

高等学校教材

热工测量和仪表

热力过程中各参数的测量方法和仪表

(修訂本)

龔家彪編



中国工业出版社

热工测量和仪表
热力过程中各参数的测量方法和仪表
(修訂本)

龔 家 彪 編
南京工学院热力設備教研組校訂

★
水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)
中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)
北京市书刊出版业营业許可証出字第110号
中国工业出版社第一印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

★
开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张12·插頁2·字数258,000
1961年7月北京第一版
1965年7月北京第二版·1965年7月北京第五次印刷
印数8,647—11,286·定价(科五)1.40元

★
統一书号: K15165·358(水电-58)

本书为热工测量和仪表这一课程的試用教科书，主要讲述火力发电厂热工过程中各参数：温度、压力、流量、液体和固体粉末表面位置、化学成份的测量方法和仪表；热工仪表中各元件的作用原理以及热工测量的基本知识。

本书除供高等学校“发电厂热能动力装置”专业作为教材使用外，亦可供有关工程技术人员閱讀。

說 明

一、本书是根据水利电力部教育司 1962 年 12 月审訂的“发电厂热能动力装置”专业“热工测量和仪表”課程教学大綱編写的，可以作为高等学校热工类专业的“热工测量和仪表”課程的教学用书。

二、本书曾于 1961 年以交流讲义形式出版供各校試用，在試用过程中各兄弟学校的教师和学生們曾提出許多宝贵的建議。根据这些建議，編者对原有交流讲义作了适当的修改和补充，为了适应教学用书的要求，在分量上也作了不少調整和精簡，刪去一些次要的内容。实际上，本书是在很多兄弟学校同志們热情的督促和帮助下編成的。在 1963 年 7 月討論本书編写方案时，清华大学、浙江大学、重庆大学、华中工学院、山东工学院、北京电力学院等各院校都派人参加，我們感謝他們所給予的帮助。

本书原稿承王良楣先生进行詳細的审閱，并对最后的修訂工作給了很好的指导，我們特向王良楣先生表示深切的謝意。

高等工业学校发电厂热能动力装置专业热工仪表教材編审小組委員錢鍾韓教授、方崇智教授和周其鑑副教授，对本书的編写工作一再进行鼓励、帮助和审查，也在此一并致謝。

三、关于本书的内容，还需作如下說明：

1. 为了适应各热工专业的不同需要，为了滿足部分同学更广泛地了解热工測量技术的要求，本书也扼要地介紹了对某些特殊对象的測量方法和仪表，这些都用小号字排印；

2. 各参数所用单位均按不同場合依从习惯，沒有完全按照 SI 制的規定。考虑到本书讀者主要是高等学校高年級的同学，想来不致引起混乱；

3. 由于国产仪表的型号尚未統一制訂，书中介紹的各种仪表都未注明型号。有些已由我国政府頒布专业标准的，則使用标准規定的符号和名詞（例如热电偶的分度号等）。

四、本书虽然曾經過审閱人的审閱，但由于編者水平有限，对热工測量方面的实际經驗更感缺乏，在全书体系和具体内容上难免有不恰当或謬誤之处，这些当完全由編者負責，我們衷心希望使用本书的教师、同学和其他讀者提出批評和指正。

南京工学院热力設備教研組編者

1964 年 6 月

目 录

說 明 緒 言

第一篇 仪表的作用元件和有关計量工作的基本知識

第一章 仪表的作用元件	3
§ 1-1 仪表的三个作用元件	3
§ 1-2 测量仪表的感受件	4
§ 1-3 仪表的显示件	4
§ 1-4 仪表的中間件	6
第二章 有关計量工作的基本知識	7
§ 2-1 仪表讀数的准确度	7
§ 2-2 仪表工作性能的检定	9
§ 2-3 誤差理論要点及其应用	10

第二篇 温度的測量方法和仪表

第三章 温标和国际实用温标	18
§ 3-1 溫度和温标	18
§ 3-2 国际实用温标及溫度标准器	19
第四章 热电高温計	21
§ 4-1 热电現象和热电偶的基本定律	21
§ 4-2 热电高温計的感受件——热电偶	24
§ 4-3 热电偶冷端溫度的影响及其补偿方法	28
§ 4-4 用磁电式仪表——毫伏計——測量热电势	33
§ 4-5 用补偿方法——电位計——測量热电势	37
第五章 电阻溫度計	45
§ 5-1 概說	45
§ 5-2 电阻溫度計的感受件——測溫电阻	45
§ 5-3 在实验室内測量电阻的方法	50
§ 5-4 測量电阻用的直讀式仪表	52
第六章 其他接触測溫仪表和接触測溫方法的討論	56
§ 6-1 其他接触測溫仪表的簡單介紹	56
§ 6-2 接触測溫方法的共同問題	58
§ 6-3 在几种典型条件下靜态測量誤差的討論	60
§ 6-4 几种特殊对象的測量問題	67
第七章 非接触式測溫方法和仪表	69
§ 7-1 热輻射的基本規律及可能的仪表形式	69
§ 7-2 单色輻射高温計	71

§ 7-3 全輻射高溫計	75
§ 7-4 比色高溫計	76

第三篇 压力与真空的测量方法和仪表

第八章 压力测量的标准器和测压方法概述	78
§ 8-1 压力的定义和标准	78
§ 8-2 压力测量的标准器	79
§ 8-3 压力和真空的测量方法	84
第九章 弹性压力计	88
§ 9-1 弹性压力计的感受件——弹性元件	89
§ 9-2 弹性压力计的传动方式及仪表构造	93
§ 9-3 压力讯号的远距离传送——位移讯号的转换方法	94
§ 9-4 弹性压力计的使用	97

第四篇 流体流量的测量方法和仪表

第十章 流量的单位、标准装置和测量方法概述	100
§ 10-1 流量的常用单位和与此适应的仪表形式	100
§ 10-2 流量测量的标准试验装置	101
§ 10-3 流体流量的测量方法	101
第十一章 节流变压降流量计	111
§ 11-1 通論	111
§ 11-2 标准节流件的形式及其特性	111
§ 11-3 标准节流件的流量公式及计算方法	114
§ 11-4 非标准节流件的形式及其特性	124
§ 11-5 节流变压降流量计的显示件——差压计	126
§ 11-6 节流变压降流量计的连接件——差压讯号管路的安装规则	130

第五篇 容器中液体和固体粉末的表面位置测量

第十二章 液体和固体粉末的表面位置测量	133
§ 12-1 液面位置的差压测量方法	133
§ 12-2 机械式位置发讯器	134
§ 12-3 利用放射性同位素测量物料表面位置	135

第六篇 成份分析方法和仪表

第十三章 气体成份分析仪表	139
§ 13-1 各种气体的基本物理性质和作成自动分析仪表的可能方法	139
§ 13-2 热导式气体成份分析仪表	140
§ 13-3 磁性气体成份分析仪表	143
第十四章 物料品质的检查仪表	145
§ 14-1 用电导方法测量溶液浓度和工质纯度	145
§ 14-2 用电位法（氢离子浓度计）测量溶液和工质纯度	150

第七篇 热检查系统

第十五章 热工设备的热检查	152
§ 15-1 热检查系统的计划	152
§ 15-2 热检查的近代形式	155
附录 I	157
I-1 各种测温材料的物理性质	157
I-2 常用热电偶的热电性质	158
I-3 电阻温度计电阻值与温度的关系	160
I-4 各种材料的单色辐射黑度和全辐射黑度	161
附录 II	162
II-1 各种压力单位的换算	162
II-2 常用封液在不同温度下的重度	162
II-3 水银大气压力计的修正值	163
附录 III	164
III-1 国产罗托计的特性	164
III-2 国产差压计的基本特性	164
附录 IV	165
IV-1 标准孔板的尺寸标准	165
IV-2 环室的尺寸标准	167
IV-3 标准节流件所需直管段长度	169
IV-4 流体流经标准节流件的压损损失	171
IV-5 水和水蒸汽的重度和动力粘度	171
IV-6 节流件的极限雷诺数值	174
IV-7 标准状态下气体的重度和粘度	174
IV-8 几种气体的压缩系数 (K)	175
IV-9 标准节流件的原始流量系数 (α_u)	177
IV-10 标准节流件的粘度修正系数 (K_1)	177
IV-11 标准节流件的管道粗糙度修正系数 (K_2)	178
IV-12 标准孔板对进口边缘不锐利的修正系数 (K_3)	178
IV-13 在一大气压下各种气体的绝热指数 (k)	178
IV-14 流量测量用标准节流件的计算图	插页
附录 V	179
V-1 双重孔板的流量系数	179
V-2 90°喷管的流量系数和极限雷诺数	179
V-3 扇形孔板的流量系数和极限雷诺数	179
附录 VI 18°C时某些电介质的当量电导	180
参考文献	181

緒 言

一、測量技術、熱工測量和熱工測量儀表

測量技術就是有關測量方法和測量工具的科學技術。

由於測量技術對科學技術的各個部門都具有重要意義，現在它已發展成為一門學科——計量學。

測量技術隨著測量工作對象的不同而分成若干部門，如長度測量、力學測量、熱工測量、電學測量等等。熱工測量通常是指熱工過程中各參數（如溫度、壓力、流量等）的測量方法。

對熱工過程進行連續的生產檢查是通過熱工測量來進行的，因而熱工測量也被稱為熱檢查。熱工測量（或熱檢查）所用的儀表也就稱作熱工測量儀表（或熱檢查儀表）。

二、熱工測量技術對熱工生產的意義

熱工測量技術與國民經濟中的很多部門有關，因為熱工過程中的各參數也是很多工業生產過程中的重要參數。

隨著熱工設備本身的发展，對熱工測量的要求也愈來愈高。近代熱工設備的發展趨勢是容量大、參數高、安全係數低、連續運行的要求嚴。這一切都要求運行人員有高度的責任感和熟練的操作技能。而正確、可靠的熱工測量方法和儀表又是運行人員的耳目。運行人員如果沒有儀表，實際上就無法判斷設備的工作情況。例如對現有的大型汽鼓鍋爐來說，如停止給水，只要半分鐘到一分鐘就會使汽鼓中的水全部燒干，如果沒有連續監督汽鼓水位的儀表，就沒有控制給水的依據；又如新汽溫度、凝汽器的真空度、煙氣中的二氧化碳或氧的含量對熱力設備運行的經濟性都有重大影響，而這些參數又都是無法用人們的感覺器官直接察知其數量上的變化的。我們常說“儀表是工業的眼睛”，這並不是夸大的。

可靠的熱工測量技術也是熱工生產過程自動化的必要條件。測量是調節的根據，調節是測量的目的。生產過程自動化就是根據測量設備所提供的訊號來發出指令，對設備自動地進行必要的操作，使生產過程按預定的、最安全和最經濟的工况運行。顯然，如沒有完善的測量方法，就沒有自動化的可能。我們知道，當過去只能用玻管溫度計、玻管水位計等就地測量設備來對鍋爐的工作進行監督時，就不能提出鍋爐設備自動化的任務。

如上所述，熱工測量技術已是現代熱工生產安全、經濟的必要保證，熱工測量儀表已是各種熱工裝置中不可或缺的輔助設備。作為現代的熱工技術工作者，就必須掌握有關熱工測量的知識和技術。

三、熱工測量技術的發展現況

熱工測量技術在最近幾十年中，特別是在第二次世界大戰以後，發展得非常快。目前世界各國生產的熱工測量儀表，品種達數千種，其準確度、自動和連續的程度也較戰前大為提高。例如對鍋爐設備來說，已有了成套的自動遙測設備，從而有可能實現設備的集中

检查和管理。近年来，由于特殊冶金、半导体、計算技术、和原子能等科学技术的飞速发展，对测量技术提出了新的要求，也由于这些新技术成果在测量技术中的应用，而互相推动、彼此促进，热工测量技术的发展更是日新月异。现在已有了各种超高参数（例如达百万度的温度）、超低参数、高频脉动参数的测量方法；用放射性同位素来实现参数的快速、連續、自动和不接触测量；在热力设备中已日益广泛地使用数字化仪表，以及把测量、調节和計算过程綜合处理的装置等等。

解放前的旧中国是根本没有仪表制造工业的，而且当时仅有的一些热工装备也缺乏成套的测量仪表。解放以后，在党的正确领导下，只经过不长的时期，在热工测量技术方面就取得了很大的成績。

在第一个五年計劃期間所建設的許多重点企业都装备着成套的新型仪表。为了适应工农业各生产部門的需要，党在同时也着手建設了第一批热工测量方面的科学研究机构和热工仪表的生产基地。

在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下，在热工测量技术方面也出现了大跃进。1958年以后，我国已能自己生产成套的热工测量仪表，同时在我国的大部分省市都建立了国家計量管理部門，建立了各种量具計器的国家标准，并制定了各种标准的传递系統。现在，我国已能生产多种极精密的自动检查仪表，例如气动单元組合仪表、电子单元組合仪表、以及巡回检测和数据处理仪表等。

与此同时，一支巨大的热工测量技术人員的队伍也正在形成。现在已在不少高等学校里設置了有关专业，并已有了一大批毕业生在从事热工测量方法的研究和热工仪表的生产工作；此外，各地还广泛地开展了有关测量技术的專門活动，訓練了大批的热工测量技术人員。

应该看到，这些不仅单纯地反映了在热工测量技术方面的成就，更重要的是由此可以看出我国在热工生产各部門的技术水平飞速进展的面貌。

四、热工测量的主要内容

热工过程中的主要参数大致包括五个量，即温度、压力、流量、液体和固体粉末的表面位置、以及化学成份。本书的主要内容也就是介绍上述各参数的测量方法和仪表。

在发电厂和其他工业部門中，为了保证热工测量仪表的工作可靠，都有專門的机构負責，例如发电厂中的热工室以及其他企业的計器科或中央試驗室等。

作为一个現代的热工技术工作者，必須在熟悉热工生产过程的基础上掌握生产过程中各参数的测量方法，具备有关测量仪表的知識。应该善于选用正确的测量方法和仪表，熟悉这些测量方法和仪表的使用条件，正确判断测量誤差的可能来源及其消除方法。并在这些知識的基础上具有使测量仪表在正确、可靠的状态下运行的知識和技能。

应该指出，为了保证热工设备的安全、經濟运行，除了上述五个参数外，还可能必須进行連續检查的其他参数，例如电力拖动设备的电流、电压；汽輪机轉子的軸向位移等等，但是其中有些测量仪表已包括在别的課程内容之内，有些测量仪表的装設量远較上述五个参数的测量仪表为少，因此，本书不拟一一討論。

第一篇 仪表的作用元件和有关計量工作的基本知識

能連續地、自动地对被测热工量給出讀数的仪表叫做热检查仪表，在本书中，我們將具体介紹各种常用热检查仪表的原理、构造和正确的使用方法。为了便于对各种仪表进行具体的分析，我們將先介紹一些有关构成測量仪表的各个必要元件的概念，同时对于計量工作上常用的術語和基本知識也作一些說明，以便讀者能更好地了解以后各章的內容。

第一章 仪表的作用元件

§ 1-1 仪表的三个作用元件

仪表的构造是相当复杂的，同一类仪表在外观上可能有很大的差别，也有同样外观、同样结构的仪表，而其作用却完全不同。例如装有保护套管的热电偶和測溫电阻，在外形上几乎是一样的。又例如金屬电阻溫度計和半导体热敏电阻溫度計，虽然它們都用来測量溫度，而且都是依据电阻随溫度变化的原理，可是在外观上却是完全不一样的。由此看来，似乎很难对各种仪表作一般的分析。但是，如果从仪表本身的作用来看，实际上可以指出一些共同点，这对我們具体分析各种仪表來說，有着很大的帮助。

从作用上看，任何仪表都包括有下列三个必要元件：

1. 感受件 它直接与被测对象发生联系（但不一定直接接触），它的作用是“感受”被测参数的变化，同时对外界发出一个相应的訊号。例如水銀溫度計，它能感受被测溫度的变化，并按照变化的大小而发出某个大小的位移訊号；

2. 显示件 它直接与观测者发生联系，它的作用是根据感受件发出的訊号向观测者指出被测参数在数量上的变化。例如仪表的标尺和指針，或积分式仪表的字盘等等；

3. 中間件 它的作用是将感受件发出的訊号（改变或者不改变这种訊号的性质）直接地或者按比例地传给显示件。例如压力計中的杠杆齿輪传动机构等。

如上所述，这三个元件的相互关系就如图1-1所示。

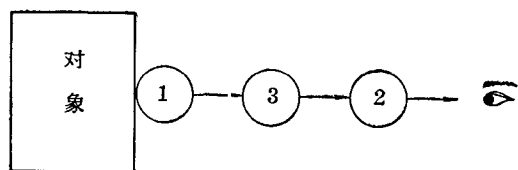


图 1-1 測量仪表各元件的作用示意图

1—感受件；2—显示件；3—中間件

应当指出，仪表各作用元件在某些最简单的仪表中是分得不很清楚的，例如在水銀溫度計中，下部的測溫泡（水銀和玻璃）显然起着感受件的作用，而毛細管中的水銀柱却同时起着中間件和显示件的作用。但是对热检查系統中常用的仪表來說，一般都是分得比較

清楚的，这在以后将得到具体的印証。

由于各元件的作用不同，我們对各元件的要求也不一样。下面我們將分別討論这些元件的特点，这对我們从原則上了解各具体仪表的工作性能是有好处的。

§ 1-2 测量仪表的感受件

根据上面所說的感受件的作用，作为仪表感受件**首先**必須滿足的条件是：它必須随着被测参数的变化而发生一个相应的内部变化（这个内部变化就是感受件向外界发出的訊号）。这个条件是容易滿足的，因为各种現象之間的普遍联系和相互依存是客观存在的事实，例如被测参数是溫度，則溫度变化时，几乎各种物质都会发生体积、电阻、和其他物理性质的改变。

但是这还不是作为仪表感受件的充分条件，作为仪表的感受件，还必须有一个条件，就是它只能随着被测参数的变化而发出訊号。如果被测参数是溫度，那么感受件就只能在溫度变化时才发出訊号，在压力改变时就不应该发出同样的訊号。正是因为現象間的普遍联系和相互依存，所以这一条件很难絕對滿足，我們如用气体的膨胀来测量溫度，則当溫度变化时气体的比容固然会改变，而在被测介质的压力变化时，气体的比容也会改变。这就給測量工作造成困难。在实践中，要找到同时能滿足上述两个条件的感受件是不容易的。在仪表的設計上，一般只能做到以下各項之一：1）找到一种感受件，它对被测参数的反应特别强烈，而对被测介质的其他变化虽也有反应，但反应很弱，以致在通常情况下可以对其他变化略去不計。例如用金屬电阻的变化測量溫度，金屬电阻虽也会随压力的变化而改变，但在压力变化时，电阻的改变量非常小，在通常情况下可以略去不計；2）創造条件，使干扰測量結果的被测介质的其他性质保持不变或加其他补偿，例如盐类溶液的导电率不仅随溶液的浓度变化，也会随溶液的溫度而变化，在这种情况下，我們就想法使溶液的溫度保持定值或者另加溫度补偿的附件，当然这样也就使仪表的构造更为复杂；3）将被测介质的其他性质对仪表讀数的关系用理論方法或实验方法确定下来，然后对仪表讀数加上修正值。例如各种电测仪表都会因仪表周围环境溫度的变化而使讀数改变，此时我們就要根据环境温度而对仪表讀数加一个修正值（溫度每变化1度而对仪表讀数需加的修正系数一般称作仪表的溫度系数）。

作为仪表感受件的**第三个条件**是：感受件发出的訊号与被测对象之間必須有单值的函数关系。例如我們不能用水的密度变化来測量 $+4^{\circ}\text{C}$ 左右的溫度，因为在这种情况下水的同一个密度大小可以代表两个不同的溫度。

以上关于測量仪表感受件的討論，不論对于設計仪表或是使用仪表來說都是有实际意义的。上面的原則，指出了选择感受件时应考虑的問題，同时也告訴我們：仪表的感受件不会是絕對理想的，它都有一定的使用条件。

§ 1-3 仪表的显示件

感受件发出的訊号通过显示件向观测者反映被测参数在数量上的变化。最简单而常見的仪表显示件是指示件，它通过标尺和指針（或液面、光綫等）的相对位置来反映被测参

数的瞬时值，有这种显示件的仪表也就被称作指示式仪表。

指示式仪表只能指出被测参数当时的瞬时值。在实践上，有时还需要知道被测参数在各个时间的变化情况，以便分析研究或作为事后监督。这就要求仪表能把各个瞬时的读数记录下来，带有这种装置的测量仪表也就被称作记录式仪表。在记录式仪表中，除了以记录笔(代替指针)的运动来反应被测对象的变化外，还需要另一个匀速运动部件，依靠记录笔和上述部件的相对运动，就可记录下各个时间的读数。此时时间是一个自变量，记录笔的位置代表读数，如相互作用垂直运动，则记录纸是长方形的，坐标是直角坐标，如图1-2所示。另外也有作匀速圆周运动的部件，此时记录纸就是圆形的(一般是每转一圈代表24小时，即一昼夜)，如图1-3所示。记录式仪表中造成匀速运动的部件一般是时钟机构或者同步电动机(通过减速器)。在某些特殊情况下，记录式仪表也有不用时间为自变量的，

例如在汽缸的示功图上，一个坐标是压力，一个坐标是容积，此时记录图纸就要跟随活塞运动。

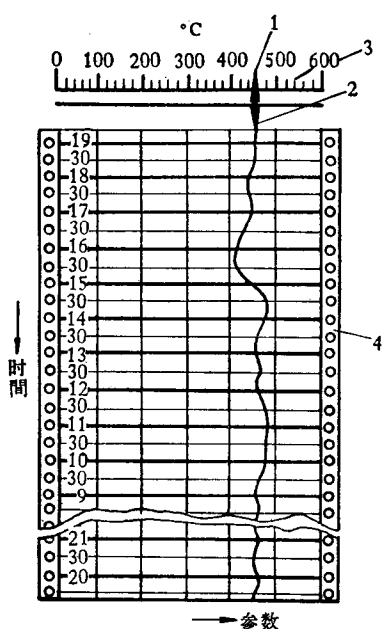


图 1-2 直角坐标的记录纸
1—指针；2—记录笔；3—标尺；4—记录纸

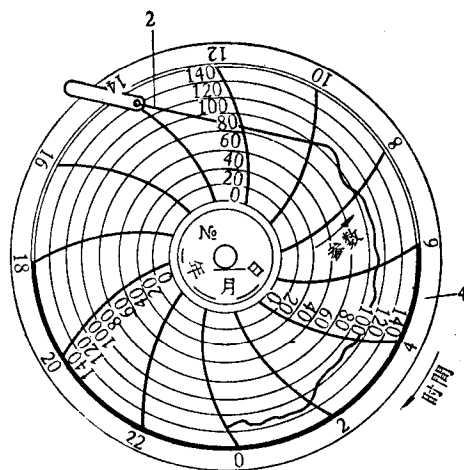


图 1-3 圆盘形记录纸
2—记录笔；4—记录纸

记录式仪表所能反映的是被测参数在各个瞬时的变化情况，有时我们还需要知道被测参数对时间的积分。例如在测定流量时，要知道在某个时间间隔内流过的总量，如 Q 为瞬时流量(米³/秒)则 $\int_{t_1}^{t_2} Q dt$ 就是从时间 t_1 到 t_2 间隔内流过的总量。当然我们可以利用记录式仪表所记下的曲线用面积仪量出流量曲线所包含的面积，从而算出流过总量，但这种方法毕竟比较麻烦。一般工程中都使用自动积分的显示件，显示件是积分式的测量仪表就被称作积分式仪表或累计式仪表。

在有些情况下，我们并不需要知道被测参数的瞬时值，但要知道被测参数是否已超过规定的数值。例如对于热力机械的轴承温度来说，如果超过规定的数值就会发生危

险，又如煤粉和空气混合物的温度如超过规定数值就可能发生爆炸……等等。对于这样的对象来说，被测参数的瞬时值并不很重要，但通过显示件向观测者指出被测参数是否已超过容许值却是保安的重要手段。我们有这样的显示件：当被测参数达到或超过所规定的数值时就能发出音响或灯光信号，向运行人员发出“警告”，督促运行人员采取措施以防止可能发生的事故。具有这种显示件的仪表就称作**信号式仪表**。因为这种音响和灯光信号通常是通过接触点接通一个电气线路来实现的，所以通常信号式仪表的形式都是**电接点式仪表**。

顺便要指出：同一具仪表可能具有多种效用，例如对有些电子电位计来说，它既有标尺和指针、有记录纸和记录笔、又有电接触装置。也就是说，这样一具仪表既是指示式的、又是记录式和信号式的。

根据上面对显示件作用和形式的分析，我们会自然想到：能否使显示件不仅“消极地”反映参数的变化，而且“积极地”对被测对象进行“干涉”，使被测参数保持在预定数值呢？例如当锅炉汽鼓压力过高时，能否使显示件不仅指出汽鼓压力的大小，也不仅发出音响和灯光信号，同时也直接打开安全门呢？这是可以做到的，我们只要使显示件的电接触装置接通一个继电器，然后用电磁铁来开启安全门就可以了。

更进一步考虑，我们能不能使显示件“干涉”被测对象，使被测参数保持一定数值呢？这也是可能做到的，图 1-4 就是这种显示件的工作示意图。

在这种情况下，显示件就成为自动调节的元件，或称调节件，带有调节件的仪表有时就称作**调节式仪表**。显然，上面所说的电接点式仪表是调节式仪表的简单例子。

在热力过程中各参数的自动调节问题上，由于热工对象的容量较大，又有自平衡性质，对于调节过程的分析和对调节件的研究是属于另一技术科学部门（生产过程的自动调节）的，在本书中，对调节式仪表的特殊问题将不予探讨。但是要指出一点，图 1-4 所示的调节件设备的系统是普遍适用于生产过程的自动调节的，不论是检查测量抑或自动调节，其感受件和中间件都是相同或类似的，而检查测量就是调节的根据。因此掌握热力过程中各参数的测量方法和有关检测仪表的知识也是为进一步掌握热工过程自动化问题的必要条件。

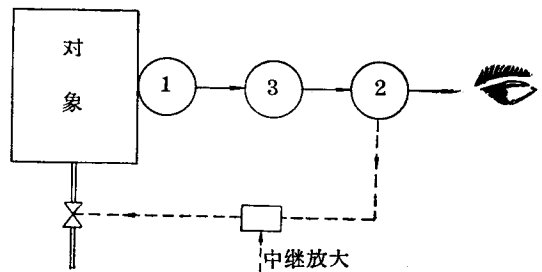


图 1-4 调节件的原理图

1—感受件；2—显示件；3—中间件

§ 1-4 仪表的中间件

最简单的中间件是单纯起“传达”作用的元件，其作用是将感受件发出的信号毫无改变地传给显示件。这种单纯的传达件一般只有在感受件发出的信号较强、感受件与显示件之间的距离不大时才有可能采用。在近代热工设备中，一般趋向于集中检查，感受件与显示件之间的距离可能很大，而且由于推动记录笔需要较大的能量，所以感受件发出的信号往往需要放大，甚至要求改变信号的性质，以便远距离传送读数。

仪表的放大件有两类：一类是感受件发出的信号较强，放大时不需外加能量，它只利

用杠杆或齒輪增加指針和标尺之間的相对位移，使易于观测。这一类放大件如弹簧管压力計中的杠杆机构和扇形齒輪传动机构。

另一类放大是需要外加能量的，例如用电子电位計测量热电势时，就要将电势放大10万倍左右。这一类放大，在热工仪表中一般是利用电子管或晶体管来完成的。

为了便于传达和放大訊号，特别是在感受件与显示件之間的距离很大、以及感受件发出的訊号很微弱时，我們常将感受件所发訊号的性质加以改变，最方便和最常用的是将感受件发出的訊号轉換成电量（例如将訊号轉換成电阻、电感或电容的变化）。这样就可以用电测仪表来测量，用导綫来传送訊号，用电子管来把訊号放大，用电能来供給放大时所需的外加能量等等。訊号被轉換后所用的测量仪表（显示件）常被称作**二次仪表**。由于我們常把訊号轉換成电量，因此在近代化热力設備的热检查系統中所用的二次仪表几乎都是电测仪表（例如电子电位計等）。

当然，二次仪表本身也是一具完整的仪表，它也可被分成感受件、显示件和中間件，所以近代热力設備所用的仪表是相当复杂、相当精致的設備。

应该指出，由于訊号可以轉換，所以一定的感受件并不一定要配用一定的中間件或显示件、同一个比率計可以用来指示溫度、压力、流量或其他热工量（只須将标尺改換一下），同一个电子放大器可以用在流量計上，也可用在溫度計上……等等。

上面我們对仪表作用元件作了一般的分析，通过这些分析可以看到：仪表的结构是相当复杂的，我們不能从仪表的外形直接判断出該仪表所依据的原理和正确使用的方法，必須具体了解仪表各作用元件的相互关系后才能一般地了解仪表的性能和正确地进行安装和使用。在通常情况下，还是要借助于仪表的說明书的。

第二章 有关計量工作的基本知識

§ 2-1 仪表讀数的准确度

从上面对仪表作用元件所作的一般分析，可見从测量对象的原始变化到最后讀数要經過許多元件的作用，不难想到可能有很多情况使仪表讀数与真实情况不相一致，这就造成仪表讀数的“誤差”。可以指出，被测参数的真实值通常是不知道的（因为被测对象的情况都要用仪表测得，而仪表的讀数不可避免地会有誤差；随着科学技术的日益发展，对测量对象的真实情况可以日益接近，但是对于真实情况的認識是无限的），我們只能就目前科学技术力量所及，用目前认为最可靠的仪表和测量方法作为比較其他仪表的标准。我們把两具仪表（被检仪表和标准仪表）对同一参数进行比較（这在計量工作上称作仪表的**校驗或檢定**），其讀数的差別就是被检仪表的誤差。如被检仪表的讀数为 a ，标准仪表的讀数（标准值）为 b ，則在对象为 b 时仪表的讀数誤差为：

$$\text{绝对誤差} = a - b; \quad \text{相对誤差} = \frac{a - b}{b} \times 100\%.$$

仪表在某一标准值时的讀数誤差可能是正值，也可能是負值，各点的讀数誤差也不一定相同。由于誤差的性质，通常只需一位有效数字（最多二位）。如标准值为 130°C ，被检仪表的讀数为 135°C ，則在 130°C 时仪表的讀数誤差为 $+5^{\circ}\text{C}$ 或 $+4\%$ （如写成 3.85% 是毫无意义的）。

測量仪表在其标尺范围内各点讀数絕對誤差的最大值（包括正負值）称作仪表的**絕對誤差**。例如某一測溫仪表的标尺范围为 $0\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，在进行检定时发现在 0 、 100 、 200 、 300 、 400 、 500°C 时的讀数絕對誤差分别为 0 、 $+3$ 、 -3 、 -6 、 $+6^{\circ}\text{C}$ ，則仪表的絕對誤差就是 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ 。仪表的絕對誤差不能用来判断仪表的质量，因为如果两只仪表有同样的絕對誤差，但两只仪表的标尺范围不同，显然标尺范围較大的那具仪表相对來說就具有較高的准确度。所以判断仪表的质量常常不用仪表的絕對誤差而用仪表的**折合誤差**。所謂折合誤差就是仪表絕對誤差折合成該仪表标尺范围的百分数，即

$$\text{仪表的折合誤差} = \frac{\text{仪表的絕對誤差}}{(\text{标尺最大值}) - (\text{标尺最小值})} \times 100\%.$$

对上例來說，仪表的絕對誤差是 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ ，标尺范围是 500°C ，則其折合誤差就是 $\pm 1.2\%$ 。如另有一只仪表，其最大絕對誤差也是 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ ，但标尺是从 $-50^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ ，則其折合誤差就是 $\pm 3\%$ 。显然，第一只仪表的质量是較高的。

在掌握了上述各种誤差的意义以后，我們就可以进一步討論决定仪表质量的若干性质。这些性质就是**容許誤差**、**基本誤差**、**准确度級**、**变差**、**灵敏度**、以及**灵敏度限**。在对仪表进行检定时，检定工作的目的也就是要确定被检仪表的上述各項性质。

容許誤差 要求仪表的讀数絕對正确是做不到的，根据仪表的使用領域，我們常对某一类仪表規定一个在正常情况下容許的最大誤差（这种規定常载入国家标准內），工业用仪表的容許誤差常用折合数值（折合成仪表标尺范围的百分数）表示。例如作检查用的 $0\sim 100$ 大气压的压力計，其容許誤差为 $\pm 1\%$ ，即容許这具压力計在任何刻度点上有不大于 ± 1 大气压的讀数誤差。

基本誤差 仪表在正常工作条件下的最大誤差称基本誤差。所謂正常工作条件通常是指仪表周围介质的温度为 $+20^{\circ}\text{C}$ ，在某些情况下更附加了大气压力、电源电压、电源頻率或其他条件。仪表的基本誤差也用折合数值表示。

如果仪表不在規定的工作条件下工作，則由于外界条件的影响而会造成額外誤差（此时就不能保証讀数誤差在基本誤差范围以內）。

准确度級 仪表的质量一般是用准确度級来表示的，仪表的准确度級等于以百分数表示的容許誤差。例如某一仪表的容許誤差为 $\pm 1.5\%$ ，則該仪表的准确度級就是 1.5 ，或称作 1.5 級的仪表。仪表的准确度級一般是应该标志在仪表的标尺板上的。

讀数誤差 仪表的准确度級只說明了該仪表标尺上各点的可能最大絕對誤差，它不能說明在标尺各点上的实际讀数誤差。对于實驗室用的仪表來說，为了求得更为可靠的測量結果，可以通过仪表的校驗（將實驗室用仪表与准确度更高的标准仪表比較其讀数）來將實驗室用仪表标尺上各点实际誤差測出，然后在使用时對該仪表的讀数引入一个校正数。

仪表标尺上某一点的讀数校正数是（注意：讀数校正数与讀数绝对誤差在数值上相等，但符号相反）：

$$\text{校正数} = \text{标准值} - \text{讀数}。$$

实验室用仪表标尺上各点的讀数校正数可以列成表格或画成曲线（称校正曲线），曲线的横坐标是讀数，纵坐标是校正数，其形式如图 2-1 所示。在测量时只需根据当时讀数再加上由校正曲线查得的相应的校正数就可以得到标准值了。

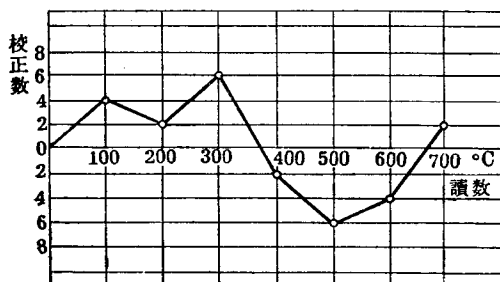


图 2-1 仪表讀数的校正曲线

許誤差范围以內，就不必再加其他校正。

仪表讀数的变差 当外部条件不变，用同一仪表对某一对象的同一参数值重复进行测量时，仪表的讀数不一定完全相同，各次讀数間实验所得的最大差数称为仪表讀数的变差。变差也常以仪表标尺范围的百分数表示。仪表讀数变差的特例是当仪表讀数上升时（正行程）与下降时（反行程）对同一对象所得讀数之差（由于仪表内部有摩擦，传动系统中間隙，这种变差是存在的）。显然，仪表讀数的变差不应超过仪表的容許誤差。

仪表的灵敏度 指針的直綫位移或角位移与引起此項位移的被測对象变化量之比称作仪表的灵敏度。例如在一具溫度計上指針每移动 1 毫米代表 1°C ，而在另一具溫度計上指針每移动 2 毫米代表 1°C ，則后者就具有較高的灵敏度。当然，仪表的灵敏度可以用提高放大系統的放大倍数的方法来加大，但是應該指出，仪表的质量决定于仪表的基本誤差，如果单从加大仪表灵敏度来企图得到更准确的讀数是不合理的。为了防止这种“虛假的”灵敏度，我們常規定仪表标尺上的分格值不能小于仪表容許誤差的绝对值。

仪表的灵敏度限 能使仪表指針发生动作的被測对象的最小变化称为仪表的灵敏度限。一般仪表的灵敏度限的数值應該不大于仪表容許誤差绝对值的一半。

§ 2-2 仪表工作性能的檢定

如要得到可靠的測量結果，首先必須掌握仪表本身的工作性能。在实验室里通过檢定、試驗和分度确定仪表的工作性能是計量工作的三种基本方式。

将仪表的讀数与标准仪表进行比較、从而确定仪表质量的工作称作仪表的檢定（或校驗）。在热檢查系統中使用的每只仪表都必須进行定期的檢定，以保証主要热工装备的可靠工作。仪表进行檢定后应进行必要的調整，使仪表能符合規定标准的要求。如果仪表檢定的結果超出容許范围而又无法調整时，

即应报废。

对测量仪表的試驗包括在正常工作条件下对仪表的检定，也包括在不正常工作条件下研究各种因素对仪表讀数的影响，例如确定仪表的动态特性、溫度系数，电源电压波动时的影响等等。也就是說，研究各种因素可能造成的額外誤差的大小。

测量仪表的分度也是計量学工作之一，分度就是在仪表标尺上加上被测参数的数值。它也是通过与标准器在實驗室条件下进行比较而进行的。

以上各项工作在仪表出厂时都应进行，仪表在使用过程中还必须要在實驗室內或在国家管理計量工作的机构內定期地进行。現在我国的最高計量监督机关是中华人民共和国科学技术委员会計量局，它有設備极为完善的實驗室，保存有各种量仪的国家原器，通过这些国家原器与国际标准相联系。在全国各个地区也設有計量管理部門，在这些部門的實驗室里保存有根据国家原器直接传递下来的标准仪器，就这样层层传递，保证了各个工作单位所用的测量仪表在可靠状态下工作。

§ 2-3 誤差理論要点及其应用

上面已說过仪表本身的誤差和判断仪表质量的若干指标，这些都是仪表本身的特点。在使用仪表进行测量工作时，还会因其他主觀和客觀的原因而引起測值（讀数）的誤差。在这一节中，我們將全面地討論测量工作过程中的誤差来源和对讀数准确度的判断。

一、讀数誤差的分类及其性质

在测量工作中，讀数的誤差可能有三类：

1. 疏忽誤差 疏忽誤差是完全由于观测者主觀的过失而造成的，例如在讀值过程中将小数点讀錯，或者在使用多量程仪表时讀錯一个量程等等。只要观测者本人集中思想，疏忽誤差应该是可以避免的。在精密测量工作中，为了避免疏忽誤差，有时也規定由不同的观测者对同一讀数分别进行观测。

2. 系統誤差 由于测量仪表使用不当以及由于测量时的外界条件不合适等而产生的讀数誤差称作系統誤差。例如在下列情况下就要发生这类誤差。

(1) 使用仪表时不能滿足制造厂所要求的条件。这种情况是很可能出現的，例如仪表工作时的环境温度与仪表检定时的溫度不一致，現場的其他設備可能对仪表发生干扰等等。这些誤差的数值可能不容易确定，因为現場的情况可能經常变化。但是如果我們充分掌握了仪表所依据的原理及其构造上的特点，也可以預見到可能造成讀数系統誤差的因素；此外，依靠实验技术（通过对仪表的試驗）也可确定在一定的环境条件下某一仪表可能发生的誤差大小。例如电测仪表的溫度系数就完全可以在仪表試驗时确定下来的。作为一个热检查工作者，就应该熟悉各种热检查仪表的原理和工作性能，預先掌握测量現場的条件，善于选择恰当的仪表，从而避免或者判断出由于这一原因而发生的系統誤差，使讀数更为可靠。

(2) 由于被测对象和测量方法存在某些特点，因而使讀数发生誤差。例如在測量点的气流有旋涡时，一般很难測得正确的压力；当測量气流溫度而附近有热壁或冷壁时，也很难用接触測溫方法測得正确的气流溫度；又如当被测参数发生变化时，由于仪表本身有惰性（如机械式仪表中的质量、电测仪表中的电磁感应或电容、传热式仪表中的热容量