

放射性輻射綫 在紡紗生產中的應用

A. Γ. 謝瓦斯契楊諾夫著

丁樹桂 端木賢 譯

紡織工業出版社

目 錄

第一章 用放射性方法測量紡紗產品的厚度	(3)
1. 測定方法的實質及其理論依據.....	(3)
2. 測定條子厚度及不勻率的儀器 (OHJI)	(15)
3. 清棉機與梳棉機的喂入調節器.....	(17)
4. 牽伸機構的牽伸調節器.....	(20)
第二章 採用放射性照相法研究紡紗中各道產品 的結構	(24)
1. 照相法的實質及理論依據.....	(24)
2. 測定纖維的伸直度與定向.....	(30)
3. 測定纖維之間的接觸點數與接觸纖維的數量.....	(32)
4. 確定纖維在細紗中的分佈情況.....	(36)
第三章 應用放射性同位素作為指示器	(38)
1. 確定在牽伸機構中纖維的運動規律.....	(38)
2. 研究纖維在梳理機上運動的情況.....	(48)
3. 確定纖維的混合效果.....	(50)
文獻.....	(51)

作 者 的 話

作者在本書內，力圖把現有文獻中有关应用放射性輻射綫进行紡紗生产的檢查、調正与研究的材料加以綜合和系統化，并指出某些更加广泛应用这一方法的可能性。同时，作者也認為不需要叙述核子輻射的物理学原理以及使用放射性同位素的方法。因为，这方面的資料，讀者可在有关的专业書籍中查到（見文献索引）。

作者謹向 M. Б. 涅依曼教授和技术科学候补博士 K. Д. 皮斯曼尼克表示感謝，感謝他們对这篇論文給予的帮助。

第一章

用放射性方法測量紡紗產品的厚度

1. 測定方法的實質及其理論依據

紡紗中的各種產品（棉條、粗紗、細紗）不外乎是紡織纖維在形狀與強力等方面具有一定特性的機械性結合物。這些產品都具有連續不斷的長度及圓形的橫截面。只有棉紡生產中的棉卷和小棉卷及亞麻紡紗中的麻條呈長方形的截面。

具有一定伸直度及沿產品定向的纖維，與其它纖維并非在全部長度上，而只是在個別一些點上接觸。由於纖維的柔韌性較大以及產品結構具有的多孔空間性，就使它在受到橫向壓力時，會產生很大的變形。產品的這種易于變形、複雜的截面形狀以及它的結構特點，均給採用接觸法確定它的厚度（粗細）帶來極大的困難。

所以，紡紗產品的厚度（粗細）一般都用支數或單位重量，即產品的單位長度重量來表示。產品厚度（粗細）的不勻率或條干不勻率也以同一產品等長片段的重量不勻率來確定。

應用放射性方法來測定紡紗中各種產品的厚度及條干不勻率，就能加速這一工序。大家都知道，放射性測定法目前已用到測定鋼材、紙、軟片及其它材料的厚度方面[1]。但是，由於上述各種紡紗產品的形狀、結構的特殊，就要求應用放射性方法測定厚度（粗細）時，在結構形式方面作一些改變。

下面談談採用放射性法測定厚度（粗細）的原理。這一方法是以吸收放射性同位素輻射出的 β -粒子或 γ -量子為基礎的。假定從放射源2射出的 β -粒子經過待測體1（圖1）達到檢測器（接受器）3，放射性輻射（放射綫）通過時，就形成

吸收过程。根据 [2] β -粒子的吸收情况，可用下列经验公式表示：

$$N = N_0 e^{-\mu a} \quad (1)$$

N ——经过厚度为 a 厘米的吸收体后，达到检测器的 β -粒子数量。

N_0 ——没有吸收体时，达到检测器的 β -粒子数量。

μ ——吸收系数(厘米⁻¹)，表示通过该吸收体单位长度时，吸收 β -粒子的数量。

研究表明，吸收系数由 β -粒子的能量与物质密度 ρ 来决定。 β -粒子的散射效应引起吸收程度的差别，而这是由吸收体的尺寸与形状，以及辐射源、吸收体及检测器的相互配置情况决定的。

指数函数(图2的曲线1)在厚度 a 不超过平均值的范围内能完满地与吸收 β -粒子的经验曲线相重合(曲线2)。但，如果厚度数值很大或很小，就会显著脱离指数规律。

β -粒子流通过横截面为 S 厘米² 的物体部分的质量 M 等于：

$$M = a S \rho \quad (2)$$

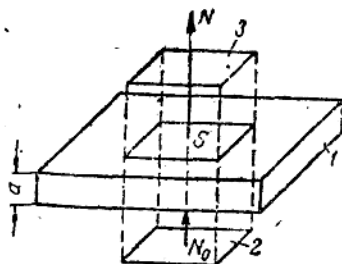


图1 测定物体的厚度简图

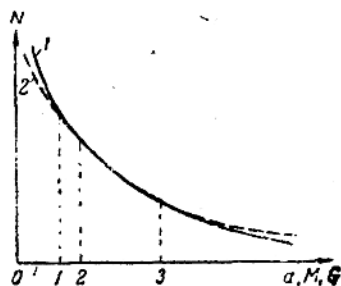


图2 吸收 β -粒子流的曲线

ρ ——物質密度(克/厘米³)。

从式(2)求得 a 值后,代入式(1),可得

$$N = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{M}{s}} \quad (3)$$

在較广的 ρ 值範圍內,对物質进行的試驗表明,吸收系数 μ 与密度 ρ 的比例,几乎与吸收体的性質无关,即 $\frac{\mu}{\rho}$ 接近常数。

这一比例称为質量吸收系数,并具有單位厘米²克⁻¹。 $\frac{M}{s}$ 比例是吸收体的表面密度克/厘米²。用 m' 表示这一比例,公式(3)即可化为下式:

$$N = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot m'} \quad (4)$$

由此可見,只要輻射源的强度不变,則射到檢測器的 β -粒子数量或輻射流的强度,仅由吸收体單位面积的质量来决定。这个質量越大,进入檢測器的 β -粒子越少(見圖2)。測得这部分粒子流,并应用公式(4)就可計算出紙、軟片等的厚度。但是在測定紡紗产品的厚度及条干不匀率时,就須知道产品的單位長度重量。为此,須使条子通过專門的成形机构(圖3)。因为它的橫截面形状复杂,条子在这一机构里,稍有变形,并具有一定的宽度 b 与高度 h (圖4)。 β -粒子所通过的条子片段長度 l (圖3)始終不变。这时,等式(3)化为:

$$N = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{M}{bl}} = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{G}{bh}} = N_0 e^{-KG} \quad (5)$$

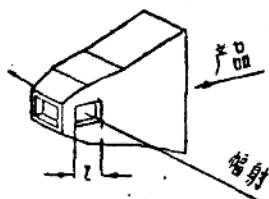


圖3 条子成形机构

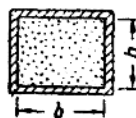


圖4 条子在成形机构中的橫截面形状

G' ——条子片段長度 l 的重量；

G ——条子的單位長度重量；

g ——重力加速度。

$$K = \frac{\mu}{g b \rho}$$

等式(5)表明，随着条子的單位長度重量的增加，通过該条子达到檢測器的 β -粒子数量便減少(見圖2)。应用專門儀器測量 β -粒子流，就可按等式(5)确定条子的單位長度重量，从而也就可求得它的厚度。

应用成形机构，就能够在規定的条子片段長度內得到一定的橫截面形状。圖5示条子截面在进入成形机构以前及在其內部的形状(条子上部未受到任何限制)。条子在成形机构里的变形与它的多孔空間結構，是形成条子質量在机构整个寬度內分佈不均匀的原因。可見，这种情况会引起輻射到檢測器的射綫强度与通过質量相等、分佈均匀的条子后，达到檢測器的强度不同。假如質量数值的波动范围很小(圖2中从1到2)，則 β -粒子的吸收規律可視為直綫性的，且条子在整个机构寬度內的重量不均匀，只能使該条子的片段重量的測定形成很小的誤差。这时， β -粒子在質量較大的片段 A 处吸收較多(見圖5)，并且与在質量較小的片段 B 处，吸收較少的 β -粒子相互补偿。因而，射到檢測器的輻射綫是与条子重量在整个机构寬度中均匀分佈时相符合的。假如条子的質量在机构整个寬度範圍內波动很大(圖2从1到3)，則应利用吸收指数定律，且上述的补偿作用不会产生。質量相同、不均匀率不等的条子，在机构整个寬度內分佈时，会引起 β -粒子非等量的吸收，使得在測定該片段的条子厚度(粗細)时，形成显著的誤差。可以認為，在成形机构里，如条子上方受到限制，則这个質量的波动就不会大，且測定厚度(粗細)时的誤差也不可能大。

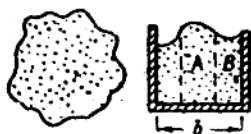


图 5 棉条在进入成形机构以前及其在机构中的横截面形状 (条子上部未受任何限制)

透过产品的放射性辐射线可用积分电离室进行测定[3]。这个仪器在充分地测量高强度的辐射线时,使用期限很长,而且时间参变数的稳定性很高。这个仪器的作用原理是以放射性辐射具有使气体电离的能力为依据的。

图 6 为电离室的示意图。电离室 1 是充有空气的电容器,它的电极可由电源 2 得到恒压。 β -粒子在电极之间运动时,就在气体中形成离子。阳离子趋向阴极,而阴离子趋向阳极。结果,在外部电路内产生电流,该电流可用灵敏的电气测量仪器测量。电流方向用箭头表示,电流的大小由射到电离室的辐射强度 N 及电容器的电位差 U 决定。

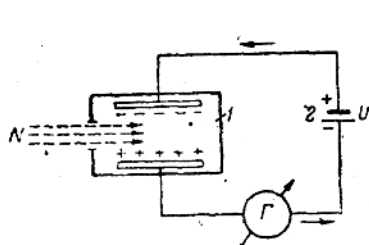


图 6 电离室简图

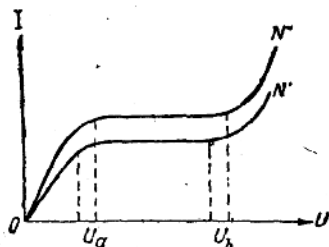


图 7 电离室的伏安特性曲线

图 7 所示为电离室伏安特性曲线,即电压与电离电流的关系。曲线 N'' 相当于较 N' 更大的辐射强度。如果电压很小,电

离室内所产生的离子的一部分复合起来而不能到达电极，也不能参与形成电流。随着电压的提高（从0到 U_0 ），复合部分的离子逐渐减少而电离电流则增加。电压从 U_0 增到 U_s 时，电离电流不再变化（饱和电流），因为在电离室内产生的全部离子都达到了电离室的电极。电压如果继续增加（ $>U_s$ ），便会因电子与离子对中性分子的急速打击作用，而产生第二次电离过程，引起电流强度的急剧增长。饱和电流强度可按下式确定：

$$I_{\text{饱和}} = qn_e HS \quad (6)$$

q ——电子电荷；

n_e ——在电离室的单位体积内，在单位时间中，因放射性辐射的作用产生的离子对数量；

H ——电离室电极间的距离；

S ——电极的面积。

只要测量出饱和电离电流，就可确定电离效果，以及放射性辐射的强度。测量物体的厚度期间，电离室始终有电压，电压值相当于饱和电离电流的工作段，即始终具有从 U_0 到 U_s 的电压。电离室产生的电流强度一般为 $10^{-15} \sim 10^{-9}$ 安培。对这样弱的电流，可用电子管电路——即电测放大器进行测量。

测定厚度时，可采用一个或两个电离室。如采用一个测定厚度，可通过与标准比较的方法或测定绝对厚度的方法来进行。但在厚度差很大的范围内测定连续运动的紡紗产品，第一种方法显然是不适合的，因为，需要不断地调换标准。采用第二种方法时，需要系统地检查仪器指示的准确性，并定期改变测量器刻度的分度，因为电流强度会随着放射性同位素衰变的程度而变化。而且电离室虽是密封的，但大气压力仍会影响对电离电流的强度。

为消除这些缺点，在测定紡紗各产品厚度时，采用两个电

离室(圖8): 工作电离室1及补偿电离室2, 两者都接入补偿系统的电路中。采用这种方法时, 要通过比較两个辐射流的方法来测量。两辐射流是: N_1 ——通过产品的辐射流; N_2 ——直接射到电离室2的补偿辐射流。附加的辐射源4可用测微螺旋5来移动, 借以改变射向补偿电离室2的 β -辐射的强度。同时在两个电离室内产生两个方向不同的电离电流(i_p ——在工作电离室内, i_k ——在补偿电离室内)。这时, 在連接电离室电极的电路内, 又产生一个电流, 它的值等于工作电离室与补偿电离室两电流之差, 即

$$\Delta i = i_k - i_p = i_k - CN_1 e^{-kG} \quad (7)$$

C ——系数, 它决定于电离室的电离比度、 β -粒子在室内轨道的平均长度及室内的气体压力。这个数值对该电离室是固定不变的。

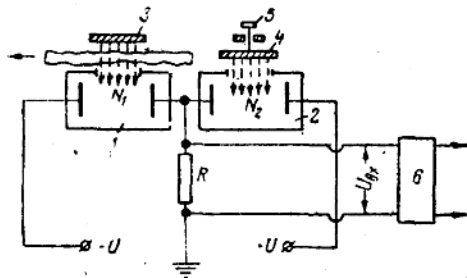


图8 两个电离室的补偿线路

如果改变补偿电离室的辐射强度(旋轉螺旋5), 就可在室内产生电离电流, 它将等于待测产品的单位长度重量为 G_0 时, (公称重量)工作电离室的电流。即

$$i_k = CN_2 e^{-kG_0} \quad (8)$$

这时，电离室的电流将得到平衡，差值 Δi 便等于零。随后，如测定产品的另一处，其单位长度的重量为 G ，则电流发生不平衡，这时的差值将为：

$$\Delta i = CN_0(e^{kG_0} - e^{-kG}) = CN_0 e^{-kG_0} (1 - e^{-k\Delta G}) \quad (9)$$

测定仪在工作中，等式 (9) 右部的所有参变数，除待测产品的单位长度重量 G 或 G 与公称重量 G_0 之间的差值 ΔG 以外，其他都是常数。后一数值，在测定中，可假定为计算的起点，并由测微螺旋位置来确定。在电测放大器 6 输入端的电压正比于输入电阻 R 与电流差 Δi ，即

$$U_{BX} = R \times \Delta i \quad (10)$$

因此，产品的单位长度重量 G 或待测片段的重量与公称重量之间的差 ΔG 越大，则放大器输入端的电压越高。使用一个电离室测定时，该电压会随着产品厚度的增加而降低。

因此可知，使用两电离室测定厚度（粗细）时，具有下列优点：

(1) 显著地减少因测量系统部件的工作不稳定而引起的测定误差。

(2) 显著地降低因大气压及电离室电极上的电压变化而对测量精确度产生的影响。

(3) 简化了测定厚度时，对测量仪器的调正工作，可不从零点（绝对测定点）而从假定数值开始。

所以在苏联，测定厚度（粗细）都采用两个按补偿电路工作的电离室[4]。

应用放射性方法测定厚度（粗细）时，正确选择辐射源及其强度有很大的意义。同时力求辐射源能具有尽可能大的半衰变期，不致有 γ -辐射或使它尽可能小，以及保证在电离室内能产生最强大的电流。辐射线作用到电离室时，引起的电离电流

可按下列式計算：

$$i = \eta \bar{H} q I_0 \omega \times 3.7 \times 10^7 \quad (11)$$

i ——電流強度（安培）；

η ——電離比度，即在 1 厘米的粒子流軌道上形成的離子數量；

$\bar{H}$ ——在電離室內 β -粒子軌道的平均長度（厘米）；

q ——電子的電荷；

I_0 ——輻射源強度（毫居里 mCu ）；

ω ——係數，標誌測定輻射源強度的幾何條件；

3.7×10^7 ——強度 1 毫居里的射源，一秒鐘放出的粒子數量。

輻射綫透過待測產品後，射到電離室時產生的電離電流強度等於：

$$i_p = i e^{-\frac{\mu}{\rho} x} = \eta \bar{H} q \omega \times 3.7 \times 10^7 \times I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} x} \quad (12)$$

從公式可看到，電離電流的強度與電離比度成正比。但電離比度與 β -輻射的最大強度成反比。所以放射源如果能具有最小的 β -輻射強度，便可得到最強的電流。

選擇輻射體時，還須考慮到測定紡紗產品厚度（粗細）時引起的誤差。這種誤差可由兩個互不相關的原因引起：測量 β -粒子所用的儀器不完善以及與放射性衰變統計性質相聯系的該電流值的漲落。測定厚度（粗細）時，產生誤差諸原因之一的主要數值要決定於電流強度的測定法、電流強度值與測定時間的長短。

A.M. 巴加切夫、B.H. 維爾霍夫斯基與 A.H. 馬卡洛夫 [5] 制定了測定厚度（粗細）的輻射能量與輻射源強度的計算法，而且能取得既定的精確度。它表明，測定厚度時的絕對誤差可按下列式確定：

$$\Delta a = \frac{e^{0.5\mu a}}{\mu \sqrt{N_0 t \varepsilon}} \quad (13)$$

t ——測定的時間；

ε ——輻射記錄效率，即檢測器所記錄的 β -粒子數量與射到檢測器的 β -粒子數量的比。

分析等式(13)表明，在 β -粒子數量 N_0 不變時，如果

$$\mu a = \frac{\mu}{\rho} m = 2$$

則可作到最小的誤差 Δa 。

如果待測吸收體的表面密度範圍是已知值，就可按通曉的經驗公式[6]測得輻射源的最大能量(在 $E_{max} > 0.5$ 兆電子伏)：

$$E_{max} = \frac{22 \rho}{\mu} \quad (14)$$

K. Д. 皮斯曼尼克的研究與計算[9a]表明，測定棉條厚度(粗細)時，其最大表面密度為 80 毫克/厘米² [成形機構的尺寸與條子不勻率測定儀 (OHJI 儀器) 相同]，放射性同位素鈾—204 就能滿足上述要求； β -粒子的最大能量為 0.8 兆電子伏；半衰期為 3 年 7 個月。測定棉卷時，應用同位素鋇—90，它的半衰期為 28 年， β -粒子的最大能量為 0.61 兆電子伏。

假如輻射源的強度為已知值， β -粒子按角度作各向同性分佈，則在 β -粒子流中的 β -粒子數量將等於：

$$N_0 = 3.7 \times 10^7 \times g I_0 \times \frac{Q}{4\pi} \quad (15)$$

g ——一次衰變的 β -粒子數量；

Q ——從輻射源看到輻射接收器的立體角。

從等式[13]與[15]中不難求得：

$$I_0 = 3.39 \times 10^{-7} \frac{e^{-\mu a}}{\mu^2 (\Delta a)^2 t \varepsilon g Q} \quad (16)$$

測定厚度時，先規定均方誤差值並取 a 值等於誤差最大時

的厚度（在規定的厚度範圍內），這時就可按等式（16）確定所需的輻射源強度。

選擇輻射源強度的值時，必須考慮到下面的情況：根據公式（12），電離電流的強度恰與輻射體的強度成正比。所以，所選擇的強度越大，越容易解決該電流的增強問題，以利于測定。然而，輻射體的強度小，就可簡化防護所需的設備，而且費用也較便宜。K. Д. 皮斯曼尼克的計算表明，在 OHJI 儀器里，條子厚度（粗細）的變化範圍在 $\pm 30\%$ 時，適當的輻射源強度值是 30 毫居里。這時，電離電流的強度在 $3 \times 10^{-10} \sim 6 \times 10^{-10}$ 安培的範圍內波動。

測定紡紗產品的厚度（粗細）時，大多數是在產品連續運動時採用放射性方法。可見，它的運動速度以及厚度的變化速度，對射到電離室的輻射強度的變化速度和電離電流的變化速度都有很大的影響。產品的任一片段在通過成形機構的時間內，由於通過該片段產品的 β -粒子的影響，致在電離室內產生的離子，必須到達陰極。

從 [7] 中可知，離子在電離室內的運動速度 v_n 等於：

$$v_n = E \frac{k}{p} \quad (17)$$

E ——電場強度（伏/厘米）；

k ——離子遷移率（厘米/秒）；

p ——電離室內的气体壓力（大氣壓）。

在大氣壓下，陽離子遷移率是 1.36，陰離子是 1.87。

在一電離室的陽極上形成的離子，從陽極移向陰極所需的時間 t 等於：

$$t = \frac{l_n}{v_n} = \frac{l_n p}{E k} \quad (18)$$

l_n ——電離室內電極間的距離。

假如 U_k 为电离室内电极的电位差，则电场强度等于：

$$E = \frac{U_k}{l_k}$$

因此，

$$t = \frac{l_k^2 \rho}{k U_k} \quad (19)$$

为了使电离电流能与在该时间内通过成形机构的待测产品片段的厚度相符合，它的速度 U_a 应该等于：

$$U_a = \frac{l}{k_t t} = \frac{k U_k l}{k_t \rho l_k} \quad (20)$$

l ——在成形机构中， β -粒子通过待测产品的片段长度；

k_t ——保证系数。

假定条子经过辐射源附近所需的时间应为 $k_t t = 10 t$ ，则皮斯曼尼克[9a]的计算表明，条子速度小于或等于15米/分时，电离电流强度的变化将与条子在长为 l 片段的平均厚度（粗细）变化相符合（在 OHJI 仪器中 $l=2$ 厘米）。假如在条子速度较高时进行测定，则电离电流强度的变化也将同条子在较长片段里的平均厚度（粗细）变化相符合。

由于了解了与采用放射性方法测定连续运动的紡紗产品有关的基本问题，因此，就可指出它的下述一些优点：

1. 可对产品的单位长度重量进行无接触的测定，而用机械法测定厚度（粗细）时，只能对其体积进行测定。

2. 紡紗产品的回潮率与含杂率对测定厚度（粗细）精确度的影响要比采用电容法或其他方法时小得多。

3. 形成紡紗产品的纤维物质密度的变化，对测定结果几无影响。

4. 增强电离电流的技术与稳定机构的工作都比采用电容测定法简单、容易。

辐射的统计特性，即辐射强度随时间而波动，是这种厚度

(粗細)測定法的主要缺點。為使在測定時，誤差尽可能小，就應選擇尽可能大的輻射源強度。產品越細、越薄，輻射源強度也就應越強。

下面我們來研究幾個採用放射性方法測定厚度的例子。

2. 測定條子厚度及不均率的儀器 (OHJI)

K.Д. 皮斯曼尼克與 С.С. 什維列夫 (中央棉紡織工業科學研究院) 根據上述採用放射性物質測定紡紗產品厚度 (粗細) 的方法，制成了條子不均率測定儀 [8]。圖 9 表示儀器的示意圖。

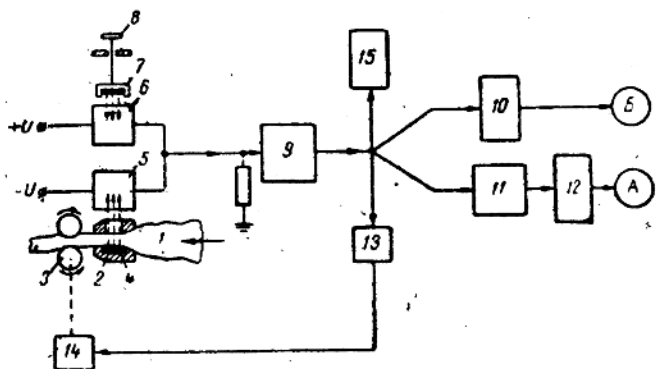


圖 9 條子不均率測定儀示意圖

條子 1 借旋轉滾 3，不斷經過成形機構 2。從放射源 4 發出的 β - 粒子經過條子，其未被吸收的部分射到工作電離室 5。同時，從輻射源 7 射出的輻射綫進入補償電離室 6。這部分輻射的強度大小，則由測微螺旋 8 按待測條子 1 片段的公稱重量 G 來調節。補償電路中的電流差值，隨著不斷運動的待測條子片段的重量變化而變化。此時，電測放大器 9 輸入處的電壓，也要隨著待測條子片段的重量 G 與等長片段的公稱重量 G_0 的

差值的增加而增强（見等式 9 与 10）。从 [8、9] 可知道，連續測定条子厚度时，它的离中差可按下式确定：

$$C = \frac{100 \sqrt{T_0 \int_0^T (\Delta G)^2 dt - \left[\int_0^T (\Delta G) dt \right]^2}}{G_0 T + \int_0^T (\Delta G) dt} \quad (21)$$

由此可見，为了确定不匀率，必須把正比于 ΔG 的連續信号的函数的一次幂与二次幂进行积分。

第一次运算 $\int_0^T (\Delta G) dt$ ，由积分仪 10 来进行，在它的輸入处直接由放大器 9 施予电压。积分的结果由計数器 B 示出。

第二次运算 $\int_0^T (\Delta G)^2 dt$ ，由平方仪 11 与积分仪 12 来进行。积分结果由計数器 A 示出。

积分時間 T ，以及通过仪器的条子长度得到固定，并用時間繼电器 13 使仪器的計算部分与条子喂入机构的电动机 14 自动切断。

数值 G_0 由測微螺旋的位置来确定。

为了能清楚地了解条子厚度（粗細）的变化，可将正比于 ΔG 的信号直接由放大器傳至自动記錄仪 15。从这个仪器中可得到条子不匀率的圖表。

在研究院进行該仪器的試驗表明，采用放射性方法測定条子的厚度（粗細）与称重法得到的結果相同。

目前，中央棉紡織科学研究院已根据条子不匀率測定仪，又制成了条子、粗紗、細紗不匀率的万能測定仪。采用带有專用放射性輻射源的迴轉式成形机构，就可試驗支数范围很广的紡紗产品。

美国的一个大学 [10] 也制造了一种試驗条子、粗紗、細紗不匀率的万能測定仪。其結構特点如下：