

热工参数的气测法

刘 豹

前 言

气动自动化技术工具在现代自动化系统中得到广泛应用，它们具有经济、可靠、耐久，易于使用和维修。天然防燃防爆，不怕振动，不受离子场干扰，耐受高温，调节作用均滑，执行机构轻巧等优点。但是它们也有较难克服的缺点，例如反应较慢，传送距离较近，测量参数类型不广等。在气动测量方法和测量工具方面，存在的问题是较多的。近几年来，这一问题不仅得到重视，而且也得到一定程度的解决。本文就现有的和可能的气动测量方法以及实现这些方法的仪器的构成原理进行系统分析，以便有关科技人员进一步发展新型气动测量方法和工具。

热工参数的气测法是指将各种热工参数，经过发送器或中间转换器，或者就直接转换成在一定范围内变动的气压信号的方法*。这里，所谓热工参数是广义的，它指自动化系统中从生产过程内测算到的任何有利于自动控制的参数。它们可以分成三种类型：第一种是基本热工参数，例如温度，压力，流量，介质成分等等；第二种是综合参数，例如热交换器的传热系数，原动机的功率或效率，某些生产过程的特定的经济指标等等；第三种是有关生产过程动态特性的参数指标，或简称动态参数，例如对象的时间常数 T ，时间常数比 τ/T ，单位过渡函数，频率特性或相关函数等。

1. 基本热工参数的气测法

气测基本热工参数的方法有二：中间转换法和动态法。动态法利用封闭液罐液面上部空间和测量信号输入管线上气阻所构成的单容量环节的频率特性而测得液面的^[1]，其测量精度和

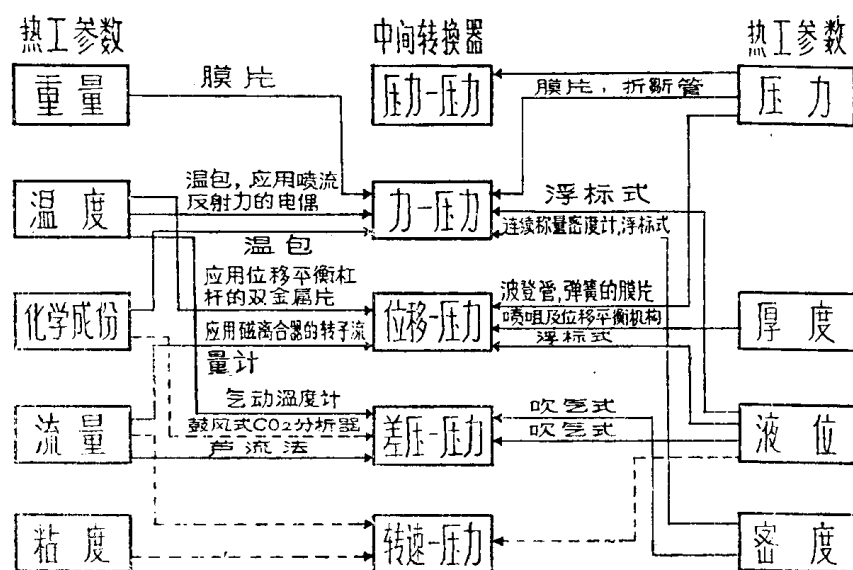


图 1

* 本文不拟讨论有关气动多点测量，气动远距离测量以及气动数字测量的问题。

指示方式都須进一步改善才有实用价值。得到普遍应用的是中間轉換法，利用某些物理特性，将被測基本热工参数轉換成力、位移、差压、轉速等較易轉化成压力的中間参数，然后用中間轉換器轉化成在一定范围内变化的压力。

气动中間轉換器有力-压力、位移-压力、差压-压力，压力-压力、轉速-压力等五种。后两种在实际中很少当作測量工具，压力-压力轉換器是高低压轉換器和非綫性函数发生器中的重要部分。轉速-压力轉換器也可当作气动計时机构或气动馬达。各种基本热工参数以及它們相配的中間轉換器見图 1，图中虛綫表示这种配合是可能的。

著者就中間轉換器設計中几个重要問題，論述如下。

a. 反 饋 理 論

在中間轉換器結構中应用反饋，可以提高測量系統的精度和减少結構中某些元件不穩定性和非綫性特性的影响。应用反饋就形成了力平衡或位移平衡式結構。最簡單的力平衡式轉換器如图 2 所示。

它的近似传递函数是

$$\frac{\hat{p}}{\hat{F}} = \frac{L}{A_1 L_1 + A_2 L_2} \quad (1)$$

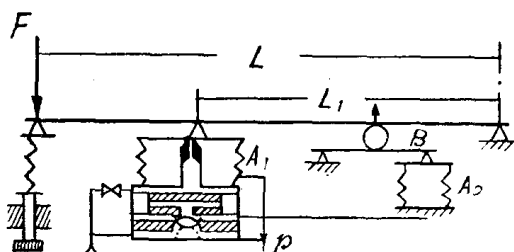


图 2

式中 L, L_1 ——各支点間距离，如图 1 所示；

L_2 ——可以用球 B 調整的相应距离；

A_1, A_2 ——折皺管的有效面积。

結構中噴嘴-挡板放大机构的放大系数愈大，則(1)式的近似程度就愈高。轉換器的輸入 F 和輸出 p 間的关系是一个和(1)式中 L, L_1, L_2, A_1, A_2 諸参数有关的正比值。

对于反应速度很低的发送器，例如溫包式溫度发送器，最好在轉換器的构成綫路中引用非周期負反饋如图 3，以形成比例加微分作用。

它的近似传递函数是

$$\frac{\hat{p}}{\hat{F}} = \frac{L(T_d S + 1)}{K T_d S + 1} \quad (2)$$

式中 $T_d = R_d C_d$ ——微分時間常数；

R_d ——气阻 r 的气阻值；

C_d ——由折皺管气室 a 形成的气容值；

$$K = \frac{L_1 A_1}{L_1 A_1 + L_2 A_2}$$

如果将時間常数 T_d 調整得等于发送器的滞后時間值，則全系统的反应速度約可提高 K 倍。

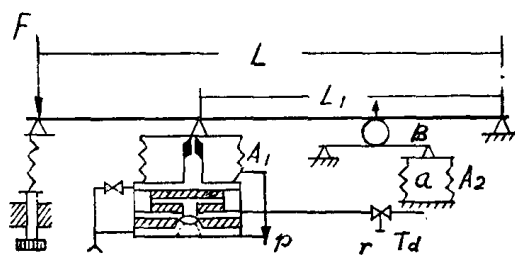


图 3

在某些轉換器的机械杠杆結構中，机械杠杆的质量往往会引起振蕩，保証这种系統的稳定性及精度的較好方法是在系統中引入非周期正反饋^[2]，見图 4。其方块图見图 5。

原开网传递函数为

$$W(S) = \frac{K_0}{MS^2 + RS + C} \quad (3)$$

引入非周期正反饋后的开网传递函数变为

$$W_1(S) = \frac{K_{01}(T_i S + 1)}{(MS^2 + RS + 1)T_i S} \quad (4)$$

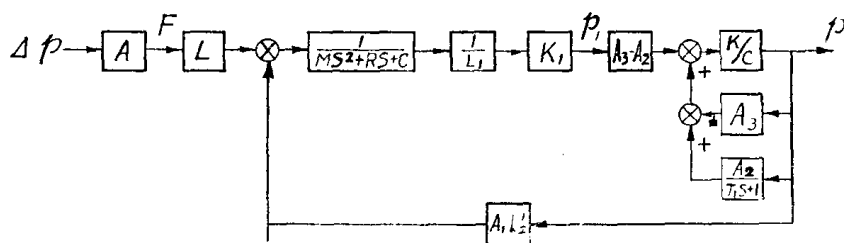


图 5

比較上两系統的根本軌跡，图 6 (a) 和 6 (b)，显然可知，引用正反饋后将使系統更稳定，并使之成为一个一阶无差系統。

在設計气动中間

轉換器时，如何利用反饋理論以改善結構的問題是值得考虑的。

b. 噴 流 反 射 力

在一般形式的气动轉換器中，噴嘴挡板机构中噴嘴噴射气流对挡板的反射力是严重影响儀器的灵敏度的一个因素。現在，已有办法利用它构成小輸入力的力-压力轉換器，見图 7(a)，它可以直接将热电偶的輸出訊号轉換为压力訊号^[3]。采用了噴流反射力的作用原理，可以构成簡便的电-气轉換器，后者在构成合理而实用的兼备气动和电动自动化工具各自优点的自动控制系统中是大有用处的。此外，基于这种原理，还可构成构造簡單的高压气动放大器，見图 7(b)^[4]。

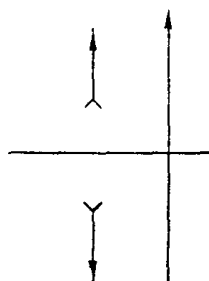


图 6(a)

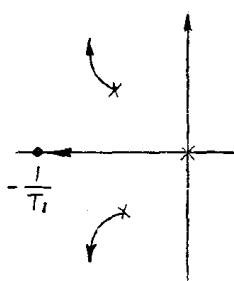


图 6(b)

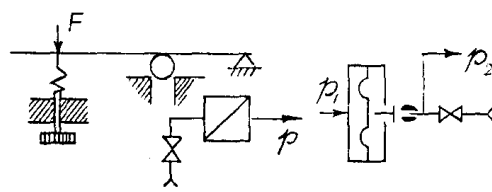


图 7

c. 气 动 綫 路

气动綫路是中間轉換器，特別是压力-压力轉換器中的重要組成部分。很多气动測量問題都可用几个串联或并联的气阻气路来解决。气路的几种重要应用如下。

(1) 分压器

分压器由一根串联着几个气阻的气路所构成,如图8。气路中输出压力 p 与输入压力 p_1 间的关系如下

$$p = \frac{r_2}{r_1 + r_2} p_1 \quad (5)$$

式中 r_1, r_2 ——气路上串联两气阻的气阻值。

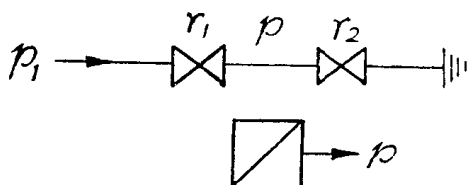


图 8

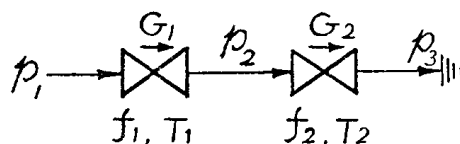


图 9

(5) 式的精确度决定于所用气阻的线性特性。毛细管在层流条件下工作,并且用管端层流初始段的影响来补偿空气压缩性的影响可以保证它的线性特性^[6],在低压下适当取用较大的毛细管长径比也可保证其线性特性。

(2) 气动温度计

用一根串联有两个气阻的气路可以构成气动温度计,见图9^[6]。按两串联气阻中质量流量相等的条件,可得下列关系式

$$f_1 \sqrt{2g\gamma_1(p_1 - p_2)} = f_2 \sqrt{2g\gamma_2(p_2 - p_3)} \quad (6)$$

又从理想气体定律,上式可改写成

$$T_1 = C \cdot \Delta p \frac{T_2}{\Delta p_2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta p_1}{p_1}} \quad (7)$$

式中 T_1, T_2 ——流经各气阻的空氣的绝对温度;

$$C = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \quad (8)$$

f_1, f_2 ——各气阻上流通截面的有效面积;

p_1, p_2, p_3 ——各为两气阻前、中间及后面的空气压力;

$\Delta p_1, \Delta p_2$ ——各为前后两气阻上的压降。

如果使温度 T_2 和压降 Δp_2 保持不变,并使比值 $\Delta p_2/p_1$ 极小,则(7)式可简化为

$$T_1 = K \cdot \Delta p_1 \quad (9)$$

(3) 气桥线路

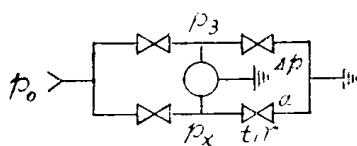


图 10(a)

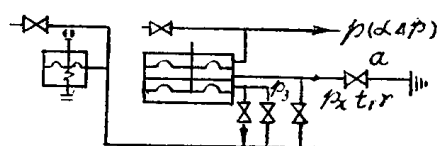


图 10(b)

图10(a)所示为一不平衡气桥线路,它可用以测量气阻 a 周围介质的温度。Ferner 提出的具体结构如图10(b)^[4]。

气阻 a 的气阻值 r , 在层流条件下和流过气阻的空氣的粘度成比例,而空氣的粘度又

和它的温度有关，故气阻值 r 是温度 t 的一个已知函数，即

$$r=f(t) \quad (10)$$

若将供压保持恒定，则分压器上压力 p_s 也不变，线路的输出讯号 Δp 即直接指出了温度变化

$$\Delta p = p_x - p_s = f_0(t) - K \quad (11)$$

(4) 自动平衡气桥

连接在气桥线路对角线中的比较元件，即一个加法器的输出压力可用来调整桥臂上某一气阻的气阻值，以平衡对角线压力 p_s 和 p_x ，见图 11。平衡气桥上各气阻的气阻值之间有如下关系，

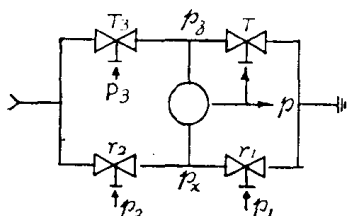


图 11

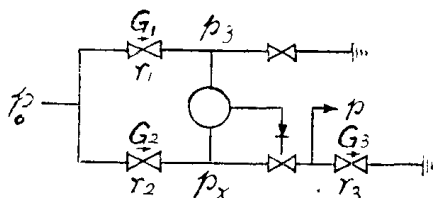


图 12(a)

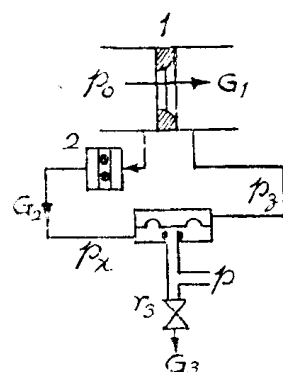


图 12(b)

$$r = \frac{r_2 r_3}{r_4} \quad (12)$$

如果气阻的气阻值可做成与作用压力成正比，则(12)式可转化成(13)式，即

$$p = \frac{p_2 p_3}{p_4} \quad (13)$$

在上述桥路的基础上，可设计一个气体流量发送器，其原理见图 12(a)，其结构线路见图 12(b)^[7]。结构简单的压力随动膜室可使两压力 p_x 和 p_s 相等，因而自动地平衡了桥路，同时由于孔板 1 和 2 上的压降相等，故流过孔板 1 的被测质量流量可以流过孔板 2 的质量流量来表示它们间的关系如下

$$G_1 = \frac{f_2}{f_1} G_2 \quad (14)$$

式中 f_1, f_2 ——各为孔板 1 和 2 的有效流通面积。

若泄空气阻具有线性特性，则等于流过孔板 2 的质量流量 G_2 的泄空流量 G_3 就可以压力 p 来表示，即

$$G_3 = G_2 = \frac{p}{r_3} \quad (15)$$

合并(14)和(15)两式，即得如下关系

$$p = r_3 G_2 = r_3 \cdot \frac{f_1}{f_2} G_1 \quad (16)$$

(5) 非线性函数发生器

气动非线性函数发生器在气动模拟计算机和气动发送器中有很大的作用，它们可以用各种气动线路构成。图 13 示列了 Ferner 所提出的一种具有开方根关系的线路^[4]。空气在层

流条件下流过气阻 a ，而以湍流条件流过气阻 b 。按质量守恒定律，可得下式

$$r_2 \sqrt{p_x \cdot p} = r_1 p$$

或

$$\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 (p_x - p) = p^2 \quad (17)$$

因为加法器 C 的输出压力 p_x 是输入压力 p_1 与 p 之和，故全线路的总输出压力信号为

$$p = p_x - p_1 \quad (18)$$

消去(17)和(18)两式中的 p_x ，即得下列表示开方根关系的算式

$$p = \frac{r_2}{r_1} \sqrt{p_1} \quad (19)$$

采用不同气阻的排列方案，可构成许多种二次型非线性函数关系^[8]。

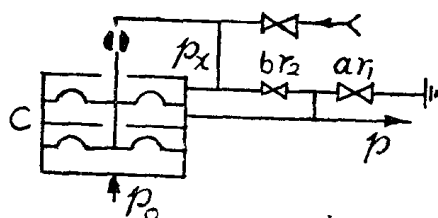


图 13

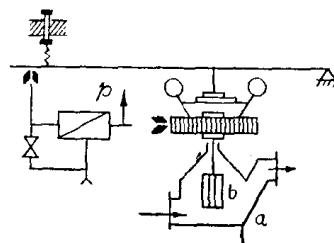


图 14

气动线路的应用范围很广，而且将会进一步推广。在推广其应用范围的工作中重要的问题是研究具有线性特性的气阻和具有线性变化关系的可变气阻。

d. 转速-压力转换器

在气动调节器中已采用了透平式流量累积机构^[9]。在这种机构上加以某些改变，就可设计出转速-压力转换器，见图 14。它可用以测量罐 a 中流过液体的粘度，若将其转翼 b 浸入某一罐中的液面，即可测量罐中的液位。此外，它也可用作恒速气动马达。

2. 综合参数的气测法

生产过程自动化发展的重要方向之一是从按生产过程中工作参数，例如温度，流量及压力等进行调节，变成按工作参数及质量参数，例如产品的化学成分进行调节，最后又变为按工作参数，质量参数以及某些综合参数进行综合控制。

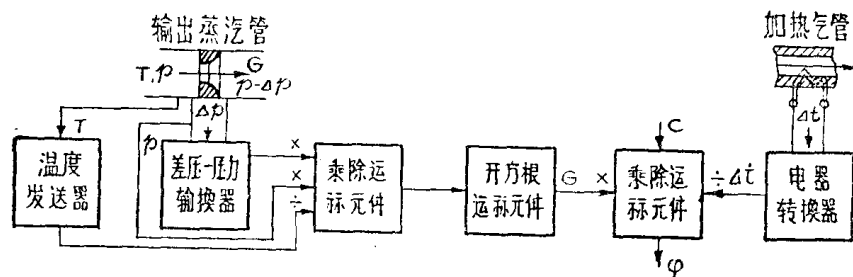


图 15

测量综合参数的特点是具有两个以上的测点，各测得信号要经过一定形式的加、减、乘、除或微分等运算。

糖浆蒸发器的自寻最佳控制系统^[10]是众所周知的一个测量综合参数的例子，在这系统中蒸发过程是按传热效果 φ 的最大值来

控制的，綜合参数是

$$\varphi = C \frac{G}{\Delta t} \quad (20)$$

式中 C ——与因次有关的常数；

Δt ——传热面两边的温差；

G ——蒸发蒸汽的质量流量。

如果要补偿蒸汽温度和压力对它的质量流量的影响，则蒸汽质量流量这一基本热工参数本身就变成了一个綜合参数，其关系如下

$$G = C_1 \sqrt{\frac{\Delta p \cdot p}{T}} \quad (21)$$

測量綜合参数 φ 的气动綫路见图 15。

气体高温計^[11]的输出訊号又是一个測量綜合参数的例子，这一綜合参数可用气动或电动綫路測量，它們間具有下列关系

$$T_1 = K \left(\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \right) T_2 \quad (22)$$

现在計算机控制已被认为提高某些生产过程控制效果的有效方法之一，它实质上是一种应用綜合参数的系統。例如蒸馏塔的内部回流量或輸入热焓的計算控制系統^{[12][13]}，就是利用内部回流量或輸入热焓这种綜合参数作为給定参数的多网控制系統。

要进一步改善計算机控制系統的性能，必須深入研究組成綜合参数的各测点訊号間的动态关系及静态关系，并提出减少或补偿各测点訊号間測量滞后的有效方法。

3. 动态参数的气測法

設計一个新的或調整一个現有的自动化系統时，必須知道对象的动态特性或动态参数。在自动化系統工作时，为保証系統最好的工作效果，必須随时測量对象的动态参数，并按此自动調整調節器的整定参数，甚至改变調節器的結構，这种先进系統即为自适应控制系統。目前已有很多适于在實驗室条件下应用的动态参数測示仪器^[14]，其中气动低频动态分析仪也是常用的。装在系統中連續測量对象动态参数的問題尚未得到全面解决，极少简单而有效的实用測示设备。

目前注意力都放在如何提高动态参数的測量精度及减少測量对系統正常工作的影响上，至于測量数据是否还要經過繁复的演算以便及时得到測量結果的問題，考虑得很少。

著者提出在實驗室条件下应用的自动測繪对象頻率特性曲綫的气动仪器的可能方案。

仪器向被测对象或元件先发出一个脉冲函数 $\delta(t)$ 形式的气压訊号，則在被測元件輸出端測出的过渡过程函数即为重量函数 $k(t)$ ，其富氏变换为

$$Y(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} k(t) e^{-j\omega t} dt = \int_0^{\infty} k(t) \cos \omega t dt - j \int_0^{\infty} k(t) \sin \omega t dt \quad (23)$$

以上式右边前后兩項在一定 ω 值下的积分值作为复数平面上的橫軸和縱軸值，則可得頻率特性曲綫上的相应 ω 下的一定点。以不同頻率即可点繪曲綫上的各点。

这一仪器由下列三部分組成：(1) 双坐标記錄仪；(2) 正弦波发送器；(3) 計算控制綫路。后者如图 16 所示，又可分成三个組成部分：(1) 測算系統 I；(2) 自动开关系統 II；(3) 脉冲发生器 III。

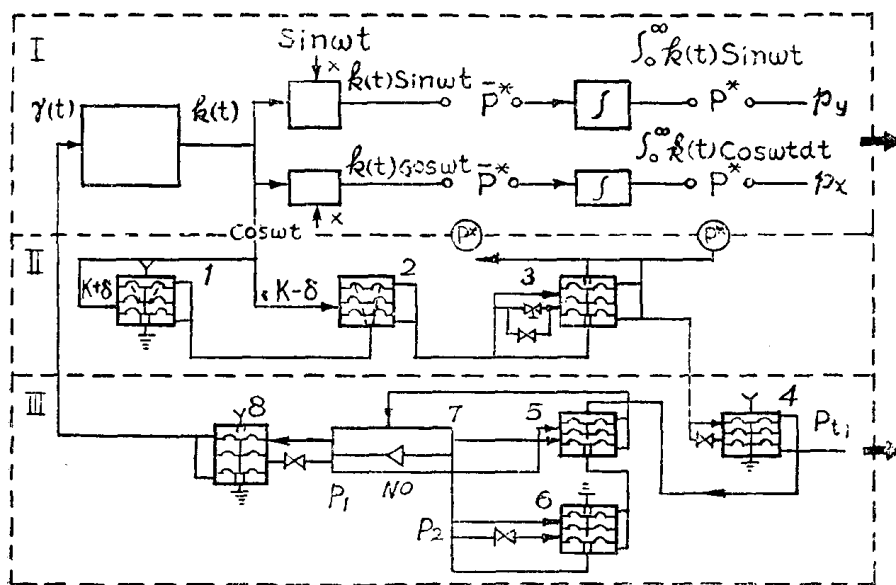


图 16

测算线路中的积分上限须加控制，以使， $\int_0^{t_1} \approx \int_0^\infty$ 。稳定对象的重量函数曲线往往具有图 17 所示形态，即在一定时间以后，会得如下结果

$$|k(t)| = 0$$

故取一相当小的 δ 值和一个足够

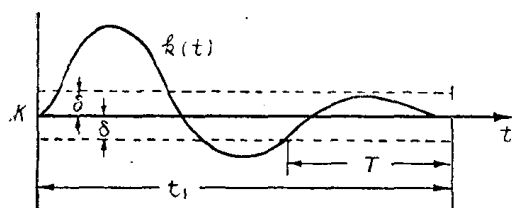


图 17

大的 T 值，在 T 内如 $|k(t)| < \delta$ ，则可近似地认为

$$\int_0^{t_1} \approx \int_0^\infty \quad (24)$$

在 t_1 时，积分器前的信号通道被切断，其后通道合上，积分器即输出积分值

$$\left. \begin{aligned} p_y &= \int_0^{t_1} k(t) \sin \omega t dt \approx \int_0^\infty k(t) \sin \omega t dt \\ p_x &= \int_0^{t_1} k(t) \cos \omega t dt \approx \int_0^\infty k(t) \cos \omega t dt \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

由图 16 所示三个气动逻辑元件 1、2、3 构成的自动开关系统 II 用以检测积分时间 t_1 ，并输出信号 p^* 。系统中所用气动逻辑元件是由 Tal 提出的^{[15][16]}。当指示 $k(t)$ 的压力在下列范围内时，

$$K - \delta < k(t) < K + \delta \quad (26)$$

供压经过元件 1 和 2，输入元件 3，经过时间 t_1 后，使自动开关系统的输出压力信号 p^* 等于 1，此后，积分运算终止，并将积分结果送入记录仪器。同时，逻辑元件 4 发出一脉冲信号 p_{t1} ，送向记录仪器使其打印机构动作。打印完毕后，表示积分值 p_y 和 p_x 的压力即向大气泄空以使 $p_x = p_y = 0$ 。此后，脉冲发生器 III 即将发出另一脉冲信号 $\delta(t)$ ，将正弦波发生器的正弦波频率调整在另一个新值上，并使上述各工作程序再次重复。

动态参数气测法尚未充分发展，但它在自动化系统中的应用是有前途的。

结 论

气动自动化技术工具在其应用范围内有很大优越性。虽然在目前应用的气动测量仪器中还存在一些缺点，但它们可以进一步改善，在不久将来一定能得到进一步的推广。

測量基本热工参数的气动仪器的应用大有推广的余地。选用适当的中間轉換器，很多用常用气动測量仪器难以解决的測量問題可得到解决。基本热工参数气測法的进一步研究工作在于：拟制各种能将不同基本热工参数发送为力、压力、差压、位移和轉速的发送器；改进中間轉換器的結構。

各种型式的反饋網路可以而且已被采用，以提高轉換器的精度和保証它的稳定性。用簡單的負反饋網路可以提高仪器的精度；应用串接有非周期环节的負反饋網路可以加速反应速度；应用串接有非周期环节的正反饋網路可以改善仪器的稳定性和靜态精度。

应用不同型式的气阻可以构成很多气动綫路，这些气动綫路可作为測量綫路或构成各种具有輸入訊号与輸出訊号間不同綫性关系或非綫性关系的压力-压力轉換器。

采用新的作用原理，例如应用噴流反射力或轉速中間参数，可以扩大气測法的应用范围。

綜合参数的气測法是在气动計算元件的基础上开展起来的。在工业中有不少基本热工参数要經過一定形式的运算才能最后得出測量結果。近几年来在工业控制系統中漸漸占有一定地位的計算机控制实质上就是以綜合参数为基础的。为了进一步提高計算机控制系統的性能，綜合参数測量中的动态問題和其靜态特性問題一样重要，必須进一步加以研究。

气測动态参数法可应用各种气动元件，例如气动发送器，中間轉換器，气动邏輯元件，函数发生器以及其他各种气动計算元件而得到实现。这种測量方法虽然尚未得到充分发展，但它在自动化系統中的应用是有前途的。

参 考 文 献

- [1] Б. В. Вольтер, "Динимический меторы контроля уровня жидкости", Приборостроение, № 7, 1961.
- [2] М. Л. Подгоецкий, "Пневматический компенсационный датчик с изодромным усилителем", Приборостроение, № 2, 1962.
- [3] А. Г. Аркадьев, Я. М. Марьяновский, М. Л. Подгоецкий, В. Л. Шварцер, М. С. Шнееров, "Обратная связь по реакции воздушной струи в пневматических преобразователях с силовой компенсацией", Приборостроение, № 2, 1961.
- [4] В. Фернер, "Элементы пневматических регуляторов", Вопросы пневмо-и гнвроавтоматики, изд. АН СССР, 1960.
- [5] Л. А. Залманзон, проточные элементы пневматических приборов контроля и управления, изд. АН СССР, 1961, стр. 25 ~ 32.
- [6] И. П. Польцов, "Пневматический термометр", Приборостроение, № 5, 1960.
- [7] Ю. И. Ивличео, Э. А. Исмиев, "Новый принцип измерения расхода газов", Приборостроение, № 7, 1961.
- [8] В. Фернер, "О нелинейных звеньях в системах автоматического регулирования", Труды 1 ИФАК, теория непрерывных систем, изд. АН СССР, 1961.
- [9] Ц. П. Кривой, А. А. Новиков, Н. М. Шантурин, "Пневматические приборы для автоматизации теплового режима мартеновской печи", Приборостроение, № 10, 1960.
- [10] А. Г. Ивахненко, электроавтоматика, Гостехиздат УССР, 1957, стр. 424.
- [11] A. M. Godridge, R. Jackson, G. G. Thurlow, "The Venturi Pneumatic Pyrometer", Jr. of Scientific Instruments, No. 3, 1959.
- [12] D. E. Lupfer, D. E. Berger, "Computer Control of Distillation Reflux", Jr. ISA, No. 6, 1959.
- [13] M. W. Oglesby, D. P. Lupfer, "Feed Enthalpy Computer Control of a Distillation Column", Control Eng. No. 2, 1962.
- [14] D. W. S. Clair, L. W. Erath, S. L. Gillespie, "Sine-Wave Generators", Frequency Response, The MacMillan Co., 1956.
- [15] A. A. Tai, The Pneumatic Logic Computing Devices and Their Applications, The Chinese Institute of Automation, 1960 (in Chinese).
- [16] Т. К. Берендс, А. А. Толь, "Пневматические релейные схемы", Труды 1 ифак, технические средства автоматизации, изд. АН СССР, 1961.

50点气动巡回检测装置的初步研究

一机部热工仪表科学研究所 康庆宇 盛微权 張均惠

摘要 本文提出了一个简单可行的气动巡回检测装置。这个装置能巡回检测由50个一次仪表(输出为0.2-1公斤力/厘米²标准信号的变送器)送来的压力信号,可将模拟量转换成数字量,以4秒钟一点的速度打印出数字,准确度在±1%以内。并有对每个参数的监视报警装置和备作手动选测等的切换机构。

文章中将这个装置作了具体介绍。其中数字转换是利用一种类似落弓的机械随动机构,不需要经过复杂的编码译码过程,直接就可以进行数字转换;数据打印采用一次印出方式,能将检测的时间、序号和参数的数字同时打印出来;监视装置的上限和下限给定值是利用一个转动轮盘和杠杆机构,使两个定值器按所给定的数值分别依次给定,不需每个参数的给定值都用定值器。因此整个装置结构简单,体积仅400×450×600毫米。它与气动单元组合仪表配合使用,将使生产过程集中管理得到进一步的提高。

一 前 言

近年来,由于工业的飞跃发展,自动化程度的日益提高,实现生产过程综合自动化与全盘自动化的任务已经提到日程上,迫切要求仪表研究和设计部门提供多种多样的新型自动化工具。

目前,在一些大规模的生产部门,开始采用电子巡回检测和数据处理装置。它可以迅速地将系统中各个参数,依次巡回自动进行检测、打字和监视等,并可将检测结果,自动进行计算和处理。代替了很多生产管理工作,改善了对产品质量的控制,使整个生产过程自动化的程度大大提高了一步。

电子巡回检测的速度非常快,一秒钟可以检测几百点,甚至几千点。但这些仪表的结构都比较复杂,而且所用的元件、材料以及技术要求亦很高,价格也相当贵。从一般使用要求来看,大多数热工过程自动控制中,不需要这样快的速度。并且在一些规模较小和检测参数不太多的场所,更用不着这样高级、复杂的装置。同时,如果一次仪表输出为气压信号,还需进行气——电转换,又增加了装置的复杂,在这种情况下,采用气动巡回检测装置是比较适宜的。

气动仪表在速度和传送距离方面,虽然远不及电子仪表优越,但是却具有简单可靠的特点,在目前很多工业部门,采用仍比较普遍。因此,我们开始对气动巡回检测装置进行了研究。目的是配合气动单元组合仪表的应用,代替一部分气动二次仪表,使集中管理和监视得到进一步的改善,另外对加工制造和推广使用等方面来说,具有一定的经济价值。

二 工 作 原 理

1. 基本原理

气动巡回检测装置组成部分基本上和电子巡回检测装置一样，主要由八个单元组成，其组合方块图见图1。

气动巡回检测主要是如何将检测参数压力信号，迅速地由模拟量转换为数字量，以及进行快速打字和越限报警等。如果仍按电子巡回检测采用二进位的模-数转换方法，结构将比较复杂，而且速度和精度很难保证。因此，模-数转换利用类似落弓的机械随动机构，使特制的数字轮能跟随压力表指针转动，这样即可简单的得到数字转换，不需经过复杂的编码、译码过程，同时速度也容易得到保证。

在打字方面，采用一次印出方式，将检测的时间、序号和参数的压力用数字同时压印出来。这样既缩短了时间，又可避免重迭打字的缺点。

在上下限越限监视方面，利用一个转动轮盘和杠杆机构，使两个定值器，按所给定的数值，分别依次进行给定，不需每个参数的给定值都用定值器，使结构简化，体积大大缩小。

装置具有打印和指示两套机构，使管理方便。各单元的动作，按一定的次序进行，由时间程序单元统一指挥。

装置的工作原理示于图2，外形见图3。

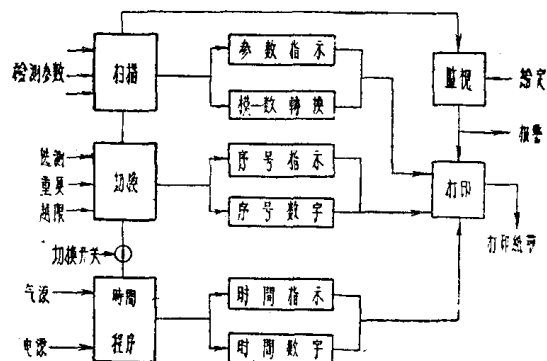


图1

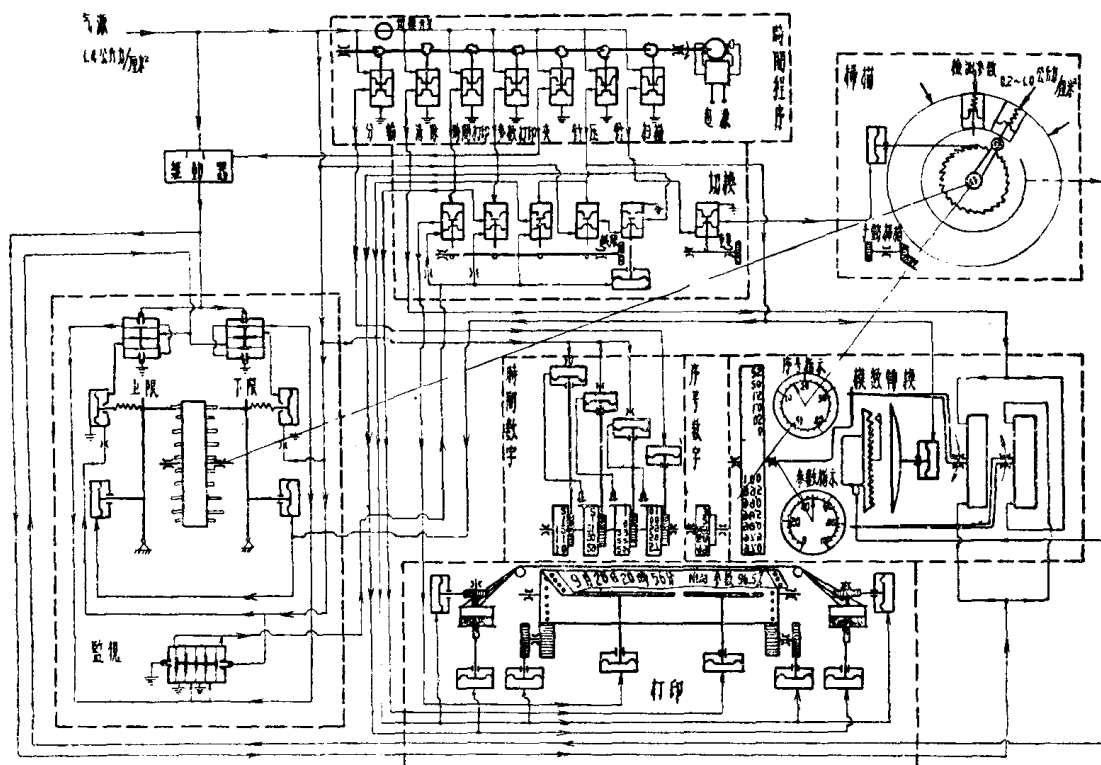


图2

2. 各单元的结构和动作

(1) 扫描单元

扫描单元用于将测量参数循序地与模-数转换单元接通, 以供检测之用。其外形见图 4。

测量参数为 0.2—1 公斤力/厘米² 范围的压力信号, 由一次仪表(变送器)分别送到各个小型气阀, 这些气阀排列成一个圆周, 靠凸轮依次推开气阀, 将测量参数一个个地接通; 而凸轮的转动是由时间程序单元操纵气动推动器推动棘轮来实现的。

(2) 模-数转换单元

模-数转换单元用于将被测参数信号进行测量并转换成数字, 以供打印。

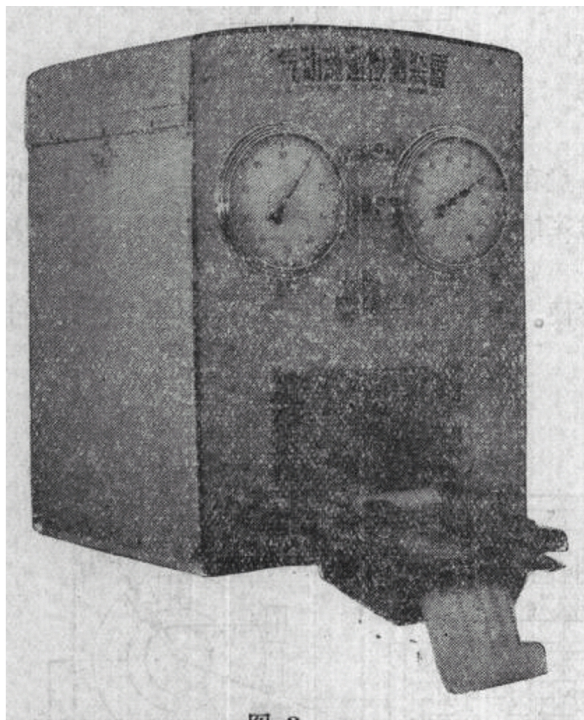


图 3

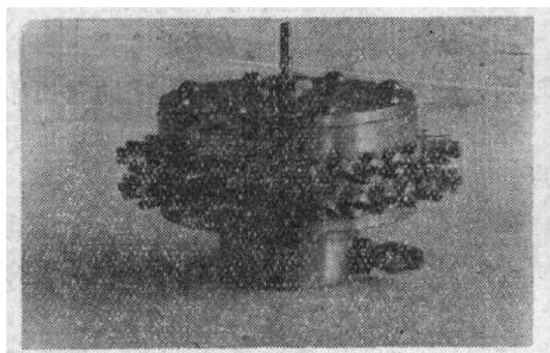


图 4

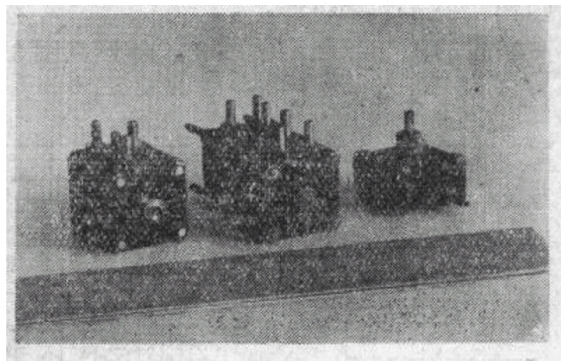


图 5

扫描单元来的压力信号, 送到一个特制压力表中, 压力表刻度做成带锯齿的圆盘形式, 齿数为 200 个。在压力表前面同一个轴线位置装有一个数字轮, 轮上有 200 行数字。当压力表指针稳定在一个位置时, 由压板将这个指针压入锯齿槽内, 锯齿槽的作用为: 一方面保证指针压紧后的位置不变, 另一方面可将被测参数的小数以四舍五入的方法去掉, 使打印出来的数字完整。在压力表指针被压紧后, 即相当于一个固定点。然后利用两个扇形气缸的旋转活塞带动夹杆从两个方面围绕压力表指针并撬, 并带动摇臂, 而摇臂是和数字轮连成一体的。因此数字轮也随之转动, 直到摇臂与指针相重合为止。这样, 在打印位置出现的数字, 即为参数压力数值。

(3) 序号数字单元

序号数字单元用于将检测参数的编号表为数字, 以供打印。为此, 将一个序号数字轮安装在扫描凸轮轴上, 凸轮转动时, 带动序号数字轮, 这样在打印方向出现的数字, 即代表检测参数的序号。

(4) 時間数字单元

時間数字单元用于将測量時間表为数字，以供打印。

采用四个数字輪，按“月”“日”“时”“分”排列，每个数字輪上装有棘輪。由時間程序单元每分钟发出一个脉冲信号，推动“分”位数字輪轉动，并利用噴嘴-挡板系統实现进位。此外，附装有一套齿輪机构，备作校准時間之用。

(5) 監視单元

監視单元用于对参数越限进行監視，可給定每个参数的上限与下限数值，并在参数越限时进行发訊报警，其主要元件见图5。

上限及下限的給定值，是利用两个定值器和一个与扫描单元同軸的輪盘逐点給定的。在輪盘两面沿着圓周各有50个調距螺釘，螺釘的高低位置与給定压力成一定的比例关系；当給定輪轉到某一位置后，推动器即推动杠杆，直到与螺釘接触为止，而杠杆又与定值器的彈簧相連，这样就使定值器产生一个相应大小的給定压力信号。然后将給定压力与参数压力送到上限与下限二个比較元件中进行比較，比較后的輸出再送到綜合元件。因此只要参数超越某一个給定界限时，綜合元件即有輸出，操纵色帶，使打印出来的字成为紅字，并供作报警。

(6) 打印单元

打印单元的作用是将轉換出来的参数、時間、序号等数字加以打印。

打印是利用压板，将記錄紙和色帶一起压到参数，時間及序号的数字輪上，印出数字。其打印、推紙动作和色帶的移动等均由時間程序单元通过推动器来操纵。而色帶顏色的改变是由監視单元来控制的。

(7) 時間程序单元

時間程序单元的程序時間由同步电机来加以保証。同步电动机帶動凸輪，而凸輪是按工作程序排列的。在轉动时，各凸輪即依次打开三通气閥，发出脉冲信号，操纵各单元的推动器，从而使整个装置按一定的順序工作。当凸輪将三通气閥推杆压下时，气源与推动器接通；当凸輪离开推杆时，推动器則通大气。

(8) 切换单元

切换单元是一个輔助装置，主要有下面三个作用：

- 1) 手动选測 目的在于及时选測某个需要的参数。将自动-手动切换开关放到手动位置，然后轉动手动扫描旋鈕，即可实现。
- 2) 重复检测 即对一个参数进行重复測量。为此，只須将扫描推动器气路切断，使扫描停止即可。
- 3) 越限检测 仅将越限的参数打印，而不越限的参数只作指示。其打印动作借助于气动开关将打印单元的推动器改用監視单元的綜合元件来操纵。

三 检测速度和准确度

1. 检测速度的分析

检测周期是扫描時間，模-数轉換時間，打印時間及清除時間的和。

检测的动作过程如图6所示

- (1) 扫描時間 t_1 即由扫描凸輪打开气閥到压力表指針指示穩定的時間。

(2) 模-数轉換時間 t_2 包括压針和夹針所需時間。压針時間为脉冲信号进入推动器到指針压穩的時間。夹針時間为脉冲信号进入扇形气缸到搖臂夹穩的時間。

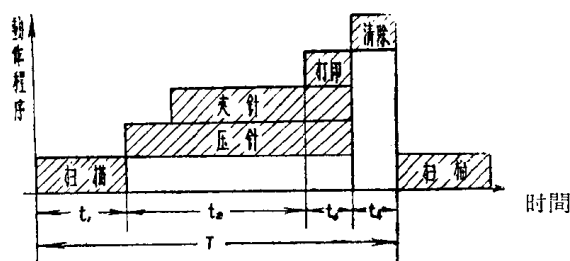


图 6

t_1 —扫描時間; t_2 —模-数轉換時間; t_3 —打印時間; t_4 —清除時間。检测周期 $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ 。

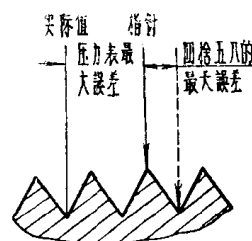


图 7

(3) 打印時間 t_3 即压印推动器容室充气時間。

(4) 清除時間 t_4 即所有单元恢复到原始位置所需時間。应以其中時間最长的单元來計算。这里, 清除時間应为扇形气缸的旋轉活塞返回原处的充气時間。

現在研究試制成功的气动巡迴检测装置, 检测周期为 4 秒钟, 周期時間分配如下表:

检测周期時間分配表

作用	動作	時間 (秒)							
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
检测	扫描	→							
	压針		→						
	夹針			→					
	打印				→				
監視	清除					→			
	扫描	→							
	給定		→						
	复訊			→					
	清除						→		
	清除							→	

0.25=1%, 如图 7 所示。

2. 检测准确度

检测准确度主要取决于压力表的最大誤差和锯齿槽四舍五入引起的誤差。現采用的压力表准确度为 $\pm 0.75\%$ 。数字輪上有 200 行数字, 按百分数排列, 而锯齿亦有 200 个, 因此, 四舍五入所引起的誤差不大于 0.25%。

綜上所述, 检测最大誤差为: $0.75 +$

四 結 語

以上所介紹的装置, 經過試驗証明是可行的。这种装置的特点就是簡單、体积小 ($400 \times 450 \times 600$ 毫米) 使用方便、制造成本低, 所用的原材料都是一般容易得到的。它与气动单元組合仪表配合使用, 使生产过程的集中管理可以得到改进和提高。

至于在检测的准确度方面, 只要将压力表提高到 0.25 級以上, 則模-数轉換的准确度可达到 0.5 級; 在速度方面, 現在检测每点为 4 秒钟, 对一般生产过程是能够滿足要求的, 如果将数字輪质量減輕及气阻、气容再减小, 检测速度是可以再提高一些的。

另外, 如需要检测在同一時間下的各参数, 可以加上儲存单元来解决。在不需長時間內連續检测时可用周期間歇装置, 使其工作間歇进行。

这个气动巡迴检测的装置还只是初步的方案, 其中許多問題考虑尚不够, 如何使其更为完善, 尚待今后繼續改进提高。

参 考 文 献

[1] Л. А. Залманзон, Проточные элементы пневматических приборов контроля и управления, Издво АН СССР, 1961.

[2] В. С. Прусенко, Элементы пневмоавтоматики для регулирования тепловых процессов, Госенергоиздат, 1961.

[3] В. А. Боднер, Г. О. Фридлендер, Н. И. Чистяков, Авиационные приборы, Оборонгиз, 1960.

[4] Т. К. Берендс и А. А. Таль, Пневматические бездрессельные релейные схемы, В кн. «Вопросы пневмо- и гидроавтоматики.» Изд-во АН СССР, 1960.

[5] Е. М. Добрынин, Приборы автоматизации производственных процессов, Машгиз, 1960.

热辐射定律的某些性质

中国科学院自动化研究所 廖炯生 肖功弼

摘要 本文从温度测量的角度所进行的理论分析指出了热辐射定律的几点性质:

一、虽然辐射能对温度变化的绝对灵敏度 $\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}\right)_{T_0}$ 在波长 $\lambda'_{\max}$ 处有极大值,但其相对灵敏度 $\left[\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}\right) / \left(\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{T}\right)\right]_{T_0}$ 对波长没有极值,波长减小时相对灵敏度单调上升。

类似地,辐射能对波长变化的绝对灵敏度 $\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial \lambda}\right)_{\lambda_0}$ 有极大值,而相对灵敏度 $\left[\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial \lambda}\right) / \left(\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{\lambda}\right)\right]_{\lambda_0}$ 没有极值。

二、虽然 $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\partial \gamma_{\lambda T}}{\partial T} = \frac{C_1}{C_2 \lambda^5}, \quad \lim_{T \rightarrow 0} \frac{\partial \gamma_{\lambda T}}{\partial T} = 0;$

本文指出还有不同的二个极限

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \left[\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T} \right) / \left(\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{T} \right) \right] = 1, \quad \lim_{T \rightarrow 0} \left[\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T} \right) / \left(\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{T} \right) \right] = \infty.$$

三、虽然辐射能与温度之间关系保证了光学法测温的高灵敏度,但在直接测量辐射能以确定温度波动大小时,由于放大记录仪器线性工作区的实际限制,上述关系引起一种附加动态误差。它在光学法瞬时温度测量中起主要作用。

文中讨论了性质一、二的应用条件,也指出了避免附加动态误差的可能途径。

一、热辐射的普遍定律是 KIRCHHOFF 定律。该定律表明:任何物体在热力学平衡状态下的辐射本领和吸收本领之比是波长和绝对温度的普适函数

$$\frac{\gamma_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}} = f(\lambda, T) \quad (1)$$

对于绝对黑体, $\alpha_{\lambda T}^0 = 1$, 因而

$$\gamma_{\lambda T}^0 = f(\lambda, T) \quad (2)$$

大家知道, PLANCK 引入量子概念而得到了上述函数的表达式

$$f(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} [e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1]^{-1} \quad (3)$$

这就是著名的 PLANCK 定律。

从 PLANCK 定律可以导出历史上有名的 STEFAN-BOLTZMANN 定律、WIEN 位移定律、关于绝对黑体最大辐射本领的定律以及 WIEN 公式、RAYLEIGH-JEANS 公式。

文献[1]进一步指出,在给定的 T_0 点处,有波长值 $\lambda'_{\max}$, 使

$$\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T} \right)_{T_0} = \left[\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T} \right)_{T_0} \right]_{\lambda'_{\max}} = K^r T_0^4 \quad (4)$$

式中 K^r 为比例系数。又对于给定波长 λ_0 而言,有极限

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T} \right)_{\lambda_0} = \frac{C_1}{C_2 \lambda_0^5} \quad (5)$$

根据这些結果，文献[1]的作者认为对于待测溫度 T_0 ，应当选择波长 $\lambda'_{\max}$ 作为工作波长使 $\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}\right)_{T_0}$ 有极大值。当 T_0 在 1000°K 至 3000°K 范围内时， $\lambda'_{\max}$ 在近紅外区内。

这就是說，应当选择波长 $\lambda'_{\max}$ 以获得最高的绝对灵敏度。文献[2]詳細地分析了光电高溫計中参考源誤差、放大器噪音、輻射噪音和光电检测器的灵敏度閾。根据后二者来确定可检测的最小溫度差 ΔT_r 和 ΔT_d ，并討論精密測量溫度和决定金点以上溫标时所可能达到的准确度。从这一观点看来，希望绝对灵敏度尽可能高。（但該文也指出，对金点附近溫度，工作在 $\lambda'_{\max}$ 約 1.6μ 处时需用鍺光电元件，因其灵敏度閾提高，所以效果反而不如用硅光电元件工作在 1.0μ 的情况。）

我們认为，在許多情况下，溫度測量获得最高相对灵敏度是重要的。此时希望选择波长使相对的温度变化 $\frac{\Delta T}{T}$ 所引起的輻射能相对变化 $\frac{\Delta \gamma_{\lambda T}^0}{\gamma_{\lambda T}^0}$ 最大。从这种想法出发，我們发现热輻射定律还具有以下几点性质：

$$1. \text{ 虽然 } \left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}\right)_{T_0} \text{ 对波长 } \lambda \text{ 來說在 } \lambda'_{\max} \text{ 处有极大值，但是 } \left[\frac{\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}}{\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{T}}\right]_{T_0} \text{ 对波长 } \lambda \text{ 來說沒}$$

有极大值，后者随波长减小而单调上升。

$$\text{同样地，} \left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial \lambda}\right)_{\lambda_0} \text{ 对溫度 } T \text{ 來說在 } T'_{\max} \text{ 处有极大值，但是 } \left[\frac{\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial \lambda}}{\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{\lambda}}\right]_{\lambda_0} \text{ 对溫度 } T \text{ 來說}$$

沒有极大值，后者随溫度降低而单调上升。

另外，由初等函数（偏微分連續）的偏微分与次序无关性，可得：

$\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}\right)_{T_0}$ 和 $\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial \lambda}\right)_{\lambda_0}$ 具有相同的极大值条件，即 $(\lambda T)'_{\max} = 0.241 \text{ cm}^\circ\text{K}$ ，我們注意到这与 WIEN 位移定律 $(\lambda T)_{\max} = 0.2886 \text{ cm}^\circ\text{K}$ 是不相同的。

因为 $\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}\right)_{T_0}$ 和 $\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial \lambda}\right)_{\lambda_0}$ 有相同的极值条件，所以按此条件（如文献[1]所建議的那样）选择測溫工作波长有一个附带的缺点，即波长有一点誤差对測溫影响很大。

在附图一、二中，清楚地表明了 $\gamma_{\lambda T}^0$ 、 $\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}$ 、 $\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial \lambda}$ 、 $\left[\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}\right) / \left(\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{T}\right)\right]$ 、 $\left[\left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial \lambda}\right) / \left(\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{\lambda}\right)\right]$ 的变化特点。

2. 在溫度很高时应用 RAYLEIGH-JEANS 公式可立即得到(5)式；当溫度很低时应用 WEIN 公式可以求得：

$$\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}\right)_{\lambda_0} = 0 \quad (6)$$

如果我們和前面一样轉而考虑比值 $\left[\frac{\frac{\partial \gamma_{\lambda T}^0}{\partial T}}{\frac{\gamma_{\lambda T}^0}{T}}\right]_{\lambda_0}$ ，現在来找这个比值的极限，可得：