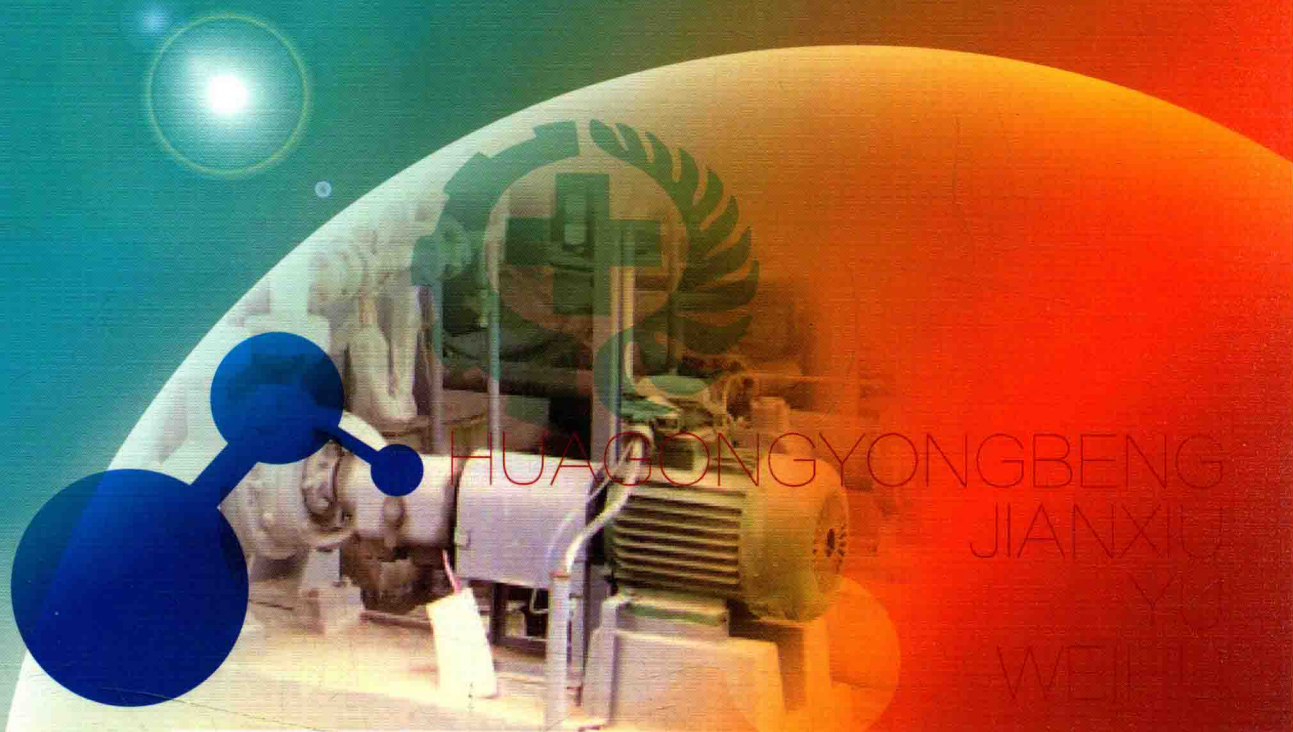




“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

(高职高专)



化工用泵检修与维护



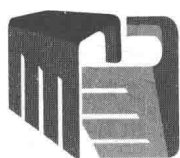
第二版

○ 傅 伟 主编

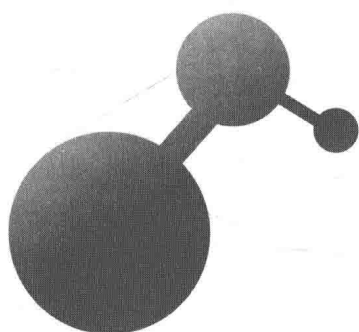
○ 袁绍明 主审



化学工业出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
(高职高专)



HUAGONGYONGBENG
JIANXIU
YU
WEIHU

化工用泵检修与维护

第二版

● 傅 伟 主编

● 袁绍明 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是为了适应高等职业教育发展和改革的需要,并根据化工设备维修技术专业的培养目标,以职业岗位工作过程为导向,以生产实际中典型化工用泵的检修任务为载体,采用学习情境形式进行编写。本书共分绪论和六个学习情境,分别讲述了单级离心式水泵的检修与维护、多级离心泵的检修与维护、耐腐蚀泵的检修与维护、柱塞泵的检修与维护、齿轮泵的检修与维护、真空泵的检修与维护等工作过程性知识。各学习情境之间既相互独立又相互联系,呈现出由易到难、由简单到复杂的逐步递进关系,有利于学生知识的学习和技能的培养。

本书既可作为高等职业技术学院化工设备维修技术和化工装备技术专业的教材,也可作为石油化工行业中等职业院校、职业技能培训和职业技能鉴定教材及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

化工用泵检修与维护/傅伟主编. —2版. —北京:化学工业出版社,2016.1

“十二五”职业教育国家规划教材 经全国职业教育教材审定委员会审定

ISBN 978-7-122-25769-7

I. ①化… II. ①傅… III. ①化工用泵-维修-职业教育-教材 IV. ①TQ051.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 285664 号

责任编辑:高 钰
责任校对:王素芹

装帧设计:史利平

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:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张15½ 字数388千字 2016年9月北京第2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:39.00 元

版权所有 违者必究

前言

本教材是根据化工设备维修技术专业的培养目标，以职业岗位工作过程为导向，以职业能力为依据，以工作结构为逻辑，以工作任务为载体，参考《国家职业资格标准》，并根据高职教育规律和学生的认知规律，采用学习情境、学习任务和工作任务等形式组织编写。本教材以培养学生的职业能力为主线，着力提高学生的专业能力、方法能力和社会能力；在保证工作过程性知识学习的基础上，着力培养学生的职业技能，提高学生的职业素养。

本教材以典型化工用泵的检修任务为载体，设置了单级离心式水泵的检修与维护、多级离心泵的检修与维护、耐腐蚀泵的检修与维护、柱塞泵的检修与维护、齿轮泵的检修与维护、真空泵的检修与维护六个学习情境。各学习情境之间既相互独立又相互联系，呈现出由易到难、由简单到复杂的逐步递进关系。

本教材力求将理论知识和实践技能相结合，使课程结构达到最大限度的优化。教材采用最新国家标准，内容新颖、文字简练、图文并茂、通俗易懂，充分体现针对性、实用性和先进性。

本书的内容已制作成用于多媒体教学的课件，并将免费提供给采用本书作为教材的院校使用。如有需要，请发电子邮件至 cipedu@163.com 获取，或登录 www.cipedu.com.cn 免费下载。

本书绪论、学习情境一、学习情境五由傅伟编写，学习情境二、学习情境四由姜玲编写，学习情境三由沈兵编写，学习情境六由杜存臣编写。本书由傅伟主编，扬州石油化工厂袁绍明高级工程师主审。参加审稿的还有颜惠庚、袁强、林英志、赵利民等，他们对本书提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，编者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

编者

2015年7月

目 录

绪论	1
一、石油化工生产中泵的作用	1
二、石油化工生产对泵的特殊要求	1
三、化工用泵的分类	2
学习情境一 单级离心式水泵的检修与维护	4
学习任务一 单级离心式水泵的操作与性能测定	4
【学习任务单】	4
【知识链接】	5
一、流体力学基本知识	5
二、离心泵的装置与操作	27
三、离心泵的性能测定	28
【知识与技能拓展】	34
一、压力测量	34
二、流量测量	35
学习任务二 单级离心式水泵的拆卸	38
【学习任务单】	38
【知识链接】	39
一、单级离心泵的基本理论与结构	39
二、单级离心式水泵的拆卸	45
【知识与技能拓展】	50
一、离心泵性能曲线的换算	50
二、离心泵的串、并联工作	55
学习任务三 单级离心泵的组装与安装	56
【学习任务单】	56
【知识链接】	57
一、单级离心泵的常见故障与处理	57
二、单级离心泵的组装	63
三、离心泵的安装与调试	67
【知识与技能拓展】	70
离心泵的选择	70
思考题	72
习题	74
学习情境二 多级离心泵的检修与维护	78
学习任务四 分段式多级离心泵的拆卸	78
【学习任务单】	78
【知识链接】	79

一、多级离心泵的工作原理与结构	79
二、多级离心泵的拆卸	83
【知识与技能拓展】	85
中开式多级离心泵	85
学习任务五 轴封装置的检修	86
【学习任务单】	86
【知识链接】	87
一、填料密封	87
二、机械密封	92
【知识与技能拓展】	106
一、机械密封的失效分析	106
二、机械密封的故障分析	107
学习任务六 多级离心泵的组装与安装	109
【学习任务单】	109
【知识链接】	110
一、多级离心泵的检修	110
二、分段式多级离心泵的组装与调整	115
三、多级离心泵的试车与验收	122
【知识与技能拓展】	123
一、高速离心泵的结构	123
二、高速离心泵的检修	124
思考题	125
习题	126
学习情境三 耐腐蚀泵的检修与维护	127
学习任务七 耐酸泵的检修与维护	127
【学习任务单】	127
【知识链接】	128
一、泵的腐蚀与防护	128
二、常用耐腐蚀泵的检修与维护	132
【知识与技能拓展】	139
一、液下泵的检修与维护	140
二、屏蔽泵的检修与维护	142
三、磁力驱动泵的检修与维护	142
学习任务八 离心式油泵的检修与维护	144
【学习任务单】	144
【知识链接】	145
一、离心式油泵的工作原理与结构特点	145
二、离心式油泵型号	145
三、离心式油泵的安装	145
四、离心式油泵的使用与维护	146
【知识与技能拓展】	147
低温泵的检修	147

思考题	148
学习情境四 柱塞泵的检修与维护	149
学习任务九 柱塞泵的检修与维护	149
【学习任务单】	149
【知识链接】	150
一、往复泵的基本原理	150
二、柱塞泵的检修	156
【知识与技能拓展】	158
一、立式柱塞泵	158
二、隔膜泵	159
思考题	161
学习情境五 齿轮泵的检修与维护	163
学习任务十 齿轮泵的检修与维护	163
【学习任务单】	163
【知识链接】	164
一、齿轮泵的基本原理	164
二、齿轮泵的检修	169
【知识与技能拓展】	170
螺杆泵	170
思考题	172
学习情境六 真空泵的检修与维护	173
学习任务十一 旋片式真空泵的检修与维护	173
【学习任务单】	173
【知识链接】	174
一、真空泵的基本知识	174
二、旋片式真空泵的结构与操作	178
三、旋片式真空泵的检修	183
【知识与技能拓展】	186
喷射泵	186
学习任务十二 液环式真空泵的检修与维护	188
【学习任务单】	188
【知识链接】	189
一、液环式真空泵的用途与特点	189
二、液环式真空泵的工作原理与操作	189
三、液环式真空泵的检修	191
【知识与技能拓展】	196
真空泵的选择注意事项	196
思考题	197
工作任务单	198
【工作任务单一】	198
【工作任务单二】	200
【工作任务单三】	202

【工作任务单四】	204
【工作任务单五】	206
【工作任务单六】	208
【工作任务单七】	210
【工作任务单八】	212
【工作任务单九】	214
【工作任务单十】	216
【工作任务单十一】	218
【工作任务单十二】	220
附录 1 离心泵维护检修规程 (HS01013—2004)	222
附录 2 电动往复泵维护检修规程 (SHS01015—2004)	227
附录 3 齿轮泵维护检修规程 (SHS01017—2004)	232
参考文献	237

绪 论

一、石油化工生产中泵的作用

泵是用来输送液体并增加液体能量的一种机器。它能够将液体从低处送往高处，从低压升为高压，或者从一个地方送往另外一个地方。

石油化工装置系统中，原料、中间产品和产品等液体物料的输送、增压或物料的回流常用泵来完成，因此要求泵必须具备长期、可靠、连续稳定的运转和效率高、成本低等特点。在石油化学工业中，由于生产类别和工艺过程不同，泵所输送的液体有很大区别。如液体腐蚀性的范围从无腐蚀性到有强烈腐蚀性，黏度的范围从低黏度到黏稠液体，温度从低温到高温，有无毒的或有剧毒的液体，有易挥发、易燃、易爆的液体，同时液体的压力、流量差异也很大，因而泵的类型也是多种多样的。

化工用泵是指在化工工艺流程中输送各种液体用的机器以及在流程以外输送各种液体用的机器，是维持石油化工生产连续性的重要设备之一。化工用泵的正常运行是保证石油化工生产的关键，如果泵发生故障就会影响生产，甚至造成半停产或全厂停产。因此，泵的运行可靠性显得尤为重要，化工用泵的检修与维护在石油化工生产过程中占有极为重要的位置。

二、石油化工生产对泵的特殊要求

1. 能适应石油化工工艺需要

泵在石油化工生产流程中，除起着输送物料的作用外，它还向系统提供必要的物料量，使化学反应达到物料平衡，并满足化学反应所需的压力。在生产规模不变的情况下，要求泵的流量及扬程要相对稳定，一旦因某种因素影响，生产波动时，泵的流量及出口压力也能随之变动，且具有较高的效率。

2. 耐腐蚀

化工用泵所输送的介质，包括原料、中间产品和产品等液体，多数具有腐蚀性。如果泵的材料选用不当，零部件就会被介质腐蚀而失效，造成泵不能正常工作。

3. 耐高温或低温

作为输送高温与低温介质的化工用泵，其所用材料必须在正常室温、现场温度和输送介质的温度下都具有足够的强度和稳定性。同样重要的是，泵的所有零件都要能承受热冲击以及由此产生的不同的热膨胀和冷脆性危险。

4. 耐磨损

化工用泵的磨损，是由输送的高速液流中含有悬浮固体颗粒造成的。化工用泵的磨损破坏，往往会加剧介质对泵的腐蚀，因为不少金属及合金的耐腐蚀能力是依靠表面的钝化膜，一旦钝化膜被磨损掉，则金属便处于活化状态，腐蚀情况就会很快恶化。

5. 运行可靠

化工用泵的运行可靠，包括两方面内容：长周期运行无故障及运行中各种参数平稳。运行可靠对石油化工生产至关重要，如果泵经常发生故障，不但会造成经常停产，影响经济效益，有时还会造成石油化工生产系统的安全事故。化工用泵转速的波动，会引起流量及泵出口压力等参数的波动，使石油化工生产不能正常运行，化学反应受到影响，物料不能平衡，

造成浪费，甚至使产品质量下降或者报废。

6. 无泄漏或少泄漏

化工用泵输送的液体介质，多数具有易燃、易爆、有毒的特性，有的介质含有放射性元素。这些介质如果从泵中漏入大气，可能造成火灾或影响环境卫生伤害人体；有些介质价格昂贵，泄漏会造成很大浪费。因此，化工用泵要求无泄漏或少泄漏。

7. 能输送临界状态的液体

临界状态的液体，当温度升高或压力降低时，往往会汽化。化工用泵在输送临界状态的液体时，一旦液体在泵内汽化，则易产生汽蚀破坏，这就要求泵具有较高的抗汽蚀性能。同时，液体的汽化，可能引起泵内运动部件与静止部件之间的干摩擦，缩短泵的使用寿命。

三、化工用泵的分类

（一）按泵的工作原理分类

1. 容积泵

容积泵是依靠泵内工作容积作周期性的变化来输送液体的机器。该类型泵又可分为往复泵和转子泵。

往复泵包括活塞泵、柱塞泵、隔膜泵等。

转子泵包括齿轮泵、螺杆泵、滑片泵、液环泵、挠性转子泵等。

2. 叶片泵

叶片泵是依靠泵内作高速旋转的叶轮把能量传递给液体，从而实现液体输送的机器。该类型的泵又可按叶轮结构不同分为离心泵、混流泵、轴流泵及旋涡泵等。

3. 其他类型泵

除叶片泵和容积泵以外的特殊泵。该类型泵主要有流体动力作用泵、电磁泵等。流体动力作用泵是依靠一种流体（液、气或汽）的静压能或动能来输送液体的泵。如喷射泵、酸蛋、水锤泵等。

（二）按化工用途分

1. 工艺（装置）用泵

包括进料泵、回流泵、循环泵、塔底泵、产品泵、输出泵、注入泵、燃料油泵、冲洗泵、补充泵、排污泵和特殊用途泵等。

2. 公用设施用泵

包括锅炉的给水泵、凝水泵、热水泵、余热泵和燃料油泵，凉水塔的冷却水泵和循环水泵，以及水源用深井泵、排污用污水泵、消防用泵、卫生用泵等。

3. 辅助用泵

包括润滑油泵、封油泵和液压传动用泵等。

4. 管路输送用泵

包括输油管线用泵和装卸车用泵等。

（三）按输送介质分

1. 水泵

包括清水泵、锅炉给水泵、凝水泵、热水泵等。

2. 耐腐蚀泵

包括不锈钢泵、高硅铸铁泵、陶瓷耐酸泵、不透性石墨泵、屏蔽泵、隔膜泵、钛泵等。

3. 杂质泵

包括液浆泵、砂泵、污水泵、煤粉泵、灰渣泵等。

4. 油泵

包括冷油泵、热油泵、油浆泵、液态烃泵等。

(四) 按使用条件分

1. 大流量泵与微流量泵

流量分别 $\geq 300\text{m}^3/\text{min}$ 与 $\leq 0.01\text{L/h}$ 。

2. 高温泵与低温泵

高温达 500°C ，低温至 -253°C 。

3. 高压泵与低压泵

高压达 200MPa ，真空度为 $2.66\sim 10.66\text{kPa}$ 。

4. 高速泵与低速泵

高速达 24000r/min ，低速为 $5\sim 10\text{r/min}$ 。

5. 高黏度泵

黏度达数万泊 ($1\text{P}=0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$)。

6. 计量泵

流量的计量精度达 $\pm 0.3\%$ 。

学习情境一

单级离心式水泵的检修与维护

学习任务一 单级离心式水泵的操作与性能测定

【学习任务单】

学习领域	化工用泵检修与维护	
学习情境一	单级离心式水泵的检修与维护	
学习任务一	单级离心式水泵的操作与性能测定	课时:12
学习目标	1. 知识目标 (1)掌握流体静力学基本方程和流体动力学基本方程; (2)掌握流体阻力的计算方法; (3)了解离心泵装置,熟悉单级离心式水泵的操作规程与操作方法; (4)掌握离心泵的基本性能参数,熟悉单级离心式水泵性能测试装置与测试方法,了解离心泵性能测试的仪表; (5)熟悉离心泵的工作,了解离心泵性能调节的方法。 2. 能力目标 (1)能够正确操作单级离心式水泵; (2)能够进行单级离心式水泵的性能测试; (3)能够进行离心泵的性能调节。 3. 素质目标 (1)培养学生吃苦耐劳的工作精神和认真负责的工作态度; (2)培养学生踏实细致、安全保护和团队合作的工作意识; (3)培养学生语言和文字的表述能力。	
一、任务描述 离心泵是石油化工生产中用于输送液体最常用的机器。假设你是一名设备管理员或检修工,在日常工作过程中,应熟悉离心泵装置,并能对其进行操作、测试和调节。在掌握流体流动的基本知识基础上,请针对 IS 型单级离心式水泵,按其操作规程正确操作离心泵,进行性能调节,并对其性能进行测试,绘制性能曲线。 二、相关资料及资源 1. 教材; 2. 离心泵的操作规程; 3. IS 型离心泵的技术资料; 4. 相关视频文件; 5. 教学课件。 三、任务实施说明 1. 学生分组,每小组 4~5 人; 2. 小组进行任务分析和资料学习; 3. 现场教学; 4. 小组讨论,认真阅读离心泵的操作规程,制订离心泵性能测试的步骤; 5. 小组合作,操作离心泵,进行性能调节,记录测量数据,绘制性能曲线。 四、任务实施注意点 1. 在阅读离心泵操作规程时,要特别注意离心泵启动与停车步骤; 2. 在进行性能测试前要熟悉各性能参数测量方法和测量仪表; 3. 在进行性能测试过程中要注意测量参数的范围,确保性能曲线的真实可靠; 4. 遇到问题时小组进行讨论,可让老师参与讨论,通过团队合作获取问题的解决; 5. 注意安全与环保意识的培养。 五、拓展任务 1. 压力测量仪表; 2. 流量测量仪表。		

【知识链接】

一、流体力学基本知识

流体的流动规律是化工产品生产工艺设计与操作的重要基础。化工生产中所处理的原料、半成品及产品大多数是流体。化工生产都是在流体流动的情形下进行的,生产工艺设计的好坏、操作费用和设备的投资都与流体流动状态有密切的关系。流体包括液体、气体和蒸汽。流体的特性之一是无固定形状,其形状随容器的形状而变化,在外力作用下,其内部会发生相对运动。流体的另一特性是易流动性,即其抗剪和抗扩张能力很小。

(一) 流体静力学

流体静力学是研究流体处于静止状况时在重力和压力等力作用下的平衡规律,这些力的大小与流体的密度等性质有关。

1. 流体的密度

(1) 密度 单位体积流体所具有的质量称为流体的密度,其表达式为:

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

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

m ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

任何一种流体的密度都是压强和温度的函数,即

$$\rho = f(p, T) \quad (1-2)$$

式中 T ——流体的温度, K 。

流体的密度一般可在物理化学手册或有关资料中查得,但使用时应注意单位的换算。

通常视液体为不可压缩流体。其密度随压强的变化很小(在极高压力下除外),可以忽略不计,但是温度对液体的密度则有一定的影响,如纯水的密度在 277K 时为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$,而在 297K 时则为 $998.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。因此,查阅和使用液体的密度,必须注意附注的温度条件。

手册中所列出的通常为纯物质的密度,而化工生产中所遇到的液体,往往是混合物,其各组分的浓度常用质量分率表示。现以 1kg 混合液体为基准,设各组分在混合前后其体积不变,则 1kg 混合液体的体积应等于各组分单独存在时的体积之和,即

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{x_{w1}}{\rho_1} + \frac{x_{w2}}{\rho_2} + \dots + \frac{x_{wn}}{\rho_n} \quad (1-3)$$

式中 ρ_m ——液体混合物的密度, kg/m^3 ;

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ ——液体混合物中各纯组分液体的密度, kg/m^3 ;

$x_{w1}, x_{w2}, \dots, x_{wn}$ ——液体混合物中各组分液体的质量分率, $x_{w1} + x_{w2} + \dots + x_{wn} = 1$ 。

【例 1-1】 已知 293K 正戊烷和正辛烷的密度分别是 $626\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $703\text{kg}/\text{m}^3$ 。试求正戊烷含量为 70% (质量分率) 的正戊烷-正辛烷混合溶液的密度。

解: 液体混合物的密度可从下式计算

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{x_{w1}}{\rho_1} + \frac{x_{w2}}{\rho_2} + \dots + \frac{x_{wn}}{\rho_n}$$

已知正戊烷质量分率 $x_{w1} = 70\%$, $x_{w1} + x_{w2} = 1$

所以正辛烷质量分率 $x_{w2} = 1 - 70\% = 30\%$

正戊烷密度 $\rho_1 = 626\text{kg}/\text{m}^3$, 正辛烷的密度 $\rho_2 = 703\text{kg}/\text{m}^3$ 得

真空度 $p_{\text{真}} = \text{大气压强 } p_{\text{大}} - \text{绝对压强 } p_{\text{绝}}$

已知真空度 $p_{\text{真}} = 0.02\text{MPa} = 20\text{kPa}$

当地大气压 $p_{\text{大}} = 101.33\text{kPa}$

所以进口绝对压强

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} - p_{\text{真}} = 101.33 - 20 = 81.33 \text{ (kPa)}$$

(2) 出口

表压强 $p_{\text{表}} = \text{绝对压强 } p_{\text{绝}} - \text{大气压强 } p_{\text{大}}$

已知表压 $p_{\text{表}} = 0.092\text{MPa} = 92\text{kPa}$

当地大气压 $p_{\text{大}} = 101.33\text{kPa}$

所以出口绝对压强

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} + p_{\text{表}} = 101.33 + 92 = 193.33 \text{ (kPa)}$$

答：进口绝对压强为 81.33kPa；出口绝对压强为 193.33kPa。

3. 流体静力学基本方程式

流体静力学是研究处于相对静止状态的流体在重力和压力作用下的平衡规律。如图 1-2 所示，取一容器内盛有密度为 ρ 的均质静止流体，在该流体中取一段垂直液体柱，液柱的截面积为 A ，若以容器底为基准水平面，液柱的上、下端与基准面的垂直距离分别为 z_1 和 z_2 ，作用于液柱上、下端面的压强分别为 p_1 和 p_2 。液柱受力分析如下：

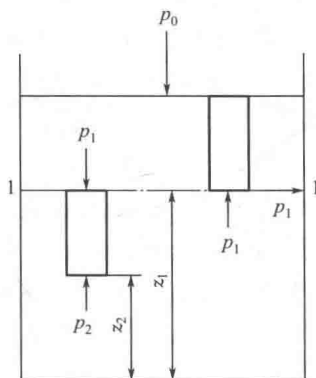


图 1-2 液柱受力分析示意图

液柱所受的重力 $\rho g A(z_1 - z_2)$ ，其方向向下。作用在液柱上端面的总压力为 $p_1 A$ ，其方向向下。作用在液柱下端面的总压力为 $p_2 A$ ，其方向向上。

由于流体处于静止状态，故在垂直方向上的重力和压力应处于平衡状态，即

$$p_2 A = p_1 A + \rho g A(z_1 - z_2)$$

整理得

$$p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2) \quad (1-6)$$

式中 ρ ——液体的密度， kg/m^3 ；

g ——重力加速度， m/s^2 ；

p_1, p_2 ——作用于液柱上、下端面的压强，Pa；

z_1, z_2 ——液柱的上、下端与基准面的垂直距离，m。

如果将液柱的上端面取在容器内的液面上，设流体表面上方的压力为 p_0 ，并用 h 表示液柱高度， $h = z_1 - z_2$ ，于是式(1-6)可改为

$$p_2 = p_0 + \rho g h \quad (1-7)$$

若将式(1-6) 中的各项均除以 ρ , 并移项, 式(1-6) 可改写成

$$p_2/\rho + gz_2 = p_1/\rho + gz_1 \quad (1-8)$$

若将式(1-7) 中的各项均除以 ρg , 并移项, 式(1-7) 可改写成

$$(p_2 - p_0)/\rho g = h \quad (1-9)$$

式(1-6)~式(1-9) 称为流体静力学基本方程式, 式(1-6)、式(1-7) 以压力形式表示, 而式(1-8) 以能量的形式表示, 而式(1-9) 则以压头的形式表示。这一方程式说明在重力作用下, 静止流体内部压强的变化规律。

对不同形式的流体静力学方程式讨论如下:

① 式(1-7) 为帕斯卡定律表示式。在今后的计算中要格外注意液面上方压强 p_0 的存在。

② 式(1-8) 表明, 在连续均一的流体内, 各点的机械能(位能+静压能)相等。

③ 由式(1-9) 可以看出, 利用一定高度的液柱可以表示压强差的大小, 这是液柱压强计的原理。但是, 在使用液柱高度来表示压强或压强差时, 必须注明是何种液体。

④ 液面上方压力 p_0 一定时, 静止流体内任一点的压力 p 与液体本身的密度 ρ 及该点距液面的深度(指垂直距离)有关, 液体的密度越大、距液面越远, 该点的压力越大。

⑤ 液面上方压力 p_0 一定时, 静压强与该点在同一高度的具体水平位置及容器形状无关。即在静止的连续均一的流体内, 在任一水平面上 $z_1 = z_2$, $p_1 = p_2$ (此即为连通器原理)。在有气泡的 U 形管、油水 U 形管中, 即使 $z_1 = z_2$, 也未必得到 $p_1 = p_2$, 这需要采用逐段传递压强的办法进行计算。

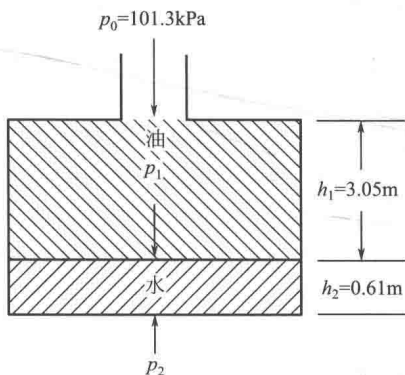


图 1-3 储槽

【例 1-3】 在一个大储槽中(如图 1-3 所示)盛有密度为 917 kg/m^3 的油, 槽高 3.66 m , 顶部敞口和 1 atm (绝压) 的大气相通。槽中充满深为 3.05 m 的油, 槽底部盛有 0.61 m 深的水。计算距槽顶 3.05 m 深处和槽底处的压强为多少, 槽底处的表压是多少。体系的温度为 273 K 。

解: 已知当地大气压 $p_0 = 1 \text{ atm} = 1.0133 \times 10^5 \text{ Pa}$, 油深 $h_1 = 3.05 \text{ m}$, 油的密度 $\rho_{\text{油}} = 917 \text{ kg/m}^3$, $g =$

9.807 m/s^2

所以距槽顶 3.05 m 深处的压强可用流体静力学方程求得

$$p_1 = p_0 + \rho_{\text{油}} gh_1 = 1.0133 \times 10^5 + 917 \times 9.807 \times 3.05 = 1.287 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

已知距槽顶 3.05 m 深处的压强 $p_1 = 1.287 \times 10^5 \text{ Pa}$, 水深 $h_2 = 0.61 \text{ m}$, 水的密度 $\rho_{\text{水}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

所以槽底处的压强可用流体静力学方程求得

$$p_2 = p_1 + \rho_{\text{水}} gh_2 = 1.287 \times 10^5 + 1000 \times 9.807 \times 0.61 = 1.347 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

槽底处的表压为

$$p_{\text{表}} = p_{\text{绝}} - p_{\text{大}} = 1.347 \times 10^5 - 1.0133 \times 10^5 = 0.334 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

答: 距槽顶 3.05 m 深处的压强为 $1.287 \times 10^5 \text{ Pa}$, 槽底处的压强为 $1.347 \times 10^5 \text{ Pa}$, 槽底处的表压是 $0.334 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

4. 流体静力学基本方程式的应用

应用静力学原理可测量流体的压力及容器中的液位等。

(1) 压力测量 以静力学原理为依据的测量仪器统称为液柱压力计（又称液柱压差计）。这类压力计可测量流体中某点的压力，亦可测两点间的压力差。这类仪器结构简单，使用方便，是应用较广泛的测压装置。常见的液柱压力计有以下几种。

① U形压差计。U形压差计是液柱式压力计中最普遍的一种，其结构如图 1-4 所示。它是一个两端开口的垂直 U 形玻璃管，中间配有读数标尺，管内装有液体作为指示液。指示液要与被测流体不互溶，不起化学作用，而且其密度要大于被测流体的密度。通常采用的指示液有：着色水、油、四氯化碳及水银等。

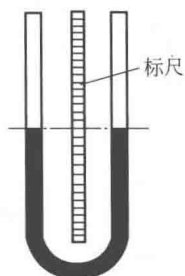


图 1-4 U 形压差计

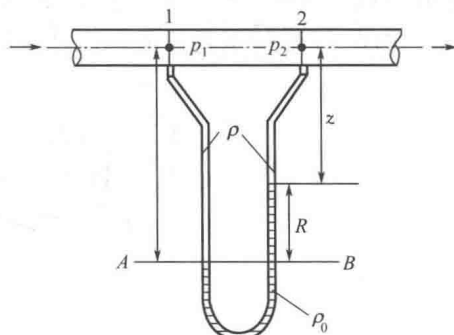


图 1-5 测量压力差

在图 1-4 中，U 形管内指示液上面和大气相通，即作用在两支管内指示液液面的压力是相等的，此时由于 U 形管下面是连通的，所以，两支管内指示液液面在同一水平面上。如果将两支管分别与管路中两个测压口相连接，则由于两截面的压力 p_2 和 p_1 不相等，且 $p_1 > p_2$ ，必使左支管内指示液液面下降，而右支管内的指示液液面上升，直至液面相差 R 时才停止，如图 1-5 所示。由标尺读数 R 便可求得管路两截面间的压力差。

若在图 1-5 中所示的 U 形管底部装有指示液，其密度为 ρ_0 而在 U 形管两侧的上部及连接管内均充满待测流体，其密度为 ρ 。图中 A、B 两点都在连通着的同一种静止流体内，并且在同一水平面上，所以这两点的静压力相等，即 $p_A = p_B$ 。依流体静力学基本方程式可得

$$p_1 - p_2 = (\rho_0 - \rho)gR \quad (1-10)$$

式中 ρ_0 ——指示液的密度， kg/m^3 ；

ρ ——待测流体的密度， kg/m^3 ；

R ——U 形管标尺上指示液的读数，m；

$p_1 - p_2$ ——管路两截面间的压力差，Pa。

若被测流体是气体，气体的密度要比液体的密度小得多，即 $\rho_0 - \rho \approx \rho_0$ ，于是，上式可简化为

$$p_1 - p_2 \approx \rho_0 gR \quad (1-11)$$

U 形管压差计也可用来测量流体的表压力。若 U 形管的一端通大气，另一端与设备或管道某一截面连接被测量的流体，如图 1-6 所示，则 $(\rho_0 - \rho)gR$ 或 $\rho_0 gR$ 反映设备或管道某一截面处流体的绝对压力与大气压力之差为流体的表压力。

如将 U 形管压差计的右端通大气，左端与负压部分接通，如图 1-7 所示，则可测得流体的真空度。