

流体机械结构与维护

	周 文	主 编
周林军	孙泽胜	副主编
	王志斌	主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材根据高职教育特点,以能力培养为目标,以应用为目的,贴近生产实际,针对流体机械运行、维护、安装、检修、制造等岗位,主要讲述离心泵、往复泵、齿轮泵、螺杆泵、活塞式压缩机、风机、离心式压缩机等流体机械的工作原理、零部件结构特点、运转特性、维护检修等知识。突出实际操作和应用能力,减少理论阐述,注重实用性。

本教材可作为高等职业技术学院的化工装备技术及相关专业教材,也可作为企业工程技术人员和检修工人的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

流体机械结构与维护/周文主编. —北京:化学工业出版社, 2015.1
高职高专示范院校建设规划教材
ISBN 978-7-122-22580-1

I. ①流… II. ①周… III. ①流体机械-结构-高等职业教育-教材②流体机械-维修-高等职业教育-教材
IV. ①TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 298206 号

责任编辑:高 钰
责任校对:王素芹

文字编辑:陈 喆
装帧设计:刘丽华

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 350 千字 2015 年 3 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:35.00 元

版权所有 违者必究

高职高专示范院校建设规划教材

编委会

主 任 杨宗伟

副主任 王志斌

秘书长 邓启华

委 员 杨宗伟 王志斌 李和春 邓启华

张 宏 高朝祥 王 林 张 欣

秘 书 任小鸿

流体机械结构与维护是化工装备技术专业一门专业核心课程，主要培养学生对典型流体机械运行、维护、检修、安装调试、制造及选型等岗位能力，拓展学生对典型流体机械进行初步设计的职业能力。

本书在编写过程中，遵循职业教育的特点，以能力培养为目标，以应用为目的，贴近生产实际，突出实际操作和应用能力，减少理论阐述，具有较强的实用性。

本书由周文（四川化工职业技术学院）主编并编写第二章；周林军（四川化工职业技术学院）任副主编并编写第三章；朱开宪（四川化工职业技术学院）编写第一章；孙泽胜（四川美丰化工股份有限公司）编写第四章，并担任副主编；张丽（四川化工职业技术学院）编写第五章；刘兴端（四川天华股份有限公司）编写第六章。

本书由王志斌主审，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编者

第一章 流体流动的基本知识**1**

第一节 概述	1
一、流体的输送	1
二、压力、流速和流量的测量	2
三、为强化设备提供适宜的流动条件	2
第二节 流体流动基本知识	2
一、流量与流速	2
二、稳定流动和不稳定流动	3
三、流体稳定流动时的物料衡算——连续性方程	3
四、流体稳定流动时的能量衡算——伯努利方程	4
第三节 流体流动阻力	7
一、流体的流动类型	7
二、流体在管内的流动阻力	9
同步练习	16

第二章 离心泵结构与维护**19**

第一节 概述	19
一、泵的应用	19
二、化工泵的特点	19
三、化工泵的分类	21
第二节 离心泵基本理论	21
一、离心泵工作原理	21
二、离心泵基本参数	22
三、离心泵的型号编制方法	23
四、离心泵的基本方程式	24
第三节 离心泵性能曲线	28
一、离心泵性能曲线	28
二、离心泵性能曲线分析	28
三、离心泵性能曲线变化规律	30
第四节 离心泵汽蚀现象与安装高度	31

一、汽蚀现象	31
二、提高离心泵抗汽蚀的措施	32
三、汽蚀余量	32
四、离心泵安装高度	33
第五节 离心泵运行与选择	33
一、离心泵的工作点与流量调节	33
二、离心泵的组合操作	35
三、离心泵的日常运行	36
四、化工离心泵运行中的维护	38
五、离心泵的选择	39
第六节 离心泵的结构及主要零部件	41
一、离心泵的结构	41
二、离心泵的主要零部件	42
三、轴向力及平衡	44
四、轴封装置	46
第七节 离心泵的安装与检修	57
一、离心泵的安装	57
二、离心泵的检修	64
同步练习	76

第三章 其他类型泵结构与维护

78

第一节 往复泵	78
一、往复泵的工作原理	78
二、往复泵主要结构形式	79
三、往复泵的性能特点及应用	80
四、往复泵运行	81
五、往复泵安装	82
六、往复泵检修	83
第二节 齿轮泵	85
一、齿轮泵结构特点及工作原理	85
二、齿轮泵检修	87
三、齿轮泵试运转及故障处理	88
第三节 螺杆泵	90
一、螺杆泵工作原理	90
二、螺杆泵结构	91
三、螺杆泵运行与故障处理	91
四、螺杆泵检修内容及质量要求	93
第四节 其他回转泵	95
一、水环式真空泵	95

二、滑片泵	99
三、旋涡泵	102
第五节 轴流泵	104
一、轴流泵的工作原理与结构	104
二、轴流泵的分类	105
三、轴流泵的特点	106
四、流量调节	106
五、轴流泵运行与维护	107
第六节 流体动力泵	109
一、喷射泵	109
二、酸蛋	110
第七节 无泄漏泵	110
一、磁力驱动泵	110
二、屏蔽泵	115
同步练习	118

第四章 往复活塞式压缩机结构与维护

120

第一节 概述	120
一、压缩机的用途	120
二、压缩机的分类	121
三、往复式压缩机的主要特点	122
四、往复式压缩机的主要性能指标	123
第二节 活塞式压缩机的热力学基础	124
一、气体的状态和过程方程	124
二、活塞式压缩机的工作循环	125
三、排气量及影响因素	128
四、多级压缩	131
第三节 活塞式压缩机的主要部件	133
一、曲轴	133
二、连杆部件	134
三、活塞杆与十字头组件	134
四、气缸	137
五、气阀	140
六、活塞组件	142
七、刮油环及填料组件	145
第四节 活塞式压缩机维护与检修	147
一、压缩机的维护	147
二、压缩机的检修与安装	149
第五节 压缩机变工况工作及排气量调节	157

一、变工况工作	157
二、排气量调节	157
第六节 往复活塞式压缩机的类型及其选择	161
一、压缩机类型	161
二、列数及级在列中的配置	163
三、活塞压缩机结构参数及影响	163
四、活塞压缩机驱动方式选择	165
五、压缩机的系列	165
六、石油化工用压缩机的特点及选用原则	166
同步练习	166

第五章 风机结构与维护

169

第一节 离心式鼓风机	169
一、离心式鼓风机的工作原理	169
二、离心式鼓风机的结构与主要零部件	169
三、离心式鼓风机的检修	172
第二节 罗茨鼓风机	175
一、罗茨鼓风机的结构	175
二、罗茨鼓风机的工作原理	175
三、罗茨鼓风机的主要零部件	177
四、罗茨鼓风机的检修	178
第三节 凉水塔用轴流风机	180
一、典型结构	180
二、分类与型号	181
三、凉水塔用轴流风机运行与检修	182
同步练习	184

第六章 离心式压缩机结构与维护

185

第一节 概述	185
一、离心式压缩机的应用	185
二、离心式压缩机的特点	185
第二节 离心式压缩机的结构及工作原理	186
一、离心式压缩机的总体结构	186
二、离心式压缩机的工作原理	188
第三节 离心式压缩机的主要零部件	188
一、转动元件	188
二、固定元件	193
三、密封装置	195
四、滑动轴承	199

第四节 离心压缩机的调节.....	203
一、管网特性曲线.....	203
二、离心压缩机的工作点.....	203
三、最大流量工况及喘振工况.....	204
四、离心压缩机的工况调节.....	206
第五节 离心式压缩机组的开停车.....	206
一、离心式压缩机组运行前的准备与检查.....	206
二、汽轮机驱动机组的开停车.....	207
三、离心式压缩机的防反转.....	211
四、离心式压缩机在封闭回路下的操作.....	211
五、离心式压缩机的喘振与防喘振.....	212
第六节 化工离心式压缩机的检修.....	213
一、检修内容.....	214
二、主要零部件的检修及技术要求.....	215
同步练习.....	217



第一章

流体流动的基本知识

● 知识目标

了解流体输送的基本原理及应用；理解稳定流动的基本概念、流动阻力产生的原因；掌握连续性方程式、伯努利方程式和流体流动阻力的计算。

● 能力目标

能根据已知条件，计算相关参数，并选择适宜的流体输送管路。

● 观察与思考

同温度下的水和油，哪个流动更快些？观察河水的流动，为什么河中心处水的流速比河岸处水的流速大？我国西部大开发的标志性建设工程之一的“西气东输”工程，为什么能够实现，它的基本原理是什么？

第一节 概 述

在化工生产中所处理的物料大部分都是处于液态和气态状态下，这种状态下的物体通称为流体。流体是指具有流动性的物体，包括液体和气体。

流体的特征：具有流动性，无固定形状，随容器的形状而改变，在外力作用下内部发生相对运动。在化工生产中所处理的物料有很多是流体。根据生产要求，往往需要将这些流体按照生产流程从一个设备输送到另一个设备。化工厂中，管路纵横排列，与各种类型的设备连接，完成着流体输送的任务。除了流体输送外，化工生产中的传热、传质过程以及化学反应大都是在流体流动下进行的，而且流体流动状态对这些单元操作有着很大影响。化工操作过程进行的好坏、动力消耗及设备的投资都与流体的流动状态密切相关。

连续介质模型认为流体是由无数流体质点连续组成的，流体质点与分子自由程比充分地大，体现了宏观性质，同时液体质点对所考虑工程问题的尺度来说，又是充分地小，体现了“点”位置流体的性质。研究流体的流动规律可以方便进行管路的设计、输送机械的选择及所需功率的计算。

一、流体的输送

欲将流体沿管道进行输送，需选择适宜的流动速度，以确定输送管路的直径。在流体的输送过程中，常常要采用输送设备，因此需要确定流体在流动过程中应加入的外功，为选用

输送设备提供依据。这些都要应用流体流动的规律进行分析和计算。

二、压力、流速和流量的测量

为了了解和控制生产过程,需要测定管路或设备内的压力、流速及流量等参数,以便合理地选用和安装测量仪表。而这些测量仪表的工作原理又多以流体的静止或流动规律为依据。

三、为强化设备提供适宜的流动条件

化工生产中传热、传质等过程,都是在流体流动的情况下进行的,设备的操作效率与流体流动状况有密切关系。因此,研究流体流动对寻求设备的强化途径具有重要意义。

第二节 流体流动基本知识

当流体发生运动时,流体既应满足质量守恒关系,也应满足机械能守恒关系。本节讨论不同流体在不同的运动条件下这些关系的具体表达式以及实际流体的基本流动现象。化工生产中流体多在密闭管路内流动,本节以管流为主进行讨论。

一、流量与流速

1. 流量

(1) 体积流量 单位时间内流经通道某一截面的流体体积,用 q_v 表示,单位是 m^3/s 或 m^3/h 。

(2) 质量流量 单位时间内流经通道某一截面的流体质量,用 q_m 表示,单位是 kg/s 或 kg/h 。

质量流量与体积流量关系为

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

2. 流速

流速是指单位时间内流体在流动方向上流过的距离。流速有两种表示方法。

(1) 平均流速 实验证明,流体流经管道截面上各点的流速是不同的,管道中心处的流速最大,越靠近管壁流速越小,在管壁处流速为 0。流体在截面某点的流速称为点速度。流体在同一截面上各点流速的平均值,称为平均流速。生产中常说的流速是平均流速,以符号 u 表示,其单位是 m/s 。流速与流量的关系为

$$u = \frac{q_v}{A} = \frac{q_m}{\rho A} \quad (1-2)$$

或

$$q_m = uA\rho = q_v\rho \quad (1-3)$$

式中 A ——流体截面积, m^2 。

(2) 质量流速 质量流量与管道截面积之比。以符号 G 表示,其单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。表达式为

$$G = \frac{q_m}{A} = \frac{q_v\rho}{A} = u\rho \quad (1-4)$$

对内径为 d 的圆形管道,式 (1-2) 可改写为

$$u = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{4q_v}{\pi d^2}$$

于是可得

$$d = \sqrt{\frac{q_v}{0.785u}} \quad (1-5)$$

市场供应的管材均有一定的尺寸规格, 所以在使用上式求得管径 d 值后, 需根据给定的操作条件圆整到管子的实际供应规格。

由式 (1-5) 可知, 对一定的生产任务, 即 q_v 一定, 管径 d 的大小取决于所选择的流速 u , 流速越大, 所需管子的直径就越小, 即购买与安装管子的投资费用越小, 但输送流体的动力消耗和操作费用将增大, 因此流速的选择要适当。生产中常用的流体流速范围列于表 1-1 中, 可供参考选用。

表 1-1 某些流体在管路中的适宜流速范围

流体的类别及情况	流速范围/(m/s)	流体的类别及情况	流速范围/(m/s)
水及低黏度液体(0.1~1.0MPa)	1.5~3.0	一般气体(常压)	10~20
工业供水(0.8MPa 以下)	1.5~3.0	离心泵排出管(水一类液体)	2.5~3.0
锅炉供水(0.8MPa 以下)	>3.0	液体自流速(冷凝水等)	0.5
饱和蒸汽	20~40	真空操作下气体流速	<10

二、稳定流动和不稳定流动

根据流体在管路系统中流动时各种参数的变化情况, 可以将流体的流动分为稳定流动和不稳定流动。若流动系统中各物理量的大小仅随位置变化、不随时间变化, 则称为稳定流动。若流动系统中各物理量的大小不仅随位置变化、而且随时间变化, 则称为不稳定流动。

工业生产中的连续操作过程, 如生产条件控制正常, 则流体流动多属于稳定流动。连续操作的开车、停车过程及间歇操作过程属于不稳定流动。本章所讨论的流体流动为稳定流动过程。

三、流体稳定流动时的物料衡算——连续性方程

稳定流动系统如图 1-1 所示, 流体充满管道, 并连续不断地从截面 1—1 流入, 从截面 2—2 流出。以管内壁、截面 1—1 与 2—2 为衡算范围, 以单位时间为衡算基准, 依质量守恒定律可知, 进入截面 1—1 的流体质量流量与流出截面 2—2 的流体质量流量相等。

即

$$q_{m,1} = q_{m,2} \quad (1-6)$$

因为

$$q_m = uA\rho$$

故

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

式中 q_m ——流体的质量流量, 指单位时间内流经管道有效截面积的流体质量, kg/s;

u ——流体在管道任一截面的平均流速, m/s;

A ——管道的有效截面积, m²;

ρ ——流体的密度, kg/m³。

若将上式推广到管路上任何一个截面, 即

$$q_m = uA\rho = \text{常数} \quad (1-8)$$

上述方程式表示在稳定流动系统中, 流体流经管道各截面的质量流量恒为常量, 但各截

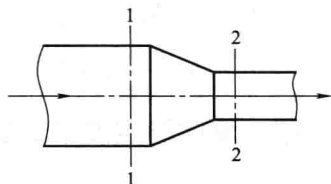


图 1-1 稳定流动系统

面的流体流速则随管道截面积和流体密度的不同而变化。

若流体为不可压缩流体, 即 $\rho = \text{常数}$, 则

$$q_v = uA = \text{常数} \quad (1-9)$$

上式说明不可压缩流体不仅流经各截面的质量流量相等, 而且它们的体积流量也相等。而且管道截面积 A 与流体流速 u 成反比, 截面积越小, 流速越大。

若不可压缩流体在圆管内流动, 因 $A = \frac{\pi}{4}d^2$, 则

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

上式说明不可压缩流体在管道内的流速 u 与管道内径的平方 d^2 成反比。

式 (1-6)~式 (1-10) 称为流体在管道中作稳定流动的连续性方程。连续性方程反映了在稳定流动系统中, 流量一定时管路各截面上流速的变化规律, 而此规律与管路的安排以及管路上是否装有管件、阀门或输送设备等无关。

【例 1-1】 如图 1-1 所示的串联变径管路中, 已知小管规格为 $\phi 57\text{mm} \times 3\text{mm}$, 大管规格为 $\phi 89\text{mm} \times 3.5\text{mm}$, 均为无缝钢管, 水在小管内的平均流速为 2.5m/s , 水的密度可取为 1000kg/m^3 。试求: ①水在大管中的流速; ②管路中水的体积流量和质量流量。

解 ① 小管直径 $d_2 = 57 - 2 \times 3 = 51\text{mm}$, $u_2 = 2.5\text{m/s}$

大管直径 $d_1 = 89 - 2 \times 3.5 = 82\text{mm}$

$$u_1 = u_2 \frac{A_2}{A_1} = u_2 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = 2.5 \times \left(\frac{51}{82}\right)^2 = 0.967\text{m/s}$$

$$\textcircled{2} q_v = u_2 A_2 = u_2 \frac{\pi}{4} d_2^2 = 2.5 \times 0.785 \times 0.051^2 = 0.0051\text{m}^3/\text{s}$$

$$q_m = q_v \rho = 0.0051 \times 1000 = 5.1\text{kg/s}$$

四、流体稳定流动时的能量衡算——伯努利方程

在化工生产中, 解决流体输送问题的基本依据是伯努利方程, 因此伯努利方程及其应用极为重要。根据对稳定流动系统能量衡算, 即可得到伯努利方程。

(一) 流动系统的能量

流动系统中涉及的能量有多种形式, 包括内能、机械能、功、热、损失能量, 若系统不涉及温度变化及热量交换, 内能为常数, 则系统中所涉及的能量只有机械能、功、损失能量。能量根据其属性分为流体自身所具有的能量及系统与外部交换的能量。

1. 流体所具有的能量——机械能

(1) 位能 位能是流体处于重力场中而具有的能量。若质量为 $m(\text{kg})$ 的流体与基准水平面的垂直距离为 $z(\text{m})$, 则位能为 $mgz(\text{J})$, 单位质量流体的位能则为 $gz(\text{J/kg})$ 。位能是相对值, 计算时须规定一个基准水平面。

(2) 动能 动能是流体具有一定速度流动时而具有的能量。 $m(\text{kg})$ 流体, 当其流速为 u 时具有的动能为 $\frac{1}{2}mu^2(\text{J})$, 单位质量流体的动能为 $\frac{1}{2}u^2(\text{J/kg})$ 。

(3) 静压能 静压能是由于流体有一定的压力而具有的能量。流体内部任一点都有一定的压力, 如果在有液体流动的管壁上开一小孔并接上一个垂直的细玻璃管, 液体就会在玻璃管内升起一定的高度, 此液柱高度即表示管内流体在该截面处的静压力值。

管路系统中,某截面处流体压力为 p , 流体要流过该截面, 则必须克服此压力做功, 于是流体带着与此功相当的能量进入系统, 流体的这种能量称为静压能。质量为 m (kg) 的流体的静压能为 pV (J), 单位质量流体的静压能为 $\frac{p}{\rho}$ (J/kg)。

2. 系统与外界交换的能量

实际生产中的流动系统, 系统与外界交换的能量主要有外加功和损失能量。

(1) 外加功 当系统中安装有流体输送机械时, 它将对系统做功, 即将外部的能量转化为流体的机械能。单位质量的流体从输送机械中所获得的能量称为外加功, 用 W_e 表示, 其单位为 J/kg。

外加功 W_e 是选择流体输送设备的重要数据, 可用来确定输送设备的有效功率 P_e , 即

$$P_e = W_e q_m \quad (1-11)$$

(2) 损失能量 由于流体具有黏性, 在流动过程中要克服各种阻力, 所以流动中有能量损失。单位质量流体流动时为克服阻力而损失的能量, 用 $\sum h_f$ 表示, 其单位为 J/kg。

(二) 伯努利方程式

如图 1-2 所示, 不可压缩流体在系统中做稳定流动, 流体从截面 1—1' 经泵输送到截面 2—2'。根据稳定流动系统的能量守恒, 输入系统的能量应等于输出系统的能量。输入系统的能量包括由截面 1—1' 进入系统时带入的自身能量, 以及由输送机械中得到的能量。输出系统的能量包括由截面 2—2' 离开系统时带出的自身能量, 以及流体在系统中流动时因克服阻力而损失的能量。若以 0—0' 面为基准水平面, 两个截面距基准水平面的垂直距离分别为 z_1 、 z_2 , 两截面处的流速分别为 u_1 、 u_2 , 两截面处的压力分别为 p_1 、 p_2 , 流体在两截面处的密度为 ρ , 单位质量流体从泵所获得的外加功为 W_e , 从截面 1—1' 流到截面 2—2' 的全部能量损失为 $\sum h_f$ 。

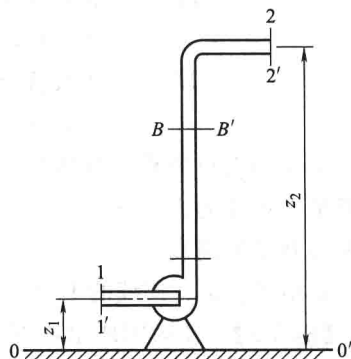


图 1-2 流体的管路输送系统

则根据能量守恒定律可得

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

式中 gz_1 、 $\frac{1}{2}u_1^2$ 、 $\frac{p_1}{\rho}$ ——流体在截面 1—1' 上的位能、动能、静压能, J/kg;

gz_2 、 $\frac{1}{2}u_2^2$ 、 $\frac{p_2}{\rho}$ ——流体在截面 2—2' 上的位能、动能、静压能, J/kg。

式 (1-12) 称为实际流体的伯努利方程, 是以单位质量流体为计算基准列出的, 式中各项单位均为 J/kg。它反映了流体流动过程中各种能量的转化和守恒规律, 在流体输送中具有重要意义。

通常将无黏性、无压缩性, 流动时无流动阻力的流体称为理想流体。当流动系统中无外加功加入时 (即 $W_e = 0$), 则

$$gz_1 + \frac{1}{2}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} = gz_2 + \frac{1}{2}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} \quad (1-13)$$

上式为理想流体的伯努利方程, 说明理想流体稳定流动时, 各截面上所具有的总机械能相等, 总机械能为一常数, 但每一种形式的机械能不一定相等, 各种形式的机械能可以相互

转换。

将单位质量流体为基准的伯努利方程中的各项除以 g ，则可得

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{W_e}{g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{\sum h_f}{g}$$

令

$$H_e = \frac{W_e}{g} \quad H_f = \frac{\sum h_f}{g}$$

则

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + H_e = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + H_f \quad (1-14)$$

式中 z 、 $\frac{u^2}{2g}$ 、 $\frac{p}{\rho g}$ ——位压头、动压头、静压头，单位重量（1N）流体所具有的机械能，m；

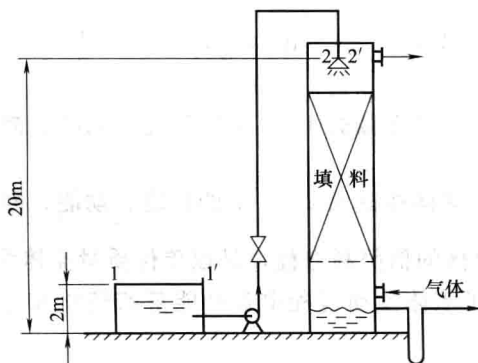
H_e ——有效压头，单位重量流体在截面 1—1' 与截面 2—2' 间所获得的外加功，m；

H_f ——压头损失，单位重量流体从截面 1—1' 流到截面 2—2' 的能量损失，m。

上式为以单位重量流体为计算基准的伯努利方程，式中各项均表示单位重量流体所具有的能量，单位为 J/N(m)。m 的物理意义是：单位重量流体所具有的机械能，把自身从基准水平面升华的高度。

适用于稳定、连续的不可压缩系统。在流动过程中两截面间流量不变，满足连续性方程。

【例 1-2】 如附图所示，有一用水吸收混合气中氨的常压逆流吸收塔，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，管中流体的流量为 $40\text{m}^3/\text{h}$ ，出口管为 $\phi 89\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 的无缝钢管。池内水深为 2m，池底至塔顶喷头入口处的垂直距离为 20m。管路的总阻力损失为 40J/kg ，喷头入口处的压力为 120kPa （表压）。试求泵所需的有效功率为多少千瓦？



〔例 1-2〕 附图

解 取水池液面为截面 1—1'，喷头入口处为截面 2—2'，并取截面 1—1' 为基准水平面。在截面 1—1' 和截面 2—2' 间列伯努利方程，即

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

其中 $z_1=0$; $z_2=20-2=18\text{m}$; $u_1\approx 0$
 $d_1=108-2\times 4=100\text{mm}$; $d_2=89-2\times 3.5=82\text{mm}$
 $\sum h_f=40\text{J/kg}$; $p_1=0$ (表压), $p_2=120\text{kPa}$ (表压)

$$u_2=\frac{q_v}{\frac{\pi}{4}d_2^2}=\frac{40/3600}{0.785\times 0.082^2}=2.11\text{m/s}$$

代入伯努利方程得

$$\begin{aligned} W_e &= g(z_2-z_1)+\frac{p_2-p_1}{\rho}+\frac{u_2^2-u_1^2}{2}+\sum h_f \\ &= 9.807\times 18+\frac{120\times 10^3}{1000}+\frac{2.11^2}{2}+40=338.75\text{J/kg} \end{aligned}$$

质量流量 $q_m=A_2u_2\rho=\frac{\pi}{4}d_2^2u_2\rho=0.785\times 0.082^2\times 2.11\times 1000=11.14\text{kg/s}$

有效功率 $P_e=W_eq_m=338.75\times 11.14=3774\text{W}\approx 3.77\text{kW}$

第三节 流体流动阻力

一、流体的流动类型

在化工生产中，流体输送、传热、传质过程等都与流体的流动状态有密切关系，因此有必要了解流体的流动型态及在圆管内的速度分布。

(一) 流动类型的划分

流体流动时，依不同的流动条件可以出现两种截然不同的流动型态，即层流和湍流，见表 1-2。图 1-3 为雷诺实验装置示意图。

表 1-2 雷诺实验和两种流动型态

流动型态	实 验 现 象	质点运动特点	速 度 分 布	举 例
层流	设储水槽中液位保持恒定,当管内水的流速较小时,着色水在管内沿轴线方向成一条清晰的细直线,如图 1-4(a)所示	流体质点沿管轴方向作直线运动,分层流动,又称滞流	层流时其速度分布曲线呈抛物线形,如图 1-5 所示。管壁处速度为零,管中心处速度最大。平均流速 $u=0.5u_{\max}$	管内流体的低速流动、高黏度液体的流动、毛细管和多孔介质中的流体流动等
过渡状态	开大调节阀,水流速度逐渐增至某一定值时,可以观察到着色细线开始呈现波浪形,但仍保持较清晰的轮廓,如图 1-4(b)所示	过渡状态不是一种独立的流动型态,介于层流与湍流之间。可以看成是不完全的湍流,或不稳定的层流,或者是两者交替出现,随外界条件而定,受流体流动干扰的控制		
湍流	再继续开大阀门,可以观察到着色细流与水流混合,当水的流速再增大到某值以后,着色水一进入玻璃管即与水完全混合,如图 1-4(c)所示	流体质点除沿轴线方向作主体流动外,还在各个方向有剧烈的随机运动,又称紊流	湍流时其速度分布曲线呈不严格抛物线形。管中心附近速度分布较均匀,如图 1-6 所示,平均流速 $u=0.82u_{\max}$	工程上遇到的管内流体的流动大多为湍流