

食品工業檢查測量儀器

苏联食品工業部技術管理局編輯



食品工業出版社

食品工業檢查測量儀器

苏联食品工業部技術管理局选輯

詹紀鴻、田穎嘉、王煒臣、李伯清譯

黃 淞、汪時雍校

食品工業出版社

1958年·北京·

目 录

前言.....	3
测量、控制与调节用的电气辅助方法.....	4
压电钛酸钡的活动性的快速测定法.....	25
微量和大量滴定的自动记录滴定器.....	30
精确压力天平.....	39
新型的包装湿度计.....	52
食品生产中 pH 值的测定.....	58
超小型应力变送器.....	69

前 言

广泛地利用工艺过程的控制和自动化是提高食品工業潛力最重要的方法之一。

在已經拟定並实现了流水作業線自动化的許多食品工業部門中，生产过程的自动控制和調節系統正在运用。这就显示出需要各种不同类型的測量与調節設備。

因此，对于参加研究和运用控制方法及自动裝置的專家們，对于實驗室檢查測量儀器組与自动裝置的工作者們，对于在工作中需要运用本国和外国技术經驗的設計師工作者們，就提出了巨大的任务。

苏联食品工業部技术管理局，已經着手出版有关的报告和国外技术文献中論文的譯文。

本集刊载的是有关食品工業的国外自动裝置情况的資料，以及自动与遙控儀器、裝置等的說明。

这些著作，可供广大的工程师、制造工作者、設計師、科学工作者、技术学校的教师和学生从事食品工業方面的設計和运用自动裝置問題时参考之用。

一切有关此項工作的批評和建議，請提交苏联食品工業部技术管理局。地址为：Москва, К-12, Кузнецкий мост, 21。

測量、控制与調節用的电气輔助方法

本文叙述在技术与工業中应用的各种測量原理圖和測量方法：直接測量法、示零法（补偿法）、二数比值測量法。

文中亦对每一种方法的誤差作了評比。

此外，对补偿型仪器（光电补偿器）的結構特性原理圖以及調節用的繼电放大器亦作了說明。

繼电放大器的工作原理是固着在电測仪（电流計）指針上的接触点与沿边安裝在狹窄刻度上的固定接触点接通起来。为增加接触压力，借由仪器指針接通的特殊电磁鉄，使指針紧压到固定接触点上，指針接通了电子管的柵迴路，其陽極电流遂供电給电磁鉄線圈。

繼电器电路周期地断电，放开指針，这样产生脉冲式的調節。

文中亦論述了繼电放大器在技术上应用的各种情况，例如：控制电气照明，調節線路电压及机床傳动軸的轉数等等。

繼电放大器亦可应用在食品工業中，借电气溫度計来調節溫度；依电导率、pH 等等来控制 and 調節工業过程。

这些仪器，灵敏度高，惰性小。且經久耐用。

* * *

在技术測量領域里，几乎每一个問題，都可用各种不同的方法来解决。在測量技术上首先要了解可能的誤差，因此对这个問題，特別加以說明。

应当指出，可能誤差分为可逆的与不可逆的，在測量时，可逆的誤差是有可能測定和部分地消除的，但不可逆的

誤差，在一切情況下都需要校正，而且往往很複雜。

圖 1 所示為二種熟知的電工儀表：單動圈儀表（電流計）和交叉式雙動圈儀表（即測量二電流比值的流比計）。

在兩種情形下，測量力矩均決定於線圈的安匝數和磁場強度。在單動圈儀表中，反作用力矩決定於扭力彈簧，而在兩電流比值計中則決定於補償線圈的安匝數和磁場強度。在電流計中，要調節線圈使線圈力矩和反作用力矩相等。

			
測量力矩		$f(AW, \phi)$	$f(AW)$ 測量線圈
反作用力矩		$f(Md)$ 彈簧	$f(AW)$ 定位線圈
平衡條件		$M_E = M_A$	$AW_N / AW_B = \text{常數}$
原因		誤 差	
可逆誤差	溫 度	電阻	電阻
	加 熱	磁鋼 彈簧 電阻 磁鋼 彈簧	電阻
	均勻的外界磁場 極不均勻的磁場 接入時間	ϕ ϕ , 彈簧 (後效作用)	ϕ
不可逆誤差	溫度 外界磁場 裝置 位置	磁鋼凍化 磁鋼凍化 磁鋼 不平衡	不平衡

圖 1 單動圈和雙動圈測量儀的可能誤差。

在流比計中，線圈的調整，決定于測量和補償線圈安匝數之間的關係。

由于在溫度的影響下，線圈電阻改變，可能發生可逆與不可逆的誤差。

在動圈式儀表里，溫度改變會引起由于彈簧的彈性模數改變而發生的額外反作用力矩。在測量電流比值計里，並不需要彈簧，由于導電（懸絲）金屬帶幾乎沒有定位力，所以這種誤差也不存在。

溫度改變亦影響磁場強度，在單動圈儀表中，溫度改變會影響到它的讀數，而在電流比值測量計中沒有這種誤差，因為在測量比值的分子和分母中都有磁場強度的因素。

由于外界磁場影響所發生的誤差，在均勻和不均勻磁場的情況下是不同的。在單動圈儀表中，既因彈簧彈性改變，亦因磁場變化而發生誤差，但在交叉式雙線圈儀表里，則仅是由于後者的誤差（指在不均勻的磁場內）。此外，在單圈式儀表中通電的時間會引起彈簧的後效作用，而在交叉式線圈儀表里，是沒有的。

在考慮不可逆誤差的時候，特別重要的是要注意到磁鐵材料的陳老現象，這種現象可能系由溫度、磁化方法等所引起。惟在測量二電流比值時，完全沒有這種誤差。

不平衡的誤差，也屬於不可逆誤差，在兩種儀表讀數上都有的。比較兩種儀表，可以看出，比值測量計要合理得多。

新的測量方法，就是基于這個結論，其原理可從圖 2 清楚地看出。

這種類型的線路，就是熟知的電阻溫度計測量溫度的線路。這種線路的優點是只要電阻溫度計不因電流而發熱從而

引起誤差，溫度的測量就與供電電壓變化無關。

假如使電阻溫度計由於電流而強烈地發熱，因而改變其本身的電阻，那末這樣的測量裝置可用以測量電流和電壓，並且這種儀表的誤差要較動圈式儀表為小。

在這種線路里，周圍溫度的變動會改變被測量電阻的數值。

電阻的工作溫度選擇得愈高，誤差就愈小。這種誤差對於某一溫度是完全可以補償的，而對於大一些的温度範圍也有足夠的準確度。保持測量準確度的條件是要在電阻中沒有不可逆性的變化。

試驗證明：由鎢絲制成的電阻，若預先在真空中正確地安裝和焊接，在加熱不超過 500°C 時具有大的參數穩定度。

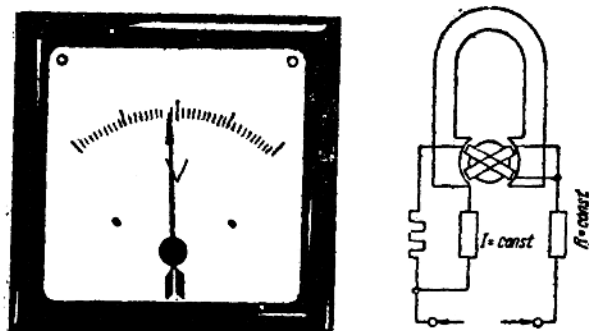


圖 2 電 壓 計

圖 2 所示是考慮到上述結論而構造的電壓計。

測量值的讀數位於刻度中間，這就使儀表裝在配電板上時能夠得到準確讀數。

正如上面所指出，儀器的測量穩定度和準確度是很高

的，假如所得仪表誤差值等于标称值的 0.5%，那末这仅仅是因为不合理地温度补偿，超过了生产上需要的准确度。

應該指出，这种测量原理，也可用于經整流的交变电流，並得到良好的测量結果。

下面我們所要談到的仪器，在原理上是一种有一定放大系数的直流放大器，这是一种帶有光电控制的差压（补偿式的）放大器。

这种仪器問世已近20年，应用亦很广泛，它对于测量微小的电流和电压以及对于控制和調节方面都是一种优良的輔助裝置。

此外，它有能在實驗室和生产上广泛应用的許多优点。

但至今这种仪表的应用仍有限制，因为它不是以通用型仪表的形式生产的。

自动补偿可以解决調节問題。如所周知，消除过渡过程，不是一个特殊困难的問題。但是对于通用型仪表特别是快动作仪表要消除过渡过程，往往是有困难的。

能滿足所提要求的結構，終于設計成功。

圖 3 所示是一种大家所熟悉的电压补偿線路的簡圖。

借光标式灵敏电流計使被測量电压 V_x 与額定电阻 R_N 上的电压降进行比較， R_N 可用开关改变；每当額定电阻上的电压降剛一由电压 U_x 偏离，电流計就改变电压，以重新恢复平衡。

假如电流計的是位力等于零，那末在靜止状态，电流計电流也是等于零。

这样，如果額定电阻不变，那就建立了电流 I 絕對比例于电压 U_x 的关系。

用补偿方法測量电压时，电流的消耗等于零。由于無力

矩的电流計还没有制造，在大多数情况下採用悬絲，而悬絲总是有初始的定位力的。这就决定了电流計的微小电流 i_f ，它可以称为寄生电流。

具有無力矩彈簧的电流計：

$$I_g = i_f = 0, IR_{NI} = U'_x = U_x$$

$$I = \frac{U_x}{R_{NI}}$$

电流消耗 = 0

具有彈簧的电流計：

$$I_g = i_f$$

$$I = \frac{U'_x}{R_{NI}} = \frac{U_x - i_f(R_i + R_g + R_{ii})}{R_{NI}}$$

$$R_{ii} \ll R_g$$

誤差：

$$F = \frac{i_f(R_i + R_g)}{U_x} \cdot 100\%$$

电流消耗 = i_f

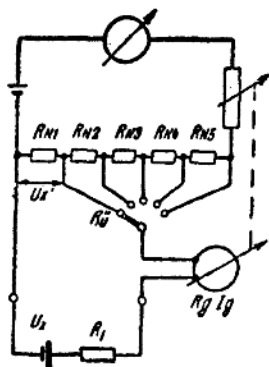


圖 3 电压补偿电路

多亏有寄生电流，起始电流 I 与 U_x 远不成比例而与 U_x 成比例，因为在电源內阻 R_i 、电流計电阻 R_g 和在开关 R_{ii} 的过渡电阻上，因电流 i_f 而引起电位降落。

因为 R_{ii} 較 R_g 要小很多倍，所以在确定誤差时，照例可以不計。

电源的內阻 R_i ，制造者是不能改变它的，因此为使誤差最小，就必须使 i_f 和 R_g 尽可能地小。

在我們选择線路时， i_f 比例于起始电流 I 。

这样所选择的起始电流愈小，寄生电流和傳送誤差也愈小。

圖 4 所示，即当起始电流为 5 毫安时，傳送誤差与电压 V_x 和內阻 R_i 之間的关系。

由圖可見，虽然圖上誤差是指中等欧姆而不是低欧姆电流計的，但傳送誤差是这样的小，因此在解决技术問題时可以忽略不計，这种誤差基本上系由極小的寄生电流所引起，此寄生电流可在正确計算線路时求得。

悬絲小鏡的旋轉角度，在到达全范围時間大約是 0.3 分，因此稳定時間可能很短。应当补充，在稳定时作用在仪表上的力等于导电悬絲轉矩的十倍。

虽然在这个例子中談到关于电压补偿問題，而終究要在寄生电流圖上註明放大电流的数值。它說明了起始和寄生电流之間的关系，由于他們兩者有線性关系，所以可以認為是电流計的常数。

功率放大的指示值是表示在 $I=5$ 毫安时最大可能的起始功率和电流計消耗功率之間的关系。应当指出，仪表最大的恒定电流是 10 毫安。

在这种情况下，所討論的傳送誤差仅仅是这种仪表里的可逆誤差之一，因而也有必要討論其他可能的誤差。

因为所討論的仅仅是示另法，外磁場的影响可以不計，但这种影响是小于傳送誤差的。温度誤差也小于傳送誤差一到二阶，只是在最精确的測量时，这种誤差要加以注意，因为仪表的温度較周圍环境为高，因而可能發生热电势。



圖 4 当 $I=5$ mA 时电压补偿線路的傳送誤差

电流計 $\gamma=150 \Omega$

$i_f=1 \cdot 10^{-9}$ A

电流放大值 $=5 \cdot 10^5$

功率放大 $=3 \cdot 10^{14}$

当外界温度恒定时校正仪表另点，所發生的热电势是可以补偿的。如温度变动很大，仪表將不能完全补偿該热电势。

外界温度变动 $\pm 1^\circ$ ，就能引起 $\pm 0.6 \mu V$ 額外的热电势。因此对于精确的測量，就要使外界温度維持恒定，除非仪表内部备有温度調节器。一般使温度均匀大約要經過 2 小时。

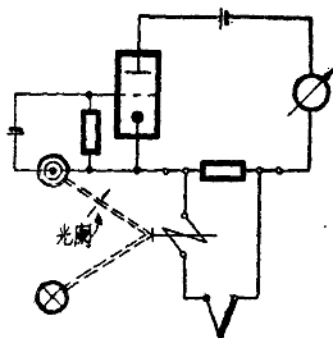


圖 5 光电补偿器电路

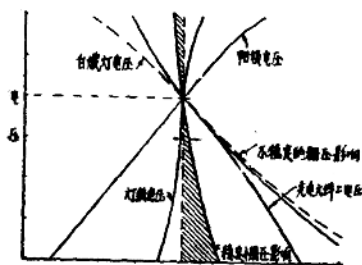


圖 6 市电电压变动影响

从光电补偿器的原理

圖上(圖 5)看出，照明灯上电压、灯絲电压、陽極电压、真空光电管上电压都能影响放大率，所有电压都取自裝在仪器里的总稳定电源。

在市电網中电压波动的影响如圖 6 所示，曲線指出的是当环線小鏡在中央位置时。一个电压改变而其他保持恒定的情况，也可以看出这些影响大部分是相互抵消的。

在我們所选择的線路中指出，市电电压波动的总影响，有稳压器和沒有稳压器时一样。

因为电流計自由地稳定时，寄生电流 i_f^* 比例于起始电流 I ，所以按照圖表就可

* 原文为 i_z ，誤系 i_f 之誤。——譯者

以直接确定市电电压对寄生电流的影响。

电压变化 5% 时，傳送誤差改变 2%。

这样由于市电电压正常波动所生的影响，几乎較傳送誤差小二阶，因此可以不計。

在測量微小电压时，在測量电流电路中，仪器（例如刻度为 $\pm 5 \mu A$ 的电流計）上的小鏡就会發生若干偏移。

正常的偏移，就好象在輸入端大約有 $\pm 0.2 \mu V$ 的电压波动时所發生的一样。較强烈的冲击能引起波动，这种波动在不利情况下会大到几个微伏。

按照所指出的原因，以及由于热效应，不应当用补偿放大器測量低于 20 微伏的电压。

最后我們要指出，不論是补偿型線路或电流計都不致引起不可逆的誤差，而电压放大器的部件則会引起这种誤差。真空管和光电管在衰老时能使寄生电流增長。

在線路中参数关系非常复杂的情况下，用圖解法研究这种誤差是不可能的，所以在仪器上就有着特殊的檢查裝置，如圖 7 所示。

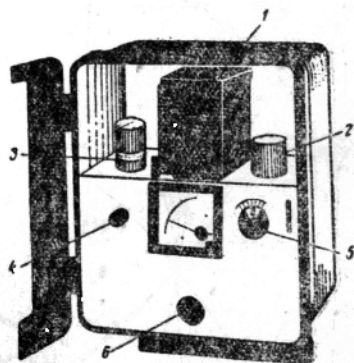


圖 7 补偿放大器

- 1. 控制裝置；2. 标准电阻；
- 3. 电子管放大器；4. 零点調节；5. 轉換开关；6. 校正器。

圖上所示，右方是改变測量范围的轉換开关，它有两个补助的檢查点，其中一个是“發射”（指光电管等的發射情况——譯者）調节旋鈕，用以檢查加热灯、电子管和光电

管。假如其中一个另件工作不正常，在仪器上就可以看出。

第二个检查点用以调整固定电流计的另位，它非常重要。因为调整不正确时在电流计中就会发生附加电流，这电流是可以补偿的，但终究增加了寄生电流的常值——正的或负的。

在特殊的設計中可能备有辅助装置，它能使这种仪器测量很低的电流与电压。

由圖 7 可以明显地看出其他結構上的特征。

电流计和真空管及光电管装在相隣的組合中。对于各种很灵敏的测量有可能装入比较合适的电流计，标准电阻同样也可以更换，因此测量范围可以通用。

放大管应该易于更换，所采用的管子由于精密的制造和正确计算，所以是很稳定和牢固的；仪器的辅助装置使其能精确地调整另点和检查衰老程度；白炽灯也要易于更换，仪器里所用的是一般小型灯泡，为了延长使用期限，使它在低于正常电压15%下工作。不用对准中心，更换灯泡就很容易。光电管也如此，因为灯座是成批制造的。仪器有着牢固的机壳，以防潮湿和大气影响。

为了防止偶然碰触，机身加罩外壳，电流计的接线柱用铜制成，以减少热电势。

讨论过补偿式放大器以后，让我们举出些应用的例子。我们已经谈到过关于能直接用来测量很小直流电压的电压补偿线路。

在电压补偿线路里，借热电偶可以很容易地测量温度，测量温度差时可以不考虑导线中的电阻。

这样的线路，也可以用来测量极微小的交变电流和电压，特别是在必需应用热转换器时。它可以大大地降低灵敏

的热轉換器的負載，从而減少轉換器热絲时常过热的現象。

在圖 8 上，我們看到反作用的电压补偿線路，从这个圖上可以看出寄生电流的影响，所有其他誤差也和电压补偿的情况相同。

圖 9 所示是迄今还不大为人所熟悉的比值測量器里的电压补偿線路，它可以用微小的电流很精确地測量小量电阻值的改变。在用电阻溫度計測量溫度时，使用低值測量电流，就有可能採用最小的电阻溫度計。

在 50 欧姆的溫度計里，当測量溫度准确度在 $\pm 0.5^\circ$ 时，測量电流可以限制在 20 微安，电流發热的誤差很小，甚至在空气中的电阻溫度計直徑为 0.1 毫米时，它的誤差仍小于 0.01° 。儀器的結構如圖所示，进行測量时实际上沒有慣性。以同样的方法可以进行各种最灵敏的測量，例如借助于在延伸时能改变本身阻值的电阻轉換器来測量延伸度（張力計）。

具有無力矩彈簧的电流計：

$$I_g = i_f = 0$$

$$(I - I_k)R_N = I_x(R_V + R_U)$$

$$R_U \ll R_V$$

电压降 = 0

具有反作用力矩的电流計：

$$I_g = i_f$$

$$I = \frac{(I_x - i_f)(R_N + R_V + R_U)}{R_N}$$

$$R_U \ll R_V, I = (I_x - i_f)C$$

$$\text{誤差: } F = \frac{i_f}{I_x} \cdot 100\%$$

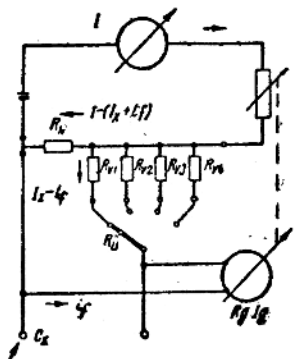


圖 8 电流补偿線路

在計算誤差時，我們深信在轉換器的輸入電路里，電阻的影響可以不計。對於儀器的輸出電路也是如此。一般電阻大約不大於 2,000 歐姆，這些條件使補償放大器也適用於遠距離測量（圖 10 所示即天線電流遠程傳送的例子）。

● 熱轉換器輸出的功率很小，用這種轉換器作遠程傳送，即使幾公里亦不可能，而補償放大器結合小負載熱電偶可作無誤差的遠程傳送。圖 11 所示為應用遠程傳送測量功率總和的例子。

略加改變的功率測量器可用作變送器，如瓦特表即可裝上作為一種輔助裝置，它可以用作感應式遠程傳送器。

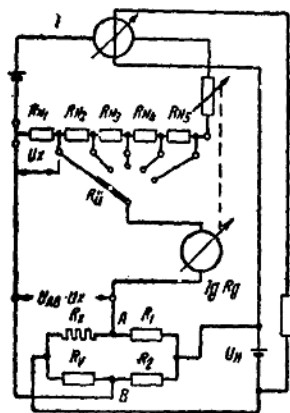


圖 9 具有比率計的補償放大器

具有無力矩彈簧的電流計：

$$U_x = f(R_x), I_g = i_f = 0$$

$$I = \frac{U_x}{R_{N1}}$$

電流消耗 = 0 毫安

具有定位力的電流計：

$$I_g = i_f$$

$$I = \frac{U_x I}{R_{N1}} = \frac{U_x - i_f (R_x + R_v + R_g + R_{ii})}{R_{N1}}$$

$$R_{ii} \ll R_g$$

$$\text{誤差: } F = \frac{i_f (R_g + R_x + R_v)}{U_x} \cdot 100\%$$

$$R_x + R_v \ll R_1 + R_2$$

在動圈中交變電壓的感生決定於偏轉角，此電壓是直接或經放大後在傳導線上傳送的。在中央站借補償平衡放大器進行電壓的總計。

因为变送器的感应电压是由线路上得到的，所以感生电压等于 $KU^2 \cos$

φ 。如果感应电压借特殊装置维持恒定，则感生电压是线性的，这时放大器输出端的总电流与所有变送器的总功率是成比例的。用这种方法时，必须用单心或双心环状导线。

假使有双心环状导线（通常是如此的），那末变送器总的感

生电压可沿第二导线引向中央站，同时为了得到电压指示，在放大器后面安装有比值测量器，可以在好几点上进行测量和指示的记录。

补偿放大器不仅能有效地应用于测量而且借电变送器可应用于各种程序的控制和调节。

当变送器的能量很小或所需测量的准确度很高时，它的优点就特别显著。

这种仪器能应用于连续的电气调节，用于阶式调节时可与机电放大器组合应用，此时可得到很高的调节灵敏度和准确性。

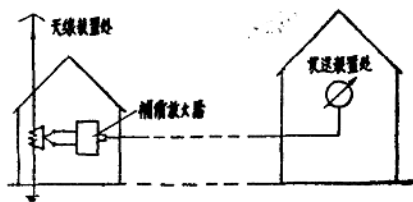


图 10 远程测量电流

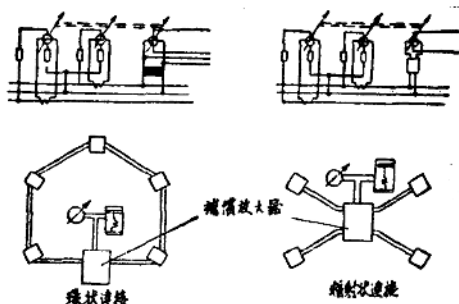


图 11 远程测量功率