

前 言

泵是一种使用非常广泛的流体机械。仅在1979年内,我国就生产了125.6万台工、农业用泵。每年生产为泵配套所需的电动机功率要占电动机总容量的45%。泵作为通用机械已广泛应用于国民经济各部门。

油库是收、发、储存和运输成品油的基地,而泵则是油库中的主要设备之一。但目前有相当部分泵的使用效率不高、故障较多和寿命不长。为满足广大司泵、检修及有关技术人员的学习要求,提高其操作和维修技能,编者结合多年讲授水力学和泵课程的经验,并在广泛收集近年来我国颁布的有关规程与标准的基础上,编写了《泵的构造与维修》一书。

本书在编写过程中,曾得到许多专家、同行的支持和帮助。华东石油学院汤楷孙教授为本书写了序言,后勤工程学院谢昭惠和刘振志两位副教授审阅了全部书稿,周明来和张建国两位讲师对本书提供了不少宝贵意见,对他们热情帮助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中可能尚有错漏,恳请读者批评指正。

编 者

一九八七年十二月

序 言

李文治同志所编著的《泵的构造与维修》一书，取材广泛，内容充实，注重实用，是本好教材，也是一本极好的参考书。

他多年执教于人民解放军后勤工程学院，历任有关水力学、泵和风机等课程的讲授，教学经验丰富，并深刻了解到许多单位从事泵的操作人员，不但需要泵的理论基础，还需要泵的操作检修知识。因此，作者根据该院“泵的构造与维修”教学大纲和社会的实际需要，编写了这本教材。

本书特点是，深入浅出，通俗易懂，理论与实际并重。第一篇从水力学基础知识入手，讲述泵的原理、构造与使用。第二篇先阐述机械修理基础知识，然后介绍泵的检修、维护与安装，引导读者以理论指导实践。本书既适用于教学，又适用于自修，可作为泵的使用与维修指南。

限于篇幅和考虑到读者的层次，对于上述基础理论与实际应用之间的具体联系，有些地方未作过多论述。读者可根据自己的工作，选择所需要的内容，指导操作和维修，以提高泵的使用效率，更好地完成各种泵的操作管理任务。

祝愿这本书能成为石油、水电、农业、冶金、化工等部门从事泵工作的广大技术人员和工人的良师益友。

汤楷孙

1988.1.19

目 录

绪论	(1)
一、泵及其在国民经济中的作用	(1)
二、泵的分类	(2)
三、泵在油库中的用途	(2)
第一篇 泵的构造与原理	(3)
第一章 水力学基础知识	(3)
第一节 单位制及流体的物理性质	(8)
一、单位制	(3)
二、流体的物理特性	(4)
三、液体的密度	(5)
四、液体的重度	(5)
五、液体的比重	(6)
六、液体的压缩性和膨胀性	(6)
七、液体的粘滞性	(7)
第二节 水静力学	(3)
一、水静压力及其特性	(9)
二、等压面的概念	(11)
三、绝对压力和相对压力, 表压力和真空度	(12)
四、压力的度量单位及测压仪器	(14)
五、水静力学基本方程的物理意义及几何意义	(18)
第三节 水动力学	(20)
一、水动力学的基本概念	(20)
二、液体运动连续性方程	(23)
三、液体运动机械能转换规律	(24)
四、液体在管路中流动时的阻力	(31)
第四节 管路的水力计算	(42)
一、简单管路和管路特性曲线的概念	(43)
二、串联管路	(48)
三、并联管路	(50)
四、分支管路	(51)
复习及作业题	(53)
第二章 离心泵的基本原理	(58)
第一节 离心泵的工作原理及分类	(58)

一、离心泵的工作原理.....	(58)
二、离心泵叶轮叶片型式.....	(62)
三、泵和管路装置系统.....	(63)
四、离心泵的分类.....	(63)
第二节 离心泵的型号编制.....	(65)
一、基本型号.....	(65)
二、补充型号.....	(65)
三、油库常用离心泵的特点及型号意义.....	(65)
第三节 油库常用离心泵的构造.....	(70)
一、BA型单级悬臂式离心泵.....	(70)
二、Sh型单级双吸离心泵.....	(72)
三、DA型多级离心泵.....	(73)
四、D型多级离心泵.....	(76)
五、TSW型多级离心泵.....	(76)
六、离心式油泵.....	(79)
第四节 离心泵的性能及其参数.....	(84)
一、转速.....	(85)
二、流量.....	(85)
三、扬程.....	(85)
四、功率.....	(89)
五、效率.....	(90)
六、离心泵的吸入性能.....	(91)
七、性能曲线.....	(97)
八、比转数.....	(102)
第五节 离心泵的运行和调节.....	(104)
一、单个泵在管路上的工作.....	(104)
二、离心泵的并联工作.....	(104)
三、离心泵的串联工作.....	(106)
四、两台性能相同的泵联合工作方式的 选择.....	(106)
五、离心泵的调节.....	(107)
复习及作业题.....	(108)
第三章 离心泵的主要零部件.....	(111)
第一节 叶轮、密封环、吸入室和压出室.....	(111)
一、叶轮.....	(111)
二、密封环.....	(112)
三、吸入室.....	(112)
四、压出室.....	(113)
五、泵轴.....	(114)
第二节 轴向力平衡装置.....	(114)
一、轴向力.....	(114)
二、轴向力产生的原因、大小及 方向.....	(114)

三、轴向力的平衡·····	(115)
第三节 轴封装置·····	(118)
一、填料密封·····	(118)
二、机械密封·····	(123)
第四节 轴承·····	(137)
一、滑动轴承·····	(137)
二、滚动轴承·····	(144)
第五节 联轴器·····	(151)
一、基本型式及分类·····	(151)
二、普通联轴器的结构特点与工作原理·····	(152)
三、联轴器的应用·····	(158)
复习题·····	(158)
第四章 离心泵的操作和故障分析·····	(161)
一、离心泵的操作·····	(161)
二、离心泵故障的分析与排除·····	(162)
复习题·····	(165)
第五章 其它类型泵·····	(167)
第一节 自吸离心泵·····	(167)
一、自吸离心泵的结构特点·····	(167)
二、自吸离心泵的工作原理·····	(168)
三、自吸离心泵的操作使用特点·····	(169)
第二节 旋涡泵·····	(170)
一、旋涡泵叶轮和流道的几种形式·····	(170)
二、旋涡泵的工作原理·····	(171)
三、几种旋涡泵的构造·····	(173)
第三节 水环式真空泵·····	(176)
一、工作原理·····	(176)
二、工作性能和构造·····	(177)
三、辅助装置·····	(181)
四、操作使用和故障分析·····	(183)
第四节 往复泵·····	(184)
一、工作原理和分类·····	(185)
二、往复泵的构造·····	(186)
三、往复泵的主要部件·····	(188)
四、往复泵的性能特点·····	(192)
五、往复泵的使用和故障分析·····	(194)
第五节 回转泵·····	(197)
一、齿轮泵·····	(198)
二、螺杆泵·····	(203)
复习题·····	(211)
第六章 油库常用泵的比较·····	(213)

一、工作性能比较	(213)
二、操作使用比较	(213)
三、主要优缺点及适用范围比较	(213)
第二篇 泵的维修	(217)
第七章 机械修理基础知识	(217)
第一节 摩擦、磨损与润滑	(217)
一、摩擦和磨损	(217)
二、润 滑	(223)
第二节 检修制度及修理的工艺过程和方法	(227)
一、修理和保养的目的与要求	(227)
二、修理和保养的分类	(227)
三、修理和保养间隔期	(228)
四、修理组织形式	(228)
五、修理的基本工艺过程	(229)
六、基本修理方法	(230)
第三节 机械的拆卸和装配	(231)
一、拆装工具	(231)
二、拆 卸	(237)
三、装 配	(238)
四、固定连接的拆装	(240)
第四节 清洗	(254)
一、清洗的基本原则	(255)
二、除 油	(255)
三、除 锈	(256)
四、清除水垢	(257)
五、清除漆层	(258)
第五节 零件的检验	(260)
一、零件检验工作的目的	(260)
二、保证零件检验质量的措施	(261)
三、零件检验的主要内容	(261)
四、零件检验的方法	(262)
五、零件的感觉检验	(262)
第六节 机械密封的一般拆装与修理方法	(263)
一、机械密封的拆装	(263)
二、填料密封改装为机械密封	(264)
三、机械密封的修理	(271)
第七节 轴承的一般拆、装与修理方法	(273)
一、滑动轴承	(273)
二、滚动轴承	(284)
第八节 联轴器的一般拆、装与修理方法	(300)

一、联轴器的安装与拆卸.....	(301)
二、联轴器的维护检修.....	(303)
第九节 振动与平衡.....	(305)
一、振动的原因及判断.....	(305)
二、转子的平衡.....	(306)
第十节 油库泵机组维修安全知识.....	(310)
一、设备维护检修.....	(310)
二、检修安全注意事项.....	(311)
复习题.....	(311)
第八章 离心泵的检修.....	(314)
第一节 检修内容及质量要求.....	(314)
一、检修内容.....	(314)
二、检修质量要求.....	(314)
第二节 离心泵的拆卸.....	(318)
一、单级泵的拆卸顺序.....	(318)
二、多级泵的拆卸顺序.....	(319)
第三节 离心泵各部件的检查与修理.....	(322)
一、密封环.....	(323)
二、叶轮.....	(323)
三、平衡盘装置.....	(324)
四、泵轴.....	(325)
五、填料密封装置.....	(329)
六、泵体.....	(330)
第四节 离心泵的装配.....	(331)
一、装配前的准备工作.....	(331)
二、装配顺序.....	(333)
三、多级泵装配时的对中问题.....	(335)
第五节 离心泵的试车与验收.....	(337)
一、离心泵试车的目的.....	(337)
二、试车.....	(337)
三、验收.....	(338)
复习题.....	(338)
第九章 其它类型泵的检修.....	(339)
第一节 自吸离心泵的检修.....	(339)
第二节 旋涡泵的检修.....	(339)
一、拆卸顺序.....	(339)
二、装配和调整.....	(339)
第三节 水环式真空泵的维修.....	(341)
一、水环式真空泵的维护.....	(341)
二、水环式真空泵的检修.....	(341)
三、检修后的试车与验收.....	(345)

第四节 往复泵的维修.....	(345)
一、往复泵的维护.....	(346)
二、蒸汽往复泵的检修.....	(346)
三、往复泵的试车及验收.....	(350)
第五节 齿轮泵的维修.....	(350)
一、齿轮泵的维护.....	(350)
二、齿轮泵的检修.....	(351)
三、齿轮泵的试车与验收.....	(354)
第六节 螺杆泵的维修.....	(354)
一、螺杆泵的维护.....	(354)
二、螺杆泵的检修.....	(355)
三、螺杆泵的试车与验收.....	(357)
复习题	(357)
第十章 泵机组的安装.....	(359)
第一节 泵机组基础.....	(359)
一、基础的类型.....	(359)
二、地脚螺栓.....	(359)
三、泵机组基础设计.....	(362)
四、基础的施工.....	(364)
五、基础质量要求及常用的测量、检查方法.....	(366)
六、机座的找正、找平和找标高.....	(367)
七、安装方法与步骤.....	(368)
八、泵安装水平度标准.....	(369)
第二节 联轴器的找正.....	(369)
一、联轴器找正时偏移情况的分析.....	(369)
二、联轴器找正时的测量方法.....	(370)
三、联轴器找正时的计算和调整.....	(373)
四、联轴器找正计算实例.....	(374)
第三节 泵机组安装后的试运转.....	(375)
复习题	(377)

绪 论

一、泵及其在国民经济中的作用

通常将抽吸、输送液体和使液体压力增加的机器统称为泵。从能量观点来说，泵是一种转换能量的机器，它把原动机的机械能转化为被输送液体的能量，使液体动能和压力能增加。

从泵的性能范围看，巨型泵的流量每小时可达几十万米³以上；而微型泵的流量每小时则在几十毫升以下。泵的压力可从常压到高达9810千牛/米²以上；被输送液体的温度最低可达-200℃以下，最高可达800℃以上。泵送液体的种类繁多，诸如输送水（清水、污水等）、油液、酸碱液、悬浮液和液态金属等。

在化工和石油部门的生产中，原料、半成品和成品大多是液体，而将原料制成半成品和成品，需要经过复杂的工艺过程，泵在这些过程中起到了输送液体和提供化学反应的压力流量的作用。此外，在很多装置中还用泵来调节温度。

在农业生产中，泵是主要的排灌机械。我国农村幅员广阔，每年农村都需要大量的泵，一般说来农用泵占泵的总产量一半以上。

在矿业和冶金工业中，泵也是使用得最多的设备。矿井下需要用泵排水；在选矿、冶炼和轧制过程中，需用泵来供水等等。

在电力部门中，热电厂需要大量的锅炉给水泵、冷凝水泵、循环水泵和灰渣泵等。

在国防建设中，飞机襟翼、尾舵和起落架的调节、军舰和坦克炮塔的转动、潜艇的沉浮等都需要用泵。在一些国防尖端技术方面，如原子能发电站、核反应堆和火箭导弹基地，不但需要泵，而且对泵有很多的特殊要求（如输送高温、高压和有放射性的液体，有的还要求泵无任何泄漏等）。

在船舶制造工业中，每艘远洋轮上所用的泵一般在百台以上，其类型也是各式各样的。其它如城市的给排水、蒸汽机车的用水、机床中的润滑和冷却、纺织工业中输送漂液和染料、造纸工业中输送纸浆，以及食品工业中输送牛奶和糖类食品等，都需要有大量的泵。

总之，无论是飞机、火箭、坦克、潜艇，还是钻井、采矿、火车、船舶，或者是尖端的科学技术还是日常的生活，到处都需要用泵，到处都有泵在运行。正是这样，所以把泵列为通用机械，它是机械工业中的一类重要产品。

泵的产值产量在世界各国虽不完全相同，但一般都约占机械工业总产值的1—1.5%。随着工农业生产的发展，泵在国民经济各部门的需要量还将与日俱增。据统计，我国在1949—1978年这30年内，共生产了316.8万台工业泵和887.7万台农业泵，而在1979年一年内全国就生产了31.9万台工业泵和93.7万台农业泵，即1979年生产的泵总台数约占前30年生产总台

数的10%。

综上所述，泵是发展现代化工业、现代化农业和现代化国防必不可少的机器设备。它在国民经济各部门中得到广泛的应用，作用十分重大。因此，掌握泵的使用与维修的知识，具有重要的意义。

二、泵 的 分 类

泵的类型复杂，品种规格繁多。按其工作原理可分为以下三大类：

1. 叶片泵 利用叶片和液体相互作用来输送液体，如离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵等。

2. 容积泵 利用工作室容积周期性变化来输送液体，如往复泵、齿轮泵、螺杆泵、柱塞泵和滑板泵等。

3. 其它类型的泵 只改变液体位能的泵，如水车等；利用液体能量来输送液体的泵，如射流泵、水锤泵；此外还有水环式真空泵等。

除了上述基本的分类方法外，还可按用途分为工业用泵和农用泵。按输送液体性质可分为清水泵、污水泵、油泵、酸泵、液氨泵、泥浆泵和液态金属泵等。按泵的性能、用途宽窄和结构特点可分为一般用泵和特殊泵。按泵的工作压力大小可分为低压泵、中压泵、高压泵和超高压泵等。

三、泵在油库中的用途

在油库中通常装备有离心泵、自吸离心泵、旋涡泵、水环式真空泵、往复泵、齿轮泵和螺杆泵等。其用途分别如下：

离心泵用于输送轻质燃料油；

自吸离心泵和旋涡泵用于内燃机输送轻质燃料油；

水环式真空泵用于为离心泵吸入系统抽真空引油和抽吸油罐车底油；

往复泵用于输送粘油、专用燃料油和柴油，也可抽吸油罐车底油，为离心泵的吸入系统抽真空引油；

齿轮泵用于输送润滑油；

螺杆泵用于输送润滑油、专用燃料油或柴油。

泵的构造与原理

第一章 水力学基础知识

由于泵的选择、安装、操作使用、工作中的故障分析与排除和验收都离不开水力学知识，所以在学习泵的构造与维修之前先学习水力学的基础知识很有必要。

水力学是研究液体平衡和运动规律的科学。水力学中的原理不仅适用于水，而且普遍适用于各种低粘度的液体，也适用于容易忽略压缩影响的低速流动的气体（速度不超过70米/秒）。

第一节 单位制及流体的物理性质

一、单位制

目前各国正在逐步采用统一的国际单位制（SI）。1981年我国国际单位制推行委员会公布了《中华人民共和国计量单位名称与符号方案（试行）》。这个方案是以国际单位制为基础且基本与之相一致。同时也考虑到我国计量单位名称使用现状，在积极采用国际单位制的同时，还保留一部分尚在我国广泛使用的一些非国际单位制单位。根据这一精神，本书将主要采用国际单位制，同时部分采用我国尚广泛采用的工程单位制（重力制）。在此仅就国际单位制和工程单位制作一简单介绍。

（一）国际单位制和工程单位制

1. 基本单位

表1-1列出了两种单位制中基本单位的名称和符号。

由表1-1可见，两种单位制中的长度单位和时间单位都相同，所不同的是国际单位制以质量为基本单位，而工程单位制则以力为基本单位。

2. 导出单位

根据定律和定义等，从基本单位推导出（或写出）的单位叫做导出单位。

（二）两种单位制的换算

由于两种单位制的基本单位的长度单位和时间单位相同，所以几何学量、运动学量也都

表1-1 两种单位制的基本单位

量	国际单位制 的单位名称	符号	工程单位制 的单位名称
长度	米	m	米
时间	秒	s	秒
质量	千克（公斤）	kg	
力		kgf	公斤力

相同,不必换算。下边讨论动力学量之间的换算问题。

国际单位制中力是导出单位,选取质量为1kg的物体,使其产生 1m/s^2 加速度时所需的力作为它的单位尺度,并命名为牛顿,用符号N表示,即 $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$ 。

工程单位制的公斤力(kgf)定义为:处于纬度 45° 海平面上(重力加速度 $g=9.80665\text{m/s}^2$)在真空中国际千克原器所受的重力,为1kgf。

$$\text{原器所受重力为 } G=1\text{kg}\cdot 9.80665\text{m/s}^2=9.80665\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$$

$$\text{即 } 1\text{kgf}=9.80665\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$$

可见两种单位制中力的单位有如下关系:

$$1\text{kgf}=9.81\text{N}$$

也就是说,同一动力学量,国际单位制的数值是工程单位制数值的9.81倍。

表1-2中列出了常用物理量国际单位制与工程单位制的换算关系。

表1-2 常用物理量国际单位制与工程单位制的换算关系

物理量名称	SI 制		工程单位制		换 算 关 系
	名 称	符 号	名 称	符 号	
长 度	米	m	米	m	
时 间	秒	s	秒	s	
质 量	千克	kg	质量工程单位	$\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}$	
力	牛吨	N	千克力(公斤力)	kgf	$1\text{kgf}=9.81\text{N}$
压 力	帕(斯卡)	Pa	千克力每平方米 (工程大气压)	kgf/cm^2 (at)	$1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ $1\text{kgf}/\text{cm}^2=9.81\times 10^4\text{Pa}$
密 度	千克每立方米	kg/m^3		$\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$	$1\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4=9.81\text{kg}/\text{m}^3$
〔动力〕粘度	泊	P			$1\text{P}=0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$
运动粘度	斯(托克斯)	St			$1\text{St}=10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$
能, 功	焦〔耳〕	J	千克力米	$\text{kgf}\cdot\text{m}$	$1\text{kgf}\cdot\text{m}=9.81\text{J}$
功 率	瓦〔特〕	W		$\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}$	$1\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}=9.81\text{W}$
频 率	赫〔兹〕	Hz			

工程单位制中选择力作为基本单位,并且用重力来定义,由于重力加速度随地方而异,因此不同的地方,确定的公斤力(kgf)就要求不同的质量,这对贸易、技术带来一定的麻烦,尤其对空间技术更是不适用。所以工程单位制是即将废止的单位制,但在目前逐步采用SI制的过渡时期,既要熟悉SI制,也要了解工程单位制,并能掌握它们的换算方法。

二、流体的物理特性

流体是一种受切应力(不管这切应力如何微小)而发生连续变形的物质。

流体与固体的基本区别在于流体有很大的流动性。固体在运动时几乎不发生变形。而流

• 在国际单位制中,压强这个物理量已改称为压力,而把某一面上所受的总压力叫做作用在这个面上的力。

体可任意变形, 本身没有固定的形状, 随容器和流道形状而变。流体能承受较大压应力, 但几乎不能承受张应力。

流体在流动时呈现内摩擦力, 这个力的大小一方面取决于流体的种类, 另一方面也与运动状态有关。流体中不存在起始运动前的静摩擦力, 即使在相对静止时也不会出现。

流体具有抗压缩能力。液体抗压缩能力极大, 在很大的压力作用下, 液体的体积变化极微小。例如增加180个大气压, 油液的体积缩小仅约1%。因此, 在绝大多数情况下, 液体体积的变化可忽略不计, 只有在某些特殊情况下, 如水击等高压领域, 才考虑压缩性的影响。气体的可压缩性较大, 且能完全充满容纳它的容器的空间, 无自由表面, 而液体却有自由表面。

和其它任何物体一样, 流体是由不断运动着的分子所组成, 分子之间有一定的空隙(气体的空隙较大, 液体较小)。但是我们知道分子是很小的, 分子之间空隙尺度也是很小的。就气体来讲, 在标准状态下($t=0^{\circ}\text{C}$, $p=1$ 大气压), 在1厘米³的体积中有 2.69×10^{19} 个分子, 它们之间的空隙尺度约为 3.34×10^{-7} 厘米数量级。液体分子间空隙则更小。可见与常用的宏观尺寸比较起来是微不足道的。水力学研究液体的宏观机械运动, 不计及它的内部微观结构, 所以在水力学中, 把流体加以理想化, 认为流体不是由分子所组成, 而假想为由无限多的流体质点组成的连续介质。这种连续介质仍然具有流体的一切基本力学性质。既然流体是由紧密排列、其间毫无间隙、连续分布的流体质点所组成, 则其运动参数就都是空间坐标的连续函数。这样, 可以应用数学解析法来分析研究流体的平衡和运动的规律。经验证明, 这种假定所导出的结论与实际情况是相当符合的。

三、液体的密度

任何物质都具有质量, 它不随位置而改变。液体的密度定义为单位体积内含有的质量, 用符号 ρ 表示。液体中某一点A上的密度, 可取包括A点在内的微小体积 ΔV , 该体积内含有液体质量为 ΔM , 则其平均密度为

$$\bar{\rho} = \frac{\Delta M}{\Delta V} \quad (1-1)$$

因为液体是连续介质, 因而当微小体积 ΔV 向A点无限缩小而趋近于零, 比值 $\Delta M/\Delta V$ 的极限

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V} = \frac{dM}{dV} \quad (1-2)$$

便是该点的密度。国际单位制中, 因为质量单位是千克(kg), 体积的单位是米³(m³), 故密度 ρ 的单位是千克/米³(kg/m³)。

水在标准压力下(760毫米汞柱)和温度4℃时, $\rho=1000$ 千克/米³。

四、液体的重度

地心对物体的引力就是重力, 物体所受的重力的大小常称为重量。液体单位体积的重量称为重度, 用符号 γ 表示。如果液体体积 ΔV 的重量为 ΔG 则

$$\gamma = \frac{\Delta G}{\Delta V} \quad (1-3)$$

表1-3 流体的平均密度、重度与比重

流 体 名 称	温 度 ℃	SI制, ρ 千克/米 ³ ; 工程单位 制, γ 公斤力/米 ³	比重 S
原 油	20	860—889	0.86—0.889
70号航空汽油	20	720	0.72
70号汽油	20	730	0.73
66号汽油	20	720	0.72
喷气燃料	20	780	0.78
灯用煤油	20	810	0.81
坦克柴油	20	820	0.82
10号、20号轻柴油	20	825	0.825
0号轻柴油	20	830	0.83
专用柴油	20	840	0.84
10号汽油机润滑油	20	900	0.90
15号汽油机润滑油	20	910	0.91
8号柴油机润滑油	20	890	0.89
11、14号柴油机润滑油	20	900	0.90
16号坦克机油	20	890	0.89
10、20、30号机械油	20	890	0.89
45号机械油	20	900	0.90
0号锅炉燃料油	20	900	0.90
淡 水	4	1000	1.00
海 水	15	1020—1030	1.02—1.03
水 银	0	13600	13.60
空 气	20	1.183	0.001183

因为 $\Delta G = \Delta M \cdot g$, 故重度和密度之间的关系为

$$\gamma = \rho g \quad (1-4)$$

SI制中重度的单位是牛/米³, 工程单位制是公斤力/米³。

SI制中密度的单位是千克/米³, 工程单位制中重度的单位是公斤力/米³, 因此同种液体SI制中的密度与工程单位制中的重度在数值上相同, 如表1-3。

式(1-4)表明重度与当地重力加速度有关, 但一般情况下, 常取 $g = 9.81 \text{米/秒}^2$, 故可认为 γ 与地点无关。

五、液体的比重

物质的重量与温度为4℃时同体积蒸馏水重量的比率称为比重。以S表示。

$$S = \frac{\gamma V}{\gamma_{\text{水}} V} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{水}}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} \quad (1-5)$$

可见比重S是没有量纲的纯量。

当温度和压力发生变化时, 液体的体积也发生变化, 所以 ρ 、 γ 及S随压力和温度而变化。表1-4列出在1个大气压下, 水在不同温度时的 ρ 值。

六、液体的压缩性和膨胀性

表1-4 水的密度与温度的关系

温度℃	0	4	10	20	40	60	80	100
密 度 千克/米 ³	999.87	1000.00	999.75	998.26	992.26	983.38	971.94	958.65

所有液体随着压力和温度的变化而发生体积变化, 前者表征为压缩性, 后者则为热膨胀性。

(一) 压缩性

液体在压力作用下体积发生变小的性质叫压缩性。液体压缩性的大小用压缩性系数 β_p 表示。设有一定体积V的液体, 当压力增大 $d p$ 时, 体积减少了 $d V$, 则压缩性系数 β_p 为

$$\beta_p = - \frac{\frac{d V}{V}}{\frac{d p}{p}} = - \frac{1}{V} \frac{d V}{d p} \quad (\text{米}^3/\text{牛}) \quad (1-6)$$

这就是说, β_p 的意义是当增加一单位压力时液体所发生的体积相对变化量。式中取负号是因为 $d V$ 与 $d p$ 变化相反。

前已述及，压力对液体体积的影响甚微，表1-5列出了水的温度为0℃时，不同压力下的压缩性系数。表中数值表明， β_p 甚小，且当压力从5到80个大气压作用下，其变化也不大，所以水力学中常把液体看作不可压缩的，因而它们的密度和重度可认为不随压力而变，只有在特殊问题中，如水击现象，才考虑它的压缩性。

表1-5 水的压缩性系数 β_p ，米²/牛(0℃时)

压 力 (大气压)	5	10	20	40	80
β_p	0.538×10^{-9}	0.536×10^{-9}	0.531×10^{-9}	0.528×10^{-9}	0.515×10^{-9}

(二) 膨胀性

当温度升高时，液体体积增大的性质叫膨胀性。膨胀性的大小用体积膨胀性系数 β_t 表示。设有一定体积 V 的液体，当温度增加 dT 时，在恒定的压力下，其体积膨胀性系数 β_t 为

$$\beta_t = \frac{\frac{dV}{V}}{\frac{dT}{T}} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (1-7)$$

可见 β_t 的意义是在恒定压力下，当温度升高1℃时流体所发生的体积相对变化量。

在常压下，水在温度10—20℃时其体积膨胀系数 $\beta_t = 1.5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ ，即水在10—20℃范围内，当温度增加（或降低）1℃时所引起的密度变化约为万分之一点五，这说明液体（包括各种石油产品）热膨性也是很小的，一般情况下可以忽略不计，认为液体密度不随温度而变。

但要注意，在输油管路中，液体的膨胀性必须充分重视。管路中的油料在作业完毕，必须放空或部分放空。否则，当温度变化时，可能胀裂管子。

七、液体的粘滞性

粘滞性是指液体运动时阻抗液体质点间作相对运动的性质，是液体重要物理特性之一。由于粘滞性的存在，所有液体在作相对运动时都会产生内摩擦力。不同的液体，具有不同的粘滞性。

在水力学中，液体粘滞性的大小通常用粘度来表示。

1. 动力粘度：

如图1-1所示。在两个位于水平且无限宽的平板间充满液体，设下平板固定不动，而上平板以速度 U 运动。由于附着力的作用，紧贴两平板面上的液体必然粘附于平板上，因此紧贴上平板表面上的液体质点必以与运动平板相同的速度 U 运动，而紧贴下平板的液体质点的速度为零，两平板间各液体层的速度按一定规律分布，运动较快的液体层带动较慢的液层，反之运动较慢的液层阻滞运动较快的液层。

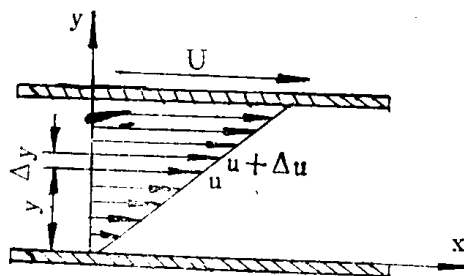


图1-1 粘滞性的作用

牛顿早在1686年指出，当液体内部各层间发生相对运动时，在相邻两层的交界面上，将

产生内摩擦力。内摩擦力的大小与相邻两层液体的接触面积 A 成正比。与该两层液体的速度梯度成正比，与液体的性质有关，与压力无关。其数学表达式为：

$$T = A\mu \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (1-8)$$

式中： T ——内摩擦力；

A ——两层液体间接触面积；

$\frac{\Delta u}{\Delta y}$ ——沿垂直于流动方向的液层间速度的相对变化量。称速度梯度。

μ ——动力粘滞性系数。

表征液体粘滞性的系数称为动力粘度。其单位是牛顿·秒/米²，为了使用方便，规定：

$$1 \text{ 泊} = 0.1 \text{ 牛顿} \cdot \text{秒} / \text{米}^2$$

$$1 \text{ 厘泊} = \frac{1}{100} \text{ 泊} = 10^{-3} \text{ 牛顿} \cdot \text{秒} / \text{米}^2$$

2. 运动粘度

液体的动力粘度 μ 与它的密度 ρ 的比值称为运动粘度，用 ν 表示。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-9)$$

其单位是米²/秒。为了使用方便规定：

$$1 \text{ 斯} = 1 \text{ 厘米}^2 / \text{秒}$$

$$1 \text{ 厘斯} = \frac{1}{100} \text{ 斯} = 10^{-2} \text{ 厘米}^2 / \text{秒}$$

3. 恩氏粘度

200毫升的液体从恩氏粘度计中流出所需的时间 t_1 秒与200毫升、20℃的蒸馏水从该恩氏粘度计中流出的时间 t_2 秒（约50—53秒）之比值，称为恩氏粘度，用 $^\circ E$ 表示。即

$$^\circ E = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-10)$$

必须指出：液体的粘度与温度有极大的关系，温度升高，粘度下降，所以当讨论到油料粘度时，必须指出是在什么温度下的数值。根据粘度与温度存在着这样的关系，在油库中当用管路输送粘油时，须将油料加热，以降低流动阻力，减少泵付出的能量。

燃料油及水在不同温度下的运动粘度值见表1-6所示。

第二节 水静力学

水静力学是研究静止液体内部压力的变化规律及其计算问题。油库中，用水银测压计测量油高。用弹簧式压力计测量泵吸入口和排出口压力，都属于水静力学问题。这里的所谓静止是指液体宏观质点之间没有相对运动而是相对地平衡。因此，液体的静止包括两种情况：一种是液体质点相对地球没有相对运动，如盛装在固定于地球表面上的油罐中的液体（图1-2）那样，这种静止我们称为绝对静止。另一种象图1-3所示的那样，液体整体随同油罐车相对

表1-6

燃料油及水的粘温关系表

粘度(厘斯) 温度(℃) 名称	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
70号车用汽油*	1.50	1.27	1.07	0.92	0.84	0.75	0.69	0.62	0.56	
95/130航空汽油	1.30	1.13	0.95	0.84	0.75	0.69	0.62	0.55	0.50	
100/130航空汽油	1.37	1.14	0.96	0.85	0.76	0.70	0.63	0.57	0.52	
2号喷气燃料	5.63	4.05	3.16	2.49	2.04	1.70	1.45	1.25	1.13	
4号喷气燃料	4.96	3.77	2.89	2.30	1.89	1.60	1.37	1.19	1.06	
0号柴油						5.81	4.43	3.48	2.81	2.34
10号柴油				11.78	8.08	5.90	4.47	3.50	2.85	2.36
35号柴油		56.08	17.21	11.53	7.89	5.73	4.36	3.42	2.79	
水					1.785	1.306	1.003	0.800	0.658	0.553

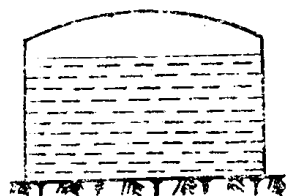


图1-2 绝对静止

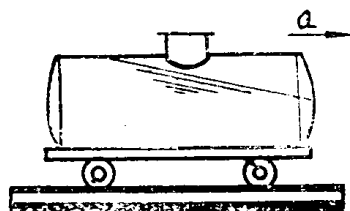


图1-3 相对静止

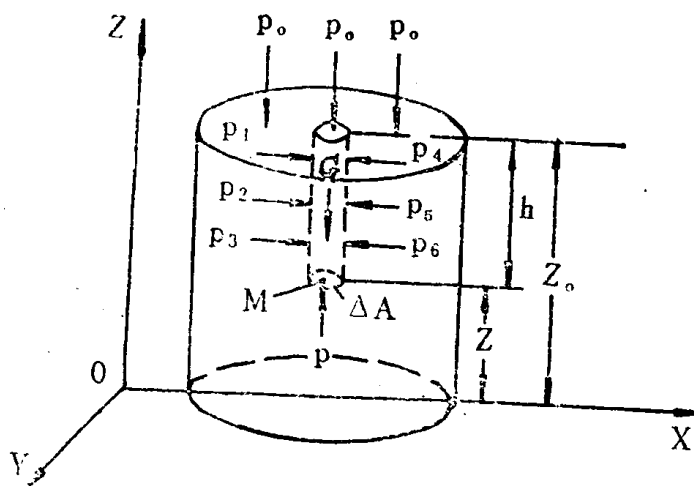


图1-4 水静压力

地球以某等加速度 a 运动，但液体内质点间无相对运动，这种静止称为相对静止。本节只研究处于绝对静止状态的液体。

一、水静压力及其特性

(一) 静压力的特性

静止液体内的压力称为静压力。静压力有两个重要特性：

第一，静压力的方向总是垂直并指向作用面。

第二，液体任一点的静压力的大小各方向相同，不因作用面的方位不同而改变它的数值。

(二) 水静压力的计算

图1-4所示的是处于绝对静止的液体。液体的重度为 γ ，液体自由表面上的压力为 p_0 。下面研究液体中任一点 M 上水静压力的计算方法。