

中等专业学校試用教科书

热力过程自动化

吉林电力学院自动控制教研室編

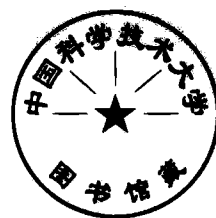


中国工业出版社

中等专业学校试用教科书

热力过程自动化

吉林电力学院自动控制教研室编



中国工业出版社

本书是根据全国电力学校“热力过程自动化”课程教学研究会所拟訂的教学大綱而編写的。

全书共分两大部分，即热工测量和自动調节。

在热工测量部分中，介紹了溫度、压力、流量、水位、气体成分、汽水品质以及某些特殊参数的测量方法。并着重闡述了我国和苏联所生产的热工仪表的原理和构造。

在自动調节部分中，闡述了自动調节的基本理論、各种类型調节器的作用和构造以及发电厂热力设备的自动調节系統。其中对电子自动調节器作了比較詳尽的說明。

本书可作为中等专业学校“热能动力装置”专业学生的教科书，也可供发电厂热工方面的工程技术人员参考。

本书由徐偉勇同志編写，邓天日和張玉鐸同志校閱。

热力过程自动化

吉林电力学院自动控制教研室編

*

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張13 $\frac{1}{4}$ ·字数297,000

1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数0001—2,033·定价(9-4)1.27元

統一书号: 15165·219 (水电-36)

目 录

緒論

第一篇 热 工 测 量

第一章 热工测量的基本原理	7
第1节 发电厂的热工检查	7
第2节 测量仪表的組成及其特性	8
第3节 测量仪表的分类	8
第4节 测量的誤差	9
第二章 温度的测量	10
第1节 温度标尺和温度测量仪表的分类	10
第2节 膨胀式溫度計	10
第3节 压力表式溫度計	13
第4节 热电式高溫計	15
第5节 电阻式溫度計	29
第6节 溫度計的安装准则	36
第7节 輻射式高溫計	38
第三章 压力的测量	41
第1节 压力测量仪表的分类	41
第2节 液柱式压力計	42
第3节 彈簧式压力計及其发送器	44
第4节 薄膜式风压表	49
第5节 压力計的选择、安装和使用	50
第6节 特殊的压力测量方法	51
第四章 流量的測定	52
第1节 流量测量仪表的分类	52
第2节 节流式流量計	52
第3节 速度式和容积式流量計	73
第4节 轉子式流量計	75
第5节 特殊的流量测量方法	75
第五章 水位的測量	77
第1节 重液式低置水位表	77
第2节 輕液式低置水位表	79
第3节 差压計式水位表	79
第4节 特殊的液位測量方法	80
第六章 气体成分的測量	81
第1节 化学式气体分析器	81
第2节 电气式CO ₂ 分析器	83
第3节 磁性測氧計	87

第4节 测氫計	88
第七章 汽水品質的測量	90
第1节 测盐計	90
第2节 水氧計	93
第3节 酸度計	95
第八章 特殊測量	97
第1节 轉速表	97
第2节 汽輪机軸向位移指示計和膨脹差指示計	99
第3节 汽輪机軸承振動表	100
第4节 皮帶式煤秤	102
第九章 电子式热工仪表	104
第1节 电子式仪表的測量系統	105
第2节 电子管放大器	107
第3节 电子式热工仪表的型式和結構	112

第二篇 自动調节

第十章 自动調节原理	120
第1节 調节对象的性质	120
第2节 自动調节的基本系統	124
第3节 調节器的脉振工况	136
第十一章 調节器的型式和結構	138
第1节 油压式調节器	138
第2节 气动式調节器	142
第3节 电气机械式調节器	148
第4节 电子式調节器	154
第5节 各种类型調节器的比較	168
第十二章 汽鼓型鍋炉燃烧过程的自动調节	169
第1节 燃燒調节的原则性系統	169
第2节 采用电气机械式調节器的燃燒調节系統	177
第3节 采用电子式調节器的燃燒調节系統	179
第十三章 汽鼓型鍋炉給水过程的自动調节	189
第1节 給水調节对象的特性	189
第2节 給水自动調节系統	190
第3节 給水自动調节器	191
第十四章 汽鼓型鍋炉过热蒸汽温度的自动調节	195
第1节 过热蒸汽温度的調节方法	195
第2节 电子式溫度調节器	196
第十五章 直流鍋炉的自动調节	201
第1节 直流鍋炉的調节特点	201
第2节 直流鍋炉的自动調节系統	201
第十六章 发电厂輔助热力设备的自动調节	203
第1节 磨煤机的自动調节	203
第2节 减压減溫设备的自动調节	208
第3节 除氧器的自动調节	210
第4节 汽輪机曲徑軸封汽室中的汽压調节和凝汽器中的水位調节	211

緒 論

在現代工業企業中，生產過程是機械化的，甚至是自動化的。

機械化是在生產過程中採用機器和機械，以代替繁重的體力勞動；而自動化是在生產過程中採用儀器和機械來控制生產過程，它是機器生產發展的最高形式。

自動化是技術經過長期發展的結果。馬克思在機器生產發展初期就深刻剖析過，進步到生產自動化是不可避免的。馬克思說：“但自從工作機不要人力的幫助，已經可以做原料加工上必要的一切運動，從而，只須有人在旁邊照料以來，我們就有了自動的機器體系了。不過，這個自動的機器體系，仍然不斷可以有局部的改良。”^①

在熱力設備中蒸汽機轉速的自動調節早在十九世紀就已經得到了廣泛的應用，這是因為蒸汽機內過程的進行速度相當快，對維持轉速的要求很高，尤其是當紡織工業中採用了蒸汽機以後。但是，那時的蒸汽鍋爐卻很少採用給水調節器，更談不上採用燃燒自動調節器，這是因為火管鍋爐給水過程一般是不連續的，水位允許有相當大的波動，它的燃燒過程也是不連續的，在人工手燒爐中進行。

從二十世紀開始，由於水管鍋爐得到越來越多的採用和鍋爐容量的不斷增大，因而，採用給水調節器的鍋爐也就逐漸增多。到現今，根據我國“電力工業技術管理法規”的規定：蒸汽鍋爐都必須裝設自動水位調節器。

從二十世紀二十年代以後，由於鍋爐出力的增加和採用了機械化的層燃爐和煤粉爐，燃燒過程的自動調節也逐漸得到了越來越多的應用。我國目前一般是規定75噸/時以上的鍋爐需要採用燃燒自動調節器。

發電廠熱力設備實現自動化以後，有着下列基本的優點：

1. 提高設備工作的經濟性，節省煤耗和廠用電。例如，當鍋爐實行燃燒自動化後，可以使熱效率提高0.5~3%，並由於汽壓汽溫保持得比較穩定，使汽輪機的效率也得到了相應的提高。

2. 減少事故，提高設備工作的安全性。這是因為機組採用了熱力保護設備，當萬一發生事故時，可以自動處理，不致使事故擴大。

3. 改善勞動條件。例如，在鍋爐給水沒有實現自動化以前，需要由司水員在炎熱的鍋爐頂部盯着玻璃水位表的指示，頻繁地手動操作給水調節閥門，而當給水實現自動調節以後，就用不着工人的直接操作，只需在旁監視水位就可以了。

4. 縮減運行人員的數目。根據蘇聯最近的統計，由於熱電廠中採用了大量的自動化設備，使每1000瓩的運行人員數目約比戰前縮減了兩倍。

但是，在兩種不同的社會制度下，自動化卻帶來兩種不同的影響和後果。

在資本主義制度下，採用自動化設備會給資本家帶來巨額利潤，但對工人階級來說，卻是嚴重地威脅着勞動人民的生存權利，逼使更多工人丟掉飯碗，增加失業人數。

① 馬克思著，郭大力、王亞南譯：“資本論”，人民出版社，第一卷，第459頁。

归根結蒂，自动化加深了资本主义社会內在的各种矛盾。

在社会主义制度下，广泛地实现生产自动化，可以从根本上改善劳动条件，急剧提高劳动生产率。赫魯曉夫同志在苏联共产党第二十一次代表大会的报告中說：“在社会主义社会，自动化不仅有經濟上的意义，而且还有巨大的社会意义。在自动化的条件下，可以根本地改变劳动的性质，提高工人的文化技术水平，为消灭脑力劳动和体力劳动之間的差別創造条件；人的作用将归結为管理和調整各种自动机器和仪器，以及制定工艺过程的各种程序、制度。”^①

但是，还必须強調指出：創制任何高度自动化的設備都是建筑在体力劳动的基础上。体力劳动不仅在过去、現在还是将来，都是物质生产的基础，那种认为实现自动化后就可以消灭体力劳动的观点是极端錯誤的。

在苏联，目前已經有98%的鍋炉机組实现了給水自动化，85%的鍋炉机組实现了燃燒自动化，三分之一强的鍋炉机組实现了过热蒸汽温度的自动調整。苏联在自动調整器的广泛使用方面已超过了任何一个资本主义国家。

在旧中国的发电厂中，絕大多数的設備都不是自动化的，甚至有不少电厂連机械化都談不上，采用了最原始的人工操作，体力劳动的强度很大(如在鍋炉除灰和上煤部分)。这是半殖民地工业的特征。

中华人民共和国成立后，开始了一个新的历史时期。由于党的英明领导，苏联和其他社会主义国家的援助和全国人民的忘我劳动，我国已經兴建和扩建了不少高度机械化和自动化的发电厂。

在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下，1960年在全国範圍內轰轰烈烈地开展了一个以机械化、半机械化、自动化、半自动化为中心的技术革新和技术革命运动，这就使电力工业的发展呈現了一个新的局面，有不少火力发电厂在机械化和自动化方面創造出了很多成就。

热力設備自动化的采用和发展在很大程度上是取决于仪表制造工业的水平。我国的仪表制造工业在第一和第二个五年計划期間有了极大的发展，新建和扩建了不少仪表厂，已开始由仿制向創造我国自己的型号方向过渡。这就从根本上改变了我国过去不能自制精密的高級热工仪表和自动調整设备的落后面貌，为生产过程自动化开拓了广闊的发展前途。

实现生产过程的全盘綜合自动化是需要采用各种自动化装置，其中主要的有：

1. 自动調整；
2. 热工檢查；
3. 远方操纵；
4. 自动联鎖；
5. 热工保护；
6. 自动投入备用設備；
7. 技术訊号。

自动調整 任何一个热力过程的調节目都在于維持一个或几个能够决定設備正常

① “苏联共产党第二十一次代表大会主要文件”，人民出版社，第54頁。

工作状况的物理量为规定值，或使它按照一定的规律变化。以锅炉给水过程的自动调节作为例子，为了保证锅炉正常的运行，必须使汽鼓中的水位保持在中間位置。如果水位发生变动，表示锅炉的给水量与蒸汽负荷不相适应，这时，必须相应地调节给水量，保持水位为规定值。

在上述水位调节过程中，锅炉汽鼓是进行着调节过程的设备，称为调节对象或称为调节区域；蒸汽负荷是调节对象输出的物质或能量，称为输出；给水量是调节对象输入的物质或能量，称为输入；给水调节阀门是用来调节输入量的，称为调节机构；被维持为规定值的水位称为被调量或称为调节参数。

热力设备在手动调节时是由运行人员按照测量仪表的指示，判断设备的工况变化，操纵调节机构，保持被调量为规定值。

在自动调节时，调节机构的操纵由自动调节器来担任。自动调节器中的敏感元件，承受被调量的变化发出冲量（例如：油压，电压，机械力等），这个冲量经过放大器放大后，控制伺服机运动，伺服机再带动调节机构，使输入量与输出量相适应，自动地维持被调量为规定值。

如果在任何稳定平衡状态下，被调量的数值都保持不变，那么，这种调节过程称为无差调节；如果在各种稳定平衡状态下，被调量的数值各不相同，则称为有差调节。

上面所分析的这种调节过程是在热力设备中最常遇到的。但在某些情况下，还采用另一种调节，所谓循序调节。在循序调节中，被调量是按照一定的规律随时间而变化，它是一个时间的函数。

有时，还会遇到所谓随动调节系统（或称为跟踪调节系统）。它的调节机构不是按照调节对象中被调量的变化而变化，而是跟随着调节对象外的某个元件的动作而动作。

发电厂热力设备的自动调节系统包括下列几个主要部分^①：

1. 蒸汽锅炉燃烧过程的自动调节；
2. 蒸汽锅炉给水过程的自动调节；
3. 蒸汽锅炉过热蒸汽温度的自动调节；
4. 其他辅助热力设备的自动调节，如制粉设备，除氧器、减压减温设备等。

近年来，对热力网供热设备、化学水处理设备、凝汽器水位、汽机曲径轴封的汽压、锅炉连续排污等也开始在某些电厂中实行自动调节。

热工检查 热力设备在运行中必须用热工测量仪表不断地检查和监视其工况。热工检查的目的在于：

1. 保证热力设备工作的全安性；
2. 保证热力设备工作的经济性；
3. 记录和积算热力设备的各种运行参数，作为分析工况和进行统计的原始数据。

发电厂热力设备在运行中需要连续地进行检查的参数有：温度、压力、水位、流量、气体成分、汽水品质、转速……等。测量这些参数的热工仪表可以是就地安装，或者是集中地装在操作盘上。近几年，随着机组容量的日益增大，监视点的不断扩充，这就要求最大限度地减小热工仪表的外形尺寸和能够快速地准确地远距离传递指示。

① 汽轮机的调速系统也是热力设备自动调节的一个组成部分，这在“汽轮机”课程中讲述。

远方操纵 远方操纵就是手动远距离操作。近代的自动调节器都能从自动位置切换到手动位置，由运行人员手动远方操作调节器的伺服机，控制调节机构的开度。远方操纵也可以作为一个独立的装置，与自动调节器不设置在一起。远方操纵可以是机械式的，用杠杆传动；也可以利用辅助能源，如电动式，油压式，气动式等。在我国常用的是电动式。

自动联锁 联锁装置是用来当设备不正确动作或是误操作时，避免产生事故。例如：当锅炉所有的吸风机停止工作时，全部的送风机、磨煤机、排送机、给煤机、给粉机等都应该自动停止工作；当排送机停止工作时，则磨煤机和给煤机应该停止工作，但它不影响送风机和吸风机的工作；当运煤皮带因意外而停止工作时，则在这条皮带前面所有运煤设备都应该自动停止工作。

热工保护 热工保护装置的功用是保护设备，避免事故扩大。例如，汽轮机设有真空继电器，当真空降到600毫米汞柱时，发出灯光信号及音响信号，而当真空低到350毫米汞柱时，关闭主汽门，使汽轮机解列；锅炉设有电动脉冲安全门，当汽压超出允许值时，自动开启，使蒸汽排出。随着大容量单元机组的出现，热工保护将起着越来越重要的作用。

自动投入备用设备 发电厂的某些机器需要有备用设备，它可以在必要时自动投入运行。例如，备用给水泵当给水母管压力低于某个极限数值时，便能自动起动，不致使锅炉给水中断；汽轮机的油系统中也设有电动辅助油泵，当油压过低时便自动投入，维持调速油压和润滑油压。

技术讯号 技术讯号主要有两种：一种是报知设备的异常工况，如汽压高、水位低、真空低、汽温高等；另一种是标志设备是工作还是停止，阀门和挡板的开度是多少；前者是利用灯光信号和音响信号，后者是利用红绿灯和位置指示计。

本书是以研究热力自动化装置中的两个最主要的环节：热工测量和自动调节作为重点。

第一篇 热工測量

第一章 热工測量的基本原理

第1节 发电厂的热工檢查

现代化的热力发电厂是一个巨大而且复杂的工业企业，利用燃料的燃燒生产电能和热能。热力发电厂内的設備基本上可以分为两大类：热力設備和电气設備。

在热力設備中主要的是鍋炉和汽机。此外，还有輔助設備，如：制粉設備、送风机、吸风机、凝結水泵、給水泵、热网水泵、疏水泵、回热加热器、除氧器、空气抽出器、减压减温設備、运煤設備、除灰設備、化学水处理設備等。

不論是主設備还是輔助設備都需要安装着大量的各种类型的热工仪表。发电厂中热工檢查的任务为：

1. 保証設備安全地运行；
2. 保証設備經濟地运行；
3. 进行設備工作的技术統計。

热力設備能否安全地运行在很大程度上是取决于能否及时地反映它的工况。連續地監視工质(水、蒸汽、煤、油、风、烟)的压力、温度和流量，不停地观察水位、汽輪机轉速和汽水品质等，就能保証設備可靠地运行。例如，監視鍋炉汽鼓的水位可以防止滿水和减水事故，監視蒸汽的含盐量可以避免过热器和汽机叶片的結垢。在某些热工測量仪表中还附带信号装置，能够在設備异常状态下发出声、光信号，提醒运行人員采取紧急措施，不致造成事故或使事故扩大。

发电厂运行最重要的經濟指标就是效率。为了提高效率，主要是依靠降低鍋炉和汽机的热損失，减少厂用电和厂用的热耗。

蒸汽鍋炉的热損失主要由排烟热損失、机械未完全燃燒热損失和化学未完全燃燒热損失所組成。如果能够正确地監視和控制設備的工况就能把这些損失降到最小值。蒸汽鍋炉工作經濟性的監視是根据下列測量仪表的指示：燃料量，蒸汽、給水和空气的压力、温度和流量，炉膛和烟道的烟气温度和压力，炉烟成分，蒸汽、凝結水和給水的品质等。

汽輪机的热損失主要是取决于凝汽設備的工作效能，因此，監視凝汽器冷却面的状况、真空系統的严密性以及空气抽出器的抽气工况有着很重要的实际意义。監視汽輪机前的蒸汽初参数、加热器、除氧器和水泵的工作对降低热耗也起着不小的作用。为此，需要測量下列参数：蒸汽、凝結水、循环水、热网水的压力、温度和流量，以及凝汽器的真空等。

热力发电厂技术統計工作的内容是定期地(每天、周、旬、月和年)核算下列基本的技术經濟指标：发电量和供热量，生产每瓩电能和供应每百万大卡热能的标准煤耗，鍋炉机組、汽輪机机組和整个电厂的效率，厂用电量等。为了进行技术統計，需要依靠自动記錄和积算式仪表。

第2节 测量仪表的組成及其特性

大多数测量仪表都由三个独立的元件組成：一次仪表、二次仪表和連接綫。

一次仪表是测量裝置的敏感部分，它通常装在测量处，直接接受被测量的脉冲。

二次仪表是测量裝置的指示部分，用以指示被测量的数值。二次仪表通常具有一个单独的外壳，装在机組的专用表盘上。

連接綫(导管和导綫)是测量裝置的傳送部分，它用以把一次仪表的脉冲傳到二次仪表。

一次仪表常常具有称为“发送器”的附加裝置，它用以把所接受的非电气量的脉冲轉变为电气量，然后再用导綫傳給二次仪表。

在某些情况下，测量仪表还具有附加的电气接点裝置。当被監視的参数偏离允許值时能自动地对声、光信号設備起着控制的作用。

二次仪表是测量裝置中的基本組成部分。

测量仪表的品质可以用下列指标来衡量：准确度、灵敏度和滞后。

测量仪表的准确度是表明测量結果的真实程度，即仪表的指示值与被测量实际数值間的差异。

所謂仪表的灵敏度就是指示(指針、笔尖)的綫位移或角位移与引起这个位移的被测量变化之間的比值。假設 Δl ——仪表指示的角位移或綫位移， ΔA ——相应的被测量的改变，則仪表的灵敏度 S 可用下式表示：

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta A}. \quad (1-1)$$

显然，灵敏度是反比于刻度标尺的分度值。因此，具有較小分度值刻度标尺的仪表，其灵敏度較高。

测量的滞后說明存在着慣性，用从被测量开始变化时起到仪表指示这个数值时止所经过的时间来表示。仪表的慣性多半是由热的、机械的和流体的因素所引起。

第3节 测量仪表的分类

热工测量仪表的分类是决定于它的用途和結構特点。

按照被测量的种类，热工仪表可以分为：温度、压力、流量、气体成份、汽水品质、液位、轉速以及某些特殊测量等。这种分类方法是最基本的。

此外，还可以分为下列几类：

1. 按照用途——工程用，試驗室用，标准型和范型。
2. 按照指示特性——指示式，自动記錄式和积算式。
3. 按照作用原理——机械式，电气式，液力式和化学式。
4. 按照裝置地点——就地的和远方傳遞指示的。
5. 按照工作条件——固定式和便携式。

几乎每一种热工仪表都可以按照上述类别划分。例如，热电偶高温計就有工程用的、自动記錄式的兼电气式的。

工程用的测量仪表是在实际中最广用的一种测量裝置，它的結構比較簡單、牢固、

工作比較可靠，但是準確度較低。

試驗室用的仪表一般是用以在試驗室內校驗工程用的仪表。

范型测量仪表用以复制和保持测量单位，或者用以进行各种测量仪表的校驗和刻度。用来复制和保持测量单位的具有最高准确度的范型测量仪表称为标准仪表。标准仪表分为一級、二級和三級三种。一級标准仪表是最准确的，作为测量单位的国家标准。

第4节 测量的誤差

测量物理量不能絕對准确，因为测量仪表和测量方法不够完善以及受到测量条件，观察者的个人特点和某些偶然性因素的影响，这就产生了誤差。测量誤差可以用絕對的量或相对的量来表示，有正有負。

絕對誤差 a 是被测量的指示值 A_1 与实际数值 A 之間的差值，用测量单位表示；相对誤差 b 是絕對誤差 a 与被测量实际数值 A 之間的比值，用百分率表示，即

$$a = A_1 - A. \quad (1-2)$$

$$b = \frac{a}{A} \times 100\%. \quad (1-3)$$

为了得到被测量的实际值，必須在仪表指示值上附加的代数值称为改正值 C ，即

$$C = A_1 - A = -a. \quad (1-4)$$

由于引起测量誤差的因素很多，所以把相当于仪表在标准情况下工作的指示值誤差称为基本誤差。随着仪表使用期限的增长，由于仪表机件受到磨損、变形和污秽，它的基本誤差将会加大。因此，必須定期地校驗和檢修仪表。

校驗仪表就是把它的指示值与准确度更高的仪表指示值进行对比。对于工程用仪表，被校点一般是取3~5点；对于試驗室用仪表，則取10~15点。校驗結果必須填寫在校驗报告中。

校驗仪表通常是从增加被测量开始(正行程)，然后再减小被测量(反行程)。在外部条件不变下，对于同一个被测量的实际数值來說，仪表在正反行程下指示值的最大差值称为仪表的变差。变差是由测量裝置的弹性后效应或热效应、可动元件的磨損、傳动机机械的間隙和摩擦等因素所造成的。

仪表的变差 ε 一般是用对于刻度上限和下限之差的百分率来表示：

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_s - A_n} 100\% \quad (1-5)$$

式中， ΔA ——在正反行程下仪表指示值的最大差值；

A_s 和 A_n ——仪表刻度的上限和下限。

所有的仪表根据它的用途、品质和测量范围都按照規程規定了基本允許誤差（所能允許的极限誤差值）。允許誤差前带±号，或者是这两个記号中的一个（假如規程只允許有一个方向誤差值）。如果仪表的誤差超出了允許誤差，就不能再繼續使用，需要檢修或重划刻度。

允許誤差分为絕對的和相对的。相对允許誤差 b' 是絕對允許誤差 a' 与仪表刻度上限 A_s 和下限 A_n 之差的比值，用百分率表示：

$$b' = \pm \frac{a'}{A_s - A_n} 100\% \quad (1-6)$$

相对允许误差的纯数值称为仪表的精度级，例如，相对允许误差是 $\pm 0.5\%$ 的仪表，它的精度级就是0.5级。工程用仪表的精度级是从0.5级到1.5级，试验室用、范型和标准型仪表的精度级都是在0.5级以内。

在试验室中为了得到仪表真实的结果，往往需要在同一个条件下重复测量多次。多次测量的平均值 A_{cp} 就是测量的最终结果，可用下式求得：

$$A_{cp} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n} \quad (1-7)$$

式中， $A_1, A_2, \dots, A_n$ ——一系列的测得的数值；

n ——测量次数。

第二章 温度的测量

第1节 温度标尺和温度测量仪表的分类

在世界上大多数国家中，温度标尺是采用国际百分温标，把在标准状态下水的沸点定为 100°C ，水的冰点定为 0°C 。除了国际百分温标外，在少数国家中采用的还有华氏温标 $^\circ\text{F}$ ，把在标准状态下水的沸点定为 212°F ，水的冰点定为 32°F 。这两种温度指示值的换算关系为：

$$t^\circ\text{C} = (1.8t + 32)^\circ\text{F} \quad (2-1)$$

在热力学中还采用绝对温标 $^\circ\text{T}$ 。它与 $t^\circ\text{C}$ 的关系为：

$$T = t + 273.16^\circ\text{K} \quad (2-2)$$

温度测量仪表按照它的温度测量范围可以分为两大类：温度计($500 \sim 600^\circ\text{C}$ 以下)和高温计($500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ 以上)。

温度测量仪表按照它的物理特性可以分为下列五类：

1. 膨胀式温度计 从 -200 到 $+500^\circ\text{C}$ ；
2. 压力表式温度计 从 -60 到 $+550^\circ\text{C}$ ；
3. 电阻式温度计 从 -200 到 $+500^\circ\text{C}$ ；
4. 热电式高温计 从 $+200$ 到 $+1600^\circ\text{C}$ ；
5. 辐射式高温计 从 $+800$ 到 $+2000^\circ\text{C}$ 。

第2节 膨胀式温度计

膨胀式温度计是根据物体受温度作用后体积改变的原理作成。它可以分成两类：液体膨胀式温度计和固体膨胀式温度计

一、液体膨胀式温度计

液体膨胀式温度计是测量温度的最早期的仪表，尽管目前已经有了更现代化的测量温度的仪表，但是它在试验室和在工程中仍然得到了广泛的应用。

液体玻璃杆温度计是根据液体的热膨胀系数大于玻璃的热膨胀系数的原理而作成。液体玻璃杆温度计中应用最广的是水银温度计，它的工作范围从 -30 到 $+500^\circ\text{C}$ 以上。在

某些場合下(如在低溫下)也有采用酒精或其他有機物質(甲苯、戊烷)等的玻璃杆溫度計。

水銀溫度計是指示式的測量儀表,它基本上由三部分組成:裝有水銀的測溫泡、毛細管和刻度。水銀溫度計的測量上限是受水銀沸點及玻璃的軟化溫度所限制。為了提高水銀的沸點,可以在毛細管中的水銀面上預先抽去空氣,並且充入加壓的惰性氣體(氮)。

玻璃杆水銀溫度計做成兩種型式:

1. 標尺封入的溫度計(圖2-1, a)。它的構造特點是標尺不直接刻在玻璃細管外表面上,而是刻在放在玻璃細管后面的另外一片乳白色的玻璃刻度板上。

2. 棒式溫度計(圖2-1, б)。它的構造特點是刻度直接刻在玻璃細管外表面上。

液體玻璃杆溫度計隨其用途的不同,可以分為下列兩種:范型的和實用的。

范型的玻璃杆溫度計有一級標準的和次級標準的。用以校驗其他種類的溫度計。范型玻璃杆溫度計具有有限的標尺刻度範圍,它的溫度間隔比較小。對於測量上限在 100°C 以上的范型玻璃杆溫度計是做成無零點刻度。

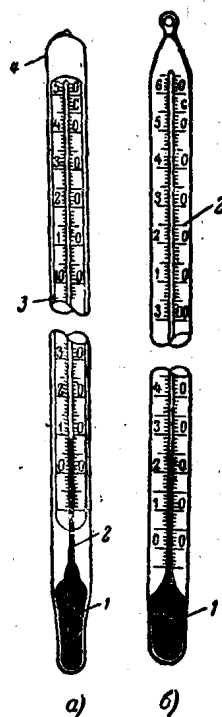


圖 2-1 水銀溫度計

a—標尺封入的溫度計; б—棒式溫度計
1—測溫泡; 2—毛細管; 3—標尺; 4—套管。

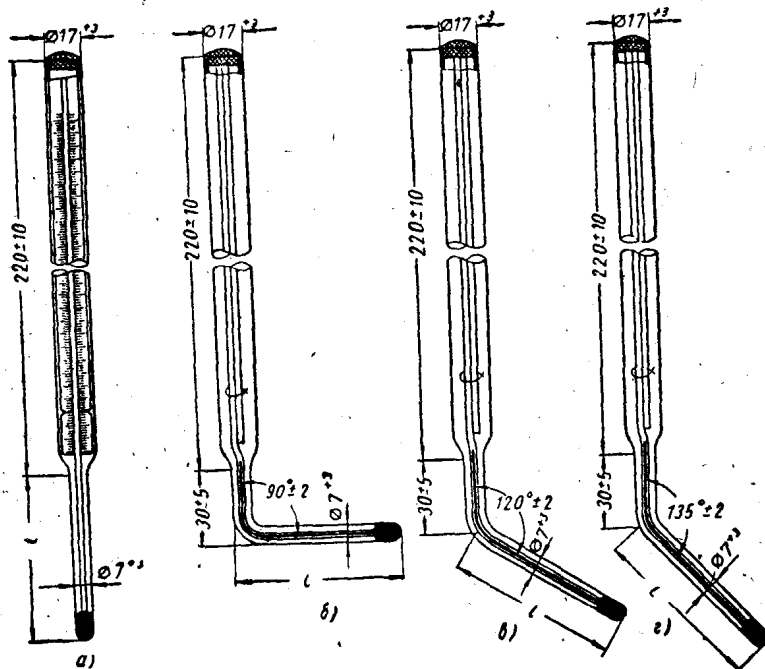


圖 2-2 工程用的水銀溫度計

a—直尾部; б—尾部彎成 90° ; в—彎成 120° ; г—彎成 135°

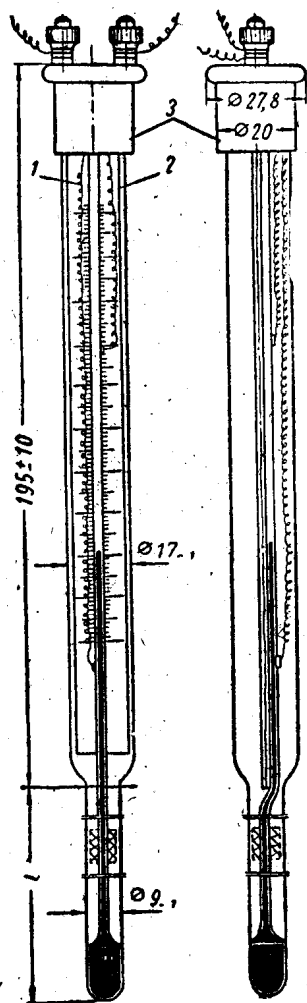


图 2-3 接点式水銀溫度計

1—連接零度接點的導線；
2—連接工作接點的導線；3—封頭。

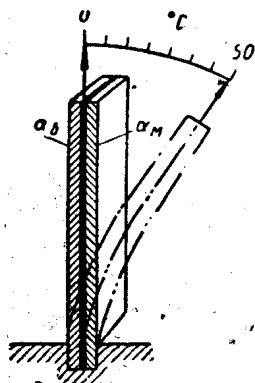


图 2-4 双金属溫度計的示意图

实用的水銀溫度計又可以分为：工程用的和試驗室用的。

工程用的水銀溫度計如图 2-2 所示，仅做成标尺封入。它有細而直的或弯成 90° ， 120° ， 135° 的尾部，尾端有测温泡，可以完全浸入被测介质中。这种溫度計的毛細管直徑較大，使水銀柱看得更明显，易于讀数。

在工程用的水銀溫度計中有一种特殊的用于发訊的接点式溫度計，如图 2-3 所示。在这种溫度計玻璃細管的底部以及相当于工作点(发訊点)的溫度处各焊一根用鉑絲做成的接点。和这些接点相連，又各焊一根銅絲導線。当溫度达到訊号值时，利用水銀的导电性使接点接通。当溫度表的接点电路每分钟接通 3~4 次时，允許的最大电流等于：

对于 6 伏的交流电	1 安
对于 12 伏的交流电	0.5 安
对于 24 伏的交流电	0.15 安

試驗室用溫度計的准确度介于工程用和范型溫度計之間。它做成棒状，也有做成标尺封入式的。

二、固体膨脹式溫度計

固体膨脹式溫度計是利用固体在溫度变化时长

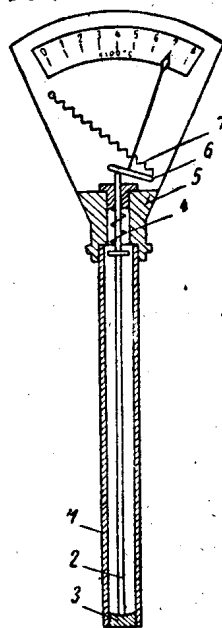


图 2-5 杆式溫度計的示意图

1—金属管；2—杆；3—底座；4—彈簧；
5—支座；6—杠杆；7—彈簧。

度改变的特性作成。它有两种类型：双金属式和杆式。

双金属式温度计的原理如图 2-4 所示。两片具有不同线膨胀系数 α_{δ} 和 α_M 的金属薄片牢固地焊在一起。当温度改变时，由于 $\alpha_{\delta} > \alpha_M$ ，所以双金属片就要弯曲。

杆式温度计(图 2-5)由膨胀系数很高的金属管 1(铜、铝、镍等)和膨胀系数很低的杆 2(瓷、石英等)所组成。杆 2 的一头靠弹簧 4 顶住管子的底盖 3。杆 2 的另一头与被弹簧 2 拉住的杠杆 6 相连接。当温度变化时，由于管 1 的显著变形，使指针偏转。

固体膨胀式温度计并没有广泛地用以作为独立的测量仪表，通常是用作为温度调节器和温度补偿器中的敏感元件。

第 3 节 压力表式温度计

压力表式温度计的原理是根据在密闭容器中的液体、气体或蒸汽的压力随着温度而变。

压力表式温度计的构造如图 2-6 所示。它包括：测温囊 1，金属细管 2，弹簧管 3，支架 4，拉杆 5，扇形齿轮 6，小齿轮 7，游丝 8 等。当被测温度改变时，测温囊中介质的压力随着改变，通过金属细管，传到压力表上，因此，压力表的指示就可以代表温度。

压力表式温度计有做成指示型的(图 2-7)，也有自动记录型的(图 2-8)。

如果以充入测温囊内工作物质的状态来分，压力表式温度计又可分为三类：

1. 充液型压力表式温度计。

它的工作原理是根据工作物质的体积随温度不同而发生变化。因为液体体积的变化几乎与温度变化成正比，而另一方面又与压力表的读数成正比，所以这种温度计有着均匀的刻度。

作为工作液体通常是采用水银、酒精、二甲苯等，其中以充水银的一种应用最为普遍。

在这种类型的温度计，指针的移动是由充满在整个系统内(测温囊、金属细管和弹簧管)全部液体的体积变化而定的。这个体积变化不仅与测温囊内液体的温度有关，而且与充满在金属细管和弹簧管内的第一部分液体温度有关，也就是说与周围大气的温度有关。

周围空气温度对指示的影响，在金属细管不太长的情况下，可以适当地选择测温包容积与金属细管、弹簧管容积之间的比例予以减小。如果金属细管相当长，就需要采用专门的补偿装置。

2. 蒸汽型压力表式温度计。

它的工作原理是根据低沸点的液体在温度变化时饱和压力随着变化。作为工作液体通常是采用氯甲烷、氯乙烷、丙酮等。

蒸汽型压力表式温度计与其他型式的相比较，

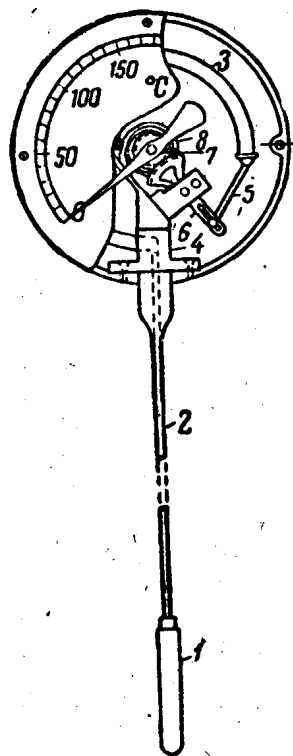


图 2-6 压力表式温度计

1—测温囊；2—金属细管；3—弹簧管；
4—支架；5—拉杆；6—扇形齿轮；
7—小齿轮；8—游丝。

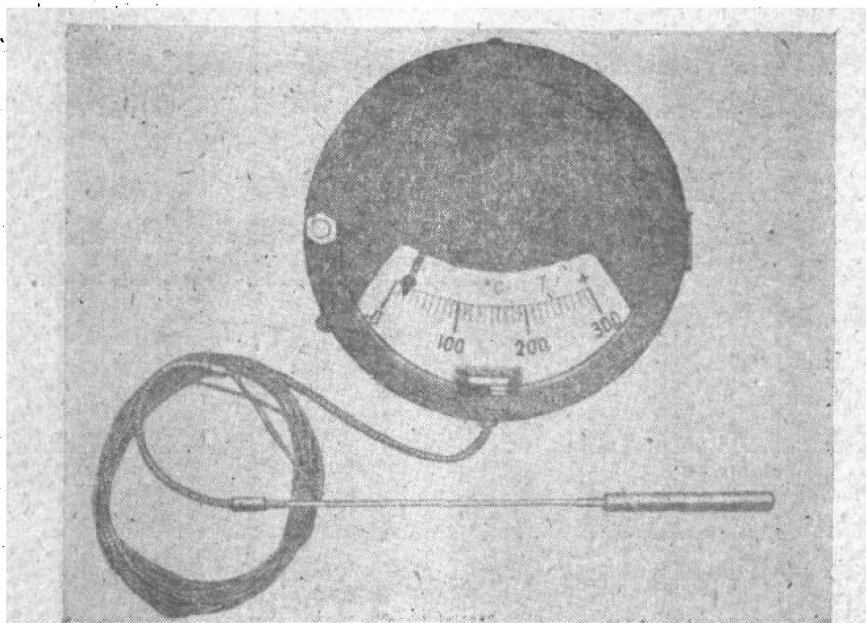


图 2-7 指示型压力表式温度计

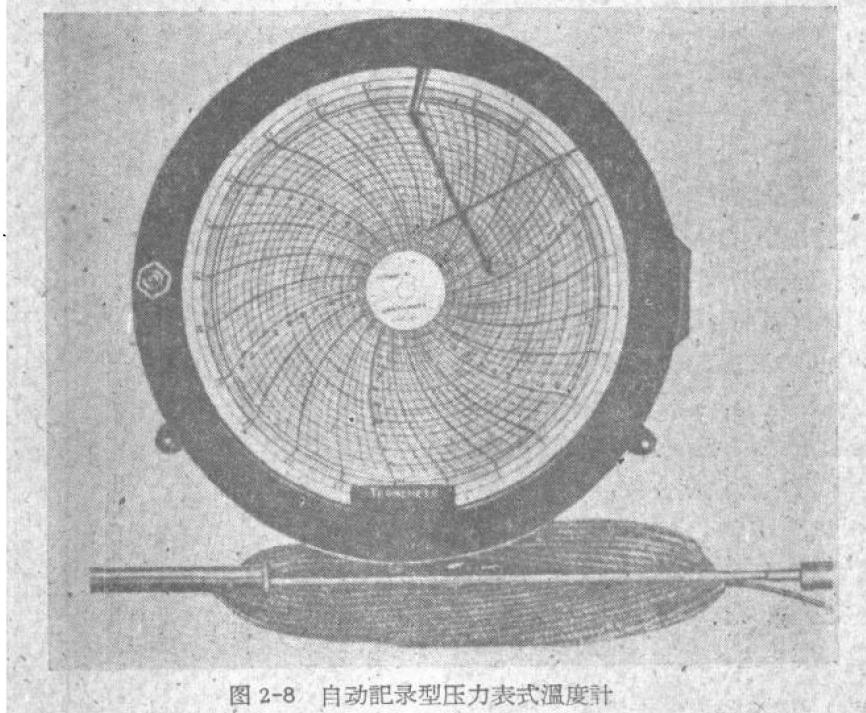


图 2-8 自动记录型压力表式温度计

其主要优点在于测温囊的尺寸可以做得比较小，而灵敏度比较高，因为饱和蒸汽的压力随着温度很快地上升。另外一个优点在于它的指示值几乎不受周围空气温度变动的影响，不需温度补偿。但是它的缺点是刻度不均匀。

3. 充气型压力表式温度计。

它的工作原理是根据气候压力随温度而变。作为工作物质通常是采用氮。氮是不活