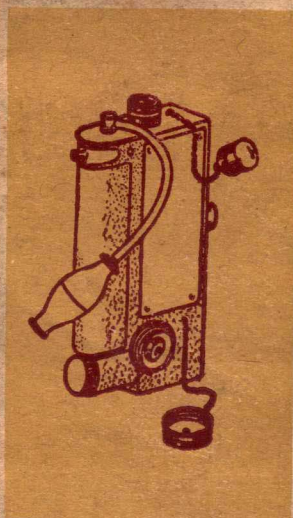


矿用仪表小丛书(1)



光学瓦斯檢定器

煤炭工業出版社

目 录

前面的話.....	2
第一节 光学瓦斯檢定器的原理.....	4
第二节 光学瓦斯檢定器的構造.....	15
第三节 光学瓦斯檢定器的使用.....	29
第四节 光学瓦斯檢定器的維護檢修.....	42

前面的話

煤矿井下的沼气(一般称为瓦斯)和二氧化碳,是两种常见的危害性很大的气体。解放以前,井下工作条件恶劣,没有必要的安全设备和安全措施,瓦斯爆炸和窒息事故经常发生,不知伤害了多少职工的生命。解放以后,人民当了国家的主人。爱护人、关心人是我們国家各种工作的中心原则,因此,防止瓦斯的危害,保护职工的安全和健康,就成为煤矿生产中重要问题之一。几年来,政府在这方面采取了很多措施,如制定保安规程,廢止自然通风,改用机械通风,采用各种防瓦斯的设备,建立瓦斯检查制度,……等等。这些措施,在很大程度上有效地防止了瓦斯事故,保障了职工的安全。

在各种防瓦斯的措施中,检查瓦斯是一个重要环节。只有及时、精确地掌握井下瓦斯含量和含量变化的情况,才能采取各种预防措施,保证职工的安全。我国煤矿井下常用安全检定灯、热电阻瓦斯检定器和光学瓦斯检定器来检查瓦斯。光学瓦斯检定器是目前各煤矿普遍使用的测定仪器,也是比较精确,比较安全的仪器。这种仪器的类型很多,我国各煤矿使用的有“理研”十型、十七型、十八型等各种。此外还有一种“光学瓦斯检定器”,是我国科学院1955年设计制造的,结构上和“理研”十型瓦斯检定器差不多,根据各煤矿使用的情况,证明效果良好。中国科学院根据各煤矿在使用中的反映,将对这个仪器作更进一

步的改进，現正准备設計制造一种新型的瓦斯檢定器，它的構造是根据光的干涉原理，它要比“理研”十型更为精确。今后我們將有自己国家制造的优良的瓦斯檢定器。

根据某些煤矿使用的情况来看，由于对光学瓦斯檢定器的原理和構造不够了解，在測定井下瓦斯和二氧化碳的含量时曾發生錯誤，或者是仪器出了毛病，不能很好的檢修，甚至把它报廢，这样对安全生产就有很大的影响。

几年来，我們对“理研”十型和十八型瓦斯檢定器的原理、構造有些了解，在使用与維修等方面有些体会，因此特作比較系統的介绍，供各矿职工参考。因限于技术水平，内容上可能还有不完善的地方，希望讀者能提出意見，帮助我們改正。

第一节 光学瓦斯檢定器的原理

一、光波和光的干涉



圖 1

在靜水面上投入一顆石子，水面上就会产生水波，可以很明显地看出：这种水波是一起一伏，逐漸向四面傳播的。

光波和水波相似，它也是一起一伏地向四面傳播，只是光波的起伏我們眼睛看不見。起伏的光波如圖 1，

凸起部分叫波峰，凹下部分叫波谷，波峰与波谷之間的距离叫波長。波長的單位用毫微米 (MMKH) 表示，一毫微米等于千分之一微米，百万分之一毫米，亿分之一米。

水波是由水的振盪产生的，光波是由分子-原子的振盪产生的，电波是电磁的振盪产生的，所以，我們把这些都叫做振盪波。各种光的波長見表 1。

表 1

振盪器的电磁振盪					分子-原子振盪						
工交 業流 頻電 率	10^8 V	10^3 V	10^1 V	10^{-3} V	10^{-6} V	10^{-12} V	10^{-13} V	10^{-18} (波長) 米			
	無 綫 电 波					超 無 綫 电 波	紅 外 綫	紫 外 綫	愛 克 斯 光	茄 姆 綫	宇 宙 射 綫
	長 波	中 波	次 中 波	短 波	超 短 波						

註：MMKH表示毫微米，1微毫米= 10^{-3} 微米= 10^{-6} 毫米= 10^{-9} 米。

在靜水面上投下兩塊石子，产生兩個水波(圖 2)，仔細觀察這兩個水波相交的部分，就可以發現：有的部分水面上下起伏不大，这是因为第一个水波的波峰遇着了第二个水波的波谷，它們互相抵消了(圖 3)；有的部分水面上下起伏增大，这是因为兩個水波的波峰遇着波峰，波谷遇着了波谷(圖 4)，相互增强了。兩個波相遇产生的这种現象，叫做波的干涉。



圖 2



圖 3

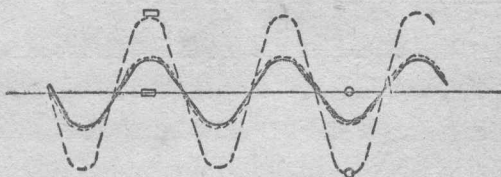


圖 4

同样的道理，同一光源發出的兩個光波，遇在一起时也会产生干涉現象。光波相抵消的干涉，也就是波峰和波谷重迭的部分，叫做相消干涉。光波相增長的干涉，也就是波峰和波峰重迭，波谷和波谷重疊的部分，叫做相長干涉。相消干涉部分光綫变暗，相長干涉部分光綫变强，因此就可以看出明暗相間的条紋。

光的干涉和水波的干涉虽然很相像，但由于光波的特

点，还是有很多不同的地方。要了解光的干涉产生的原因，还要引入折射率和光程等概念。

把一根筷子的一部分插入水中，看起来好像筷子不是直的，这种现象叫做光的折射。产生光的折射的原因，是由于光在不同的物质内，传播的速度是不同的。光在空气中的速度比在水中的速度大，所以，筷子插入水中的部分和在空气中的部分，给我们眼睛的印象就不一样。光在真空中速度最大，我们就用各种物质中光的速度和真空中光速度来比较，并把这比值叫做折射率，通常用 μ 来表示。

某一物质的折射率 = 光在真空中传播的速度 $\div$ 光在这种物质中传播的速度。

我们把光所通过的路程和光通过的物质的折射率的乘积，叫做光程。

光程 = 光通过的路程 $\times$ 光通过的物质的折射率。

从这个式子可以看出：如果两列光波通过的路程长短不同，或是通过的物质不同，或是通过的路程和物质都不同，光程也都会不同。两列光波光程大小的差别，就叫做光程差。同一光源发出的两列光波有了光程差，这就是产生光的干涉的原因。

两列光波的光程差 = $\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ 时，产生暗条纹。

两列光波的光程差 = $n\lambda$ 时，产生亮条纹。

式中的 n 是代表整数，如1、2、3……等， λ 代表光波的波长。

只有在波长为380—780毫微米时的振荡波是可以看见的光线。人们对于波长为550毫微米的黄绿色辐射感觉

較灵敏。光綫中顏色光波波長的分界如表 2。

表 2

顏 色	光 波 波 長	顏 色	光 波 波 長
紅	780—630 毫微米	綠	570—490 毫微米
橙	630—600 毫微米	藍	490—430 毫微米
黃	600—570 毫微米	紫	430—380 毫微米

为了說明光波干涉現象，可以作一些簡單試驗。使日光通过一个小孔或一条窄縫，如圖 5 中的 S ，再使它分別通过距离 S 相当远的兩針孔 S_1 和 S_2 ，在后面的幕上，就可以看到兩組球面或柱狀波的相互干涉的条紋。又如圖 6，当光源發出的光經過薄面三稜鏡 P ，折射后互相重疊为 ac 、 bd ，把有縫的板 MN 放在中間，在 bc 一段中，可以看見干涉条紋。条紋的多少，以圖中 B 与 Φ 的距离大小来决定。

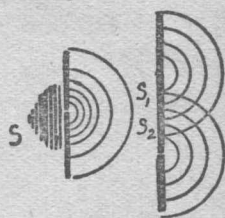


圖 5

瓦斯檢定器是用白光为光源。因为白光为各种單色光的混合光，而且各种單色光具有不同的波長。所以在一定的光程內，各色光的光程差不同，当兩列白光發生干涉时，就得到几根彩色条紋。

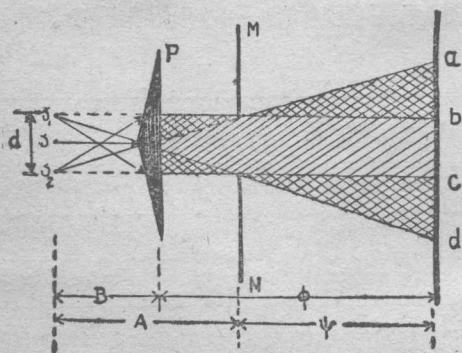


圖 6

二、怎样利用干涉条紋

根据以上道理，我們可以使一个光源(圖 7)經過一个平行平面鏡，由于鏡面的反射和鏡的折射，产生了兩列平行光波(如圖 7 中的实綫和虚綫所表示)。这两列平行光波，由于它們的光程不同，在到达同一点时，就会产生干涉現象，呈現明暗相

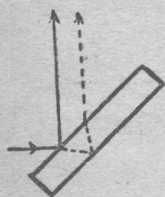


圖 7

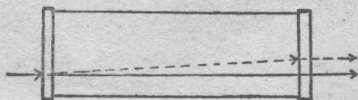


圖 8

間的条紋。如果以上兩列光波中的一列光波通过不同的物質时(圖 8)，則光波的通路由实綫改变为虚綫。这是因为物質不同，折射率也不同，所以光波的光程也改变，产生

干涉条紋的移动。如果我們已經知道这种物質的折射率，就可以根据干涉条紋移动的距离，計算出物質的密度。

我們了解了光波的产生和光波干涉条紋的移动以后，再結合瓦斯檢定器来研究。如圖 9，灯泡是光源，光波經過透鏡(或称聚光鏡)A 和三稜鏡(或称轉向三稜鏡)A，成

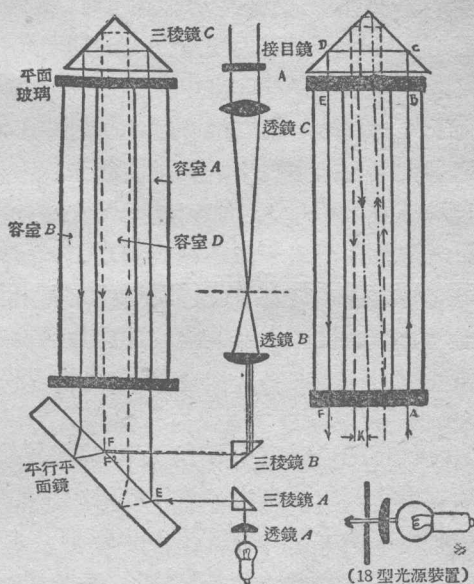


圖 9

90 度反射(十八型如圖 9 下側，只經過透鏡与窄縫——或称光欄)。这一列的光波到达平行平面鏡表面 E 点后，由于鏡底鍍銀，产生了兩列光波。一列从 E 点成 90 度的反射，自 E 点按实綫通过容室(或称气体室)A 到达直角三稜鏡

C ，作兩次 90 度的反射，又經容室 B 到達平行平面鏡，由鏡折射至鏡底，反射后又折射至鏡面，這列光波到三稜鏡 B ；另一列光波經鏡的折射和鏡底表面的反射，自 E 點按虛線通過容室 D 到三稜鏡 C ，作兩次 90 度反射，又經容室 D 返回到平行平面鏡表面，再反射到三稜鏡 B 。

如果 A 、 B 、 D 三容室中都是新鮮空氣時，兩列光波的光程就一定，從目鏡中可以看到兩列光波所引起的干涉條紋。如果在 AB 兩容室或 D 容室中有其他氣體與空氣的混合物時，由於其他氣體與空氣混合後的折射率不同，不論其折射率比空氣大或比空氣小，都會引起光程變化。如圖 9，容室內用符號“ $\uparrow$ ”與“ $\downarrow$ ”表示的兩列光波，顯然有光程上的差異，這就會引起干涉條紋的移動。

以上所講的道理，就是“理研”瓦斯檢定器利用光學理論來測定沼氣、二氧化碳以及其他氣體含量的基本原理。

三、影響干涉條紋移動距離的因素

1. 光波通過容室，容室中存有氣體，容室長的，光波折射後干涉條紋移動的距離也大，這樣就限制了測定範圍。如“理研”瓦斯檢定器十型的容室長 100 公厘，可測範圍是 0—13%，精確度為 $\frac{1}{1000}$ ；如果容室長 75 公厘，則測定範圍可達 26%；長 50 公厘時，測定範圍可達 39%；長 19 公厘時，測定範圍可達 100%。以上說明了容室越短，測定範圍就越大，但精確度相對的降低。“理研”十八型的容室，長為 120 公厘，測定範圍是 0—10%，精確度比較高，約為 $\frac{1}{10000}$ 。

2. 目鏡放大倍数对窺測干涉条紋的移动距离很有关系。放大倍数較高的，窺視的移动距离也較大，反之，則較小。

3. 光波的波長不同，干涉条紋的間距也就不同。瓦斯檢定器使用白光为标准，白光的波長包括 380—780 毫微米的七色光波，如改用有色灯泡，或在电池电压降低的情况下，均可能影响仪器测定的精确度。

4. 在不同的气体中，光波的折射率也不同。气体的密度与折射率成正比，在同一气体中，干涉条紋的移动距离与气体含量成正比。也就是說，气体密度越大或是含量越高的，干涉条紋移动的距离也越大。根据这两种关系，說明瓦斯檢定器不仅可以測定空气中含有沼气或二氧化碳的含量，而且也可以測定其他气体在空气中的含量。

我們假設用 L 表示光波在气体中通过的距离，根据圖 9 可以知道：光波在容室中一来一往所經過的几何距离，等于二倍容室的長度。用 k 表示目鏡放大的倍数，用 P 表示空气中含有測定气体的含量，用 n_a 表示空气的折射率，用 n_g 表示測定气体的折射率，用 n_m 表示混合气体的折射率，用 Z 表示測定气体在空气中的含量为 $x\%$ 时，引起干涉条紋的移动距离，用 λ 表示光波波長。它們相互間关系可以用下列公式表示：

$$Z = \frac{k}{\lambda} (n_m - n_a) LP \quad (1)$$

式中的 n_m 表示混合气体的折射率，也就是 $x\%$ 的測定气体和 $(100-x)\%$ 空气的混合气体的折射率，用公式

表示如下:

$$n_m = x\% n_g + (100 - x)\% n_a,$$

$$n_m - n_a = \frac{x}{100} (n_g - n_a),$$

$$\text{代入(1)式, 則 } Z = \frac{k}{\lambda} x\% (n_g - n_a) LP \quad (2)$$

各种气体在不同光源下的折射率

表 3

气 体 类 别	光源类别	折 射 率	附 註 (理研可能採用)
空气(新鮮空气)	日 光	1.0002926	1.000292
二氧化碳	白 光	1.000447—450	1.000447
	日 光	1.000443—454	
一氧化碳	白 光	1.000340	
	日 光	1.000335	
沼 气	白 光	1.000443	1.000440
	日 光	1.000444	
氫	白 光	1.000135—143	1.000143
	日 光	1.000132	
硫化氫	白 光	1.000644	1.000628
	日 光	1.000623	
二氧化硫	白 光	1.000665	1.000671
	日 光	1.000686	

註: 表中气体指在标准状态下的折射率。折射率随大气压力和温度的不同而变化。

其中 k, λ, L 等值在設計儀器時就已確定為定值，如令其為常數 ϕ ，則

$$\phi = \frac{k}{\lambda} L,$$

代入(2)式，可簡化為： $Z = \phi x \% (n_g - n_a)$ (3)

式中 $n_g - n_a$ 之值可查表 3。

四、怎樣換算測定气体的含量

瓦斯檢定器上用來表示含量的刻度，是根據設計時測定气体的折射率計算出來的。所以每一類檢定器的刻度，只能適合於指定的气体。如要用來測定其他气体，必須根據指定气体與測定气体折射率的差來換算。

從公式(3)里可以看出，如果三個容室同為空气，即 $n_g = n_a$ ，則 $n_g - n_a = 0$ ，代入(3)式後，可得 $Z = 0$ 。因此干涉條紋沒有移動。如果中間一容室為瓦斯，可查表 3。

$$n_g = 1.000440, n_a = 1.000292,$$

$$\text{則 } n_g - n_a = 1.000440 - 1.000292 = 1.000148,$$

$$\text{代入(3)式, } Z = 0.000148 \times x \% \times \phi.$$

這結果說明了移動距離隨着瓦斯含量的百分數而變更，瓦斯含量的百分數越大，則干涉條紋移動越遠。如在中間容室中吸入含有氫气的空气，查第三表氫气折射率為 1.000143，則

$$n_g - n_a = 1.000143 - 1.000292 = -1.000149,$$

$$\text{代入(3)式, } Z = -1.000149 \times x \% \times \phi$$

式中所得到結果的負值，說明了干涉條紋會向反方向移動。同樣道理，如吸入二氧化碳，則

$$Z = 0.000155 \times x\% \times \phi$$

所以，我們用測沼氣的瓦斯檢定器來測定二氧化碳時，二氧化碳實際含量應作如下的換算：

$$\text{二氧化碳實際含量}(\%) = \frac{0.000148}{0.000155} \times (\text{測沼氣的}) \text{瓦斯檢定器測得二氧化碳}\% = 0.955 \times \text{二氧化碳讀數}(\%)。$$

五、結 論

根據以上所說的各點，我們可以作出如下的結論：

1. 瓦斯檢定器的干涉條紋的移動距離，按照公式 $Z = (n_g - n_a) \times x\% \times \phi$ 的各項條件而變動；

2. $n_g - n_a$ 值越大，干涉條紋移動的距離也越大； $n_g - n_a$ 值越小，移動的距離也小。如果 $(n_g - n_a)$ 值為零，就沒有移動，如果其值為負數，就向反方向移動。例如將圖 9 中的 A、B 容室內原裝空氣換裝氫氣，D 容室原裝氫氣換裝空氣，干涉條紋移動的情況就會相反。如果原來是向右移動，互換後，就向左移動。

3. 只要找出換算係數，繪出換算曲線，我們就可以利用瓦斯檢定器，來測定某一種單純氣體在空氣中的含量。如空氣中有兩種以上氣體混合時，必須設法吸收掉其他不必測定的氣體。例如在煤礦井下測定沼氣（一般情況，井下空氣多半含沼氣和二氧化碳）時，必須要用足夠的蘇打石灰來吸收二氧化碳。特別是在二氧化碳較多的地區，蘇打石灰吸收作用不良或者失效時，會影響沼氣測定結果的

正确，而有偏高的情形發生。

4. 如用測定指定气体的檢定器，來測定其他气体時，必須根據原指定气体与空气的折射率的差，和改測气体与空气的折射率的差的比值，來進行換算。在煤矿中，“理研”瓦斯檢定器有測沼气和測二氧化碳的兩種，如果不加注意，就可能長期存在着誤差，所以必須根據儀器說明來核對。核對中發現不符的，應繪制換算曲綫，便于查對，以免在測定時發生誤差。

第二节 光学瓦斯檢定器的構造

一、“理研”光学瓦斯檢定器的类别

按測定光波干涉条紋移动距离的方法来分，有下列三种：

1. 指綫式

如“理研”十型，有蜘蛛絲張在矩形窺測窗口（或称基綫框）（如圖 10，甲），或在窺測框玻璃上刻有零位指示綫。在吸入測定气体后，由于測定气体的折射率大于或小于空气的折射率，引起光程改变，所以干涉条紋也移动。我們使用調節盤來移动三稜鏡，使干涉条紋返回到原来位置，調

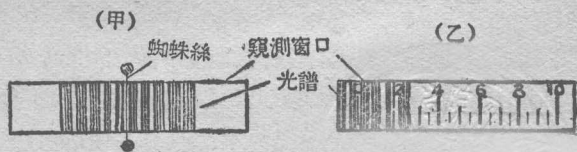


圖 10

节盤上附有的刻度(或称讀数鼓)就是指示的測定气体的含量。对測定沼气來說,一般以 10% 为限。

2. 直讀式

如“理研”十二,十五,十七各型,它沒有蜘蛛絲与零位綫,但在窺測框玻璃板上刻有如圖10,乙的刻度。測定以前,選擇最明显的干涉条紋对正在刻度为零的綫上。測定时,將要測定的气体吸入到瓦斯室中,正常的情况是干涉条紋向右移动,移动的距离随气体的含量而变化,含量大,移动的距离就远。根据移动后干涉条紋在刻度玻璃板上的指示,就可以直接讀出气体含量的百分数。測定范围限于 10% 以內。

3. 指綫与直讀混合式

如“理研”十八型,窺測窗內有一塊如直讀式的刻度玻璃板,檢定器下側有与十型类似的,調节三稜鏡用的調节盤(圖11中的26),可以移动干涉条紋。在仪器上側有精密調节盤(圖11的9),它旋轉一周,干涉条紋就在圖10,乙的刻度玻璃板上移动百分之一。精密調节盤刻度共为五十格,每一格表示 $\frac{1}{100} \div 50 = \frac{1}{5000} = \frac{2}{10000}$, 半格讀数为 $\frac{1}{10000}$ 。这种指示方法的仪器是瓦斯檢定器中比較精密的一种。

二、瓦斯檢定器光学部分的構造

圖 11 是“理研”十八型瓦斯檢定器的內部構造情况。光源(灯泡)23 夾在灯泡座 24 上,灯泡座用盖 25 盖着。灯泡發出的白光,經過仪器上的窄縫(或称光欄)22 射在夾在透鏡座 21 上的透鏡 20 上,又經過窄縫 19 投射到平