

泵试验技术

实用手册

段桂芳 肖崇仁 席三忠 等编著

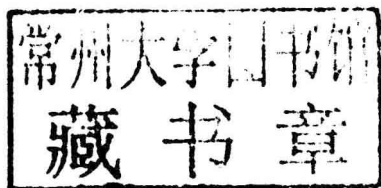
HANDBOOK



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

泵试验技术实用手册

段桂芳 肖崇仁 席三忠 编著
钱一超 王芳京 李军叶



机械工业出版社

本书是泵试验理论与实践相结合的专业工具书。

本书共分四篇，包含二十四章和七个附录。第一篇为基础知识，包括第一章~第五章，分别介绍了水力学、泵、电动机、电工技术及测量不确定度的基本知识；第二篇为试验设备，包括第六章~第十一章，分别介绍了泵试验室的工艺设计、水力循环系统、强电及控制系统、测量系统的设计；第三篇为测量技术，包括第十二章~第十八章，分别介绍了流量、压力、功率、转速、振动、噪声、其他参数（温度、液位、大气压力）、电参数测量及其数字测量仪表及计算机自动测试系统；第四篇为试验方法，包括第十九章~第二十四章，分别介绍了离心泵、混流泵、轴流泵、长轴深井泵、潜水电泵、潜油电泵、其他类型泵（屏蔽电泵、水环真空泵、螺杆泵、机动往复泵、核Ⅱ级泵、汽车发动机冷却水泵及汽油机直联泵）及模型泵的试验方法与不确定度的评定；七个附录，包括附录A~附录G，分别介绍了水的物理性质、局部阻力系数、常用电动机参数、单位换算、国内外泵试验标准目录及我国部分城市海拔及大气压力值。

本书可供泵行业设计、制造、使用、调试、检验及维修人员使用。

图书在版编目（CIP）数据

泵试验技术实用手册/段桂芳等编著. —北京：机械工业出版社，2017.1

ISBN 978-7-111-55814-9

I. ①泵… II. ①段… III. ①泵-试验-技术手册 IV. ①TH3-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第315394号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：沈红 责任编辑：沈红 崔滋恩 章承林 张利萍

责任校对：肖琳 刘志文 封面设计：张静

责任印制：李昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·51.75印张·6插页·1270千字

标准书号：ISBN 978-7-111-55814-9

定价：238.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

前 言

泵属于通用机械的范畴，广泛应用于国民经济的各个部门。一般来说，泵的结构相对比较简单，但其内部的液体流动是相当复杂的。尽管当前测试技术及计算机技术得到了飞速发展和广泛应用，但目前仍不能用数学解析的方法准确地确定泵性能。试验仍是目前获取泵性能的唯一可靠的手段，可以说泵是建立在试验基础上的一门学科。因此，试验技术在其生产、科研及使用方面都有着不可替代的作用。

近年来，随着我国泵制造业向大型、高速、高压方向的发展，泵的试验技术也得到了相应的提高，尤其是泵生产许可证制度及全面质量管理的推行，使人们的质量意识普遍加强，试验工作逐渐引起人们的重视。很多企业、科研院所及质检单位都建立了试验台（站），从事泵试验的人员也日益增多，且试验项目与内容不断更新，但人员素质普遍偏低，尤其是使用计算机测试系统以来，有些人只会按键盘而不知其所以然，专业知识差，基本概念不清，亟待充实提高。我们在工作中经常接待有关单位或个人来访，询问泵试验方面的问题或收集有关资料，这说明工厂企业等基层单位很需要普及这方面的知识。而当前介绍泵试验方面的书籍较少。因此在当前既需要又无书的情况下，为从事泵试验工作的相关人员提供一本有实用价值的手册是十分必要的。

很早就想编写一本关于泵试验方面的书，目的在于为从事泵试验工作的同志提供一本实用性较强的工具书，指导试验工作的正确进行和提高泵的测试水平，解决泵试验工作中的一些问题，提高从事泵试验者的技术水平和推进国家标准的执行，介绍泵试验工作中的先进经验。总之，我们想结合多年来从事泵试验工作的经验并参考有关资料为泵测试人员提供一本有实用价值的参考书。

本书共分四篇，包含二十四章和七个附录。第一篇为基础知识，包括第一章~第五章，分别介绍了水力学、泵、电动机、电工技术及测量不确定度的基本知识；第二篇为试验设备，包括第六章~第十一章，分别介绍了泵试验室的工艺设计、水力循环系统、强电及控制系统、测量系统的设计；第三篇为测量技术篇，包括第十二章~第十八章，分别介绍了流量、压力、功率、转速、振动、噪声、其他参数（大气压力、温度、液位）电参数测量及其数字测量仪表及泵试验的计算机自动测试系统；第四篇为试验方法，包括第十九章~第二十四章，分别介绍了离心泵、混流泵、轴流泵、长轴深井泵、潜水电泵、潜油电泵、其他类型泵（屏蔽电泵、水环真空泵、螺杆泵、机动往复泵、核Ⅱ级泵、汽车发动机冷却水泵及汽油机直联泵）及模型泵的试验方法与不确定度的评定；七个附录，包括附录A~附录G，分别介绍了水的物理性质、局部阻力系数、常用电动机参数、单位换算、国内外泵试验标准目录及我国部分城市海拔高度及大气压力值。

本书的特点如下：

实用性：本书是一本专业性较强的工具书。根据工具书的特点我们未将理论阐述、公式推导等作为重点，而是尽量简单明了、通俗易懂地说明问题，且紧密结合我国当前泵测试的技术水平与实际情况，有的放矢，使大家在试验中遇到问题通过查阅本手册可以得到比较圆

满的解决或受到启发。在内容上以介绍泵的外特性测试为主，泵的内特性如流场的测定、压力分布、压力脉动等带有科研性质的内容本书不做介绍。

可操作性：泵试验是一种脑力与体力、理论与实践相结合的工作，只有理论还不够，必须通过实际操作才能完成，即实践性很强。本书内容深入浅出、结合实际，具有极强的可操作性。

科学性：本着对读者负责的精神在内容上力求准确无误，材料真实可靠，书中介绍的公式、数据、方法、图表都是有根有据，并经过实践证明是正确的。严格遵守和执行相关的国家、行业标准及规程。书中介绍的经验都是切实可行的，正在研究或有争议的内容本书将不做介绍。

全面性：由于泵试验的特点，要求从事这方面工作的人员知识面要宽，但又不要求很深入。因此，本手册对试验过程中涉及相关方面的泵、水力学、电工技术等基本知识及机械设备、仪器仪表、计算机及软件等专业知识结合泵试验的特点进行了全面介绍。

参加本书编写的人员有：段桂芳、肖崇仁、席三忠、钱一超、王芳京、李军叶。其编写分工如下：第一、二、八、十二、十三、十五、十六、十九、二十三章由段桂芳编写；第三章由李军叶编写；第四、五、九、十四、二十、二十一、二十二、二十四章由肖崇仁编写；第六、十一章由席三忠编写；第七章由段桂芳、肖崇仁编写；第十章由李军叶、钱一超编写；第十七章由王芳京编写；第十八章由肖崇仁、王芳京编写；附录由段桂芳、肖崇仁编写。全手册由肖崇仁和段桂芳进行校对、审核与统稿。

泵的形式很多且用途各异，但从试验角度来讲却大同小异，这是泵试验的共性。本手册主要面向工厂企业、科研院所、大专院校及检测单位从事泵试验工作的人员，对于石油、水利等泵的使用部门也有一定的参考价值和指导作用。同时也可作为大专院校水力机械专业、水利专业的教学参考资料以及在校学生学习“水力机械测试技术”课程的辅导书或试验实习时的指导书。

本书在编写过程中查阅和参考了大量的单位或个人编辑出版的书籍、标准、文章、样本等资料。此外，中水北方水利勘测设计研究公司和上海凯泉泵业（集团）有限公司为本手册提供了试验室的照片及说明；在此对所有给予了大力支持单位和个人一并致谢。

由于工作的局限性以及资料收集得不够广泛，加之编著者的水平有限，手册中的错误与不当之处在所难免，敬请广大读者予以批评指正。

编著者

目 录

前言

第一篇 基础知识

第一章 水力学基础知识	1	六、汽蚀余量	22
第一节 液体的主要物理性质	1	第三节 泵特性曲线	22
一、液体的密度	1	一、基本性能曲线	23
二、液体的黏滞性	2	二、相对特性曲线	25
三、液体的压缩性与膨胀性	3	三、通用特性曲线	26
四、液体的表面张力特性	3	四、综合性能曲线(型谱图)	27
五、液体的汽化压力特性	4	五、全性能曲线	28
第二节 水静力学基本方程	4	第四节 叶片泵的相似理论	31
一、水静力学基本方程	4	一、相似条件	31
二、压力的计量	5	二、相似定律	33
三、压力的计量单位	6	第五节 泵的汽蚀	34
四、水静力学方程的应用——液柱式 压力计	7	一、汽蚀现象的发生过程	34
第三节 伯努利方程	8	二、汽蚀的危害	34
一、实际液体的伯努利方程	8	三、汽蚀性能参数	35
二、实际液流伯努利方程的讨论	9	第六节 比转数与型式数	39
第四节 水头损失	10	一、比转数	39
一、水头损失的分类	10	二、型式数	41
二、流动状态的判定	10	第七节 叶片泵的运行特性与调节	42
三、水头损失的计算	11	一、泵装置系统的管路特性	42
第五节 短管的水力计算及其基本问题	15	二、泵工况点的确定	43
一、短管的水力计算	15	三、泵的串并联运行	43
二、短管水力计算的基本问题	16	四、泵运行工况的调节	45
参考文献	16	参考文献	47
第二章 泵的基础知识	17	第三章 电工技术基础知识	48
第一节 泵的分类、工作原理及特点	17	第一节 三相交流电路	48
一、泵的分类及工作原理	17	一、概述	48
二、各类泵的特点	19	二、我国配电网的供电方式	48
第二节 泵的基本参数	20	三、三相负载的连接方式	50
一、流量	20	四、三相电路的功率	51
二、扬程	20	五、影响功率因数的主要因素与提高功率 因数的措施	52
三、转速	21	第二节 变压器、调压器及互感器	53
四、功率	21	一、变压器	53
五、效率	21	二、调压器	54

三、互感器	56	一、异步电动机的运行条件	121
第三节 低压电器	60	二、异步电动机的变频调速	125
一、概述	60	参考文献	126
二、隔离开关	61	第五章 单位制、测量误差及测量	
三、断路器	62	不确定度评定	127
四、熔断器	64	第一节 国际单位制、我国的法定计量	
五、接触器	66	单位	127
六、继电器	68	一、国际单位制	127
七、主令电器	73	二、我国的法定计量单位	129
第四节 三相交流电动机的控制与起动	76	三、泵试验中常用的物理量、符号、	
一、三相交流电动机的电气控制电路	76	量纲和单位	130
二、三相交流异步电动机的起动方式	79	第二节 测量、测量误差与测量不确定度	
参考文献	83	评定	132
第四章 异步电动机的基本知识	85	一、测量与测量误差	132
第一节 异步电动机的用途及分类	85	二、仪表与传感器的主要特性与静态	
一、异步电动机的基本特点和用途	85	指标	135
二、异步电动机的分类	85	三、概率论与数理统计的基本知识	136
三、异步电动机产品的基本系列与派生		四、测量不确定度概述	143
系列	87	五、测量不确定度的评定及数学模型的	
四、异步电动机产品型号编制方法	89	建立	147
第二节 异步电动机的工作原理与结构	91	六、不确定度传播律	149
一、与电动机工作原理相关的基本电磁		七、标准不确定度的 A 类评定	149
定律	91	八、标准不确定度的 B 类评定	150
二、三相异步电动机的结构与工作原理	92	九、合成标准不确定度的评定	153
三、泵用单相异步电动机的结构与工作		十、扩展不确定度的评定	155
原理	108	十一、试验及测量结果的表示	155
第三节 异步电动机的特性及相关参数	112	第三节 数值修约规则	156
一、异步电动机术语的基本定义及		一、术语和定义	156
额定值	112	二、数值修约的一般规则	156
二、异步电动机的特性及相关参数	114	参考文献	157
第四节 异步电动机的运行	121		

第二篇 试验设备

第六章 部分国内外泵试验台简介	158	推广项目	164
第一节 部分国内泵试验台简介	158	第二节 部分国外泵试验台简介	167
一、中国农业机械化科学研究院水泵		一、德国 KSB 集团公司试验台	167
试验室	158	二、美国 Xylem 集团	171
二、上海凯泉泵业（集团）有限公司		三、瑞典 Flyght 公司大型潜水泵	
测试中心	160	试验台	175
三、大连深蓝集团核 II 级泵试验台	163	四、美国 CWFC 公司的工程泵分部（EPD）	
四、南水北调工程用泵模型试验台	163	的试验设备	176
五、中国农业机械化科学研究院部分		五、日本荏原（EBARA）低温潜水电泵	

试验设施	177	三、出口管路的设计	209
第七章 水泵试验室的工艺设计	180	四、管法兰的选择	211
第一节 概述	180	第三节 封闭式试验台的设计	214
一、水泵试验室的作用及任务	180	一、封闭式试验台的水力计算	214
二、水泵试验室的分类及特点	181	二、封闭式试验台试验段及水力元件的 设计	217
三、水泵试验室的构成	182	三、试验管路及其附件的设计与选择	228
四、水泵试验室工艺设计	182	四、附属设备的选择	240
第二节 水泵试验室总体布置的工艺 设计	184	第四节 几种典型试验台	242
一、水泵试验室内区域的划分	184	一、多功能开敞式试验台	242
二、水泵试验室的总体布置方案	184	二、开、闭式试验台	243
三、水泵试验室对建筑、起重、运输及 给排水等的要求与选择	186	三、微型泵试验台	244
第三节 水泵试验室水力循环系统 (试验台)的工艺设计	188	四、卧式结构的轴(斜)流泵模型与 装置模型试验台	246
一、试验水池	189	五、封闭式汽蚀试验台	247
二、试验台类型、参数的选择与确定	192	参考文献	248
三、试验台结构的初步设计	194	第九章 测量系统的设计	249
第四节 水泵试验室配电系统的工艺 设计	194	第一节 概述	249
一、概述	194	一、测量与测量系统	249
二、水泵试验室对供配电的基本要求	195	二、测量的分类	249
三、配电系统方案设计的主要内容	195	第二节 泵试验中测量系统的构成	250
第五节 水泵试验室测试系统的工艺 设计	200	一、参数测量部件(或部位)	250
一、测试系统初步设计的内容和依据	201	二、测量仪器仪表	251
二、确定测试系统的形式	201	三、测量线路(引压管与信号 连接线)	252
三、提出测试系统应具有的功能及主要 技术指标	202	第三节 泵试验中的参数测量	253
四、提出自动测试系统硬件的总体 配置	203	一、泵试验中参数测量的类型	253
五、提出对自动测试系统应用软件的 基本要求	203	二、泵试验中主要参数测量的方法与 选择	253
参考文献	203	参考文献	259
第八章 泵试验的水力循环系统 (试验台)设计	204	第十章 泵试验室配电系统的设计	260
第一节 概述	204	第一节 概述	260
一、试验台的分类	204	第二节 电气技术文件、图形符号及电气图 的设计	260
二、试验台的特点与比较	205	一、电气技术文件的内容	260
第二节 开敞式试验台的设计	206	二、电气技术文件的特点	261
一、试验台的布置形式	206	三、电气文字符号和图形符号	262
二、入口管路的设计	206	四、电气图样设计	272
		第三节 泵试验常用的几种典型电路	274
		一、直接起动转矩测功方式的试验 电路	275
		二、使用起动器的单回路试验电路	276
		三、多起动回路转矩测功的试验电路	277

四、采用电测功（损耗分析法）的试验 电路	279	一、水力（管路）循环系统的调试	291
参考文献	282	二、测试系统分步调试	292
第十一章 泵试验台的安装、调试及 验收	285	三、试验系统整体调试	293
第一节 泵试验台的安装	285	第三节 泵试验台验收	294
一、概述	285	一、验收的目的和范围	294
二、水力循环系统的安装	286	二、验收的地点与形式	294
三、配电与控制系统的安装	289	三、验收现场应具备的试验条件	295
四、测量系统的安装	290	四、验收的主要依据	295
第二节 泵试验台调试及测量不确定度的 确定	291	五、验收的主要技术指标与要求	295
		六、验收的内容、方法和步骤	296
		参考文献	297

第三篇 测量技术

第十二章 流量的测量	298	第五节 薄壁堰	333
第一节 原级法	298	一、概述	333
一、概述	298	二、薄壁堰的结构和要求	334
二、原级法流量测量的分类、原理	300	三、堰上水头的测量装置及方法	336
三、原级法流量测量系统的组成	300	四、薄壁堰测量流量的计算公式	338
四、流量计原位标定的操作程序及有关 规定	304	五、堰的标定	340
第二节 节流式差压流量计	305	六、设计水堰的参考尺寸	341
一、节流式差压流量计的基本原理	306	参考文献	342
二、节流式差压流量计的流量计算 公式	306	第十三章 压力的测量	343
三、节流式差压流量计的分类及特点	309	第一节 概述	343
四、节流式差压流量计的适用范围	311	第二节 液柱式压力计	343
五、节流式差压流量计的选型、安装及 使用注意事项	311	一、液柱式压力计的工作原理、分类及 特点	343
第三节 涡轮流量计	318	二、液柱式压力计的压力计算	345
一、涡轮流量计的结构与工作原理	318	三、液柱式压力计的选型、使用注意 事项	345
二、涡轮流量计的分类及特点	320	第三节 弹性式压力计	346
三、涡轮流量计的性能参数与选型	323	一、概述	346
四、涡轮流量计的安装与使用注意 事项	324	二、弹性式压力表的分类及特点	346
第四节 电磁流量计	325	三、弹簧管压力表的工作原理及结构	348
一、概述	325	四、弹簧管压力表的形式与技术参数	349
二、电磁流量计的工作原理与结构	325	五、弹簧管压力表的选型	350
三、电磁流量计的分类与特点	327	六、弹簧管压力表的安装	351
四、电磁流量计的性能参数与选型	329	七、弹簧管压力表的校验	352
五、电磁流量计的安装与使用注意 事项	332	八、弹簧管压力表的订购及使用注意 事项	355
		第四节 压力（差压）变送器	356
		一、概述	356

二、电容式压力(差压)变送器	359	二、大气压力的测量仪器及其特点	431
参考文献	369	第二节 温度的测量	437
第十四章 功率及转速的测量	370	一、概述	437
第一节 概述	370	二、温度测量的分类与比较	438
第二节 功率的测量	371	三、玻璃液体温度计	438
一、转矩测功法	371	四、热电偶温度计	440
二、电测功法	383	五、热电阻温度计	445
第三节 转速的测量	390	六、温度变送器	447
一、测频法测速	391	第三节 液位的测量	448
二、感应线圈测速法	393	一、概述	448
三、振动测速法	394	二、玻璃管(板)式液位计	450
参考文献	395	三、磁翻柱(板)式液位计	451
第十五章 振动与噪声的测量	396	四、差压式液位计	453
第一节 振动测量的基本概念	396	五、堰上水头的测量	456
一、概述	396	参考文献	458
二、有关振动的基本概念	397	第十七章 泵试验中电参量测量及其	
第二节 振动测量系统	399	数字式测量仪表	459
一、振动测量方法的分类	399	第一节 概述	459
二、振动测量系统的组成	399	第二节 频率、时间和相位差的测量	460
三、常用测振仪	406	一、频率的测量	460
第三节 泵的振动测量与评价	408	二、时间间隔的数字测量	462
一、泵的振动测量	408	三、相位差的数字测量	463
二、泵的振动评价	411	第三节 电压、电流和功率的测量	465
第四节 噪声测量中的声学概念	414	一、电压的测量	465
一、声场	414	二、电流的测量	469
二、声压级	414	三、电功率的测量	471
三、声功率级	415	第四节 阻抗的测量	475
四、频程	415	一、概述	475
五、计权声级	416	二、直流电阻测量	476
第五节 噪声测量仪	417	第五节 电测法测量温度	479
一、声级计	417	一、热阻式测温	479
二、频率分析仪	420	二、热电偶测温	480
三、声级校准器	420	三、集成温度传感器 AD590	481
第六节 泵的噪声测量及评价	421	第六节 ZNX 系列数字式测量仪表	482
一、泵噪声测量的要求	421	一、ZNX-2503A 三相功率仪	483
二、A 计权表面声压级和 A 计权声功率级		二、ZNX-RTA 电阻温度仪	484
的测量与计算	422	三、ZNX-AK 流量仪	486
三、泵的噪声级别评价方法	425	四、ZNX-CS 转速仪	487
参考文献	428	五、ZNX-901A 转矩仪(采用相位差	
第十六章 其他参数的测量	430	方式测量)	488
第一节 大气压力的测量	430	六、ZNX-810C 压力真空仪	490
一、概述	430	参考文献	491
		第十八章 泵试验的计算机自动测试	

系统	492	一、软件运行环境与支持	517
第一节 概述	492	二、基本功能及组成	517
第二节 泵自动测试系统的总体要求	494	三、软件的基本模块结构、流程与数据流 分析	518
一、泵试验对自动测试系统的要求	494	四、曲线拟合数学模型及其对试验结果 的影响	520
二、泵自动测试系统的总体设计原则	495	第五节 PMS 泵自动测试系统	523
第三节 自动测试系统的硬件配置	496	一、PMS 泵自动测试系统的结构型式、 适用范围及测量参数	523
一、计算机系统	496	二、PMS 泵自动测试系统的硬件配置	524
二、接口与通信模式	499	三、PMS 泵自动测试系统应用软件 “PMSCAT”的功能、特点及 典型界面	525
三、控制对象、控制方式与输出 控制器	504	参考文献	529
四、测量参数、数据采集方式及常用 仪表	512		
五、自动测试系统的抗干扰措施	516		
第四节 测试系统应用软件	517		

第四篇 试验方法

第十九章 离心泵、混流泵、轴流泵

水力性能试验方法

第一节 概述

- 一、泵试验的分类
- 二、关于泵的试验标准

第二节 离心泵、混流泵、轴流泵的性能

试验

- 一、性能试验的原理
- 二、试验条件
- 三、试验的实施
- 四、测量参数的计算
- 五、试验结果的判定与比较
- 六、关于测量不确定度

第三节 离心泵、混流泵、轴流泵的汽蚀

试验

- 一、汽蚀试验的类型
- 二、汽蚀试验的原理——临界汽蚀余量
的获取方法
- 三、试验条件及要求
- 四、试验的实施
- 五、确定临界汽蚀余量 (NPSH₃) 的具体
操作方法与步骤
- 六、试验数据的计算与整理

第四节 自吸泵自吸性能的测定

- 一、概述
- 二、自吸性能试验的分类

- 三、自吸泵自吸性能的试验方法
- 四、直接法测定自吸性能的试验条件
- 五、直接法试验装置及测量仪表
- 六、试验程序
- 七、试验结果的计算及性能曲线的
绘制
- 八、试验结果的判定
- 参考文献

第二十章 潜水电泵、长轴深井泵及液下泵

试验方法

第一节 潜水电泵试验方法

- 一、试验目的、依据和项目
- 二、试验条件
- 三、试验方法与步骤

第二节 长轴深井泵及液下泵试验方法

- 一、试验目的、依据和项目
- 二、试验条件
- 三、试验方法与步骤

参考文献

第二十一章 潜油电泵试验方法

第一节 概述

第二节 潜油电泵性能试验的类型和

项目

- 一、试验类型
- 二、试验项目

第三节 潜油电泵的机组成套性能试验

一、试验条件、试验装置与设备	606	参考文献	662
二、机组成套性能试验	610	第二十三章 水泵模型试验	664
第四节 潜油泵的性能试验 (卧式安装 方式)	614	第一节 概述	664
一、试验条件、试验装置与测量设备	614	一、水泵模型试验的目的与适用范围	664
二、潜油泵性能试验	615	二、水泵模型试验的特点	664
第五节 潜油泵水力部件性能的测定 (模型试验)	616	三、水泵模型试验的发展动态	665
一、试验条件、试验装置与设备	616	第二节 泵模型试验装置 (台)	668
二、模型泵性能试验	616	一、泵模型试验装置 (台) 的分类	668
参考文献	618	二、对泵模型试验装置 (台) 的要求	668
第二十二章 其他类型泵的试验	619	三、泵模型试验装置 (台) 的设计 要点	672
第一节 概述	619	第三节 模型泵	680
第二节 屏蔽电泵的试验	619	一、模型泵的范围	680
一、概述	619	二、模型泵的相似条件	681
二、试验条件、试验装置、设备与 仪器	620	第四节 模型试验方法	689
三、试验内容、方法及特点	620	一、能量试验	689
四、试验结果的计算分析	621	二、空化试验	694
第三节 汽车发动机冷却水泵及汽油机 直联泵的试验	631	三、飞逸特性试验	698
一、概述	631	四、压力脉动的测量	699
二、汽车发动机冷却水泵的试验	632	第五节 原、模型泵的性能换算	702
三、汽油机直联泵的试验	633	一、原、模型泵性能参数的换算	703
第四节 核 II 级泵的性能试验	636	二、原、模型效率换算	705
一、概述	636	参考文献	708
二、试验条件、试验装置、测试系统	638	第二十四章 泵试验的测量不确定度 评定	710
三、试验方法及特点	640	第一节 泵试验的测量不确定度评定 总则	710
第五节 螺杆泵的试验	641	一、概述	710
一、概述	641	二、泵试验中导致测量误差以及不确定度 的来源	710
二、试验条件、装置、设备与仪器	642	三、测量过程及数学模型的建立	711
三、试验方法及特点	643	四、泵试验的测量不确定度的评定 规则	712
四、试验结果的计算与分析	644	五、泵试验结果不确定度的评定步骤	713
第六节 机动往复泵的试验	646	六、泵测试系统的测量不确定度评定	719
一、概述	646	第二节 潜水电泵的测量结果不确定度 评定	719
二、试验条件、装置、设备与仪器	647	一、概述	719
三、试验项目、方法及特点	649	二、由随机效应导致的标准不确定度 (随机标准不确定度)	721
四、试验结果的计算与分析	650	三、由系统效应导致的标准不确定度 (系统标准不确定度)	722
第七节 水环真空泵的试验	653		
一、概述	653		
二、试验条件、试验装置与设备	654		
三、试验方法及特点	660		
四、试验结果的计算分析	660		

四、合成标准不确定度及总不确定度	734	附录 A 水的物理性质	750
第三节 转矩测功模式试验结果的测量		附录 B 局部阻力系数	762
不确定度评定	738	附录 C 单位换算	771
一、概述	738	附录 D 泵试验常用异步电动机的主要 技术参数	776
二、由随机效应导致的标准不确定度 (随机标准不确定度)	740	附录 E 国内现行泵试验标准目录	806
三、由系统效应导致的标准不确定度 (系统标准不确定度)	740	附录 F 国外泵试验标准目录	809
四、合成标准不确定度及总不确定度	746	附录 G 我国部分城市海拔及大气 压力值	812
参考文献	749		
附录	750		

第一篇 基础知识

第一章 水力学基础知识

第一节 液体的主要物理性质

凡是不能像固体那样保持一定形状的物体都称为流体。流体包括两种，气体和液体。流体都是由大量的、不断地做热运动而且无固定平衡位置的分子组成的，其基本特征就是无一定形状和具有流动性，这是流体的共性，它们不同的地方在于液体是不可压缩的，在容器里形成一定的自由表面；而气体是可以压缩的，不能形成自由表面。在日常生活及工作中接触最多的流体就是大气和水。尤其是水，它是泵测试中重要的工作介质，在泵的测试中将会在压力、流量测量及试验装置设计等一系列问题上涉及水及水力学方面的问题。水力学是一门研究液体机械运动规律及其应用的科学，也是泵及其测试技术领域中的重要专业基础知识。作为泵的测试工作者应当了解水力学方面的有关内容。在此，首先介绍液体的主要物理性质。液体的主要物理性质有：密度、黏滞性、压缩性与膨胀性、表面张力特性、汽化压力特性等。

一、液体的密度

单位体积内所含液体的质量称为密度，以符号 ρ 表示。体积为 V ，质量为 m 的均质液体的密度可表示为

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

式中， ρ 为液体的密度 (kg/m^3)； m 为液体的质量 (kg)； V 为液体的体积 (m^3)。

密度的国际单位制单位 (SI 单位) 是千克每立方米 (kg/m^3)。

影响液体密度的因素有两方面：一方面是液体的种类，另一方面是温度和压力。

密度是流体的一种天然属性，它随流体的种类不同而不同，如在一个标准大气压 (1atm) 下，水的密度 (4°C) 是 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ，空气的密度 (0°C) 是 $1.293\text{kg}/\text{m}^3$ ，水的密度是空气密度的 773 倍。由此可见，液体的密度比气体大得多，因此当液体与气体共同存在同一容器或管道中时，气体的质量往往可以忽略不计。

液体的密度随压力和温度的变化而变化，这是因为当温度和压力变化时，液体的体积就要发生变化。但液体的密度随压力和温度变化很小，一般情况下，当压力与温度变化不大时，液体的密度可视为定值，如水的密度为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ，水银的密度为 $13600\text{kg}/\text{m}^3$ 。水的密度见附录 A。

过去在谈到液体的物理性质时还曾有“重度”一词的概念，即单位体积内所含液体的重量，用 γ 表示。即

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

现在由于“重量”这个单位不属于国际单位制，而不再采用。所以与“重量”有关的名词术语也都不再使用，如比重、重度等。现在比重用相对密度代替，即

$$d = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

而重度用 ρg 代替。从物理学可知，则

$$W = mg$$

等式两边同时除以 V ，即得

$$\gamma = \rho g$$

式中， γ 为重度 (N/m^3)。

二、液体的黏滞性

液体在流动时，由于液体分子之间的内聚力作用，会造成分子之间的相对运动，并形成内摩擦力。这种由于液体相对运动产生的内摩擦力以抵抗其运动的性质称之为黏滞性，也称为黏度。黏滞性是用来度量流体内摩擦力大小的参数。由黏滞性试验可知

$$F_v = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-2)$$

式中， F_v 为体的内摩擦力 (N)； A 为流层间的接触面积 (m^2)； du/dy 为液体的流速梯度 ($1/\text{s}$)； μ 为动力黏度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。

由式 (1-2) 可知，液体的内摩擦力 F_v 的大小与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比，与接触面积 A 成正比，还与液体的种类、温度有关。

式 (1-2) 称为牛顿内摩擦定律，式中的比例系数 μ 称为动力黏度，也称动力黏度系数，它是表征液体种类及其温度的一个比例常数。其单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕秒)。动力黏度是液体黏滞性的度量， μ 值越大，液体越黏，流动性越差。

液体的黏滞性是温度和压力的函数，即液体的黏滞性与温度和压力有关，黏滞性随温度的上升而减小，随温度的下降而增大。压力的变化对黏滞性的影响较小。

液体的黏滞性还可以用运动黏度 ν 表示，运动黏度 ν 是动力黏度与密度的比值，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-3)$$

运动黏度 ν 也称运动黏度系数，SI 单位是 m^2/s (平方米每秒)。它没有什么特殊的物理意义。不同温度下水的运动黏度见表 A-1。

液体的黏度共有三种表示形式，除了上述的动力黏度和运动黏度外还有恩氏黏度。动力黏度和运动黏度被称为绝对黏度，恩氏黏度被称为相对黏度。所谓恩氏黏度 ($^{\circ}\text{E}$)，即在一定条件下 200mL 待测液体流出管嘴的时间 t ，与 20℃ 条件下同体积蒸馏水流出管嘴的时间 t_0 之比，即

$$^{\circ}E = \frac{t}{t_0}$$

由于动力黏度和运动黏度难以直接测量，通常仅用于理论分析和计算。恩氏黏度是用恩氏黏度计直接测量的液体相对黏度（ $^{\circ}E$ ）。恩氏黏度 $^{\circ}E$ 与运动黏度 ν 之间没有直接的函数换算关系，可根据经验公式换算成运动黏度。即

$$\nu = 0.0731^{\circ}E - 0.0631/^{\circ}E$$

式中， ν 为液体的运动黏度（St）， $1\text{St} = 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$ ， $1\text{cSt} = 10^{-2}\text{St} = 10^{-6}\text{m}^2/\text{s} = 1\text{mm}^2/\text{s}$ 。

凡是黏滞性服从牛顿内摩擦定律的流体称为牛顿流体；否则，称为非牛顿流体。黏滞性往往给液体运动规律的研究带来困难，为了简化理论分析，特引入理想液体，或无黏滞性液体的概念。理想液体是指黏度为零的液体。虽然理想液体实际上是不存在的，但正是因为用了理想液体的概念，才找到了液体的运动基本规律。理想液体的假设是水力学中最重要的假设之一，它只是一种对物性简化的力学模型。用以分析与研究流体平衡与运动规律，在实际使用时，对没有考虑黏滞性所产生的偏差再进行修正，这是工程流体力学最常用的一种方法。

三、液体的压缩性与膨胀性

在一定温度下，当作用于液体上的压力增加时，液体的体积将会缩小，密度将会增大。这一特性称为液体的压缩性。液体的压缩性大小用压缩系数来表示。压缩系数是指当温度不变时，液体的体积随压力变化而发生的相对变化率，用 κ 表示。即

$$\kappa = -\frac{dV/V}{dp} \quad (1-4)$$

式中， κ 为液体的体积压缩系数（ Pa^{-1} ）。

式（1-4）中的负号表示 dV 与 dp 的变化方向相反，即压力增加时，体积缩小。

液体的膨胀性是指当压力一定时，液体的温度升高，体积将会增大，这一特性称为液体的膨胀性。用膨胀系数 α_V 表示，即

$$\alpha_V = \frac{dV/V}{dT} \quad (1-5)$$

式中， α_V 为膨胀系数（ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 或 K^{-1} ）。

水的体积膨胀系数见附表 A-5。通常情况下，水的压缩性和膨胀性都很小，可忽略不计，因此水被视为不可压缩液体。

四、液体的表面张力特性

表面张力是液体表面在分子作用球半径薄层内的分子由于两侧分子引力不平衡在表层沿表面方向所产生的拉力。表面张力的大小用液体表面上单位长度所受的拉力，即表面张力系数 α 来表示，单位为 N/m 。由于表面张力很小，水力学中一般不予考虑，但在有些情况下，如在泵试验中使用液柱压力计测量压力时，由于表面张力作用所引起的毛细现象就应当尽量避免。图 1-1 所示为以水为例的毛细现象及液柱

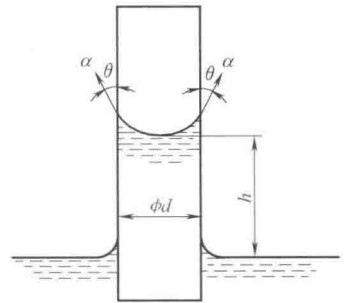


图 1-1 以水为例的毛细现象及液柱上升高度

上升高度。水的表面张力见表 A-5。

图 1-1 中表面张力 α 拉液体向上，直到表面张力在垂直方向上的分力与升高液柱的重力相等时液柱就平衡下来。设 d 为管径， ρ 为密度， θ 为液柱与玻璃的接触角， h 为液柱上升高度，则管壁圆周上总表面张力在垂直方向的分力（向上）为

$$\pi d \alpha \cos \theta$$

上升液柱重力（向下）为

$$\rho g \frac{\pi}{4} d^2 h$$

由此可得

$$\begin{aligned} \pi d \alpha \cos \theta &= \rho g \frac{\pi}{4} d^2 h \\ h &= \frac{4 \alpha \cos \theta}{\rho g d} \end{aligned} \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 可知，液柱上升高度与管径成反比，并与液体种类及管子材料有关。为了尽量减少由于毛细现象给使用液柱压力计时带来的偏差，在泵试验标准中明确规定液柱压力计的管径：对于水银压力计至少应为 8mm，对于水或其他液体压力计至少应为 12mm，且应保持压力计中的液体和管子内表面的洁净。

五、液体的汽化压力特性

液体分子逸出液面向空间扩散的过程称为汽化，液体汽化为蒸汽。汽化的逆过程称为凝结，蒸汽凝结为液体。在液体的表面，汽化与凝结同时存在，当这两个过程达到动平衡时，宏观的汽化现象停止。此时该液体的蒸汽称为饱和蒸汽，饱和蒸汽所产生的压力称为饱和蒸汽压或汽化压力。液体的汽化压力与温度有关，当温度一定时，液体的某处压力低于汽化压力时，就会发生汽化。这一特性是泵发生汽蚀现象的基础。

水的饱和蒸汽压见附表 A-1。在水温为 20℃ 时，水的饱和蒸汽压（汽化压力）为 2.334kPa。

第二节 水静力学基本方程

水静力学是研究液体在静止或相对静止状态下的力学规律及其应用。水静力学基本方程是表示静止液体在重力作用下压力分布规律的表达式，它是建立在水深概念之上，以液体表面压力为参照点的水静压力分布规律的表达式。

液体在静止时，因为没有相对运动，所以没有内摩擦力，黏性显示不出来，液体只存在压应力——压强。压强是指单位面积上所受的力，在工程实践中一般称为压力。静止液体中的压强，简称静水压强或水静压力。水静压力具有两个特性：①水静压力的方向与作用面的内法线方向一致，或者说静止液体中某一点的压力垂直并指向作用面；②静止液体中任一点水静压力的大小与作用面的方位无关。如在泵试验中测量某点压力只需确定该点位置即可，不必选择方向。

一、水静力学基本方程

水静力学基本方程为