

温 度 测 量

化学工艺学实验

第一册

P. M. 費多罗維奇 著

C. H. 沃尔弗科維奇 主編

溫度測量

化學工業平衡論

第一冊

化學工業平衡論
L. H. 阿加德 (L. H. AGARD) 著
L. H. 阿加德 (L. H. AGARD) 著

高等学校教学用书



溫 度 測 量

化学工艺学实验

第一册

P. M. 費多羅維奇著

C. H. 沃尔弗科維奇主編

周 家 駒 譯

高等教育出版社

本書系根据苏联莫斯科大学出版社(Издательство московского университета)1957年出版的費多羅維奇(Р. М. Федорович)著“溫度測量(化学工艺学实验第一册)” (Измерение температуры, Лабораторный практикум по химической технологии, Выпуск I)一書譯出。化学工艺学实验一書系由莫斯科大學化学工艺学教研室教师集体編写而成,作为化学系学生的教学参考書。全書將分为:溫度測量、压力測量、液体及气体流量的測定、气体分析、工艺过程参数的自动調节、液体及固体燃料的工業分析、設備制造材料的性能研究、化学工艺过程在模型設備中的研究及其相应的計算与分析等部分,陸續分册出版。全書由苏联科学院院士、莫斯科大學化学工艺学教研室主任沃尔弗科維奇(С. И. Вольфович)主編。

書中介紹了各种現代化檢查-測量仪表的構造及使用方法,以及这些仪表用于工艺过程的快速和自动檢查与調节的条件;講述了設備材料的研究方法,以及这些材料的抗腐蝕性、微觀結構、强度及其他性能;闡述了在模型設備中对生产过程进行化学工艺研究的条件;此外,还涉及有关現代化實驗室工作中的工具、机械及电工技术方面的問題。本書除可作为綜合大學化学系的教学参考書外,也可供化工系各專業以及工厂實驗室及研究机关参考。

第一册溫度測量中,介紹了溫标、膨脹溫度計、压力溫度計、电阻溫度計、热电高溫計、光学高溫計,以及这些測溫仪表的作用原理、構造和使用方法。書中开始为理論部分,以后即为四个实验,最后并有附录以供查閱参考。其他各册將俟原書出版后陸續譯出。

溫 度 測 量

化学工艺学实验 第一册

Р. М. 費多羅維奇著 С. И. 沃尔弗科維奇主編

周家驥譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第054号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号15010·704 開本850×1168 1/32 印張1 7/16 字數30,000 印數0001—3,500

1958年9月第1版 1958年9月北京第1次印刷 定價(10) ¥ 0.25

序 言

为綜合大学化学系学生所开设的化学工艺学实验的目的，在于使学生熟悉：

1) 现代化的检查-测量仪表，以及这些仪表用于进行工艺过程的快速和自动检查与调节时的条件；

2) 设备材料的研究方法，以及这些材料的抗腐蚀性、微观结构、强度及其他性能；

3) 在模型设备中对生产过程进行化学工艺研究的条件。

实验书中有个别的若干章节，是为了使学生熟悉化学工艺计算的各种基本方法，特别是物料与能量衡算以及进行过程的动力学条件。这些题目可由学生在教师的答疑帮助下，利用课外时间完成。

学生在进行实验时要运用他在化学、物理、力学、化学工艺学等课程中所得到的知识。

实验的各个题目，是根据下述的考虑而选择的：要使科学机关、工厂实验室的未来的研究工作者、科学工作者或未来的教师熟悉化学工艺实践中广泛应用的各种现代化方法、手段以及检查-测量仪表。学生完成了本书中的各个实验之后，就会在以后于工厂中进行生产实习时感到不少方便，并且还使他由课堂中所获得的知识得到补充。

大家都知道，化学分析的经典方法常常不能满足生产和科学的需要，因为这些方法的测定费时，以致不可能在工艺过程的正常进行遭到破坏时及时地发出信号。因此，本书中将介绍快速和自动生产检查所用的各种仪表，这些仪表是以力学、化学、电学、热学

及其他方面的規律性为操作原理的。

为了熟悉工艺过程的模型法研究操作，学生要用一些例子来在能够依样表現生产的基本操作条件的模型設備中，以真实的原料制取規定的产品，并获得关于新过程最宜操作条件的决定方法或原有过程的改善方法的概念。学生依样进行并研究兩三个生产过程，并进行相应的生产檢查，进行物料衡算，以及完成其他的化学工艺計算。与此同时，学生就能够逐渐熟悉有关現代化研究實驗室工作中的工具、机械及电工技术方面的問題。这方面包括如何使用泵及鼓風机、盛有压缩或液化气体的貯气鋼筒、閥門及减压閥、各种类型的窑爐、压热釜、精餾及其他設備、以及輔助装备等。

莫斯科大学目前的化学工艺学实验計劃包括：溫度及压力的測量，液体及气体流量的測定，气体分析（非自动分析和自动分析），工艺过程参数自动調节的要素，液体及固体燃料的工業分析，設備所用制造材料的性能（特别是抗腐蝕性）研究，在模型設備中进行的化学工艺过程的研究及其相应的計算与分析。

这部教学参考書分为几个單行本出版，以便在實驗室条件下使用，和有可能随时将它加以改进及补充新的实验題目。

这本实验指导共分为若干冊，由莫斯科大学化学工艺学教研室的教师阿历克山达罗娃（Г. Г. Александрова）、庫斯科夫（В. К. Кусков）、馬烈茨（А. М. Малец）、索洛莫諾娃（Н. Л. Соломонова）和費多羅維奇（Р. М. Федорович）編成。

科学院院士，莫斯科大学 С. Н. 沃耳弗科維奇
化学工艺学教研室主任

1956. 7. 8 于莫斯科。

目 录

序言	v
溫度測量	1
溫标	1
溫度測量仪表	3
实验 No. 1. 工業用水銀溫度計讀数与压力溫度計讀数的比較	9
水銀溫度計	9
压力溫度計	12
实验进行程序	14
实验 No. 2. 帶毫伏計的輻射高溫計的讀数与帶机电式自动电位	
計的热电偶的讀数之比較	15
机电式自动电位計 СИ	15
輻射高溫計 РИ	20
实验进行程序	22
实验 No. 3. 光学高溫計的讀数与帶电子自动电位計的热电偶的	
讀数之比較	24
电子自动电位計 ЭПД	24
光学高溫計 ОПНПР	28
实验进行程序	30
实验 No. 4. 水銀溫度計讀数与帶电子自动电桥的电阻溫度計	
的讀数之比較	32
交流电子自动电桥 ЭМД	32
实验进行程序	35
参考書目	36
附录	37

溫度測量

實驗目的：熟悉溫度測量及記錄儀表的構造與操作。

溫 標

溫度測量是以 1948 年英國物理學家克爾文 (У. Кельвин) 所提出的熱力學溫標為根據。這個溫標是根據熱力學定律用理論方法推導得出的，它具有兩個卓越的性質：它與用作工作物質的各種物質的性質無關，並且在一切的溫度範圍內均具有線性特徵。另一種溫標，即理想氣體溫標（也是理論的溫標），是與熱力學溫標完全一致的。

以理想氣體溫標，因而也就是以熱力學溫標為基礎的溫度測量，是用氣體溫度計進行的；這些氣體溫度計中所用的工作物質是真實氣體中的氫或氦，這兩種氣體在一定的條件下具有與理想氣體足夠接近的性質。氣體溫度計的刻度是根據下列兩個點刻定的：冰的熔點和水的沸點，並分別標以 0 和 100。這兩點之間的間隔分成為一百等份（格），每一格就相當於一度。在氣體溫度計的讀數中，要加入關於氫（或氦）的性質與理想氣體性質之間的偏差的校正值。

用氣體溫度計測量溫度，在操作上極為複雜，因此在日常的實際工作中都採用國際溫標，國際溫標乃是熱力學溫標的實際實現。國際溫標是以一系列物質的一套恒定的、並可準確重現的相平衡溫度（恒點）為根據，這些相平衡溫度的數值用氣體溫度計測定，也就是用熱力學溫標測定。

國際溫標的基本恒點如下：

1. 氧的沸点	-182.970°
2. 冰的熔点	0°
3. 水的沸点	100°
4. 硫的沸点	444.600°
5. 銀的凝固点	960.8°
6. 金的凝固点	1063.0°

在恒点以外以及在恒点之間的溫度，用專門的內插法仪器測定。为了用这类仪器來測定溫度，需將溫标分成四段。第一段由 -182.970° 到 0°，第二段由 0° 到 630°，这两段中的溫度用鉑电阻溫度計測定。第三段由 630° 到 1063°，此段中的溫度用鉑銻-鉑热电偶測定。第四段为 1063° 以上的溫度，根据黑体發射的光的強度对黑体在 1063° (金的凝固点) 时發射的光的強度的比值測定。

前三段用的內插法仪器上的刻度，根据国际溫标的恒点刻定，而由于这些仪器的測溫性能具有可以用数学方法表示的关系，所以各个中間溫度可以算出。

例如，第二段中的溫度可以用下述公式求定：

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

式中 R_t ——电阻溫度計鉑導線在所測溫度 t 时的电阻；

R_0 ——同一導線在溫度 0° 时的电阻，也就是当溫度計浸在熔融着的冰中时該導線的电阻；

A 和 B ——常数，这两个常数可根据在沸騰水的蒸汽中于 100° 时以及在沸騰硫的蒸气中于 444.6° 时測出的 R_t 值，用計算方法求定。算出了 A 和 B 后，就可以求定第二段中任何溫度时的 R_t 。

当用电阻溫度計測定第一段中的溫度时，以及在用鉑銻-鉑热电偶測定第三段中的溫度时，也利用类似的一些公式。

根据国际溫标所測定出的溫度，标以符号 °C，例如 30.6°C。

温度测量仪表

用来测量温度的仪表称为温度计;用于测量高温(630°C 以上)的温度计称为高温计。

根据作用原理,可把温度计分为下列的类型:

1. 膨胀温度计,其基础是测量物体的随温度而变化的尺寸;
2. 压力温度计,其基础是测量密闭空间中的随温度改变而变化的压力;
3. 电阻温度计,其基础是测量导线的随温度而变化的电阻;
4. 热电高温计,其基础是测量热电偶的热电势;
5. 辐射高温计,其基础是测量灼热物体的热辐射或光辐射的强度。

膨胀温度计 这一类型的温度计中,玻璃的液体温度计获得了最广的应用,这种温度计是以液体及玻璃的热膨胀系数之差为作用原理的。玻璃温度计中分别充以一定的液体,以适用于不同的温度范围:用于 -30 到 $+750^{\circ}\text{C}$ 的充以水银,用于 -65 到 $+65^{\circ}\text{C}$ 的充以酒精,用于 0 到 -90°C 的充以甲苯。

压力温度计 根据作用原理,压力温度计又可分成两类:a)气体或液体温度计, b)蒸气温度计。

气体和液体温度计的作用原理,是基于测量密闭空间中的气体或液体的随温度而变化的压力。蒸气温度计的作用原理,是基于测量液体表面上方饱和蒸气的随温度而变化的压力。

在这两类温度计中,都是用压力计来测量压力,最常用的是带管式弹簧的压力计。

电阻温度计 电阻温度计的作用原理,是基于测量当温度变化时导线中的电阻。电阻随温度而变化的这个性质,是一切物质都毫无例外地所具有的,但每一种物质的温度系数都不相同,并且

除此而外，溫度系数的数值还随溫度而变化。

对于測溫目的，以下述各种电阻溫度計所获得的应用最为广泛：鉑电阻溫度計用于測量由 -190 到 660°C 之間的溫度，銅电阻溫度計用于測量由 -55 到 $+220^{\circ}\text{C}$ 之間的溫度，鎳电阻溫度計用于測量 $200-250^{\circ}\text{C}$ 以下的溫度，銅电阻溫度計用于測量 $100-150^{\circ}\text{C}$ 以下的溫度，鉛电阻溫度計用于測量低溫，磷青銅电阻溫度計用于測量超低溫。

苏联仪器制造工業出品有标准刻度的电阻溫度計：Гр11a、12a及13a 鉑电阻溫度計，用于測量由 -120 到 $+500^{\circ}\text{C}$ 之間的溫度；Гр 2a 銅电阻溫度計，用于測量 -50 到 $+150^{\circ}\text{C}$ 之間的溫度。

鉑电阻溫度計是用直徑 0.07 毫米的鉑綫制造，將鉑綫双股地繞在边沿上帶有鏤紋的云母片上。在这塊云母片的兩面再各盖以另一塊云母片，然后将整个感溫元件用銀条纏扎起来。鉑电阻的兩個接头借銀導綫与端鈕相接，銀導綫用双管孔的瓷管段絕緣。这种構造的电阻溫度計感溫元件的長度約为 80 毫米。溫度計放在鋁制的套管中，而鋁制套管則又放在鋼制的保护筒內。

这类溫度計的电阻，用不平衡电桥和平衡电桥以及电流比率計測量，而这些仪表上的刻度則是直接刻成溫度度数的。

热电溫度計 將兩種不同金屬的接点加热，就会生成由其中一种金屬向另一种金屬的电动势。如果把这两个金屬的任何未經加热的部分彼此相接，或用導綫將金屬上的冷处連接，就会产生电流。电动势的大小与热接点和冷端接头之間的溫度差成正比。

产生与溫度成正比的电动势的这种特性，就是用热电偶測量溫度所依据的基础。

热电偶的电动势，用測高溫的毫伏計（电流計）或电位計測量，这些仪表上直接刻有溫度度数的刻度。

實驗室用和工業用热电偶，通常都是用不同材料的兩段導綫

制成。兩段導線的一端相互熔接起來，熔接處便構成熱電偶的熱接點，而另外的兩端則稱為冷端，仍保持自由分開。

溫差電極（熱電偶導線）所用的材料為下列各種純金屬：鉑、鐵、銅以及各種特殊的合金，這些合金的名稱及其組成，如表 1 所示。

表 1. 溫差電極用合金的名稱及組成

合 金 名 稱	組 成
阿呂美合金（鎳鋁鎂合金）.....	95% Ni+5% Al, Si, Mg
康斯坦合金（康銅）.....	60% Cu+40% Ni
考比爾合金（考銅）.....	56% Cu+44% Ni
鉑銻合金.....	90% Pt+10% Rh
克羅美合金（鉻鎳合金）.....	90% Ni+10% Cr

在蘇聯應用得最廣的各種熱電偶，其特性如表 2 所示。

表 2. 應用最廣的各種熱電偶的特性

熱 電 偶 名 稱	熱 電 偶 類 型	刻度符號	在下列加熱時間下的 工作上限，°C	
			長時間加熱	短時間加熱
鉑銻-鉑熱電偶.....	ТП	ПП	1300	1600
鉻鎳-鋁鎳鎂熱電偶.....	ТХ	ХА	900	1300
鉻鎳-考銅熱電偶.....	ТХК	ХК	600	800
鐵-考銅熱電偶.....		ЖК	600	800
銅-考銅熱電偶.....		МК	350	600
鐵-康銅熱電偶.....		Ж	600	800
銅-康銅熱電偶.....		М	350	600

名稱中的前一項系指正的溫差電極

對於鉑銻-鉑熱電偶、鉻鎳-鋁鎳鎂熱電偶以及鉻鎳-考銅熱電偶有規定的標準（ГОСТ 3045—45），標準中有一些專門的刻度表，這些表中載有當冷端溫度為 0° 時，在不同的熱點溫度下的以微伏

計算的電動勢數值。本書附錄中載有這些表的摘錄。

適用標準刻度規定的熱電偶，分別具有 $\Gamma p \Pi\Pi$ 、 $\Gamma p XA$ 、 $\Gamma p XK$ 等符號，這些符號刻在熱電偶的端鈕頭上，以及刻在與熱電偶構成一套而操作的測量儀表的刻度尺上。

在 1954 年以前，標準中還包括了 $\Gamma p \mathcal{XK}$ 和 MK 。在 1955 年以前所用的刻度符號與現用者不同。 $\Gamma p 308-H$ 大約相當於 $\Gamma p \Pi\Pi$ ， $\Gamma p 531-B$ 約相當於 $\Gamma p XA$ ， $\Gamma p 596$ 約相當於 $\Gamma p XK$ ， $\Gamma p 589$ 約相當於 $\Gamma p \mathcal{XK}$ 。

因為熱電偶所產生的電動勢的數值，是取決於熱電偶熱接點及其冷端之間的溫度差，所以熱接點溫度的正確測量，需在恒定而且是已知的冷端溫度下進行。

測高溫的電流計（溫差電偶電流計）上的刻度，是以冷端在 $0^{\circ}C$ 時刻成的，因此在測量溫度時，要把熱電偶的冷端放在熔融中的冰內，以保持冷端的恆溫。要在電流計上達到正確的測量，不能把電流計的指針調整到零點刻度上，而應把它調整到與冷端溫度相當的那個刻度上。調整的方法是在沒有接上熱電偶時，旋轉指針校正器。

測高溫的電位計（溫差電偶電位計）具有一種專門的裝置，它能自動地消除冷端溫度的影響。因此在用電位計測量溫度時，冷端不需要保持恆溫，並且也不需要加入校正值。

熱電偶與電流針的連接應採用適當的方式，以便有可能來保持冷端的恆溫條件。實驗室用熱電偶，通常都是用很細的導線（直徑 0.3—1.0 毫米）制成，並且有足夠的長度，以便能夠引至恆溫器中。由冷端到電流計端鈕，用銅連接導線連接。

工業用熱電偶用粗的導線（直徑 3—5 毫米）制成，並且無法引至恆溫器。因此，自溫差電極末端（其末端在熱電偶的端鈕頭中）開始的線路，要採用所謂補償導線安設。補償導線最常用的製造材

料,就是与所要裝設的热电偶中的溫差电極完全相同的那些材料;对于鉑銻-鉑热电偶來說,所选用的一些金屬在与鉑及与鉑銻合金構成电偶时应不产生电动势。采用了补偿导綫,就能够把热电偶的冷端(这时就是补偿导綫的末端)引到适当的地方,在該处就可以很方便地使冷端保持恒溫。

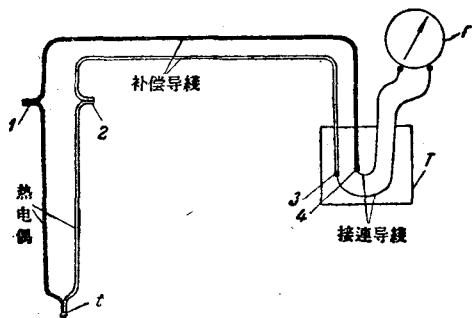


圖 1. 帶补偿导綫的热电偶的安裝示意圖:
 t —热接点; 1 和 2—补偿导綫的连接点; 3 和 4—冷端—銅连接导綫的连接点; T —恒溫器;
 Γ —电流計。

圖 1 所示,就是帶补偿导綫的热电偶的安裝示意圖。

實驗室用热电偶由导綫制成,这些导綫用瓷管相互絕緣。有时,为了保护热电偶,把它放在瓷制的或金屬制的保护筒中。

工業用热电偶也用同样的方式制成,但它一定放置在保护筒中,保护筒的一端有底封住,另一端則有筒盖,筒盖上裝有帶端鈕的塑料制座板。端鈕的筒內部分与溫差电極相連接,筒外部分則与补偿导綫相連接。

工業用热电偶的保护筒,根据需要用热电偶在其中測定溫度的那种介質的性質,可用能够抵抗机械作用和腐蝕作用的材料制成,最常用的材料是鋼。

用电流計測量电动势的測量方法,是大家都知道的。用电位計測量电动势所根据的原理,就是用已知的电位差去平衡所測的电动势。电位計的原理圖如圖 2 所示。

電池 E 的电动势在导綫 ab 中造成电位差 U_{ab} 。这个电位沿着导綫逐漸降低。如將另一电源接入綫路中,例如接入一电动势为

E_x , 但此电动势的方向与前述第一电动势相反的热电偶, 并使可移动的接触点沿着导线 ab 移动, 便可以发现当接触点移动到某一位置 c 时, ac 一段的电位降就将被热电偶所产生的电动势所平衡或补偿:

$$U_{ac} = E_x.$$

这时在热电偶线路 $E_x ca E_x$ 中, 将无电流通过, 而电流计即所谓零点仪器中, 也将指示出无电流存在。如果 E 值为已知, 而导线 ab 为滑线电阻器(在滑线电阻器上电位降与滑线的长度成正比), 则在达到补偿(平衡)时, E_x 的值便可求出。测温电位计所用的滑线电阻器, 其刻度是根据热电偶电动势的值而刻成温度度数的。

辐射高温计 对于灼热超过 800°C 的物体, 可通过测定此物体的辐射强度的办法来测量它的温度。各种物体是放在电炉中加热而达到这种高温的。辐射强度的测定则是通过炉壁或炉顶上的小孔来进行的, 这样就有可能把炉子看作是一种熟知的绝对黑体模型。

真实物体的辐射强度是与绝对黑体的辐射强度有差别的。这个差别可用特别的系数来表示, 此系数称为黑度, 它代表在同温度下真实物体所发射出的辐射能量对绝对黑体所发射出的辐射能量之比值。绝对黑体的辐射能量最大, 因此黑度总是小于一的。

如果仪器上的刻度尺系根据绝对黑体的温度刻成, 那末就有可能用同一个仪器来测量具有不同黑度的各种物体的温度。但是, 用上述刻度方法时, 所得测量结果较实际温度略低。为了求得正确的温度, 须加入校正值, 校正值可以很容易地由物体的真正温度(可用假黑体的辐射温度测出)与它的黑度之间的简单关系算

出。

灼热物体的温度测量,按下面三个方法进行:

1. 用一个物体在一定的条件下借欲测温度的物体的热辐射来加热,并测量该物体的加热温度。

2. 将欲测温度的物体的辐射光的亮度与另一物体(其辐射强度与温度之间的关系为已知)的辐射光的亮度在单色光中加以比较。

3. 光电测温法。

第一种方法用于全辐射的辐射高温计中,第二种方法用于部分辐射的光学高温计中。

实验 No. 1

工业用水银温度计读数与压力温度计读数的比较

水银温度计

现在制造用于测量下述各种范围内的温度的水银温度计:由 0 到 100°C,由 0 到 150°C,由 0 到 250°C,由 0 到 360°C,由 0 到 450°C,以及由 0 到 500°C。用于测量 100°C 以下的温度的水银温度计,其毛细管中水银面以上的自由空间,仅仅充满水银蒸气;其他几个范围所用的水银温度计,自由空间都充以惰性气体,最常用的是氮气。前一类温度计称为真空式温度计,后一类则称为充气式温度计。在充气式温度计中,由于气体的压力(此压力随水银柱的升高而增大)升高了水银的沸点,这类温度计所能测量的温度上

限由玻璃的軟化点决定。

溫度計上的刻度可在全浸沒或半浸沒的狀態下刻定。在前一种情形下,把要刻定的溫度計完全浸沒在加热介質中,或浸沒至所示的讀数处(水銀柱升起后的頂端),因此水銀球中的以及毛細管中的全部水銀都發生热膨脹。在后一种情形下,只是將水銀球及毛細管的一部分(通常是刻度尺起点以下的部分)加热。在刻度是用半浸沒法刻定的溫度計上,注有在刻定刻度时的浸沒深度。当使用刻度在全浸沒下刻成的溫度計来測量溫度时,常常不可能把溫度計浸沒至所示的讀数处,因此在这样得出的讀数中就帶有誤差。为了得到更正确的讀数,就要在讀数中引入所謂“外露段”的校正值。此校正值用另一輔助溫度計来測定,把这个溫度計的水銀球放在外露段的中点,即放在主溫度計浸沒面与其所示讀数处的中点。校正值按下式計算:

$$c = n\alpha(t_o - t_g),$$

式中: c ——校正值,以度数計;

n ——外露段的度数;

α ——水銀在玻璃中的显热膨脹系数;

t_o ——主溫度計所示度数;

t_g ——輔助溫度計所示度数。

系数 α 之值与溫度計所用玻璃的种类以及溫度計的構造有关。对于最常用的一种玻璃來說,棒狀溫度計的 $\alpha = 0.000168$, 有焊入的刻度尺的溫度計的 $\alpha = 0.000158$ 。應該指出,仅仅是輔助溫度計水銀球的溫度并不等于主溫度計外露部分的平均溫度这样一个原因,就已使得外露部分的校正值不能被准确測出了。用有一定測量范围的各种标准溫度計来測量溫度,是比較正确的。当測量寬而連續的范围內的溫度时,要使用成套的标准溫度計,每一套这样的溫度計中有測量范围分別如下的五支溫度計: