

高等学校教学用书

給水排水自动技术

哈尔滨建筑工程学院給水排水教研室編



中国工业出版社

高等学校教学用书



給水排水自动技术

哈尔滨建筑工程学院給水排水教研室 編

中国工业出版社

本书是哈尔滨建筑工程学院给水排水教研室接受中央建筑工程部的委托，根据1959年制订的指导性教学大纲，结合近年来国内专业实际情况，吸收教学改革成果，并参考苏联资料，按五年制（四年制通用）65学时编写而成的。

本书力求将自动技术与其在给水排水专业中的应用密切结合起来，并按照专业的要求组成自动技术的系统。根据我国实际情况及发展方向更新、加深其内容，并以工艺参数的自动检测、泵站机组的自动控制和远动技术为重点，对自动调节则予以一般的阐述。对有关的自动技术的基本原理与方法，以及常用的设备线路等侧重于论述。对专业中某些常用的、有实际参考价值的实例则加以详细的说明。

本书可作为高等院校给水排水专业“给水排水自动技术”的试用教科书，也可供性质相近的专业和本专业范围内的工程技术人员作为参考用书。

本书系由刘馨远、吴元焯和周文汉等同志编写，颜虎、金维、朱启光、沈承龙等同志审校。

给 水 排 水 自 动 技 术

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路10号）

（北京市出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行，各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $10^{1/4}$ ·字数 242,000

1961年6月北京第一版·1961年6月北京第一次印刷

印数0001—0,530·定价(10-6)1.25元

统一书号：15165·331(建1-16)

目 录

緒論	(5)
第一章 工艺参数的自动检测	(7)
第1-1节 概述	(7)
第1-2节 压力测量	(11)
第1-3节 流量测量	(22)
第1-4节 水位测量	(31)
第1-5节 溶解氧的测量	(36)
第1-6节 含盐量的测量	(39)
第1-7节 氨离子濃度测量	(43)
第1-8节 余氯量、色度和渾浊度的測定	(49)
第二章 自动控制的元件	(54)
第2-1节 概述	(54)
第2-2节 切换主电路的电器	(55)
第2-3节 继电器	(59)
第2-4节 主令电器	(68)
第2-5节 稳压器	(73)
第三章 水泵站的自动控制	(76)
第3-1节 有关电力拖动自动控制的概念	(76)
第3-2节 常用电动机的自动控制	(80)
第3-3节 閘門的自动控制	(88)
第3-4节 真空泵的自动控制	(90)
第3-5节 单机組的泵站自动控制	(92)
第3-6节 多机組的泵站自动控制	(100)
第四章 自动調节的基本知識	(104)
第4-1节 概述	(104)
第4-2节 調节对象的基本性质	(106)
第4-3节 調节器的組成、分类及其特性	(111)
第4-4节 自动調节在給水排水专业中的应用	(125)
第五章 淨化处理构筑物自动化	(125)
第5-1节 概述	(125)
第5-2节 投药自动化	(127)
第5-3节 排泥自动化	(130)
第5-4节 滤速的自动調节	(131)
第5-5节 滤池冲洗操作自动化	(13)
第5-6节 投氯自动化	(140)
第5-7节 其他处理过程的自动化現况及实现淨化处理过程自动化的一般問題	(143)

第六章	远动技术在给水排水系统中的应用	(144)
第6-1节	一般概念	(144)
第6-2节	远距离测量	(145)
第6-3节	远距离控制及远距离信号	(154)
第七章	给水排水专业中采用自动技术的技术经济效果与一般问题	(161)
第7-1节	给水排水专业中采用自动技术的意义和经济效果	(161)
第7-2节	采用自动技术和装置时的一般问题	(161)
主要参考文献		(163)

緒 論

自动技术是现代最先进的科学技术之一。科学与技术是生产发展到相应水平后，为满足生产需要而产生和发展的。

在生产水平较低时，人们以自己体力或畜力为原动力，利用简单工具，依靠自己的感觉控制或检测生产。当生产力逐渐发展后，有较强大的原动力，生产机械较复杂，工艺条件要求较高时，人们就逐渐依靠机械与仪表的帮助才能进行生产。当生产发展到高度水平后，由于规模巨大，过程复杂，所处技术条件的改变（高温，高压，高速等）等影响，使得人工控制和检测生产过程变得更复杂和困难了。为了有效地控制检测生产过程，并进一步提高劳动生产率，人们需要一种新的技术，自动技术就是其中之一。

所谓自动技术是研究在控制和检测生产过程中，减轻人们的体力操作的工具和方法。在不大的距离范围内，控制和检测生产过程的技术叫自动技术。同样的控制和检测，只是距离范围很大时，叫做远动技术。

依靠自动技术，人们可以在特殊的环境和条件下（如高温，高压，远距离等）控制检测着生产过程，保证生产过程正常进行和维持必需的工艺条件。

自动技术还给人们以巨大的经济效果。其中最主要的是劳动生产率的显著提高，它是产生许多经济效果的最根本原因。

自动技术象其他科学技术一样，在不同的社会制度下，起着不同甚至相反的作用。

在资本主义制度下，自动技术虽在某些生产过程中被采用，但那是因为“当新技术向资本主义预示着最大利润的时候，资本主义就拥护新技术”^①。受垄断组织榨取最大利润的影响，自动技术在那里也得不到正常发展。而现有采用自动化的结果则是大批工人的失业，劳动强度的加强。促使经济危机周期缩短，使阶级矛盾更加尖锐化。在资本主义条件下，生产自动化和劳动生产力的任何新的发展，都会给劳动者带来新的灾难，不可避免地加深和激化阶级矛盾，加速它的死亡过程。

在社会主义制度下，自动技术则给人们以更加美好的生活和前途。

自动技术的最大优点是显著地提高劳动生产率，而它在社会主义制度下又将使我们创造出新的更高的劳动生产率。“劳动生产率，归根到底是保证新社会制度胜利的最重要最主要的东西。资本主义造成了在农奴制度下所没有过的劳动生产率。资本主义可以被彻底战胜，而且一定会被彻底战胜，因为社会主义能造成新的高得多的劳动生产率”^②。由此可见，自动技术的发展以及生产力的迅速提高，预示着共产主义的加速实现和最终胜利。

在国民经济各部门中广泛采用自动技术将会多快好省地发展生产，提高劳动生产率，创造更多的财富以满足社会不断增长的物质和文化生活的需要。

城市建设要为生产和劳动人民生活服务。作为城市建设中重要组成部分的给水排水专业也不例外。随着国民经济的大跃进和发展以及人民生活水平的不断提高，对给水排水专

① 《苏联社会主义经济问题》，人民出版社1956年版，第35页。

② 《伟大的创举》。1919年6月，《列宁全集》第二十九卷，人民出版社1956年版，第388页。

业无论在增加水量,改善水质,提高管理水平等方面都提出更多更高的要求。

给排水净化过程是由许多复杂的过程(如物理过程,化学过程,物理化学以及生物化学过程)所组成。影响处理过程的因素较多,彼此间的规律较复杂,为取得良好的处理效果,保证和提高水质,必须设法严格保持规定的工艺条件。单纯依靠手工操作是很困难作到这点的。

迅速而大量增加供水量是最迫切的任务和要求。在我国具体条件下,根据总路线的精神和两条腿走路的方针,除了新修建大型集中式的水源水厂外,主要是考虑多水源供水;充分发挥现有设备的能力,加强薄弱环节以增加水量;挖掘现有的潜力,合理地统一调度使用现有水源等。依靠和采用自动技术才能有效地实现上述各措施。

给排水系统是许多复杂的构筑物组成的,但它们之间又为统一的工艺过程所联系。因此,要使各构筑物工作相互协调,取得良好效果,必须要集中管理和统一调度。但是由于各构筑物之间彼此间距较远,一般控制方法与管理方法已不能适用。采用自动技术和远动技术是最有效而经济地使整个系统工作和管理实现调度化的方法。

上述简单情况可以表明:在给水排水专业内,和其他生产技术部门一样,由于它的固有的技术与经济上的优越性自动技术的应用,随着生产的发展而日益广泛,它是许多生产过程发展的方向。

在党的领导下,几年来国民经济的持续跃进,特别是在三面红旗照耀下,掀起的波澜壮阔成绩卓越的群众性的双革运动中,我国人民鼓足了冲天的革命干劲,发扬了敢想敢干的共产主义风格,在洋土结合的方针指导下,实现了成千上万的单机自动化和自动线等,创造出不胜枚举的生产奇迹,推进了生产的高速度发展。所有这些,一方面充分反映了社会主义制度的无比优越性,同时也相应表现出自动技术的作用和它的迅速发展。

在大跃进及双革运动中,给水排水工程技术领域内也涌现出许多新的技术与自动化,这不仅提高与改善了现有的生产技术水平,满足了实际的需要,同时也破除了迷信,证实了洋土结合方针的普遍正确性,并为专业自动化的发展指出了方向。

自动技术一般包括三个主要组成部分:自动检测、自动控制和自动调节。给水排水自动技术则是它在专业领域中的具体应用,其主要内容可分下述几方面。

自动检测 对表征生产过程工作情况的某些基本参数,自动进行检查或测量,是完善地控制或调整生产过程的必要条件。在这里主要讨论自动检测和测量给排水专业中的某些主要参数(如压力、真空值、水位、流量、溶解氧、pH值、浑浊度和余氯量等)的基本原理和方法,以及常用的仪表设备等。

自动控制 机组的自动控制可以减轻或免除人们的笨重体力劳动,并为远距离操纵和集中调度创造条件。

专业中常用的被控对象有水泵机组、真空泵、闸门、搅拌机、投药装置等,在本课程中作为重点加以讲述。至于自动调节,如滤速及投药量的自动调节以及远动技术等,则给以适当的重视。

第一章 工艺参数的自动检测

第1-1节 概 述

一、工艺参数自动检测的意义

工艺过程重要参数的检测是人们控制生产过程的基础。在生产中依靠它，人们才能清楚地了解到生产过程进行的情况以及它和正常状态的偏差，才有可能及时采取措施保持规定的工艺条件，保证最好的生产效果。反映在给水排水专业中也是如此。简单归纳有以下几方面：

(1) 检测参数是保证及时进行操作，使生产过程保持应有的工艺条件，取得较好的效果的前提。如按滤池的水头损失进行反冲；根据水位启动水泵；根据管网控制点的压力调整水泵站内工作机组的数目及组合等等。

(2) 检查质量，计量数量。如在管网中途自动检查余氯量（不足时就应投加氯）；自动检查处理后的污水的溶解氧（含量少于4毫克/升时，就应增加送入曝气池的空气量）等都有助于确保水厂的处理效果满足生活及生产的要求。

(3) 帮助人们了解工艺生产的工作情况和过程，并累积必要的资料，从而通过整理与分析，找出解决改善工艺过程确定更合理的工作制度的途径与方法。这在科学研究的实验阶段中它将起很大的作用。

二、与测量技术有关的基本概念

1. 测量的概念与分类

测量是一种辨别性的工作过程，主要就是用实验方法将被测的物理量与作为测量单位的另一同类量作比较，测量的结果 q 指出了被测的量 Q 与测量单位 L 间的比数。即得：

$$Q = qL \quad (1-1)$$

此式称为测量的基本方程式。

由此公式可知， q 的大小完全随所采用的测量单位的大小而定。所选单位越小，对一定的被测量而言，所得的数值也越大。因此测量的结果是相对的。在记录和运行时必须注意其单位。现如测量 Q 时，采用了另一单位 L_1 ，则方程式(1-1)具有如下形式：

$$Q = q_1 L_1 \quad (1-2)$$

将(1-1)，(1-2)式相比较，可得：

$$q_1 = \frac{L}{L_1} \cdot q \quad (1-3)$$

此式表明，把一个用单位 L 来表示的测量结果 q ，变到用另一单位 L_1 来表示的测量结果 q_1 时要用两个单位的比值进行换算。

按获得测量结果的方式不同，所有测量可分为两种：

直接测量——被测量的数值大小，是用量器或用带有相应单位的刻度标尺的仪表直接比较得出。例如，用比色法测pH值，用压力计测量压力，即属此类。

間接測量——被測量的數值大小 Q 是通过直接測量一个或几个与被測量間有函数关系別的量的數值大小 ($X_0, X_1, X_2 \dots$) 而間接求出。

$$Y = f(X_0, X_1, X_2 \dots) \quad (1-4)$$

通过測定节流裝置前后的压力差 ΔP ，而求定液体的流量 Q ($Q = \alpha F \sqrt{\frac{2g\Delta P}{\gamma}}$)，即屬此类。

实际測量中，直接測出关系式 (1-4) 全部的 $X_0, X_1, X_2 \dots$ 来求出 Y ，既使測量复杂，甚至还不可能。常常在保持其余的量在測量过程为定值的情况下，通过測量 $X_0, X_1 \dots$ 中最易測量的一个量 (譬如 X_1) 的方法来求得被測量 Y 的数值。即此时

$$Y = f_0(X_1) \quad (1-5)$$

測量就大大方便了。因此，按照本身数值既容易直接測出，而与被测的量間的关系又最簡單的原则，从許多需直接測量的量中选取而且仅仅选取一个量进行測量，从而求出被测的量是間接測量中最重要的問題。它貫穿和体現在許多参数的測量方法及仪表作用原理內。

2. 誤差及其产生的原因和处理方法

前已述及，任何量的測量都是用實驗方法比較的过程，因此測量的結果与被測的量的实际值之間多少有一些差別，即不可避免地会产生誤差。根据其来源和特点，誤差分为三种：

(1) 規律誤差。凡是固定不变的或按一定規律变化的誤差叫做規律誤差。这类誤差多半由于仪表本身的构造或測量方法不正确而引起。为校正它对測量結果的影响，可在測量結果上加一适当的校正值予以补足。

(2) 錯誤 (过失誤差)。凡使測量結果发生显著歪曲者叫錯誤。它是因讀数不正确，記錄錯誤或仪表使用不当等原因造成。因此，在測量中注意有关事項可以防止它們产生。凡含有錯誤的測量結果，在整理时則应从記錄中除去。

(3) 偶然誤差。凡在数值和本質上都没有确定規律的誤差屬偶然誤差。在重复測量时它們的大小和符号都不确定。它主要是由于偶然原因对測量过程的影响而产生的。它服从或然率理論的一定法則。借助这些法則的帮助，可以衡量測量結果的可靠程度。

綜上所述，在整理測量結果时，应将規律誤差及錯誤从測量結果中除去，这样得到的被测的量的数值一般才能使用。当要求較高时，还需用或然率理論的方法加以整理、分析，判断其可靠程度。

三、檢測仪表的基本知識

1. 測量仪表的种类

凡是用直接或間接的測量方法将被測的量和測量单位作比較的设备叫做測量仪表。按用途的不同，仪表可分成以下几种：

指示仪表——根据指針在刻度盘上的位置，指出被测的量的瞬时值的仪表，如压力表等；

記錄仪表——自动記錄被测的量在全部工作時間內的数值及变化的仪表，如流量記錄器；

計量仪表——自动累积某段時間內被测的量的数值的总和的仪表，如电度表，水表；

信号仪表——当被测的量其数值到达指定值时，发出光亮或声响信号給值班人員的仪表；

調节仪表——自动維持与調节被測量于一定範圍內的仪表。

2. 检测仪表的组成部分

虽仪表的型式众多，构造也有所不同，但任何仪表（除最简单者外）都包括以下各主要部分：感受部分；傳送部分；指示部分。此外，还有些輔助部分，但輔助部分設置与否应根据要求而定。

感受部分：亦称发送器，是仪表最重要的部分。它直接与被测介质接触或放在被测介质中間，直接感受被测的量的数值与变化。通常它将被测量变为直綫位移、轉角、或电力脉冲发送出去。一般情况下送給傳送机构。

傳送机构：其作用是将所收到的机械位移或脉冲傳送給指示装置。它可以是机械装置或是电气装置。机械装置分扇形、齿輪式和杠杆式。电气装置有感应电桥及自整角机两种。

指示部分：根据傳来的脉冲或位移，利用某种型式的指示器（常为指針），在刻度标尺上指出被测量的数值。除指示器和刻度标尺外，有时还包括有记录机构。

测量仪表基本上由上述三部分所組成，但在个别情况下也有所变动。如当感觉部分产生足够大小的脉冲或位移，并与指示部分很接近时，則可以不設專門的傳送机构，而将感觉部分直接与指示部分相联接。当感觉部分产生的脉冲太弱，不足以使指示器轉动时，則須用放大装置加强后，再用傳送机构送出。在要求将测量結果远送的仪表中，傳送机构則发展成为特殊型式的，其中包括有傳送器、联結綫、接受器等。指示远送装置。一般而言，找出测量仪表的这三个基本組成，并以此为基础再結合仪表的特殊使用要求进行分析，有助于全面掌握仪表的构造及其工作情况。

几类常用的仪表的組成及其作用見表1-1。

表 1-1

仪表类型	被 测 量	感觉元件	中 間 傳 送 装 置	指示部分	測量結果
I. 就地讀数的指示仪表	被测参数	感觉元件	机械位移 { 直綫位移 轉角 } 电量脉冲	傳动机构 → 指示标尺	讀数
II. 就地讀数的记录仪表	被测参数	感觉元件	机械位移 { 直綫位移 轉角 } 电量脉冲	傳动机构 → 指示标尺 钟表机构	讀数 讀数
III. 測量結果远送的指示仪表	被测参数	感觉元件	傳机指装 动构示置 发送器	→ 讀数 (第一次給出) 电量脉冲 → 导綫 → 接受器 指示器 标 尺	讀数 (第二次再現)

注：(1) 在測量結果可远送的仪表中，感觉元件发送器，常要装于測量現場，組成所謂一次仪表。接受器及指示装置等則放在調度站內，組成所謂二次仪表。

(2) 一次仪表与二次仪表間的联結导綫，有时称为通信道。

在这三个主要組成部分中，感觉部分是最重要的，因为它适应于测量介质的各种参数和不同性质，其构造完全决定着仪表的型式和用途。傳送部分如上所述，一般为机械傳动

装置,而电气传动装置在给排水专业使用的仪表中常用感应电桥和自整角机。指示部分多为机械装置,构造型式也比较少,不能作为仪表的特征。由此可见,后两部分构造类型较少,常为各仪表所共有,而感觉元件因测量的参数及条件的不同而类型较多,是各仪表所固有的。因此掌握仪表首先要掌握它的感觉部分及元件。

3. 评价仪表好坏的质量的指标

测量仪表因其本身构造关系都具有一些固有的性质。这些性质决定着使用该仪表所得测量结果的可靠程度。因此,有必要将下述几种表征仪表的性质的仪表的质量指标加以考察。

1) 正确性: 所谓仪表的正确性指(在测量时)仪表实际给出的指示值 A 与它应该给出的指示值 A_2 (它反映着被测量的实际数值) 的接近程度。它可用两者之差别即仪表指示值的绝对误差 γ 来衡量。即

$$\gamma = A - A_2 \quad (1-6)$$

此数值的本身并不能反映出测量仪表的品质。而实际意义较大的是用该被测量的数值或者仪表指示值的百分数来表示的误差即相对误差 ($\gamma\%$ 或 $\gamma''\%$),

$$\gamma\% = \frac{A - A_2}{A_2} \times 100\% \quad (1-7)$$

$$\text{或} \quad \gamma''\% = \frac{A - A_2}{A} \times 100\% \quad (1-7a)$$

但实际上,大多数测量仪表为判断其质量方便起见用另一种误差(即所谓仪表的误差)来表征其品质。这种误差,是用仪表测量范围上限值 A_{en} 的百分数来表示的,在整个仪表测量范围内的可能产生的最大的误差 $\gamma_0\%$,

$$\gamma_0\% = \frac{\gamma}{A_{en}} \times 100\% \quad (1-8)$$

按相对误差的大小,可以将仪表分成若干等级。根据测量要求的高低可选择相应等级的仪表。在给排水专业中常用一般性的测量与检查仪表,因对准确性要求不是很高的。

2) 灵敏度: 是指仪表指示器的直线位移或角位移,与造成该位移的被测量的数值变化值间的比例关系。一般灵敏度的大小以被测量作单位变化时,指针所发生的角位移或线位移来代表。设 S ——灵敏度, $\Delta\alpha$ ——指示器的角位移, ΔA ——产生此角位移的被测量的相应变化值,则:

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta A} \quad (1-9)$$

根据这一概念,调整改换仪表的某些部分,可以提高仪表的灵敏度。

另外,从上式可知,当 $\Delta\alpha$ 与 ΔA 始终保持线性关系时,则仪表的灵敏度是不变的。但如果成非线性关系时,则灵敏度是变数,这反映在读数标尺(或刻度盘)上刻度的间距是不均匀的。在全部测量范围内(即所谓量程)刻度较密的部分因其灵敏度较小,读数不易保证规定的准确度要求,故常不利用,亦即缩小仪表的有效测量范围。因此往往要求被测量值的变化与指针的位移不仅保持单值函数关系,同时还应使关系为线性的。由于所测参数的性质关系,上述要求有的仪表能保持,有的仪表则不能。这时为提高灵敏度,扩大

仪表的有效量程，常要加入校正装置，使刻度均匀。但却因此引起仪表构造的复杂化。设法使被测参数的变化与指针位移（刻度指示值）建立单值线性的简单关系，始终是间接测量中的重要技术课题。

3) 恒定度：指当外界工作条件和被测量数值不变时，仪表指示值的稳定程度而言。例如，有些仪表由于内部元件特性的变化，虽然被测量数值没变，但指示值前后却有差别。管弹簧的弹性后效，光电管的特性的老化都会使压力计及光电继电器、分析器的指示产生误差。因此在对这类仪表进行维护时，要定期校核标尺的刻度值。

四、给排水专业工艺参数检测的特点

给排水工艺过程是由许多物理过程、物理化学过程所组成的。在一个过程内许多因素、条件，同时在综合起着作用。但是表征这些过程工况的参数或者影响过程的进程、确定着过程的工艺条件的参数却常是某些物理量（参数）。因此工艺过程的检查实际上就是这些参数的测量。专业中常需检测的参数有流量、压力、水位、浑浊度、溶解氧、色度、余氯量和氫离子浓度等。在一般维护操作中，对测量仪表的准确性方面的要求虽可低些，但对仪表的简便可靠方面的要求却较高。给排水结构物的特点及其发展所要求进行的测量检查，首先是现场自动测量而后再将指示值远送他处。

给排水工艺过程的性质决定了此专业中被测的量不少是化学量，如含盐量，氫离子浓度等。因此常只用间接法测量。为了便于将指示远送，多用感觉元件作为变换器，将被测量转换成电量传给二级仪表。给排水专业用的仪表中常用的传递方法是两种：感应电桥及自整角机（其工作原理如下段所述）。

由于许多因素同时作用于一个过程中，因此，此时对消除或固定其它因素的影响，保持被测量与刻度指示间的单值线性关系的要求，更应予以重视。操作维护时的检测对仪表的要求与实验室测量时对仪表的要求重点是不一样的。从生产检查的观点来看，选用简单可靠耐用的仪表即使使精确度较低也比十分精密复杂，但易损坏的仪表为合适。结合专业的实际情况更应注意。

第1-2节 压力测量

压力测量在专业测量中占有重要位置，因为：

(1) 压力本身是控制某些工艺过程的基本参数，也是用户对用水要求的重要指标之一，是必须加以保证的。

(2) 根据压力差间接测定测流量，可对参加工艺过程的流体作数量上的估计。

(3) 根据压力数值进行操作以保证安全等。

压力的概念是相对的。根据其是否超过大气压而分为计示压力（表压或正压）和真空度（或负压）。压力差则表示两个压力间的差值。当其中的一个正好等于大气压时，则此压力差就是上面的计示压力或真空度了。因此，从原理上讲用压力仪表和差计是没有原则差别的。

压力计种类很多，但根据专业的要求测压的范围和特性能用的而实际亦是常用的压力计是下面这两种：液体压力计和弹簧压力计。

一、液体压力计

1. U型压力计

以液柱的高差作为衡量压力高低的尺度。最简单的液体压力计如图1-1所示。

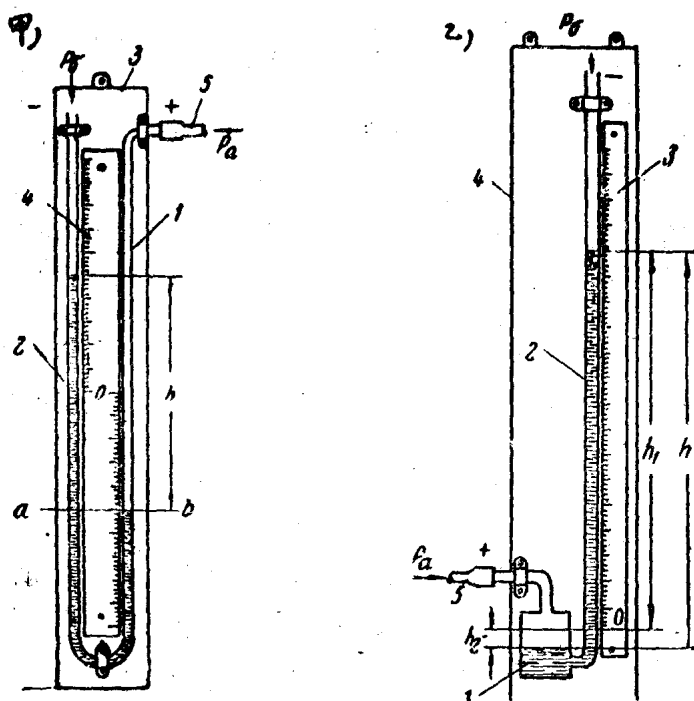


图 1-1 U型压力计示意图

甲) 1及2—玻璃测量管；3—板；4—刻度标尺；5—联接短管

乙) 1—金属容器；2—玻璃测量管；3—刻度标尺；4—板；5—联接短管

U形玻璃管内装有工作液体，液面对准刻度的零点。(+)端(图1-1甲)接待测介质压力，(-)端通大气时，管内两液面上压力不等，因而液面发生变化，此压力差值由两液面之高差所产生之水静压力来平衡，因此液面高差即表示被测压力的大小。例如：当工作液体为酒精时，液面高差 H 为50毫米时，则待测介质的压力(以表压力表示)等于：

$$P = H \times \gamma = 50 \times 0.8 = 40 \text{ 毫米水柱}$$

为了避免管内读二个液面值及计算之麻烦，可以采用单管式压力计(图1-1乙)，刻度直接以压力的单位标出(当工作液体更换时，此数也随之改变，必须进行换算)。只要容器的直径与细管直径之比值足够大时，可以使由于容器液面波动所引起的误差在允许范围以内。测量负压时，将(+)端与大气相通，(-)端与待测介质接通。测量压力差时，压力较大者与(+)端相接，较小者与(-)端相接。这种仪器有各种构造及形式，由于简单便宜，而在实验室及生产现场中广泛采用。

2. 环天平式压力计

在这种仪表中初看起来虽也用一定高差的液柱来平衡压力，实际与U型压力计有很大

区别, 环天平中, 是用重块来平衡并测出压力的。这种方法使得此仪表具有较多的优点, 常用以测量不大的气体压力或与节流装置相配合作为流量计的一次仪表, 间接测量气体的流量。

仪表的主要部分 (见图1-2), 感觉元件 (即环天平) 系由环形金属管制成, 其内下半环充满工作液体, 上半环空间被与圆环焊接的隔板4分成两部分, 它们分别用柔性联结管5、6引向待测介质。整个圆环借小横梁2支于垫座3上, 并可以3为轴而转动。指针8与横梁固接。圆环的下方附有重锤7。

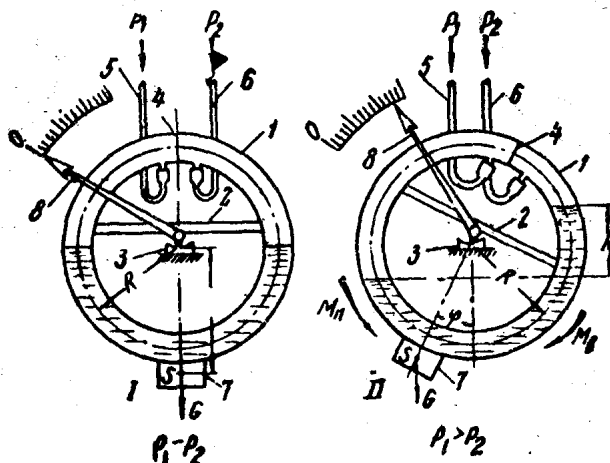


图 1-2 环天平压力计的工作原理图

I—压力相等时; II—压力不等时; 1—环状管; 2—横梁支架; 3—垫座; 4—隔板;
5, 6—柔性联结管; 7—重锤; 8—指针

工作原理: 当 $P_1 = P_2$ 时, 环内工作液体的两液体处于同一水平, 重锤位置最低, 指针指向在标尺的零点 (表示压力差为零)。当压力不相等 $P_1 > P_2$ 时, 左方液面下降, 右方液面升到液柱高差 h 所产生的水静压力与作用在液面上的压力差 ΔP 相平衡时为止。与此同时, 而未被平衡的作用于隔板4上压力差 ΔP , 对圆心3而言, 产生一定的转矩, 它使与隔板固接的圆环, 绕3 (亦即环心) 发生旋转。随着转角 φ 的增大, 因重锤7所产生的反向转矩也增加, 当圆环转过 φ 角二者平衡时, 圆环即停下, 指针在标尺上给出相应的压差数值来。

设 F 为圆环有效断面, R 为圆环平均半径, 则压差 ΔP 所产生的转矩 M_g :

$$M_g = \Delta P \times F \times R \quad (1-10)$$

设 G 为重锤重量, a 为其重心到转轴的距离, 则反作用转矩:

$$M_n = G \times a \times \sin \varphi \quad (1-11)$$

平衡时二者相等, $M_g = M_n$ 即

$$\Delta P \cdot R \cdot F = G \cdot a \cdot \sin \varphi \quad (1-12)$$

由此可得:

$$\sin \varphi = \frac{R \cdot F}{G \cdot a} \times \Delta P \quad (1-13)$$

对已定仪表而言 G, F, R, a 都系常数, 因此上式表示圆环转角的正弦与压差成正比。这时转角虽与压差保持单值关系, 但属非线性, 因而将使刻度不均匀, 为此, 在装置中

要附加校正裝置，使刻度均勻。其構造簡圖可見圖1-3。

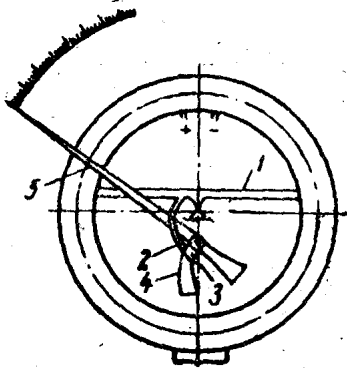


图 1-3 带有校正裝置的环天平压力計

1—支撐；2—曲形連杆；3—活动接头；
4—云行板；5—指針

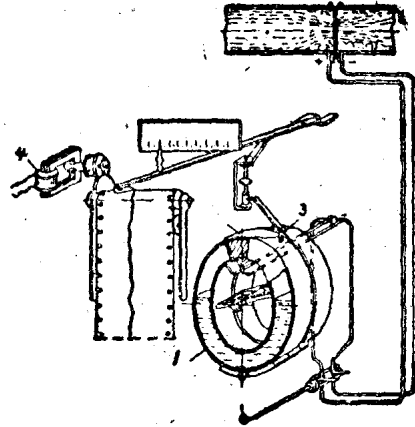


图 1-4 环天平流量計的自动記录裝置系統圖

1—工作圓环；2—曲綫板；
3—滑輪；4—电动机

对上列公式进行分析，可以看出：改变重錘的重量可以改变測量压力的上限或者調整仪表的灵敏度。轉角与工作液体的密度无关系，但所充液体的密度受 $\Delta P = h \cdot \gamma$ 要求的約束。根据在最大压差 ΔP 时，一侧液体不应完全充滿上半环空間环的要求对 h 之限止，即求出充填液体所必須的密度。

在专业中可以将环天平与节流裝置相配合来測量送风量。裝置示意图可以参考图1-4。

3. 钟罩式压力計

浸在装有工作液体的容量內的钟罩，其沉沒深度是随作用于钟罩內外兩側的压力差的变化而变化的。图1-5为其工作原理圖。钟罩1漂浮在容器2內的液体中，当钟罩內外所受压力相等时，钟罩自重依靠浮力来平衡，如式(9)。钟罩沉沒深度为 h_1 ，指針指向标尺的零点。

$$G = 0.785(D^2 - d^2)h_1\gamma \quad (1-14)$$

式中 G ——钟罩重量(千克)；
 d 和 D ——钟罩的內外徑(米)；
 h_1 ——钟罩沉沒深度(米)；
 γ ——工作液体的比重(千克/米³)。

設待測介质的压力(沿管3送入钟罩內)增加时，钟罩将上浮，沉沒深度减少为 h_2 。在新的平衡状态下。

$$G + 0.785d^2P_2 = 0.785(D^2 - d^2)h_2\gamma + 0.785d^2P_1 \quad (1-15)$$

上二式相減，消去共同項并整理可得：

$$(D^2 - d^2)(h_1 - h_2)\gamma = d^2(P_1 - P_2) \quad (1-16)$$

钟罩內压力既然有所增加，因此其罩內液面必然由原液面下降，而在罩与容量器間的环

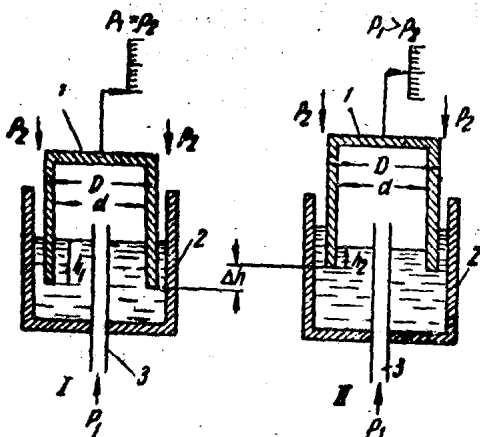


图 1-5 钟罩式压力計的工作原理圖

形部分，液面則有所上升，当此空間很小时，罩內液面下降数值很小，因此可以认为罩內液面高度沒变。所以可令 $\Delta h = h_1 - h_2$ ，并以 ΔP 代替 $P_1 - P_2$ ，則可得下式：

$$\Delta h = \frac{d^2}{D^2 - d^2} \times \frac{\Delta P}{\gamma} \quad (1-17)$$

上式表明：钟罩上升下降的数值，在其内外徑及工作液体的比重已定的条件下，与钟罩所受之压力变化保持正比关系，刻度也均匀。

图1-6所示的KЭP型压力計，就是以此工作原理为基础的，它可以利用感应电桥将钟罩的位移傳送远处。

此类压力計主要是与节流装置配合来間接測量流体的流量。

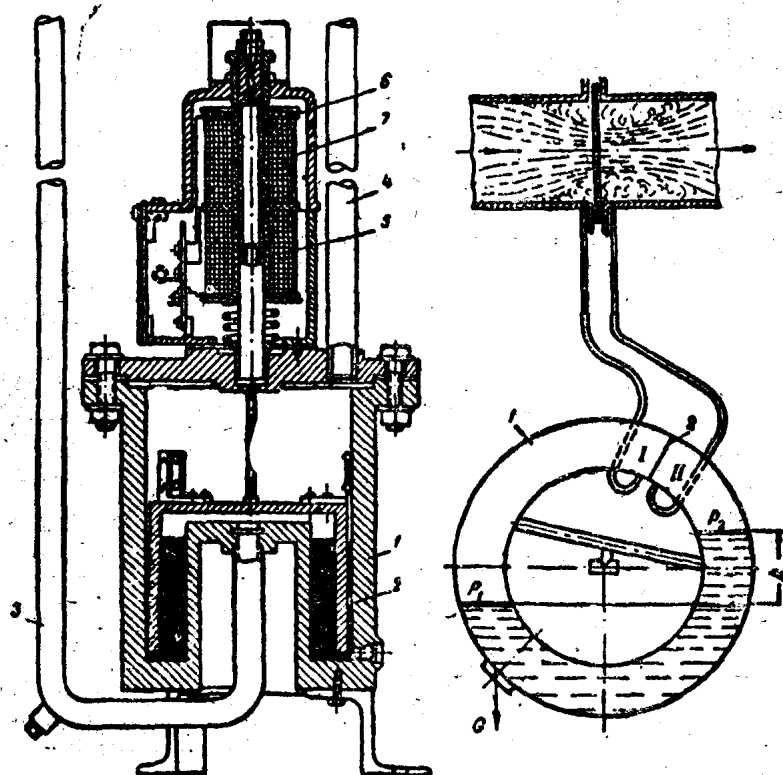


图 1-6 KЭP型压力計

1—生鉄壳；2—钟罩；3—正压傳遞管；4—負压傳遞管；5—鉄芯；6—非磁性套管；
7—双級感应綫圈

4. 浮子式压力計

在这种仪表中工作液面的升降正比于压力差的数值，因此通过工作液面而升降的浮子的位移可以測量压力差的大小。

图1-7給出此类仪表的图示。仪表主要由工作容器1和輔助容器3組成，两者之間用导管2相接通。容器內充有水銀，工作容器內放有浮子4，它通过連杆5及轉軸6使指針7发生轉动。当一定数值的待测压差引入时，工作容器內液面下降 h_2 ，容器3內液面上升 h_1 ，液面差为 h ，此液柱与压力差相平衡。

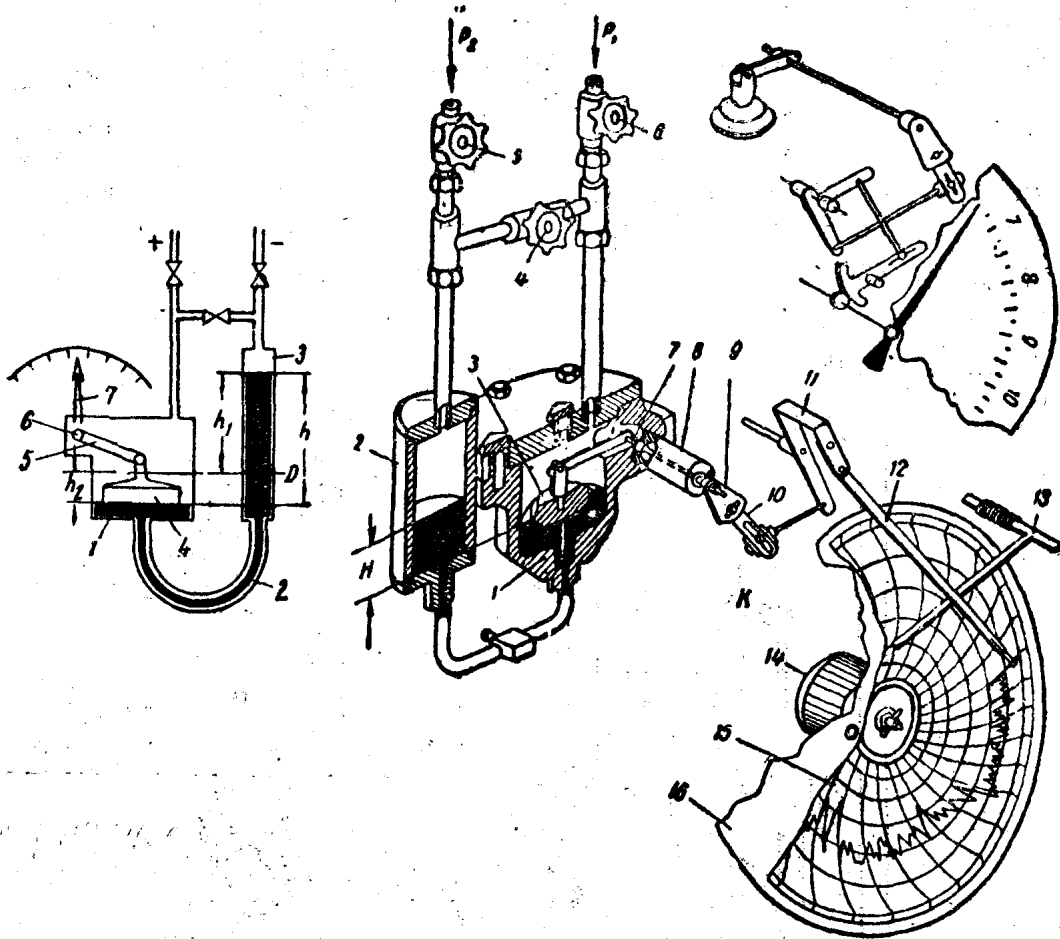


图 1-7 浮子式压力计的图示

图 1-8 Д.П.410型浮子压力计

1—浮标容器；2—替换容器；3—浮标；4—平衡阀；5、6—球阀；7—轴；8—填料函；9—扇形板；10—夹头杆；11—笔尖桥；12—笔尖；13—制动器；14—时钟机械；15—记录图纸；16—底板

由上图可知

$$h = h_1 + h_2 \quad (1-18)$$

但

$$h_1 f_1 = h_2 f_2 \quad (1-19)$$

$$h_1 = h_2 \frac{f_2}{f_1} = h_2 \frac{D_2^2}{D_1^2} \quad (1-20)$$

$$h = h_2 + h_2 \frac{D_2^2}{D_1^2} = \left(1 + \frac{D_2^2}{D_1^2}\right) h_2 \quad (1-21)$$

即

$$\Delta P = h\gamma = \gamma \left(1 + \frac{D_2^2}{D_1^2}\right) h_2 \quad (1-22)$$

此式表明，浮子升降的数值与所测压差的大小成正比关系（既为单值又是直线性的）。浮子式压力计的具体构造及图形状可以参考图1-8。

用这种仪表可测管道内液体的压力差来间接测量其流量。