

高等学校轻工专业试用教材

# 家用电动器具原理及设计

徐苏生 陈晏如 主编



中国轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

# 家用电动器具原理及设计

徐苏生 陈晏如 主 编

中国轻工业出版社

## 内 容 提 要

本书由下列六章组成：流体力学基础；家用洗衣机；家用电风扇；家用吸尘器；洗碗机及其他厨用电动器具；家用电器的降噪及其控制。其内容包括家用电动器具设计中必备的流体力学基础；电动器具的工作原理及结构；主要家用电器的设计要点；程序控制电路原理及程控器结构等；还有微机技术及模糊控制理论在家电程序控制中的应用。

本书可作为高等院校电机电器及控制专业的教材，也可供有关专业师生及技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

家用电动器具原理及设计/徐苏生, 陈晏如主编. —北京: 中国轻工业出版社, 1996  
高等学校轻工专业试用教材  
ISBN 7-5019-1925-9

I. 家… II. ①徐… ②陈… III. ①日用电气器具-理论-高等学校-教材②日用电气器具-设计-高等学校-教材 IV.TM925.0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 18583 号

## 家用电动器具原理及设计

责任编辑 白 洁

\*

中国轻工业出版社出版  
(北京市东长安街 6 号)  
利森达印务有限公司印刷  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售

\*

787×1092 毫米 1/16 印张: 19.5 字数: 450 千字

1997 年 1 月 第一版第一次印刷

印数: 1—3000 定价: 30.00 元

## 前 言

为不断提高我国家用电器工业的科技水平,完善电机电器及其控制专业的教材建设,原轻工业部自动化类教材编委于1991年10月咸阳会议上,讨论制订了《家用电动器具原理及设计》课程的教材编写大纲。本书即根据该大纲编写而成。

本书内容包括家用电动器具设计中必备的流体力学基础;电动器具的工作原理及结构;主要家用电动器具的设计要点;程序控制电路原理及程控器结构等。近年来,微机技术及模糊控制理论在家用电动器具程序控制中的应用越来越广,且发展十分迅速,所以本书也以较大的篇幅介绍了这方面的内容。

本书作为高等院校电机电器及其控制专业的本科教材(专科参照使用),供课堂教学和现场教学使用,也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

本书由郑州轻工业学院电机电器及其控制教研室徐苏生副教授和陈晏如副教授主编,郑州轻工业学院崔光照、孙玉胜、陈适参编。第一章由徐苏生编写;第二、四章由陈晏如编写;第三章由孙玉胜编写;第五章由陈适编写;第六章由崔光照编写。本书由东南大学周鹗教授主审。

由于编著者水平有限,书中错误与不足之处在所难免,恳请使用本书者不吝指教。

编者

1995.3

# 目 录

<b>第一章 流体力学基础</b> .....	(1)
<b>第一节 流体静力学平衡基本方程</b> .....	(1)
一、流体力学发展在历史上的作用.....	(1)
二、流体的基本物理性质.....	(2)
三、流体静力学方程及应用.....	(3)
四、水头概念.....	(9)
<b>第二节 流体运动学的基本特性</b> .....	(10)
一、分解流体质点运动速度的实际意义.....	(10)
二、流体质点速度分解的微分方程.....	(10)
三、流场的基本概念.....	(13)
四、液流和缓变流.....	(17)
<b>第三节 流体运动的柏努利方程及应用</b> .....	(22)
一、比能.....	(22)
二、流体的柏努利方程.....	(24)
三、流体柏努利方程的意义及使用条件.....	(25)
四、柏努利方程的实际应用.....	(28)
<b>第四节 流体运动的两种状态</b> .....	(32)
一、流体的旋涡定理.....	(32)
二、流体运动的内摩擦定律.....	(37)
三、雷诺实验——层流与紊流的出现.....	(40)
四、层流运动的特征.....	(43)
五、紊流运动的特征.....	(46)
<b>第五节 流体运动的阻力计算</b> .....	(50)
一、流体阻力的基本概念.....	(50)
二、沿途阻力的计算公式.....	(52)
三、局部阻力计算公式.....	(59)
本章小结.....	(62)
思考题与习题.....	(62)
<b>第二章 家用洗衣机</b> .....	(64)
<b>第一节 概况</b> .....	(64)
<b>第二节 洗衣机的洗涤原理</b> .....	(66)
一、织物纤维的种类及性质.....	(66)
二、污垢的种类与性质.....	(67)

三、污垢在织物上的粘附 .....	(68)
四、影响洗衣机洗涤过程的主要因素 .....	(69)
五、洗衣机洗涤织物的过程 .....	(73)
第三节 洗衣机的分类与洗涤性能 .....	(73)
一、按性能完善程度分 .....	(73)
二、按结构和洗涤方式分 .....	(74)
三、洗衣机的主要性能及比较 .....	(77)
第四节 波轮式洗衣机 .....	(86)
一、波轮式洗衣机的结构 .....	(86)
二、波轮式洗衣机的流场与洗涤机理 .....	(101)
三、波轮式洗衣机的设计要点 .....	(108)
第五节 滚筒式洗衣机 .....	(121)
一、滚筒 .....	(121)
二、外筒 .....	(125)
三、传动机构 .....	(126)
四、其他机构 .....	(127)
第六节 洗衣机程序控制 .....	(127)
一、洗涤程序 .....	(128)
二、电动程控器 .....	(130)
三、电子式程控器 .....	(135)
四、电脑程控器举例 .....	(138)
五、模糊控制洗衣机的程控器 .....	(142)
本章小结 .....	(148)
思考题与习题 .....	(149)
第三章 家用电扇 .....	(150)
第一节 家用电扇的分类及工作原理 .....	(150)
一、电风扇的分类 .....	(150)
二、电扇的工作原理 .....	(151)
第二节 家用电扇的调速 .....	(160)
一、用旋转磁场分析主副两相风扇电动机 .....	(160)
二、电抗法调速 .....	(164)
三、抽头法调速 .....	(165)
四、电风扇抽头调速匝数的计算 .....	(168)
五、台扇微风档 PTC 元件之应用 .....	(178)
六、吊扇的无级调速 .....	(182)
第三节 家用电扇的启动 .....	(182)
一、电扇启动的条件 .....	(182)
二、电容式电扇电机的启动转矩 .....	(183)

三、影响启动力矩的因素·····	(184)
第四节 家用电扇的扇叶特性及设计要点·····	(187)
一、电扇的使用值·····	(187)
二、家用电扇扇叶的作用原理·····	(187)
三、家用电扇的设计步骤·····	(191)
四、扇叶的设计要点·····	(191)
本章小结·····	(194)
思考题与习题·····	(194)
<b>第四章 家用吸尘器</b> ·····	(196)
第一节 概况·····	(196)
一、吸尘器类型·····	(196)
二、吸尘器发展趋势·····	(199)
第二节 家用吸尘器的原理和结构·····	(201)
一、家用吸尘器的工作原理·····	(201)
二、家用吸尘器的结构·····	(202)
第三节 性能检测与技术要求·····	(210)
一、家用吸尘器电风机的检测·····	(210)
二、电风机的技术要求·····	(212)
三、吸尘性能的综合评价·····	(213)
四、吸尘器电机的检验与技术要求·····	(216)
第四节 吸尘器设计要点·····	(218)
一、家用吸尘器设计步骤·····	(218)
二、吸尘器风机设计基础·····	(218)
本章小结·····	(227)
思考题与习题·····	(227)
<b>第五章 洗碗机及其他厨用电动器具</b> ·····	(229)
第一节 洗碗机的基本类型与结构·····	(229)
一、洗碗机的基本类型·····	(229)
二、洗碗机的基本结构·····	(231)
三、洗碗机用洗净剂·····	(235)
第二节 洗碗机设计要点·····	(236)
一、旋臂喷淋式洗碗机的结构设计·····	(236)
二、发泡洗碗机的结构设计·····	(240)
三、洗碗机控制电路·····	(241)
第三节 泔水处理机·····	(244)
一、泔水处理机的典型结构·····	(245)
二、电机与电力系统·····	(246)
第四节 垃圾压紧器·····	(247)

一、垃圾压紧器的典型结构	(247)
二、垃圾压紧器的控制电路	(248)
第五节 食物加工机	(249)
一、电切刀	(249)
二、切片机	(251)
三、多功能食物加工机	(251)
本章小结	(253)
思考题与习题	(253)
<b>第六章 电动器具的降噪及其控制</b>	(254)
第一节 家用电动器具的噪音和降噪	(254)
一、家用电动器具的噪音和分类	(254)
二、家用电动器具中噪声源的分析	(259)
三、噪声的激励	(265)
四、电动器具中的降噪方法	(269)
五、电动器具的低噪声设计	(274)
六、家用电动器具常采用的降噪措施	(276)
第二节 家用电动器具中的控制技术	(278)
一、家用电动器具的控制及其发展	(278)
二、模糊控制技术基础	(279)
三、模糊控制系统举例——吸尘器模糊控制器	(295)
四、家用电动器具的遥控	(296)
思考题与习题	(301)
主要参考文献	(302)



# 第一章 流体力学基础

## 第一节 流体静力学平衡基本方程

### 一、流体力学发展在历史上的作用

流体力学是一门古老的应用科学，它主要研究流体平衡与运动的一些基本规律，并将这些规律应用于实际工程及其日用产品。

流体力学经历过一个漫长的历史进程才成为一门完整的学科。人类最早对流体的认识是从供水、灌溉、航行等方面开始的。二、三千年以前，人们在同自然界作斗争时，就已经建造了水利工程和最简单的水利机械，例如我国古代的大禹治水，战国时李冰父子在四川兴建的著名的都江堰水利工程以及古代发明的一些用水流作动力的用来碾米磨面的简单机械，等等。

流体力学领域最早出现的著作是公元前阿基米德所著的《论浮体》。在此著作中，他精确地阐述了著名的“阿基米德原理”，从而奠定了物体平衡和沉浮的理论基础。随后在一个较长的历史时期内，流体力学几乎进展甚微。直到 16、17 世纪，在欧洲出现了资本主义的萌芽，新的生产关系大大促进了流体力学的进展，到了 17 世纪末已有许多成就，如 1643 年托里拆里导出了液体的孔口出流公式；1650 年巴斯卡提出了著名的巴斯卡原理；1686 年牛顿提出了内摩擦定律。但当时的这些成就还不足以使流体力学形成一个独立的科学体系。

进入 18 世纪，流体力学的理论研究工作获得了较大成就。欧拉、柏努利和拉格朗日先后导出了连续方程式、理想流体的运动微分方程式及柏努利方程式，为流体力学奠定了可靠的理论基础，这才使得流体力学逐渐成为一门完整的学科体系。

19 世纪，纳维和斯托克斯提出了实际流体运动的微分方程式，但它只能解决比较简单的流体运动问题，而对于复杂的流体运动问题，因存在着难以克服的数学问题，因而还无法解决。这样，工程人员还无法运用理论研究方法，来解决工程上急迫的课题，而只有依靠实验研究。单纯地根据实验资料，脱离理论研究的结果，逐渐使流体力学形成一门实验水力学与数据的科学。直到 20 世纪初期，由于相似原理的发展，才结束了这种理论和实验相脱离的局面。

从流体力学的进展情况可见，它的产生与发展，始终紧密地与社会生产实践相联系着。现代科学技术的高度发展，尤其是电子计算机的出现，将计算技术引入流体力学领域，使以前因过于繁杂的计算而影响进一步探讨流体力学问题的问题逐步得以解决。计算流体力学已成为研究流体力学的重要方法。近年来，流体力学与其他学科相互渗透，形成了许多边缘学科。如生物流体力学、地球流体力学、化学流体力学、液压流体力学、电

磁流体力学、高温气体力学、爆炸力学、非牛顿流体力学、两相流体力学、流变学等等。这些新型科学的发展和出现，使流体力学这一古老的学科更富有活力。

在家电专业中，洗衣机波轮运动的水流状态；洗衣机进、出口水流速度；电扇叶形状对气流的影响；吸尘器气流速度变化对其真空度的作用；冰箱、空调器等制冷器具节流管径的改变，对其冷媒液流变化涉及的制冷效果等家电产品基础知识，都无不与流体力学的基本理论有关。本章的设置，可启示优化产品的设计思路，读者可应用其基本方程分析产品的结构原理、特性，使设计制造更安全合理。

## 二、流体的基本物理性质

流体是液体和气体的统称。它能抵抗压缩它的外力，但不能抵抗张力和切力。由于流体质点有很大的流动性，所以它是一种形状缓慢变化，实际上没有抵抗力的连续介质。对流体中的液体一般又称成滴流体。

流体的物理性质主要表现在下面几个方面：

### (一) 压缩性

流体在压力作用下能改变自身体积的特性称为压缩性。其大小用压缩率  $\kappa$  表示，其单位是  $\text{Pa}^{-1}$ 。

根据上述概念，可以写出下面的计算式：

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

式中  $V$  —— 流体原有的体积 ( $\text{m}^3$ )；

$dV$  —— 温度变化  $dT$  时体积的变化量 ( $\text{m}^3$ )。

### (二) 膨胀性

流体的膨胀性也称温度膨胀性，就是当流体受热或受冷时会改变自身体积的特性。它可用体膨胀系数  $\alpha_v$  表示，单位是  $\text{K}^{-1}$ 。计算式为：

$$\alpha_v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT} \quad (1-2)$$

式中  $V$  —— 流体原有的体积；

$dV$  —— 温度变化  $dT$  时的体积变化量。

必须指出，在流体中虽然液体、气体的体积都有上述特性，但气体受压缩或膨胀时，还会引起其他参数的变化，这一点，热力学中已有详细讨论。

### (三) 粘滞性

运动流体内部存在的摩擦特性，称为流体运动的粘滞性。因为运动流体质点间有切变应力发生，这切变应力就是内摩擦阻力。实际上所有流体都有这种特性，故又称粘性流体。在某些条件下，为了简化问题的复杂性，忽略这种内摩擦力时的流体就称为理想流体，或称之为非粘性流体。

流体除上述一般物理性质之外，还有内聚力、附着力、表面张力（对液体而言）等性质。但它们各有特性。

液体有确定的体积，因此就呈现有自由表面；气体则不同，它总是力图充满容纳它

的空间而变化自身的密度，只有外加压力才能限制气体在一定的容积内。

液体的压缩性和膨胀性很小，而气体的这种特性则比液体大得多。液体可以在坚固的容器中承受很大压力而只有极小的体积变化。因此，几乎在所有具备实际意义的重要流动过程中，我们都可以把成滴流体作为不可压缩流体看待。膨胀性也是如此。但气体则不同，在压力和温度变化时，它很容易改变自身的容积。由此可知，液体的密度几乎是不变的，而气体的密度则随容积的变化而改变。关于气体压力、温度与容积变化的关系，在热力学中将由气体状态方程加以确定。

另外，液体的粘滞性随温度的增加而减小，而气体则相反，即随温度的增加而加大。

以上是液体与气体之区别点。它们的共同点是在流体力学中某些定律既适用于液体又适用于气体；但在某些特殊地方又要分别对待，这点应十分注意。

### 三、流体静力学方程及应用

#### (一) 流体的平衡

流体平衡是指流体处于静止状态。从诸多方向受力处在平衡状态的流体，也可称为平衡流体。

(1) 实例1 油罐车中液体的相对平衡 (图 1-1)。

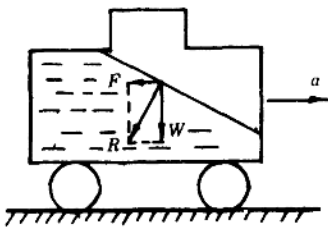


图 1-1 油罐车中液体的相对平衡示意图

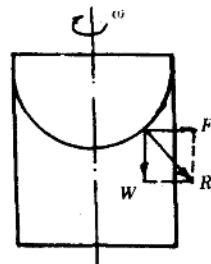


图 1-2 等速旋转容器中的相对平衡示意图

设一油罐车 (图 1-1) 内存有液体，当它作变速运动时，主要有两个力作用着：一为液体本身具有的质量所产生的重力  $W$ ；另一是因变速运动产生的加速 (或减速) 所引起的惯性力  $F$ 。这两个力的合力为  $R$ ，使液体液面保持倾斜，但它与  $R$  方向垂直，以保持平衡。

(2) 实例2 等速旋转容器中液体的相对平衡 (图 1-2)。

设作等速旋转的容器内存有液体，则它有重力  $W$  和离心力  $F$  的作用，合力为  $R$  (图 1-2)。为了保持平衡，其液面呈现曲面形状。

以上两实例中的合力  $R$  均与液体内部的内压力相平衡，其大小相等，方向相反。

#### (二) 流体静力学平衡方程及应用

(1) 流体静力学平衡方程：图 1-3 为平衡流体分析图。

在平衡流体内流体垂直作用于单位面积上的力称为平衡流体压强。自由面系指液体和气体之间或液体与真空之间的分界面。平衡流体基本方程主要研究流体处于平衡状态时的基本规律。

如图 1-3 所示，容器中装有平衡液体，其自由表面上的压强等于  $p_0$ ，但不等于大气压强。现在来确定自由表面深度为  $h$  的  $a$  点的水静压强。为了确定此压强，通过  $a$  点作一水平面，在其上面取出一块极小的面积  $A$ ， $a$  点，应位于此面积内。然后通过此面积的外围轮廓作铅垂的圆柱形面，一直到它与自由面相交，结果就得到一个底面积为  $A$  高为  $h$  的直立圆柱体。将此圆柱体分离出来，讨论它的平衡条件。作用在分离出来的圆柱体积上的力有：

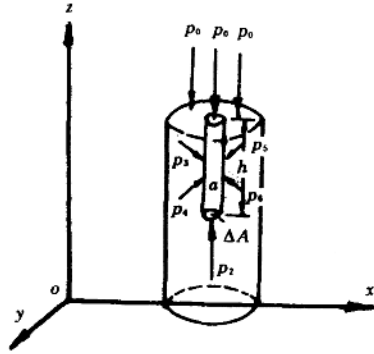


图 1-3 平衡流体分析图

讨论它的平衡条件。作用在分离出来的圆柱体积上的力有：

- ① 作用于底面积，沿着铅垂方向自下而上的总压力  $F_2$ ，这个力现在是未知的；
- ② 作用于顶面上的自由表面上的总压力  $F_1$ ，它的大小等于  $p_0 A$ ，其方向铅垂向下；
- ③ 作用于圆柱体侧面的总压力  $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ 、 $F_6$  等等，它们都位于水平面上；
- ④ 重力等于圆柱体重量，铅垂向下。 $W = A \cdot h \cdot \rho g$ ，其中， $A \cdot h$  是圆柱体体积， $\rho$  是液体的密度。

由图 1-3 可见，作用于圆柱体的一切力都投影在坐标轴上。因为所取的分离圆柱体是平衡的，故各种力在坐标轴上投影的和等于零。所以，圆柱体侧面的一切压力  $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ 、……等等，在  $x$  和  $y$  坐标轴上的投影之和等于零。而作用在铅垂方向的力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $W$  在  $x$  与  $y$  轴上的投影之和也等于零。列出它们在  $z$  轴方向的平衡方程式为：

$$F_2 - p_0 \cdot A - A \cdot h \cdot \rho g = 0$$

$$\text{或} \quad F_2 = p_0 \cdot A + \rho g \cdot h \cdot A$$

用  $A$  除上式并取极限

$$\lim \left( \frac{F_2}{A} \right) = p_0 + \rho g \cdot h$$

当  $A \rightarrow 0$

$$\lim \left( \frac{F_2}{A} \right) = p_2$$

所以上式即为：

$$p_2 = p_0 + \rho g \cdot h \quad (1-3)$$

(1-3) 式就是平衡流体基本方程式。它说明平衡流体内任一点上的水静压力，等于自由表面上的压力加上一个液柱的重量，此液柱的底面积等于 1 (单位面积)，其高度则等于该点在自由表面以下的深度。也就是说：在表面压力相同的情况下，平衡流体的内部压强随深度的改变而变化。由此可知，在自由面压力相等的各液体内，具有相同深度的各个面上的压力也将是相等的。这种表面称为等压面。

平衡流体基本方程，不仅使我们了解到在平衡流体内部压力的变化规律，还可利用此方程求得平衡流体内部某空间点的压强值。即其内部某点的压强  $p$ ，是等于作用在该流体上的外压强  $p_0$  加上流体所产生的压强  $\rho g \cdot h$ 。其中  $h$  表示流体柱高度，即该点的流体深度， $\rho$  就是该流体的密度。下面举例说明：

例1 在家庭用太阳能供水箱中，盛有温度为  $100^\circ\text{C}$  的水，为了避免沸腾现象的产生，水箱的液面上（图 1-4）利用蒸汽热维持绝对压力  $p_0 = 1.2 \times 10^5 \text{Pa}$ 。试求位于液面下  $1\text{m}$  处 A 点之绝对压力。

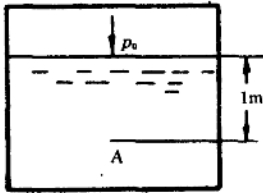


图 1-4 太阳能供水箱示意图

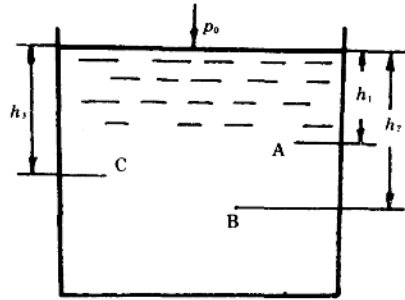


图 1-5 液体内部不同深度之压强分布图

【解】：根据平衡流体方程式 1-3

$$p_A = p_0 + \rho g \cdot h$$

查水蒸汽图表得温度为  $100^\circ\text{C}$  时水的密度

$\rho = 958 \text{kg/m}^3$ ，故在已知点 A 的压力  $p_A$  为：

$$p_A = 1.2 \times 10^5 + 958 \times 119.8 = 1.29 \times 10^5 \text{Pa} = 0.129 \text{MPa}$$

(2) 流体静力学平衡方程应用：

应用一：以上例题说明，利用平衡流体方程，便可确定其内部某一已知点的压力数值。同时，利用此方程可导出著名的帕斯卡定律及其应用实例。

设一容器中有液体，在该液体液面上的压力为  $p_0$ （图 1-5）。在液体内部具有不同深度  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$  等等的各已知点 A、B、C 等。根据基本方程，可写出这些点的压强分别为：

$$p_A = p_0 + \rho g \cdot h_1$$

$$p_B = p_0 + \rho g \cdot h_2$$

$$p_C = p_0 + \rho g \cdot h_3$$

依此类推，由于各已知点在液体中的深度不同，它们的压强数值也不相同。可是，它们每一压力中都包含着相同的压力  $p_0$ 。若将  $p_0$  视作外力，加在封闭容器中的一端，如图 1-6 所示，液体内部外压力  $p_0$ ，将毫不减弱地向四面八方传递，这就是帕斯卡定律。

必须指出，该定律规定用液体作介质。这是因为外压力在流体内毫不减弱地传递，只适用于液体，对气体就不适用。气体在受压缩时，不仅容积发生变化，而且气体温度也发生改变。这样，部分压力就转换成热能出现，故外压力在气体中就不可能保持不变。

外压力在液体内传递的特性，在工程上应用极广，如水力压缩机、油压千斤顶、水力蓄能机和活塞水泵等，就是利用此原理制作的机械。

应用二：平衡流体基本方程，还被应用于解决连通器的平衡问题。所谓连通器就是底部互相连通的两个或几个容器，如图 1-7 所示。

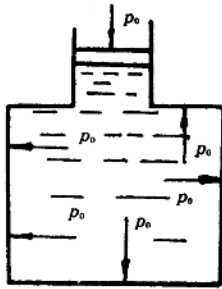


图 1-6 外压力传递到液体  
内压强不变示意图

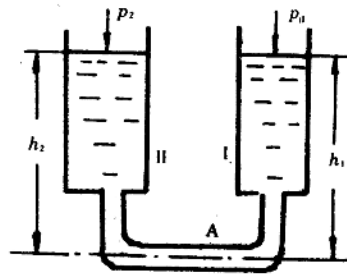


图 1-7 液体连通器水位  
计原理示意图

根据方程可决定不同情况下连通器的平衡条件。现分别讨论。

第一种情况：在连通器的两个容器中盛有相同的液体，且液面上的压力也是相等的，即  $p_1 = p_2$ 。此时，在液体连通器管道内部取一点 A，并写出图 1-7 容器 I、II 对 A 点的压力公式。由方程可得：

容器 I 对 A 点的压力值为：

$$p_1 + \rho g \cdot h_1$$

容器 II 对 A 点的压力值为：

$$p_2 + \rho g \cdot h_2$$

根据平衡条件，这两个公式必须相等，

$$\text{即} \quad p_1 + \rho g \cdot h_1 = p_2 + \rho g \cdot h_2$$

由已知条件可得：

$$h_1 = h_2 \quad (1-4)$$

这一关系式说明，对于盛有相同液体和液面压力相等的连通器，其液面高必然相等，这就是它们的平衡条件。利用这种关系，使我们制作了工程上广泛应用的水位计。

第二种情况：在连通器中盛以相同的液体，但液面上的压力不相等，如图 1-8 所示。在这种情况下，利用方程式可列出以下公式：

$$p_1 + \rho g \cdot h_1 = p_2 + \rho g \cdot h_2$$

若

$$p_1 > p_2$$

则

$$p_1 - p_2 = \rho g (h_2 - h_1) \quad (1-5)$$

公式 (1-5) 说明连通两容器液面上的压力差，等于两容器液柱差所产生的压力值。利

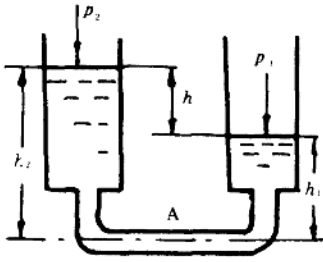


图 1-8 连通器同液异面之测压计原理示意图

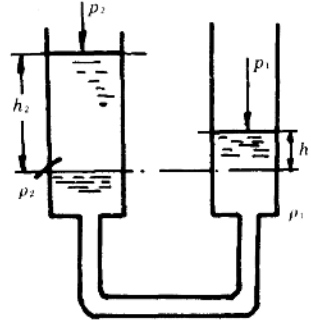


图 1-9 连通器异液异面低水位指示器原理图

用这一关系可制成液体压力计，在测量工程上得到应用。这种压力计的优点是在测量较小压力时，有较为精确的数值；而且液体在连通器中又能保持良好的封闭作用。

第三种情况：当连通器两容器中盛有两种液体，而液面上的压力差又相等时（图 1-9），利用同样原理，平衡条件为：

$$p_1 + \rho_1 g \cdot h_1 = p_2 + \rho_2 g \cdot h_2$$

由于  
则  
或

$$p_1 = p_2$$

$$\rho_1 g \cdot h_1 = \rho_2 g \cdot h_2$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1} \quad (1-6)$$

上式说明：在表面压力相等而具有两种不同液体时，液面的高度之比与密度成反比。利用这种关系，可将同一压力数，用不同的液柱高度来表示。在工程方面，用于各种测量仪器放大或缩小它的倍数。例如：锅炉低水位指示、流量计等。

上述概念也可用在工程上测量静水压强。在工程单位制中，压强的单位为 Pa。

最简单的测量压强仪器是测压计（图 1-10）。测压计本身是一支上端开口的玻璃管，联接在装有液体的容器上，用来测定液体中的某点压力。测压计中的指示压力  $p_e$ ，即容器中绝对压力  $p$  与大气压力  $p_{amb}$  之差。

因此

$$p = p_{amb} + p_e \quad (1-7)$$

测压计利用液柱来测量压力。液体柱高度决定于压力的大小和液体的密度。

即

$$h = \frac{p}{\rho g} \quad (\text{m}) \quad (1-8)$$

也可将液柱高度换算成压力单位，

即

$$p = \rho g \cdot h \quad (\text{Pa}) \quad (1-9)$$

如果欲测容器内的绝对压力小于大气压力，则测压计中的液柱便处于图 1-11 所示位置，此时测压计便称为真空计。由于它所指示的液柱高度  $h$  表示液体中的负压或真空。即是大气压和绝对压力之差。所以，负压就是负的计算压力。

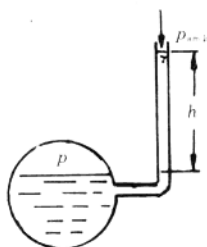


图 1-10 容器内  $p > p_{amb}$  时  
之测压计示意图

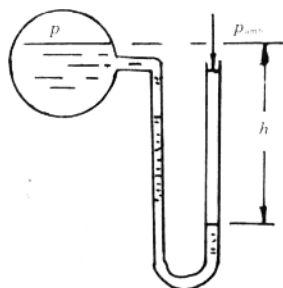


图 1-11 容器内  $p < p_{amb}$  时  
之真空计示意图

即  $p = p_{amb} + p_h$

上述关系式可用下面例子说明。

例 2 求出相当于一计算大气压水柱 ( $\rho_w = 1\,000\text{kg/m}^3$ )、水银柱 ( $\rho_p = 13\,600\text{kg/m}^3$ ) 和酒精柱 ( $\rho_c = 860\text{kg/m}^3$ ) 的高度。

【解】：水柱高度：

$$h_b = \frac{p}{\rho_w g} = \frac{10\,000 \times 9.8}{1\,000 \times 9.8} = 10\text{m}$$

水银柱高度：

$$h_p = \frac{p}{\rho_p g} = \frac{10\,000 \times 9.8}{13\,600 \times 9.8} = 0.735\,5\text{m} = 735.5\text{mm}$$

酒精柱高度：

$$h_c = \frac{p}{\rho_c g} = \frac{10\,000 \times 9.8}{860 \times 9.8} = 11.6\text{m}$$

例 3 如图 1-12 所示两容器与水银比压计相接，此两容器中均充满了水。设此比压计指示的读数为 650mm。试求此两容器中的压力  $p_2$  和  $p_1$  之差。

【解】：比压计弯管两支之中平面 O-O 上的压力相等。  
即：

$$p_1 + \rho_w g \cdot h = p_2 + \rho_w g \cdot h$$

两容器之压力差：

$$\begin{aligned} p_2 - p_1 &= h g (\rho_p - \rho_w) \\ &= 0.65 (13\,600 - 1\,000) \times 9.8 \\ &= 80.3\text{kPa} \end{aligned}$$

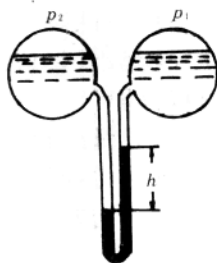


图 1-12 两容器异液  
比压计示意图



#### 四、水头概念

众所周知，水力发电是利用水位的高度落差，将位能转变成动能驱动水轮机再变成机械能，再带动发电机发出电来。这说明，流体同样具有作功本领，即具有能。一般都采用单位质量的流体所具有的能量来表示流体的这种作功本领。

单位重量的流体所具有的能量又称水头（或称能头），其单位是 m。例如，某一河道具有 150m 水头，就是说这条道内的每公斤水，能作功 150J。

平衡流体所具有的能头也可用 m 来表示。然而必须指出，对平衡流体而言，它们所具有的能量形式，主要有压力能和势能（或称位能），而不存在动能。因为平衡流体没有相对位移（即没有流动）。

流体的总能头（水头）用  $H$  来表示（单位为 m），它与压力能和位能的关系可以用下面的关系式来表示：

$$H = \frac{p}{\rho g} + Z \quad (\text{m}) \quad (1-10)$$

式中  $p$  —— 流体所有的压力 (Pa)；

$\rho$  —— 流体的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$Z$  —— 流体平衡时具有的位高 (m)。

综上所述，对于平衡流体而言，它们各处所具有的水头都是相等的，即：

$$H = \frac{p}{\rho g} + Z = \text{常数} \quad (1-11)$$

因为流体既没有运动，那么也就不发生能量的消耗和转换，故在平衡流体中，各处的水头为一常数（这是对某一定的基准面 O—O 而言的）。

从图 1-13 可见，容器内盛有平衡液体。假若我们分别在通过 A 和 B 的平面器壁上装有测压管。由于容器内的液体是平衡的，所以两测压管中液体上升的高度必然相等，即两管中的液面位于同一高度。这时对于同一基准式：

$H$  —— 该点，(A 或 B) 对基准面 O—O 的水头值；

$Z_A$ 、 $Z_B$  —— 分别为 A、B 点在基准平面 O—O 上的高度；

$\frac{p_A}{\rho g}$ 、 $\frac{p_B}{\rho g}$  —— 分别为 A、B 点的测压管水头，它们有如下关系：

$$\frac{p_A}{\rho g} = h_{pA}, \quad \frac{p_B}{\rho g} = h_{pB}$$

因而  $h_{pA}$  和  $h_{pB}$  又称为测压管高度。

从图 1-13 中不难看出，若在容器中再任意取 A 和 B 之外的其它点，其结果对于基准面 O—O 而言的水头值，与 A 或 B 点对 O—O 的水头值相等。

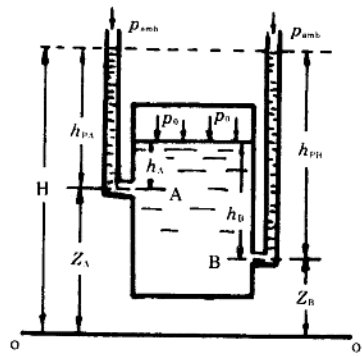


图 1-13 容器内各点测压高度指示器