

图书在版编目(CIP)数据

大学化学实验. 基础化学实验Ⅱ / 兰州大学化学化工学院编著. —兰州: 兰州大学出版社, 2004. 8
ISBN 7-311-02458-7

I. 大... II. 兰... III. 化学实验—高等学校—教材 IV. 06-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 082459 号

大学化学实验——基础化学实验Ⅱ

兰州大学化学化工学院 编著

兰州大学出版社出版发行

兰州市天水路 308 号 电话: 8912613 邮编: 730000

E-mail: press@cnbook.com.cn

<http://www.cnbook.com.cn>

兰州大学出版社激光照排中心照排

兰州新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 24.5

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

字数: 560 千字 印数: 1-1000 册

ISBN7-311-02458-7/O·179 全套定价: 100.00 元

前 言

化学是一门实验科学，化学中的规则定律、理论学说都源于实验，同时又为实验所检验。虽然近几十年化学的发展，其理论起了十分重要的作用，但还是可以说，没有实验就没有化学。因此，化学实验在培养未来化学工作者的大学本科教育中，占有特别重要的地位。

化学实验课按无机化学、分析化学、有机化学、物理化学、结构化学、仪器分析、专业方向与理论课相匹配依次单独开设，在历史上对化学学科和教育的发展起过重要作用。但随着知识快速更新，科学技术交叉发展，实验和理论可能发展到并重地位，以验证化学原理和训练单科实验技能为主的旧的化学实验体系与内容已不适宜形势，必须进行改革，应当建立以提高学生综合素质和创新能力为主的新体系和新内容。

1985年以来，兰州大学化学系作为参加和负责单位之一，先后参加了由浙江大学、北京大学、南京大学、清华大学等十所高校承担的“大学基础化学实验课程系统改革的研究与实践”的教学改革课题。十多年来，我们经过小改、中改模式，在不断总结成功经验和改进不足的基础上，于1998年又提出了将大学化学实验教学转为“体系重组、增新减旧、融会贯通、综合提高、资源共享”大改模式的改革思路，将原在二级学科单独设置的实验课全部合并重组为基础化学实验I、基础化学实验II和综合化学实验三门课。同时提出了在此三门实验课的框架内，增设一个穿插性的开放、创新教学实验室。基础化学实验I开设基础性强的实验，一个或几个教学班可同时使用同类实验装置，如无机、有机、分析在内的化学实验基本操作技能训练，各类化合物的合成及初步表征，经典的化学分析技术训练和小型综合开放实验，在一、二学年开设。基础化学实验II因所需仪器设备有限，一个教学班也不能同时进行，而需引进大循环排课模式的实验，如物化、仪器分析、高分子、化工、生化等，在三学年开设。综合化学实验开设涉及化学各学科，即将化学作为一级学科来开设实验，融综合性、设计性、先进性于一体的实验，四学年开设。开放、创新教学实验室的开放实验环节主要面对那些学有余力、对化学实验兴趣浓厚的学生，由学生在现有的基础化学实验内容范围内自选项目、自约实验时间，在计划学时以外的时间开设；创新实验环节则偏重于对化学科学极具探索精神、创新动力萌发较早的学生，其中包括基地班的学生，适当利用计划学时并结合计划外的时间开设，实验项目以自主探索性、研究性为主，对二年级以上学生开设。开设实验课的这种开设层次与化学理论课的学习进度能较好地吻合，也符合学生学习实验知识和技能的教学规律。为适应上述实验教学的改革，编写了本教材。

本教材共分五册：《大学化学实验——基本知识与技术》、《大学化学实验——基础化学实验 I》、《大学化学实验——基础化学实验 II》、《大学化学实验——综合化学实验》和《大学化学实验——附录》。

《大学化学实验——基础化学实验 II》分为五章，第一章为物理化学实验，第二章为仪器分析实验，第三章为化工原理实验，第四章为生物化学实验及高分子合成，第五章为计算机化学实验。物理化学实验部分包括化学热力学、电化学、动力学、表面及胶体化学和结构化学与物性测定；仪器分析部分包括原子光谱分析法、分子光谱分析法、核磁共振分析法、质谱分析法、X-射线分析法、电化学分析法、分离与分析技术等；化工原理实验部分包括流体力学实验、传热实验、传导实验、反应工程实验；高分子合成部分包括几种常见的高分子化合物的合成；计算机化学实验部分包括分子模型软件 Hyperchem 及线性拟合实验。

基础化学实验 II 是按照教育部化学与化工教学指导委员会所制定的相关专业教学基本内容文件编写的。在“淡化二级学科专业概念、强化一级学科实验基础”的改革理念下，力争保证“基本教学内容”中规定的相关实验质量。同时考虑到我院化学专业办学历史较早、在国内外有一定影响、目前已发展成为理工兼容并存格局的现状，在更高标准上适当增加了一些与新理论、新仪器、新技术有关的前瞻性、应用型、理工通用性实验；在教材的编写上，既考虑与目前理论教材的衔接，又考虑本套教材的相对独立性；既考虑本套教材的系统性，又考虑各册的特殊性。克服了以前部分内容在不同实验课（如物化实验、化工实验、仪器分析实验、计算机化学实验等）中零散、重复的弊端，使之更加系统、规范和有条理，更有利于学生全面掌握理解、融会贯通、灵活应用及学生素质的全面培养。

参与《基础化学实验 II》编写的教师有朱超、何疆、王春明、常希俊、刘惠涛、张原、黄永忠、宁悦、丁生龙、屈学敏、陈兴国、张海霞、陈阳、王守玉、阎肖华、常彦龙、曹小平、刘兴好、刘满仓、贾学庆等，由何疆统稿，吴集贵教授审订。王春明、唐宁、吴集贵教授前期提出了与本教材有关的整体编写思路。

限于编者学术水平和经验，书中难免存在错误与不妥之处，惠请有关专家和读者批评指正。

编者

2004年5月

目 录

第一章 物理化学实验	(1)
第一节 化学热力学	(1)
实验1.1.1 恒温装置	(1)
实验1.1.2 中和热测定	
选做设计性实验—弱酸弱碱电离热的测定	(5)
实验1.1.3 燃烧热的测定	(13)
实验1.1.4 溶解度的测定	(17)
实验1.1.5 差热分析	(20)
实验1.1.6 液体饱和蒸气压的测定	(26)
实验1.1.7 凝固点降低法测摩尔质量	(31)
实验1.1.8 分解反应平衡常数的测定	(37)
实验1.1.9 偏摩尔体积的测定	(42)
实验1.1.10 分配系数及平衡常数测定	(46)
实验1.1.11 无限稀活度系数的测定	(49)
实验1.1.12 双液系气—液平衡相图	(55)
实验1.1.13 合金相图	(59)
实验1.1.14 DTA法绘制二元体系固液平衡相图	(65)
实验1.1.15 二元体系的相互溶解度	(68)
实验1.1.16 三元体系的相互溶解度	(70)
第二节 电化学	(73)
实验1.2.1 交流电桥法测电解质溶液的电导	(74)
实验1.2.2 原电池电动势的测定	(80)
实验1.2.3 原电池势力学	(85)
实验1.2.4 电动势法测活度系数	(87)
实验1.2.5 镍在硫酸溶液中的钝化	(92)
第三节 动力学	(96)
实验1.3.1 $S_2O_8^{2-}$ 与 I^- 反应动力学(碘钟反应)	(96)
实验1.3.2 蔗糖转化反应	
选做设计性实验—旋光法测定蔗糖转化反应的动力学数据 ...	(101)

实验1.3.3	乙酸乙酯皂化反应	(106)
实验1.3.4	丙酮碘化反应动力学(设计实验)	(110)
实验1.3.5	酵母酶催化反应 K_M 和 r_{om} 测定	(114)
第四节	表面及胶体化学	(117)
实验1.4.1	溶胶的制备和性质	(117)
实验1.4.2	胶体体系电性质的研究—电泳	(121)
实验1.4.3	最大气泡压力法测定溶液表面张力	(124)
实验1.4.4	乳状液	(128)
实验1.4.5	气相色谱法测定固体表面的吸附热	(131)
实验1.4.6	表面活性剂临界胶束浓度(CMC)的测定	(136)
实验1.4.7	粘度法测定高聚物相对分子质量	(137)
第五节	实验化学与物性测定	(141)
实验1.5.1	摩尔折射度的测定	(141)
实验1.5.2	磁化率的测定	(144)
实验1.5.3	偶极矩的测定	(148)
实验1.5.4	粘度的测定	(152)
第二章	仪器分析	(156)
第一节	原子发射光谱分析法	(156)
实验2.1.1	矿物样品的发射光谱定性分析	(156)
实验2.1.2	泥沙样品的发射光谱半定量分析	(158)
实验2.1.3	感光板乳剂特性曲线的制作和应用	(160)
实验2.1.4	电感耦合等离子体原子发射光谱测定钢样中的Mn、Ni、Cu杂质元素	(163)
实验2.1.5	ICP—AES测定矿样中Cr、V、Ti等痕量元素	(165)
第二节	原子吸收与原子荧光光谱分析法	(166)
实验2.2.1	原子吸收光谱分析法测量条件的选择	(166)
实验2.2.2	火焰光度法测定在然水中钙、镁	(168)
实验2.2.3	火焰原子吸收光谱法测定人发中的锌	(171)
实验2.2.4	石墨炉原子吸收光谱法测定汽油中微量铅	(173)
实验2.2.5	石墨炉原子吸收光谱法测定牛奶中的微量铜	(176)
实验2.2.6	原子荧光光谱法测定血清中的镁	(177)
实验2.2.7	冷原子荧光法测定废水中痕量汞	(179)
实验2.2.8	双道原子荧光光度计测定水中的砷、硒	(180)

实验2.2.9 氢化物—原子荧光法光谱法测定铁矿中砷、锑	(182)
第三节 紫外—可见分光光度法	(184)
实验2.3.1 有机化合物的吸收光谱及溶剂效应	(184)
实验2.3.2 紫外吸收法测定苯甲酸、山梨酸和未知物	(187)
实验2.3.3 三氯苯酚存在时苯酚含量的紫外分光光度法测定	(188)
实验2.3.4 双波长分光光度法测定间苯二甲酸中的对苯二甲酸	(190)
实验2.3.5 双波长分光光度法同时测定锰和镍	(193)
实验2.3.6 邻-羟基苯甲酸甲酯水解反应的动力学测定	(195)
第四节 红外光谱法	(199)
实验2.4.1 红外光谱法测定未知化合物的主要结构	(199)
实验2.4.2 间、对二甲苯的红外吸收光谱定量分析	(201)
实验2.4.3 用红外光谱法测定包装薄膜中醋酸乙烯的含量	(204)
第五节 核磁共振波谱法	(206)
实验2.5.1 用 ¹ H-NMR鉴定化合物中典型的氢质子	(206)
实验2.5.2 核磁共振法测定有机化合物分子结构	(207)
实验2.5.3 核磁共振波谱法研究乙酰丙酮的互变异构现象	(210)
第六节 质谱法	(212)
实验2.6.1 质谱法测定同位素组成及有机物的结构	(212)
实验2.6.2 色谱_质谱联用法分离和鉴定川桂皮化学组成	(215)
第七节 分子发光分析法	(219)
实验2.7.1 荧光分光光度法测定维生素C的含量	(219)
实验2.7.2 荧光分析法测定血清中的镁	(222)
实验2.7.3 同步荧光法同时测定荧光黄、罗丹明6G和罗丹明B	(223)
实验2.7.4 荧光分析法测定邻-羟基苯甲酸和间-羟基苯甲酸混合物二组 分的含量	(225)
实验2.7.5 奎宁的荧光特性和含量测定	(227)
实验2.7.6 痕量钴的化学发光法测定	(229)
实验2.7.7 化学发光法测定鞣革废液中的三价铬及六价铬	(231)
第八节 X射线分析法	(234)
实验2.8.1 X射线荧光光谱法测定炼钢炉渣中的镁、铝、硅、钛、磷	(234)
实验2.8.2 X射线荧光光谱法测定土壤中微量钒、钛	(235)
实验2.8.3 X射线荧光光谱法—定性分析	(237)
实验2.8.4 X射线衍射光谱法—多晶体物相分析	(239)

第九节 电化学分析法	(241)
2.9.1 直接电导法测定去离子水的纯度	(241)
2.9.2 电导滴定法在混合酸分析中的应用	(242)
2.9.3 工业废水中氟的离子选择性电极测定	(243)
2.9.4 酱油中氯离子的电位测定法测定	(245)
2.9.5 电重量分析法测定铜	(247)
2.9.6 库仑滴定法测定西药中抗坏血酸的含量	(248)
2.9.7 $K_3Fe(CN)_6/K_4Fe(CN)_6$ 的循环伏安法	(250)
2.9.8 Sb(III)于银电极上的循环伏安法	(252)
2.9.9 对-氨基苯酚、苯酚的循环伏安法	(254)
2.9.10 单扫描示波极谱法测定矿石中的铜	(256)
2.9.11 铈于银电极上的欠电位沉积方波阳极溶出伏安法测定	(258)
第十节 分离及分析技术	(260)
实验2.10.1 正乙烷 正庚烷 正丁醇混合物的分离测定	(260)
实验2.10.2 环境水中苯系物(苯,甲苯,邻二甲苯,间二甲苯,对二甲苯,乙苯) 的分离及甲苯,对二甲苯的含量测定	(263)
实验2.10.3 中药秦艽中龙胆苦苷含量的测定	(264)
实验2.10.4 饮料中添加剂苯甲酸钠、山梨酸钾、糖精钠的测定	(265)
实验2.10.5 天然矿泉水中 F^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的测定	(268)
实验2.10.6 饮用水中 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 的测定	(270)
实验2.10.7 薄层色谱法定量普鲁卡因和硝基卡因	(271)
实验2.10.8 薄层色谱法定性测定碱金属和碱土金属的氯化物	(273)
实验2.10.9 毛细管电泳分离测定邻位卤代苯甲酸	(274)
实验2.10.10 毛细管电泳-激光诱导荧光分离检测氨基酸	(277)
实验2.10.11 流动注射分光光度法测定钢铁中铬的含量	(278)
实验2.10.12 微波流动注射快速测定药物中维生素C的含量	(281)
第三章 化学原理实验	(284)
第一节 流体力学实验	(284)
3.1.1 流动流体之机械能转换测定	(284)
3.1.2 流体流动阻力的测定	(288)
3.1.3 离心泵性能的测定	(292)
第二节 传热实验	(295)
3.2.1 换热器传热系数的测定	(295)

3.2.2	沸腾传热及无相变传热中对流传热系数的测定	(299)
第三节	传导实验	(303)
3.3.1	填料吸收塔吸收系数的测定	(303)
3.3.2	精馏塔的操作与塔效率的测定	(309)
3.3.3	板式塔流动特性实验	(312)
3.3.4	干燥曲线和干燥速率曲线的测定	(318)
3.3.5	液—液萃取塔的操作	(320)
第四节	反应工程实验	(325)
3.4.1	脉冲响应法测定非均相反应器的停留时间分布	(325)
3.4.2	脉冲法测定连续搅拌釜停留时间分布	(328)
3.4.3	固体流态化的流动特性实验	(333)
3.4.4	串联连续搅拌釜反应器转化率的测定	(339)
第四章	生物化学实验及高分子合	(343)
第一节	生物化学实验	(343)
实验4.1.1	血清蛋白醋酸纤维素薄膜电泳	(343)
实验4.1.2	甲基丙烯酸甲酯的本体聚合	(349)
第二节	高分子合成	(353)
实验4.2.1	乙酸乙烯酯溶聚合及高分子官能团反应	(353)
实验4.2.2	甲基丙烯酸甲酯的本体聚合	(353)
实验4.2.3	环己内酰胺阴离子开环聚合—Mc尼龙-6的制备	(356)
实验4.2.4	ϵ -己内酰胺的开环聚合	(358)
第五章	计算机化学实验	(359)
实验5.1	分子模型软件Hyperchem的使用	(359)
实验5.2	线性拟合	(375)

第三章 化工原理实验

第一节 流体力学实验

实验 3.1.1 流动流体之机械能转换测定

实验目的

1. 学习、掌握流动流体各种形式机械能相互转换的测定方法；
2. 以实验证实不可压缩流体的柏努利方程。

实验任务

测定不可压缩流体在静止及不同流速条件下各种形式机械能的相互转换。

实验原理

不可压缩流体在管道或明渠中作稳定流动时,单位质量流体在与流动方向垂直的不同截面间的总能量是由各种形式的能量所组成的,且不同形式的能量可相互转换,其转换规律可用机械能衡算基本方程表达。机械能衡算基本方程可表示如下:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \sum h_f \quad (\text{m 液柱}) \quad (3.1-1)$$

此式即为著名的柏努利方程。

式中: Z — 流体位压头

$\frac{P}{\rho g}$ — 流体静压头

$\frac{u^2}{2g}$ — 流体动压头

$\sum h_f$ — 流体在流动系统内因阻力造成的压头损失

下标 1 与 2 为和流体流动方向垂直的两个截面。

应当注意,式中 Z 、 $\frac{P}{\rho g}$ 、 $\frac{u^2}{2g}$ 与 $\sum h_f$ 是有区别的,前三项是在某截面上流体本身所有的

能量,而 $\sum h_f$ 则是指流体在两截面之间流动时由于流体内摩擦及流体与管壁相互摩擦所损耗的能量。

如果两截面间流体处于静止状态,则 $u = 0$,因此,自然没有阻力,即 $\sum h_f = 0$,于是式(3.1-1)变成

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \quad (3.1-2)$$

上式与流体静力学基本方程无异。由此可见,柏努利方程式除表示流体流动的规律外,还表示了流体静止状态的规律,亦即流体静止状态只不过是流动状态的一种特殊形式。

当流体在管内流动时,若管内某一局部有障碍物(如测压管)存在,流体以流速 u 向测压管口流动,当流体到达测压管口时,因管内已充满了静止不动的流体,故管口处流体流速可取为零,即流体的动压头转变为静压头了,所以在测压管口处测得的压头为流体的动压头与静压头之和,称为冲压头 h_r ,亦即 $h_r = \frac{P}{\rho g} + \frac{u^2}{2g}$ 。本实验每处测压管所测定的即为该截面处流体的冲压头。

实验装置及流程

本实验装置如图 3.1—1 所示,主要是由实验导管、稳压溢流水槽和三对测压管所组成。

实验导管为一水平的变径圆管,沿程分三处设置测压管,每处测压管由一对并列的测压管组成,分别测量该截面处流体的静压头和冲压头。

流体由稳压水槽流入实验导管,途经内径分别为 16、25 及 16mm 的管子,最后排出设备。流体流量由出口阀调节。流体流量需直接测定单位时间内流过的流体体积来确定。

实验方法

1. 实验前缓慢打开进水阀,使水充满稳压溢流水槽,并保持有适量溢流水流出,令槽内液位保持不变;
2. 排除实验系统内空气;
3. 关闭实验导管出口调节阀,观察并测量流体处于静止状态下各测压点(A、B 和 C 点)的压头,即测压管内静压头与冲压头的水位高度;
4. 缓慢开启实验导管的出口调节阀,定性地观察比较流体在流动情况下各测压点的压头变化;
5. 缓慢开启实验导管出口调节阀,测定流体在不同流量下各测压点的静压头和冲压头。

实验过程中须注意几点:

(1) 实验前一定要将实验导管和测压管中的空气排除干净,否则会干扰实验结果和测量准确性;

(2) 开启进口阀向稳压水槽注水,或开关实验导管出口调节阀时,一定要缓慢地调节开启程度,并随时注意设备内变化情况;

(3) 实验过程中需根据测压管量程范围确定最小和最大流量。

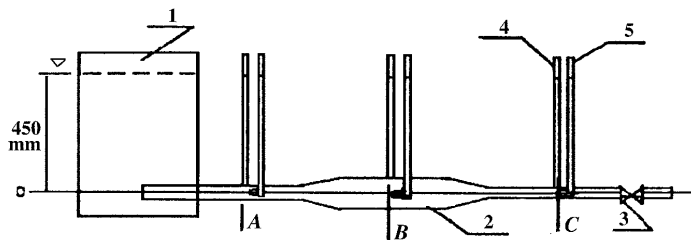


图 3.1—1 流动流体之机械能转换测定实验装置流程图

1. 稳压水槽 2. 试验导管 3. 出口调节阀 4. 静压头测量管 5. 冲压头测量管

实验记录及数据处理

1. 非流动体系机械能分布及转换

(1) 实验数据记录

水温 $T(^{\circ}\text{C})$	密度 $P(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	各测压点的静压头		
		$\frac{P_A}{\rho g}$ /mmH ₂ O	$\frac{P_B}{\rho g}$ /mmH ₂ O	$\frac{P_C}{\rho g}$ /mmH ₂ O

(2) 验证流体静力学方程

2. 流动体系机械能分布及其转换

(1) 实验数据记录

A 流量

a 测定值 L/s

b 圆整值 m^3/h

B 压头

测压点	压 头 (mmH ₂ O)	
	静压头	冲压头
A		
B		
C		

(2) 数据处理

A 压头损失的计算

根据柏努利方程：

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \sum h_f$$

∵ 测压点处于水平位置 ∴ $Z_1 = Z_2$,上式则变成

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \sum h_f$$

由此得

$$\sum h_f = \left(\frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} \right) = h_{r1} - h_{r2}$$

∵ 稳压溢流水槽液位高度即为总压头,亦即流速为零时各测压管液位高度,据此可得诸段压头损失各为

a. $h_f(1 \sim A)$:

点 1 ~ 点 A 压头损失 = u 为零时点 A 处测压管液柱高度 - 某测定流量下测压管 A 的冲压头液柱高度

b. $h_f(1 \sim B)$:

点 1 ~ 点 B 压头损失 = u 为零时点 B 处测压管液柱高度 - 某测定流量下测压管 B 的冲压头液柱高度

c. $h_f(1 \sim C)$:

点 1 ~ 点 C 压头损失 = u 为零时点 C 处测压管液柱高度 - 某测定流量下测压管 C 的冲压头液柱高度

B. 动压头实验值的计算

根据 $h_r = \frac{P}{\rho g} + \frac{u^2}{2g}$ 求出各测压点动压头的实验值。

C. 动压头计算值的求算

根据 $u^2 / 2g$ 求出各测压点动压头的计算值

D. 动压头实验值与计算值的偏差

用下式计算实验值与计算值的偏差

$$\text{偏差 \%} = \frac{(\text{实验值} - \text{计算值})}{\text{实验值}} \%$$

思考题

1. 实验中产生误差的主要原因是什么?如何使误差最小?
2. 本实验中验证柏努利方程守恒的方法是什么?
3. 在本实验中,有时会出现冲压头小于静压头的情况,原因是什么?

实验 3.1.2 流体流动阻力的测定

实验目的

1. 学习掌握流体流动阻力、管子摩擦系数、管件阻力系数的测定方法,了解它们的变化规律,巩固对流体流动阻力基本理论的认识。
2. 掌握有关压差计、流量计的使用方法。

实验任务

1. 测定流体流经直管时的摩擦系数与雷诺准数的关系；
2. 测定 90° 标准弯头的阻力系数；
3. 测定截止阀及闸阀全开时的阻力系数。

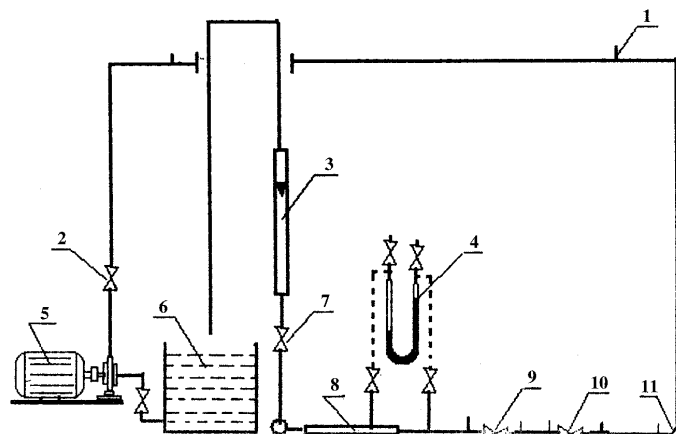


图 3.1—2 阻力实验装置流程

1. 测压口 2. 闸阀 3. 转子流量计 4. 压差计 5. 离心泵 6. 水槽
7. 闸阀 8. 扩大管(dg80) 9. 闸阀(dg32) 10. 截止阀(dg32) 11. 90° 弯头

实验装置(图 3.1—2)

本实验由循环水泵、阀门、弯头及直径为 36mm 的直管组成,备有压差计、转子流量计、水槽等测量设备。

其中,所测直管段阻力的直管长为 3m,直径为 36mm,闸阀 9,截止阀 10,90°弯头等,直径均为 36mm。

实验原理

流体在管内层流时,由于流体具有粘性,在流动时必须克服内摩擦力;当流体处于湍流状态时,流体内部充满了大小涡流,流体质点运动速度和方向都发生改变,质点之间不断相互碰撞引起质点之间动量交换,使之产生湍动阻力。因此流体在流动过程中不可避免地都要消耗一定的机械能。直管造成的流体机械能的损失称为直管阻力损失(或称沿程阻力损失),管件造成的机械能损失称为局部阻力损失。

由柏努利方程可知,不可压缩流体流动阻力造成的能量损失(压头损失),可由管路系统两截面的压力差(压头差)来测定。对同直径的水平直管,柏努利方程可简化为:

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho} (\text{J/kg}) \quad (3.1-3)$$

$$\text{或} \quad H_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} (\text{m 液柱}) \quad (3.1-4)$$

式中: h_f —单位质量流体因流动阻力所造成的能量损失 J/kg;

H_f —单位重量流体因流动阻力所造成的能量损失(m 液柱);

P —流体的压强 Pa 或 N/m^2 ;

ρ —流体密度 kg/m^3 ;

g —重力加速度 9.81m/s^2 。

在流体沿着直管流动的情况下,流体因摩擦力所造成的能量损失或压头损失一般有如下关系式:

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2} (\text{J/kg}) \quad (3.1-5)$$

$$\text{或} \quad H_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} (\text{m 液柱}) \quad (3.1-6)$$

式中: d —直管的管内径 (m);

l —直管的长度 (m);

λ —摩擦系数 (无因次)。

实验研究证明,摩擦系数 λ 与流体的密度 ρ 、粘度 μ 、管径 d 、流速 u 和管壁的粗糙度 ϵ 有关。应用因次分析的方法可以导出摩擦系数 λ 是雷诺数 Re 和相对粗糙度 ϵ/d 的函数,即:

$$\lambda = f(Re \cdot \frac{\epsilon}{d}) \quad (3.1-7)$$

在滞流区,不论是光滑管还是粗糙管, λ 仅与 Re 有关,与 ϵ/d 无关,即,

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (3.1-8)$$

当 Re 准数为 $3 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$ 时,对光滑管或新钢管,可按 *Blasius* 公式计算,即

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (3.1-9)$$

当 Re 为 $3 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$ 时也可按柯纳柯夫公式计算, 即:

$$\lambda = (1.81 \lg Re - 1.5)^{-2} \quad (3.1-10)$$

在完全湍流区($Re > 10^5$)时, λ 与 Re 无关, 仅是 ϵ/d 的函数。对同直径同类型的管子, λ 接近为一常数, 其值可按下式计算:

$$\lambda = (2 \lg \epsilon + 1.74)^{-2} \quad (3.1-11)$$

因管路上装有各种管件、阀门和测量仪表等产生的局部阻力, 其能量损失(或压头损失)的计算可以用两种方法表示, 即当量长度法和局部阻力系数法。若用当量长度法, 仍用式(3.1-6)求管件、阀体的摩擦系数 λ , 不过此时要把式中的直管长度 l 换成当量长度 l_e , 若用阻力系数法, 则可用下式, 即:

$$h'_f = \xi \cdot \frac{u^2}{2} (\text{J/kg}) \quad (3.1-12)$$

$$\text{或} \quad H'_f = \xi \cdot \frac{u^2}{2g} (\text{m 液柱}) \quad (3.1-13)$$

式中: u —连接管件等的直管中流体的平均流速, m/s ;

ξ —局部阻力系数(无因次)。

ξ 值一般由实验测定, 它与 Re 准数、管件阀体的种类、几何形状、结构尺寸有关, 当 Re 准数大到一定值以后, 即与 Re 次数无关。

实验步骤

1. 开泵前先盘车, 检查循环泵及各出口阀门是否正常关闭;
2. 打开控制柜上的电源开关, 启动水泵。
3. 慢慢打开循环泵的出口阀门, 调节水流量, 使转子流量计控制在 $1 \sim 2 \text{m}^3/\text{h}$ 之间;
4. 排气。打开压差计的排气阀门, 排掉直管中的空气, 之后关闭排气阀。按同样的方法依次排掉其他管件中的空气;
5. 关闭循环泵出口阀, 观察各个压差计指示液的液位是否平行, 如不平行, 则说明该压差计中空气未排尽, 继续排气, 直至排尽为止;
6. 打开循环泵出口阀调节流量至 $1 \text{m}^3/\text{h}$ 读数并记录。
7. 调节循环泵出口阀, 使流量分别为 $2, 3, 4, 5, 6 \text{m}^3/\text{h}$ 并分别读出压差计读数并记录。
8. 逐渐关小循环泵阀门, 使流量分别为 $6, 5, 4, 3, 2, 1 \text{m}^3/\text{h}$ 读出压差计读数并记录
9. 关闭离循环泵出口阀门, 关掉电源, 实验结束。

实验记录(供参考)

室温 _____ $^{\circ}\text{C}$ 设备编号 _____
 测量内容 _____ _____ 年 _____ 月 _____ 日

测量管 件名称	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	管长 (m)	管径 (m)	压差计压差()			流量 (m^3/h)	流速 (m/s)	Re	λ
				左	右	ΔR				

数据处理

1. 以下式计算流体流经直管及管件、阀件等所产生的压力降 ΔP

$$\Delta P = gH_f \Delta \rho \quad (\text{Pa}) \quad (3.1-14)$$

式中： H_f — U 形管压差计中指示液柱的高度 (m 指示液柱)；

$\Delta \rho$ —指示液与被测流体水的密度差 (kg/m^3)。

2. 以式(3.1—6)分别计算直管及管件、阀件的摩擦系数 λ 。

补充数据

1. 直管内径 $d_i = 0.036\text{m}$

2. $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000(\text{kg}/\text{m}^3)$, $\rho_{\text{CCl}_4} = 1595(\text{kg}/\text{m}^3)$

$\rho_{\text{Hg}} = 13600(\text{kg}/\text{m}^3)$

3. 管件及阀件的当量长度

名称	$d_i(\text{m})$	$l_e(\text{m})$
截止阀	0.036	14.5
闸阀	0.036	0.8
直角弯头	0.036	1.8
突然扩大	0.036	1.3

思考题

1. 如何选择使用 U 型和倒 U 型压差计？
2. 在什么情况下， U 型压差计中的指示液会被冲出，造成事故？操作中应如何防止？
3. 为什么要排除管路及测压导管中的空气？怎样排除？
4. 本实验中首先必须排除管路中的空气？为什么？

实验 3.1.3 离心泵性能的测定

实验目的

1. 了解离心泵的特性,熟悉离心泵的操作。
2. 学习离心泵特性曲线的测定方法和特性曲线的应用。

实验任务

测定离心泵在一定转速下的特性曲线。

实验装置(图 3.1—3)

本实验用的是 $1\frac{1}{2}B17$ 型离心泵,由三相电动机带动,泵在运行时,水由吸入管吸入泵体,然后泵将水从压出管排出,在泵的吸入口和压出口处,分别装有真空表和压力表,以测量泵进出口处水的压强,泵的出口管线上装有转子流量计,测定水的流量。泵的出口管线上还装有阀门,用来调节水的流量或管内压力。

其中泵进口管直径为 41mm,压力管直径为 36mm。

实验原理

离心泵在一定转速下,离心泵的压头 H 、轴功率 N 及效率 η 均随实际流量 Q 的大小而改变,用水通过实验测出 $H \sim Q$ 、 $N \sim Q$ 及 $\eta \sim Q$ 之间的关系,并以曲线表示之,称为特性曲线,它是确定泵的适宜操作条件和选用离心泵的重要依据。

如果在泵的操作中,测得其流量 Q 、进出口压力和轴功率(泵所消耗的功率),则可求得其特性曲线。

泵的压头为:

$$H = H_1 + H_2 + h_0 + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} \quad (3.1-15)$$

式中: H_1 —泵入口处的真空表读数(表压, mH_2O);

H_2 —泵出口处的压力表读数(表压, mH_2O);

h_0 —压力表和真空表测压接头间的垂直距离(m),本实验 $h_0 = 0.2\text{m}$;

u_1 —吸入管内水的流速(m/s);

u_2 —压出管内水的流速(m/s);

g —重力加速度(9.81m/s^2)。

轴功率 N 是泵从电机接受到的实际功率。

$$N_{\text{轴}}(N_{\text{axis}}) = N_{\text{电}} \cdot \eta_{\text{电}} \cdot \eta_{\text{传}}$$

式中: $N_{\text{电}}$ —电机的输入功率(kw);