



石油高等教育“十二五”规划教材

石油工程专业实验指导书

[第2版]

• 熊青山 谢齐平 欧阳传湘 付美龙 主编 •



中国石油大学出版社

责任编辑：高颖

封面设计：

 WOOL MEDIA • 友一广告传媒

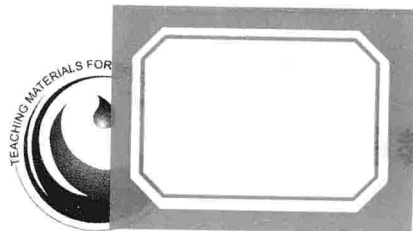
石油工程专业实验指导书

第2版

ISBN 978-7-5636-3832-1



定价：24.00 元



教育“十二五”规划教材

石油工程专业 实验指导书

第2版

主 编 熊青山 谢齐平 欧阳传湘 付美龙

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

石油工程专业实验指导书/熊青山等主编. —2 版.

—东营:中国石油大学出版社,2012.10

ISBN 978-7-5636-3832-1

I. ①石… II. ①熊… III. ①石油工程—实验—教学参考资料 IV. ①TE-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 249916 号

书 名:石油工程专业实验指导书
作 者:熊青山 谢齐平 欧阳传湘 付美龙

责任编辑:高 颖(电话 0532—86981531)

封面设计:青岛友一广告传媒有限公司

出版者:中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址:<http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱:shiyoujiaoyu@126.com

印刷者:青岛双星华信印刷有限公司

发 行 者:中国石油大学出版社(电话 0532—86981532,0532—86983437)

开 本:180 mm×235 mm 印张:14.75 字数:295 千字

版 次:2012 年 10 月第 2 版第 1 次印刷

定 价:24.00 元

第二版前言

本书自2008年出版第一版以来,已3年有余。在这期间,随着高校专业方向的拓展、实验室建设投入的增加以及实验装置设备等的不断发展和更新,有必要补充、删除相应的实验内容,具体如下:

1. 第一部分“工程流体力学”增加了七个实验,分别是:①整体式水箱静水压强量测实验;②10测点能量方程量测实验;③两测管文丘里流量计实验;④基于力矩平衡原理动量方程验证实验;⑤玻璃管沿程水头损失量测实验;⑥阀门局部水头损失实验;⑦单一孔口、管嘴出流实验。此外,在附录部分增加了“多功能流体力学实验仪”、“液位计电测流量”,删除了原有的“各实验装置的管径及系数”。

2. 第四部分“钻井工程”增加了两个实验,分别是:①岩石硬度及塑性系数测定实验;②岩石可钻性测定实验。

3. 第八部分“油田化学”全部为新增实验内容,包括四个实验,分别是:①表面活性剂类型的鉴别;②表面活性剂HLB值的测定;③聚丙烯酰胺的合成与水解;④水基压裂液的配制。

本书第二版由熊青山负责组织修订。各章编写人员如下:第一部分“工程流体力学”实验由熊青山、谢齐平、朱忠喜编写;第二部分“油层物理”实验由汪伟英、周克厚、欧阳传湘、王尤富、李菊花编写;第三部分“渗流力学”实验由欧阳传湘编写;第四部分“钻井工程”实验由楼一珊、熊青山、夏宏南、黄志强编写;第五部分“采油工程”实验由谢齐平、张公社编写;第六部分“完井工程”实验由谢齐平、孙展利编写;第七部分“油气层保护技术”实验由许明标、肖娜编写;第八部分“油田化学”实验由付美龙、刘卫红编写。

在本书的编写过程中,得到了长江大学石油工程学院有关领导的大力支持与帮助,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不当和错误之处,诚请广大读者批评指正。

编者

2012年6月

第一版前言

石油工程专业本科实验包括工程流体力学实验、油层物理实验、渗流力学实验、钻井工程实验、采油工程实验、完井工程实验、油气层保护技术实验等。由于课时的限制,每门课程的实验课时不可能太多,故其所对应的指导书显得极为单薄;与此同时,为了提高实验的教学质量及教学效率,适应实验室及精品课程建设的需要,有必要将这些课程实验进行汇总合编。

《石油工程专业实验指导书》是在原有讲义及多年教学实验经验的基础上,根据石油工程专业教学计划和人才培养要求,吸收国内高校相应实验教材的优点,结合本校仪器设备及教师的教学心得编写而成的适合石油工程专业(或相关专业)学生使用的专业基础课和专业课教材。本书的内容涵盖了教学大纲所要求的全部实验。在编写过程中,始终贯彻理论联系实际,注重实践环节,力求使学生能够认识规律,尽量使学生做到独立操作。全书包括两部分:一是操作实验,使学生掌握操作技能、测量方法,培养他们分析数据、整理实验成果以及编写实验报告的能力;二是演(展)示实验,使学生通过观察各种形式的现象及实物,增强对现象、实物等的认识,加深对基本概念、基本结构、基本工作原理、基本规律、基本理论等的理解。教材内容适合 50 学时。

与原实验教材相比,本指导书有以下几个方面的变化:

1. 内容更加丰富

本指导书是多门专业基础课、专业实验指导书的综合。

2. 阐述更加详细

在原理、步骤等方面,进行了详细的讲解。

3. 公式更加全面

原实验教材中,有些公式直接给出,没有进行推导;而本教材中,对相应的公式进行了详细的推导。

4. 图表重新绘制

原有教材中,某些图模糊不清,线条粗细不分;而本教材中,对图重新进行了绘制。此外,还将某些易产生误解的表格等重新进行了编排。

本书是针对长江大学石油工程专业已有的设备而编写的,但也可作为同类高校

相应实验的教学用书。

本教材由长江大学石油工程学院部分教师集体编写而成。其中,第一部分工程流体力学实验由熊青山、谢齐平、朱忠喜编写;第二部分油层物理实验由汪伟英、周克厚、欧阳传湘、王尤富、李菊花编写;第三部分渗流力学实验由欧阳传湘编写;第四部分钻井工程实验由楼一珊、熊青山、夏宏南、黄志强编写;第五部分采油工程实验由谢齐平、张公社、张志全编写;第六部分完井工程实验由谢齐平、孙展利编写;第七部分油气层保护技术实验由许明标、肖娜编写。

初稿完成后,熊青山对第一部分工程流体力学实验进行了初审,汪伟英对第二部分油层物理实验进行了初审,孙展利、熊青山对第四部分钻井工程实验、第六部分完井工程实验进行了初审,张公社对第五部分采油工程实验进行了初审,许明标、文守成对第七部分油气层保护技术实验进行了初审。

本教材由熊青山、谢齐平、欧阳传湘主编。主编负责起草编写大纲,对相关内容、图形、格式等进行了处理且最后统稿,对经过初审的内容进行最终审查定稿。

在教材编写过程中,石油工程学院院长楼一珊教授给予了精心指导和大力支持,李元凤、宋建平老师提出了许多宝贵意见和建议,在此表示诚挚的感谢!

此外,本书建立在许多老领导、老教师自编教材的基础上,书中也倾注了他们大量的心血,在此向他们一并表示由衷的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不当和错误之处,诚请广大读者多提宝贵意见。

编 者

2008年6月

目 录

Contents

实验目的和要求	1
第一部分 工程流体力学	3
实验一 静水压强量测实验	3
实验二 能量方程实验	14
实验三 文丘里流量计实验	28
实验四 毕托管测速实验	38
实验五 恒定总流动量方程实验	41
实验六 管路沿程水头损失量测实验	49
实验七 管路局部水头损失量测实验	61
实验八 孔口和管嘴出流实验	75
实验九 六速旋转黏度计实验	87
实验十 静水压力传递自动扬水演示实验	94
实验十一 流谱流线显示实验	96
实验十二 水击综合实验	99
实验十三 雷诺实验	101
附录	103
附录 I 多功能流体力学实验仪	103
附录 II 液位计电测流量	105
附录 III 体积法测流量	106
附录 IV 质量法测流量	107
第二部分 油层物理	109
实验一 储层岩石比面的测定	111
实验二 储层岩石孔隙度的测定	114
实验三 储层岩石渗透率的测定	120
实验四 常压干馏法测定岩石中流体饱和度	122

实验五 储层岩石孔隙大小分布的测定	125
第三部分 渗流力学	129
实验一 达西定律验证实验	129
实验二 用电模拟法求附加阻力系数(表皮因子 S)	133
实验三 用电模拟法绘制渗流场图	136
第四部分 钻井工程	141
实验一 钻头结构实验	141
实验二 钻井液流变参数测定实验	152
实验三 钻井液常规性能测定实验	156
实验四 单点照相测斜仪实验	161
实验五 岩石硬度及塑性系数测定	166
实验六 岩石可钻性测定实验	172
第五部分 采油工程	177
实验一 自喷和气举采油原理实验	177
实验二 抽油机原理和泵效测定实验	180
实验三 裂缝导流能力实验	183
第六部分 完井工程	189
实验一 油井水泥浆常规性能测试	189
实验二 水泥浆失重模拟实验	198
第七部分 油气层保护技术	202
实验一 速敏性评价实验	202
实验二 水敏性评价实验	207
实验三 盐敏性评价实验	209
实验四 酸敏性评价实验	212
实验五 碱敏性评价实验	216
实验六 黏土膨胀评价实验	218
第八部分 油田化学	221
实验一 表面活性剂类型的鉴别	221
实验二 表面活性剂 HLB 值的测定	222
实验三 聚丙烯酰胺的合成与水解	224
实验四 水基压裂液的配制	225
参考文献	227

实验目的和要求

一、实验目的

实验的主要目的:一是使学生掌握实验基本方法和技能,从而能够根据所学原理设计实验,正确选择和使用仪器;二是锻炼学生观察现象、正确记录数据和处理数据、分析实验结果的能力,培养严肃认真、实事求是的科学态度和作风;三是验证所学的原理,巩固、加深对相关理论原理的理解,提高学生对知识进行灵活运用能力。

二、实验要求

为了达到上述目的,必须对学生进行正确、严格的基本操作训练,并提出明确的要求。实验过程的基本要求如下:

1. 实验前的准备

(1) 实验前必须充分预习,了解所要做的实验的目的、实验装置,掌握实验所依据的基本理论,明确要求进行测量、记录的数据,了解所用仪器设备的构造和操作规程,认真对待所做的每一个实验。

(2) 各班可以根据实际情况进行分组。实验时,组员之间应相互协作,默契配合,明确分工,小心操作,认真、及时量测、记录、整理、处理数据。

2. 实验过程中的要求

(1) 按要求到指定的实验台,按仪器使用登记本检查核对仪器。

(2) 不了解仪器、设备、装置等的使用方法时,不得乱试;不得擅自拆卸仪器;仪器装置安装好后,必须经过指导教师检查无误后方能进行实验。

(3) 爱惜仪器,不得无故损坏实验室内的任何物品。遇有仪器损坏,应立即报告,检查原因,并登记损坏情况。

(4) 严格按照实验操作规程进行实验,不得随意改动。若确有改动的必要,应事先取得实验指导教师的同意。

(5) 记录数据要求完全、准确、整齐、清楚。所有数据均应记录,不要只记录认为合理的数据;尽量采用表格形式记录数据,注意养成良好的记录习惯。

(6) 充分利用实验时间,观察现象,记录数据,分析和思考问题,提高实验效率。

(7) 在未经允许的情况下,不应进行其他实验。

(8) 实验完毕,将实验原始记录数据交指导教师审查,合格后方能结束实验;如

果不合格,则应分析原因,补做或重做。

(9) 实验完毕后,切断电源,关闭仪器设备,将仪器复位,将实验室打扫干净,最后在仪器使用登记本上写明仪器使用情况并签名,经实验技术人员检查后方可离开实验室。

3. 实验数据的处理和实验报告

(1) 弄清数据处理的原理、方法、步骤及数据应用的单位,仔细地进行计算,正确表达数据结果。处理实验数据应各人独立进行。

(2) 认真撰写实验报告,内容包括:实验目的、实验原理、仪器装置示意图、实验数据、结果处理及分析思考题(讨论)等项。

实验数据尽可能采用表格的形式列出,数据处理和作图应按相关规定进行。讨论内容包括:对实验过程中特殊现象的分析和解释、对实验结果的误差分析、对实验进一步改进的意见和想法,以及实验后的心得和体会等。

实验报告是整个实验非常重要的一项工作,要及时完成。在写报告的过程中要善于思考、钻研问题,耐心计算,书写工整,图表清晰,结果正确,鼓励用计算机独立处理数据并生成实验报告。反对粗枝大叶、错误百出、字迹潦草、敷衍了事等。

第一部分

工程流体力学

实验一 静水压强量测实验

(一) 整体式水箱静水压强量测实验

一、实验目的

- (1) 验证水静力学基本方程 $z + \frac{p}{\gamma} = C$, 加深对水静力学基本方程、位置水头 z 、压强水头 $\frac{p}{\gamma}$ 、测压管水头 $z + \frac{p}{\gamma}$ 物理意义的理解。
- (2) 掌握 U 形管和连通管测压原理。
- (3) 实测静水压强, 掌握静水中任意一点压强的测量方法。
- (4) 观察真空现象, 加深对真空压强(真空度)的理解。
- (5) 能够运用等压面概念分析问题。
- (6) 能测求水箱液面压强 p_0 (包括 $p_0 > p_a$ 和 $p_0 < p_a$ 两种情况, 其中 p_a 为大气压)。
- (7) 能测求未知液体(食盐水、油等)的密度 ρ_x 及相对密度 δ_x 。

二、实验装置

如图 1-1-1、图 1-1-2 所示, 实验装置由以下几部分组成。

- (1) 升降机构: 由调节螺钉 1、滑套 2、滑杆 3 组成。滑套 2 可沿滑杆 3 上下滑动, 通过调节螺钉 1 对滑套进行定位。
- (2) 开口调压筒 4。其顶部与大气连通, 底部通过胶管与密封水箱 5 连通, 其上升和下降可通过升降机构实现。
- (3) 通气夹 6。通气夹 6 打开, 密封水箱 5 的液面与大气相通, 液面气压等于大气压。通气夹 6 关闭, 调节开口调压筒 4, 可实现液面压强低于或高于大气压。

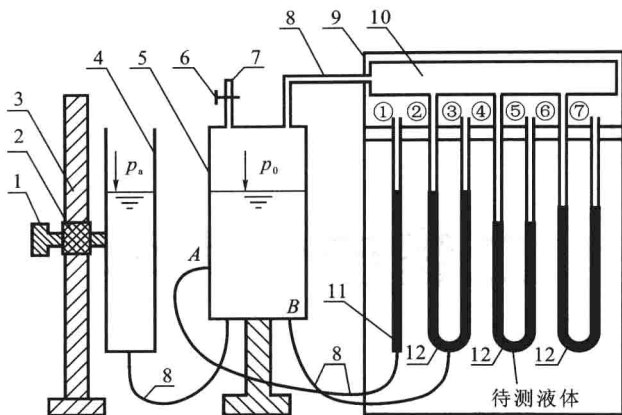


图 1-1-1 静水压强实验装置结构示意图

1—调节螺钉；2—滑套；3—滑杆；4—开口调压筒；5—密封水箱；6—通气夹；7—通气胶管；
8—连接胶管；9—测压排架；10—四通玻璃气管；11—单管压力计；12—U形管

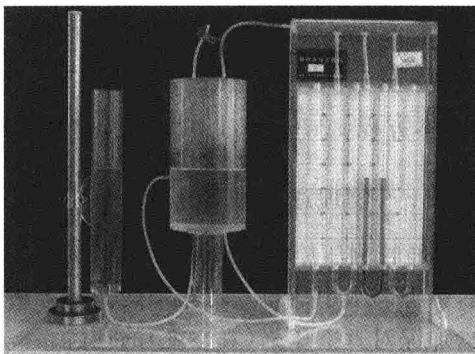


图 1-1-2 静水压强实验装置实物图

(4) 密封水箱 5。圆柱形，由全透明盖板、底板、中空圆柱形玻璃管胶接而成。盖板上开有两个孔，其中一个孔与通气胶管 7 相连，另一个孔与四通玻璃气管 10 相连。底板上也开有两个孔，其中一个孔与开口调压筒 4 的底部相连，另一个孔与测压排架 9 的第一支 U 形管相连。中空圆柱形玻璃管侧壁开有一个孔，与测压排架 9 和单管压力计 11 相连。

(5) 通气胶管 7。与通气夹 6 配合使用，使密封水箱与大气连通或隔开。

(6) 连接胶管 8。起连接作用，使开口调压筒 4、四通玻璃气管 10、测压管与密封水箱 5 相通。

(7) 测压排架 9。该排架上安有 1 支单管压力计，3 支 U 形管测压计，共 7 根管，编号为①~⑦，其中④和⑤组成的 U 形管中液体为待测密度液体，其他管内液体为水。

三、实验原理

(1) 测压管的一端接大气,一端接被测点,利用液体平衡规律,可知连通静止液体区域中任意一点的压强。这就是测压管量测静水压强原理。

(2) 重力场中静止液体的压强分布规律可表示为: $z + \frac{p}{\gamma} = C$ 或 $p_{ab} = p_0 + \gamma h$,即在连通的同种静止液体中,各点对于同一基准面的测压管水头相等。

在做 $p_0 > p_a$ 实验时,测压管①,③的液面高度 $h_{①}, h_{③}$ 分别为:

$$h_{①} = z_A + \frac{p_A}{\gamma} \quad (1-1-1)$$

$$h_{③} = z_B + \frac{p_B}{\gamma} \quad (1-1-2)$$

式中 p_A, p_B ——分别为 A, B 点压强,即测压管①,③中的液面到 A, B 点的垂直水柱高度与水的重度乘积 γh 。

若 $h_{①} = h_{③}$, 则有 $z_A + \frac{p_A}{\gamma} = z_B + \frac{p_B}{\gamma} = \text{常数}$ 。

(3) 位置水头 z 和压强水头 $\frac{p}{\gamma}$ 之间的互相转换,决定了液柱高和压差的对应关系: $\Delta p = \gamma \Delta h$ 。在压差相同的情况下,不同的液体对应不同的液柱高。根据此原理可以测定未知液体的密度。

在做 $p_0 \neq p_a$ 实验时,测压管②,③及⑥,⑦中水的压差 Δp_w 与测压管④,⑤中未知液体的压差 Δp_x 相等,即:

$$\begin{aligned} \Delta p_w = \Delta p_x &= \rho_w g \Delta h_w = \rho_x g \Delta h_x = \rho_w g (h_{②} - h_{③}) \\ &= \rho_x g (h_{④} - h_{⑤}) = \rho_w g (h_{⑥} - h_{⑦}) \end{aligned} \quad (1-1-3)$$

$$\rho_x = \frac{\rho_w (h_{②} - h_{③})}{h_{④} - h_{⑤}} = \frac{\rho_w (h_{⑥} - h_{⑦})}{h_{④} - h_{⑤}} \quad (1-1-4)$$

$$\delta_x = \frac{\rho_x}{\rho_w} = \frac{h_{②} - h_{③}}{h_{④} - h_{⑤}} = \frac{h_{⑥} - h_{⑦}}{h_{④} - h_{⑤}} \quad (1-1-5)$$

式中 ρ_x ——待测液体的密度;

ρ_w ——水的密度;

$h_{②}, h_{③}, h_{④}, h_{⑤}, h_{⑥}, h_{⑦}$ ——分别为测压管②,③,④,⑤,⑥,⑦的液面高度;

δ_x ——待测液体的相对密度。

(4) 液面相对压强 p_0 及绝对压强 p_{ab0} 。

$$\begin{aligned} p_0 &= \rho_w g \Delta h_w = \rho_x g \Delta h_x = \rho_w g (h_{①} - h_{②}) = \rho_w g (h_{③} - h_{④}) \\ &= \rho_x g (h_{⑤} - h_{⑥}) = \rho_w g (h_{⑦} - h_{⑧}) \end{aligned} \quad (1-1-6)$$

$$p_{ab0} = p_0 + p_a \quad (1-1-7)$$

(5) 实验中测任一点相对压强 p_A 及绝对压强 p_{abA}

设任一点 A 点在密封水箱中高程为 h_A , 则 A 点相对压强 p_A 及绝对压强 p_{abA} 分别为:

$$p_A = p_0 + \rho_w g(h_{\text{①}} - h_A) = p_0 + \rho_w g(h_{\text{③}} - h_A) \quad (1-1-8)$$

$$p_{abA} = p_A + p_a \quad (1-1-9)$$

四、实验步骤

(1) 认真阅读实验目的、实验原理及注意事项。

(2) 熟悉仪器, 测记 A 点高程及水的密度等。

(3) 打开密封水箱 5 上的通气夹 6, 使水箱内的液面与大气相通。拧松升降机构上的调节螺钉 1, 将开口调压筒 4 调到适当高度, 再拧紧调节螺钉 1, 固定升降装置, 待水面稳定后, 此时液面压强 $p_0 = p_a$ 。观察测压管 ①, ②, ③ 中的液面位置, 以及开口调压筒 4、密封水箱 5 的液面位置, 以验证等压面原理及水静力学基本方程。

(4) 在通气胶管 7 上夹紧通气夹 6, 拧松升降机构上的调节螺钉 1, 将开口调压筒 4 升至某一高度(首次高度要低些)。由于开口调压筒 4 中的水流至密封水箱 5, 使液面升高, 压缩液面以上的空气, 使空气压强增大, 于是水箱内液面以上气体压强 $p_0 > p_a$ 。观察测压管 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦ 中的液面变化, 并记录它们的液面高程 $h_{\text{①}}, h_{\text{②}}, h_{\text{③}}, h_{\text{④}}, h_{\text{⑤}}, h_{\text{⑥}}, h_{\text{⑦}}$ 。

(5) 拧松升降机构上的调节螺钉 1, 将开口调压筒 4 继续提高, 重复步骤(4)再做两次实验, 并记录测压管 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦ 的液面高程 $h_{\text{①}}, h_{\text{②}}, h_{\text{③}}, h_{\text{④}}, h_{\text{⑤}}, h_{\text{⑥}}, h_{\text{⑦}}$ 。

(6) 拧松升降机构上的调节螺钉 1, 将开口调压筒 4 放置到适当高度, 然后拧紧调节螺钉 1, 固定升降装置。打开密封水箱 5 上的通气夹 6, 使水箱 5 内的液面与大气相通, 待水面稳定后, 观察测压管 ①, ②, ③ 中的液面位置以及开口调压筒 4、密封水箱 5 的液面位置, 再次验证等压面原理及水静力学基本方程。

(7) 在通气胶管 7 上夹紧通气夹 6, 拧松升降机构上的调节螺钉 1, 使开口调压筒 4 缓慢下降到一定的高度(首次下降的高度低些), 再拧紧调节螺钉 1, 固定升降装置。密封水箱 5 的水流至开口调压筒 4 中, 液面降低, 液面空气体积增大, 压强减小, 即水箱内液面压强。观察测压管 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦ 中的液面变化, 并记录它们的液面高程 $h_{\text{①}}, h_{\text{②}}, h_{\text{③}}, h_{\text{④}}, h_{\text{⑤}}, h_{\text{⑥}}, h_{\text{⑦}}$ 。

(8) 将开口调压筒 4 继续降低, 重复步骤(7)再做两次实验, 并记录测压管 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦ 的液面高程 $h_{\text{①}}, h_{\text{②}}, h_{\text{③}}, h_{\text{④}}, h_{\text{⑤}}, h_{\text{⑥}}, h_{\text{⑦}}$ 。

五、注意事项

(1) 首先检查密封水箱 5 是否漏气(检查方法自己考虑)。

(2) 升降开口调压筒 4 后,要用调节螺钉 1 固定升降装置。

(3) 在读取测管读数时,一定要等液面稳定后再读,并注意使视线与凹液面处于同一水平面上。

(4) 读数时,测压管标号和记录表中的高程要相互对应。

六、实验数据记录及处理

1. 有关固定数据

实验装置台号: _____, A 点高程 $h_A =$ _____ cm, 水的密度 $\rho_w = 1.0 \times 10^3$ kg/m³。

注:密封水箱上 A 点高度 h_A 是以测压排架上刻度表零点而量测的数据。

2. 测压管液面高程

实验中记录的测压管液面高程数据填于表 1-1-1 中。

表 1-1-1 测压管液面高程读数

工 况	测 次	$h_{①}$ /cm	$h_{②}$ /cm	$h_{③}$ /cm	$h_{④}$ /cm	$h_{⑤}$ /cm	$h_{⑥}$ /cm	$h_{⑦}$ /cm
$p_0 > p_a$	1							
	2							
	3							
$p_0 < p_a$	1							
	2							
	3							

3. 实验数据处理

实验记录数据处理结果填于表 1-1-2 中。

表 1-1-2 记录数据处理结果

算 序	项 目	单 位	$p_0 > p_a$			$p_0 < p_a$		
			1	2	3	1	2	3
1	$\Delta h_w = h_{①} - h_{②} = h_{③} - h_{②} = h_{⑦} - h_{⑥}$	m						
2	$\Delta h_x = h_{⑤} - h_{④}$	m						
3	$\rho_x = \frac{\rho_w \Delta h_w}{\Delta h_x}$	kg/m ³						
4	$\delta_x = \frac{\rho_x}{\rho_w} = \frac{\Delta h_w}{\Delta h_x}$							
5	$p_{ab0} = p_a + \rho_x g \Delta h_x = p_a + \rho_w g \Delta h_w$	Pa						
6	$p_0 = \rho_x g \Delta h_x = \rho_w g \Delta h_w$	Pa						

续表

算 序	项 目	单 位	$p_0 > p_a$			$p_0 < p_a$		
			1	2	3	1	2	3
7	$p_A = \rho_w g (h_{\text{③}} - h_A)$	Pa						
8	$p_{\text{abA}} = p_a + p_A$	Pa						

七、思考题

(1) 在重力作用下,静止液体压强分布的基本规律是什么?试从实验结果举例说明。

(2) 如何利用测压管量测静止液体中任意一点的压强(包括液面压强)?

(3) 相对压强与绝对压强、真空有什么关系?

(4) 液面压强 p_0 的改变和基准面 $O-O$ 线位置的改变对 A 点的位置水头与压强水头有什么影响?

(5) 如何选取等压面? U 形管比压计④-⑤(装油)与 U 形管比压计②-③(装水)位于同一水平面上的液体测点压强是否相同?

(6) 如果水箱和调压筒液面也有标尺显示,能否将 U 形管比压计②-③和④-⑤都省略?

(7) 试分析产生量测误差的原因,并指出在实验中应该采取哪些措施尽可能减小误差?

(二) 分开式水箱静水压强量测实验

一、实验目的

(1) 验证水静力学基本方程 $z + \frac{p}{\gamma} = C$, 加深对水静力学基本方程、位置水头 z 、压强水头 $\frac{p}{\gamma}$ 、测压管水头 $z + \frac{p}{\gamma}$ 物理意义的理解。

(2) 掌握 U 形管和连通管测压原理。

(3) 实测静水压强,掌握静水中任意一点压强的测量方法。

(4) 观察真空现象,加深对真空压强(真空度)的理解。

(5) 能够运用等压面概念分析问题。

(6) 能测求水箱液面压强 p_0 (包括 $p_0 > p_a$ 和 $p_0 < p_a$ 两种情况,其中 p_a 为大气压)。

(7) 能测求未知液体(食盐水、油等)的密度 ρ_x 。