

# 纺织工业中的光电检测装置

[苏] M. 莫海特齐诺夫

黄福祥 孙文秋 卢嘉兰 译

严伯钧 校

纺织工业出版社

# 纺织工业中的光电检测装置

〔苏〕M.莫海特齐诺夫 著  
黄福祥 孙文秋 卢嘉兰 译  
严伯钧 校

纺织工业出版社

## 内 容 提 要

本书简要介绍了光电检测方法的分类、辐射光源和光电接收器，分析了纺织工业应用的各种光电检测装置。

本书可供纺织工程技术人员、科研人员和大专院校师生参考。

责任编辑：郑剑秋

# ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ М. МУХИТДИНОВ

## 纺织工业中的光电检测装置

〔苏〕M.莫海特齐诺夫 著

黄福祥 孙文秋 卢嘉兰 译

严伯钧 校

纺织工业出版社出版

（北京东长安街12号）

河北省供销合作联合社保定印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张：6 20/32 字数：143千字

1987年3月 第一版第一次印刷

印数：1—5,000 定价：1.40元

统一书号：15041·1448

## 前 言

在现代的技术发展中，工艺过程控制自动化和质量检验自动化具有日益重要的意义。特别是在大规模生产的纺织工业部门中，自动化更具有巨大的经济效益。

敏感元件亦即一次测量变换器，是任何产品质量检验自动化系统和工艺过程自动控制系统的的基本元件之一。

纺织工业所采用的自动装置的一次变换器，应当能反映出表示织物重要质量指标的纱线粗细、根数和相互间排列状况，织物尺寸、表面均匀度和外观质量，归根结底要根据棉卷、条子和纱线的透光程度反映出它们单位长度的重量。此外，在一系列情况下变换器应保证在无接触情况下进行检测，并具有相当的快速性。光电变换器能够最好地满足这些要求，很久以前它就引起了纺织工业中各种自动装置研究人员的注意。

随着光电子学及其元件工业的发展（激光器、发光二极管、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管等的出现）大大扩展了完善光电一次变换器的可能性，从而也完善了采用光电原理的自动检测和控制系統。

敏感元件及与其相连的线路外形尺寸虽然迅速缩小，但其使用寿命延长了。辐射器和接收器可以在从紫外线到红外线的光谱范围内工作。最后出现了发光二极管，<sup>a</sup>它的辐射亮度可由电流大小几乎无惰性地进行控制，因而开辟了利用光电耦合器件作为一次测量变换器的新的可能性。

在专业技术文献中，已有大量的记载叙述纺织工业中使

用的光电检测装置和尚处于理论研究和试验阶段的各项研究工作。但是所有这些材料分散出版在各种期刊上，因此要收集它们是有困难的。

本书的目的是尝试系统地介绍光电检测装置的主要发展方向和使用的可能性，同时向读者介绍光电测量方法和光电子元件。这些对在纺织工业中研究和建立检测装置将会是有用的。

## 译 者 的 话

本书详细介绍了纺织工业中可以采用的各种光电检测装置，从原料检验到半成品和成品的质量检查，从生产工艺控制到实现设备自动化，从纺纱、织布到染色后整理工序都作了介绍，对纺织工业应用现代化技术有一定参考价值。

本书的前言及第一、二、三章由卢嘉兰翻译，第四、五、六、七、八、九章由黄福祥翻译，第十、十一、十二章由孙文秋翻译，全书由严伯钧副教授校对。

由于我们水平有限，译文中不妥之处，敬请读者批评指正。

封面设计：黄 虹

统一书号：15041·1448

---

定 价： 1.40元

# 目 录

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| <b>第一章 光电检测方法的分类</b> .....        | ( 1 )  |
| 第一节 阴影积分法.....                    | ( 1 )  |
| 第二节 阴影扫描法.....                    | ( 4 )  |
| 第三节 透射光积分法.....                   | ( 6 )  |
| 第四节 透射光扫描法.....                   | ( 7 )  |
| 第五节 反射光积分测量法.....                 | ( 9 )  |
| 第六节 多参数测量法.....                   | ( 11 ) |
| <b>第二章 辐射源</b> .....              | ( 16 ) |
| 第一节 辐射光源的特性.....                  | ( 17 ) |
| 第二节 白炽灯.....                      | ( 19 ) |
| 第三节 发光二极管.....                    | ( 21 ) |
| 第四节 激光器.....                      | ( 27 ) |
| 第五节 充气灯.....                      | ( 29 ) |
| 第六节 标准光源.....                     | ( 30 ) |
| 第七节 反射器、透镜、滤光器和导光器.....           | ( 31 ) |
| <b>第三章 辐射接收器</b> .....            | ( 35 ) |
| 第一节 概述.....                       | ( 35 ) |
| 第二节 外光电效应的光电接收器.....              | ( 38 ) |
| 第三节 具有光电导效应的光电接收器.....            | ( 46 ) |
| 第四节 光电池.....                      | ( 51 ) |
| 第五节 光电接收器对任意光源辐射积分<br>灵敏度的确定..... | ( 56 ) |

|            |                                    |                |
|------------|------------------------------------|----------------|
| 第六节        | 光电耦合器件的选择·····                     | ( 58 )         |
| <b>第四章</b> | <b>纱线断头和锭子运行情况的检查·····</b>         | <b>( 61 )</b>  |
| 第一节        | 经纱断头的检查·····                       | ( 61 )         |
| 第二节        | 纬纱储存量和锭子运行情况的检查·····               | ( 68 )         |
| <b>第五章</b> | <b>纱线几何参数和物理参数的测定·····</b>         | <b>( 75 )</b>  |
| 第一节        | 概述·····                            | ( 75 )         |
| 第二节        | 纱线纵剖面宽度的测量·····                    | ( 77 )         |
| 第三节        | 纱线截面尺寸的测量·····                     | ( 84 )         |
| 第四节        | 纱线长度的测量·····                       | ( 85 )         |
| 第五节        | 纱线物理参数的测量·····                     | ( 87 )         |
| 第六节        | 试验标本中的纤维粗细和数量的<br>测量·····          | ( 91 )         |
| 第七节        | 棉花成熟度的测定·····                      | ( 94 )         |
| <b>第六章</b> | <b>织物的几何参数及其运动速度的测量·····</b>       | <b>( 96 )</b>  |
| 第一节        | 布边状态和织物宽度的控制·····                  | ( 96 )         |
| 第二节        | 织物长度的测量·····                       | ( 99 )         |
| 第三节        | 织物运动速度的测量和控制·····                  | ( 102 )        |
| <b>第七章</b> | <b>棉卷和条子重量的检测·····</b>             | <b>( 104 )</b> |
| 第一节        | 概述·····                            | ( 104 )        |
| 第二节        | 测量重量的变幅法·····                      | ( 105 )        |
| 第三节        | 函数扫描法·····                         | ( 112 )        |
| 第四节        | 测量重量的频率法·····                      | ( 116 )        |
| 第五节        | 函数扫描光电测量转换器的主要误差源<br>分析及其消除方法····· | ( 119 )        |
| <b>第八章</b> | <b>织物纬斜和纬密的测量·····</b>             | <b>( 124 )</b> |
| 第一节        | 在反射光中测量纱线倾斜·····                   | ( 124 )        |
| 第二节        | 在透射光中测量纱线倾斜·····                   | ( 127 )        |

|             |                        |                |
|-------------|------------------------|----------------|
| 第三节         | 织物密度的测量·····           | ( 129 )        |
| <b>第九章</b>  | <b>织物表面疵点的检查·····</b>  | <b>( 135 )</b> |
| 第一节         | 寻找织物表面疵点的多路装置·····     | ( 137 )        |
| 第二节         | 寻找织物疵点的扫描装置·····       | ( 141 )        |
| 第三节         | 寻找织物疵点的混合型装置·····      | ( 147 )        |
| 第四节         | 用散射光检查织物疵点的装置·····     | ( 149 )        |
| <b>第十章</b>  | <b>毛羽的测量·····</b>      | <b>( 153 )</b> |
| 第一节         | 概述·····                | ( 153 )        |
| 第二节         | 纱线毛羽的测量·····           | ( 155 )        |
| <b>第十一章</b> | <b>织物染色和光泽的检验·····</b> | <b>( 161 )</b> |
| 第一节         | 颜色检查的光谱光度计法·····       | ( 161 )        |
| 第二节         | 测量染色的比色法·····          | ( 165 )        |
| 第三节         | 色差法·····               | ( 171 )        |
| 第四节         | 白度检测·····              | ( 175 )        |
| 第五节         | 光泽的测量·····             | ( 178 )        |
| <b>第十二章</b> | <b>回潮率的测量·····</b>     | <b>( 186 )</b> |
| 第一节         | 概述·····                | ( 186 )        |
| 第二节         | 双波长湿度计·····            | ( 189 )        |
| 第三节         | 三波长湿度计·····            | ( 193 )        |
| <b>参考文献</b> | ·····                  | ( 197 )        |

# 第一章 光电检测方法的分类

在纺织工业中采用的光电测量方法可按两个标志分类。首先，光电测量装置(ОЭИУ)可以在透射光中或者反射光中工作。在测量多参数的复杂装置中可以同时应用这两种测量装置。另一类是利用照射在光电接收器上的全部辐射通量的强弱，作为被检测对象的被测参数的信息载体，或者是在光电耦合器СД-ФП视野范围内实现对图象进行扫描，从光的不均匀性的分布中取得信息。由辐射通量的对比关系中取得信息作为基础的方法叫做积分法，而以扫描图象为基础的方法叫做扫描法。

按上述两种分类原则，光电测量方法有以下几种：(1) 阴影积分法，(2) 阴影扫描法，(3) 透射光积分法，(4) 透射光扫描法，(5) 反射光积分法，(6) 多参数法。

## 第一节 阴影积分法

以阴影积分法测量的任何光电装置的作用原理，可以借助于框图1.1来阐明。

光源1 (图1.1a) 发出辐射通量，等于 $\Phi_0$ 的那一部分通量被限制元件2分割出来，并射向光电接收器4。光电接收器的感光面边界，或者不透明板上面积为 $a_0 = dh$ 的方孔的边界，都可以起限制元件的作用。测量对象3放置在辐射

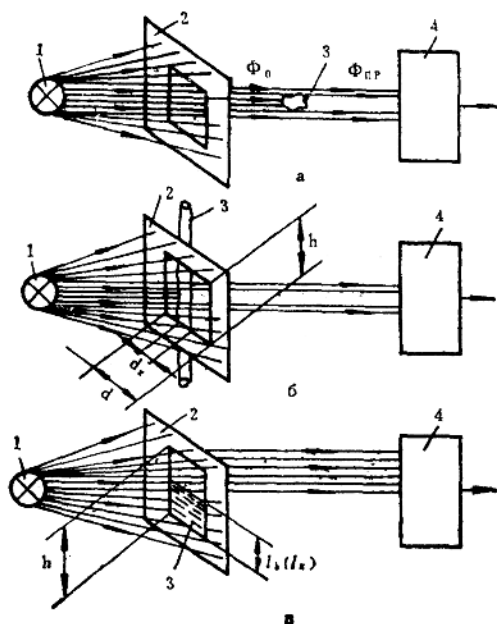


图1.1

通量 $\Phi$ 的通路，并挡住这个通量的部分光线。

这样光通量 $\Phi_0$ 中等于 $\Phi_{np}$ 的那部分光束进入光电接收器，同时 $\Phi_{np}$ 的量与被测对象的尺寸和位置有关。

藉助于阴影积分法，可以测量被测对象的截面积、横向直线尺寸或边缘位置。

下面分析一下这三种测量情况的特点。

在测量截面积 $a_x$ 时，它应完全安置在光通量 $\Phi$ 截面范围之内，如图1.1а所示。在被测对象3不透明的情况下，进入光电接收器的光通量由公式(1.1.1)确定。

$$\Phi_{np} = \Phi_0 (1 - a_x/a_0) \quad (1.1.1)$$

当确保进入光电接收器的辐射通量 $\Phi_{np}$ 和输出电压 $U_\phi$ 之间成线性关系时，我们可以得到以下关系式：

$$U_\phi = K_n \Phi_0 (1 - a_x/a_0) \quad (1.1.2)$$

式中 $K_n$ 为比例系数。

从式(1.1.2)可以得出，被测截面可以按电压信号这样来确定

$$a_x = a_0 [1 - U_\phi / (K_n \Phi_0)] = a_0 - C_a U_\phi \quad (1.1.3)$$

式中 $C_a = a_0 / (K_n \Phi_0)$  ①。

在用阴影积分法测量直径为 $d_x$ 的圆柱形对象3(如纱线)时，对象3与孔的相对位置应该如图1.16所示。在这种情况下如果 $a_x = d_x h$ ，可以由公式(1.1.1)和(1.1.3)得到相应的表达式。

$$\Phi_{np} = \Phi_0 (1 - d_x/d)$$

$$U_\phi = K_n \Phi_0 (1 - d_x/d)$$

由此被测直径可以由公式 $d_x = d - C_d U_\phi$ 来确定，式中 $C_d = d / (K_n \Phi_0)$  ②。

最后，在使用阴影积分法测量固定对象边缘位置时，即计算离某基准的距离 $l_x$ 时，对象应放置在如图1.1b所示的位置上。

显而易见，如果对象阴影的边缘沿孔宽度的方向是直线，则

$$\Phi_{np} = \Phi_0 (1 - l_h/h) \quad (1.1.4)$$

与选择基准有关，被测值 $l_x$ 与 $l_h$ 总是存在着一定的关系。如以孔下边缘作为基准，则得 $l_x = l_h$ 。

如果以孔的对称水平轴线作计算基准，那么 $l_x = l_h -$

①原文为 $C_a = a_0 K_n \Phi_0$ ，应为 $C_a = a_0 / (K_n \Phi_0)$ 。——译者注

②原文为 $C_d = d (K_n \Phi_0)$ ，应为 $C_d = d / (K_n \Phi_0)$ 。——译者注

0.5h。

当 $l_x = l_h$ 时，从公式 (1.1.4) 可得出 $l_x = h - C_e U_\phi$ ，式中 $C_e = h / (K_n \Phi_0)$ 。

上述结论的得出，是设想了被测对象对所采用的辐射波长来说是完全不透明的。然而必须指出，对所采用的波长来说，若被测对象为半透明体，上述方法仍然适用，但其灵敏度会相应降低。产生测量误差的最主要原因，是通过对象的辐射通量损失系数在变化。

## 第二节 阴影扫描法

对任意平面图象的扫描可以沿一个轴线进行或沿两个轴线，即沿一幅图象进行。阴影扫描法相应地分为直线扫描和图象扫描。

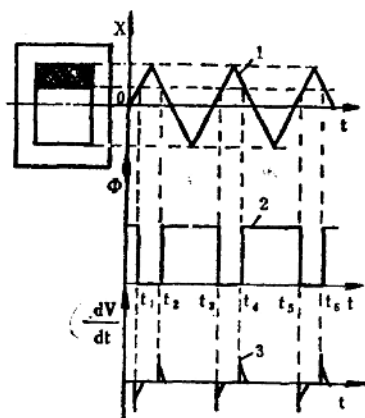


图1.2

确定测量对象阴影边缘位置的阴影直线扫描法示于图1.2。图中0点为扫描中心，这就是说扫描束围绕0点作对称的周期振荡（曲线1）。

这些振荡的振幅值为A，扫描速度为V（在本图中V是常数）。在时间 $t_1$ 时（见曲线2）

扫描束到达阴影边缘并进入阴影，在时间 $t_2$ 时扫描束越出阴影，到时间 $t_3$ 时重新进入

阴影。此后周期性地重复这一过程。当扫描束穿越阴影边缘时，光电接收器的输出信号发生急剧变化，藉助于微分线路形成尖脉冲，这些脉冲描绘在曲线3上。脉冲间隔时间与扫描幅值、扫描速度和阴影边缘相对于作为基准的扫描中心线的位移 $l_x$ 有关，可由下列公式确定：

$$\Delta t' = t_2 - t_1 = 2[(A - l_x)/V]$$

$$\Delta t'' = t_3 - t_2 = 2[(A + l_x)/V]$$

如果测出时间间隔 $\Delta t'$ 和 $\Delta t''$ 的差值，就可以求阴影边缘相对于扫描中心的位移 $l_x$ 。

$$\Delta t'' - \Delta t' = 4l_x/V$$

同样藉助于脉冲可以测定一些深色或浅色线的位移。沿着细线扫描时，这些脉冲不是产生在微分电路输入端，而是直接产生在光电接收器电路的输出端。

阴影直线扫描法的另一种形式是测定非透明对象的横向尺寸（图1.3）。在这种情况下，对象的横向尺寸 $d_x$ ，是由出现在微分单元输出端的两个相邻脉冲的时间间隔来测量。这些脉冲产生于扫描束进出对象阴影边缘的时刻，即产生在进入阴影时刻 $t_1$ 和走出阴影时刻 $t_2$ 。

表示这个时间间隔与被测值 $d_x$ 关系的方程式如下：

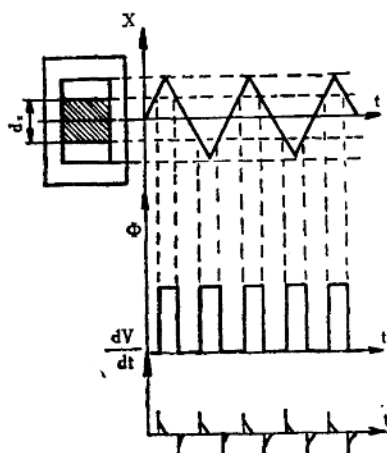


图1.3

$$t_2 - t_1 = d_x/V$$

当被测值 $d_x$ 的数值很小时，上述测量方法的精度将大大地降低。

### 第三节 透射光积分法

布格尔-拉姆别尔特方程式是透射光积分法的基础。根据这个方程，当某一对象被辐射通量 $\Phi_0$ 照射时，通过该对象波长为 $\lambda$ 的单色辐射通量等于

$$\Phi_{\pi p} = \Phi_0 e^{-D_\lambda} \quad (1.3.1)$$

式中 $D_\lambda$ 为对象的光学密度。

当辐射通量 $\Phi_{rp}$ 照射到光电接收器的敏感面上时，在线路中产生的输出信号可以写成如下形式：

$$U_\phi = S_U \Phi_0 e^{-D_\lambda}$$

因为上述方法是用于测量原始数据的，如果被测对象的 $D_\lambda$ 与这些原始数据成线性关系，那么表达式(1.3.1)应写成

$$U_\phi = S_U \Phi_0 e^{-K_\lambda X} \quad (1.3.2)$$

式中， $K_\lambda$ 为常数； $X$ 为被测值。

首先应指出，把表达式(1.3.2)的因子 $e^{-K_\lambda X}$ 按 $X$ 分解为泰勒级数，得到

$$e^{-K_\lambda X} \approx 1 - K_\lambda X + K_\lambda^2 X^2/2 \quad (1.3.3)$$

在 $K_\lambda \cdot X \leq 0.1$ 时，采用这个表达式除前两项保留外，其他各项忽略不计，已经可以得到足够好的近似值，因此从表达式(1.3.2)和(1.3.3)得到

$$U_{\phi_0} - U_{\phi_x} = S_U \Phi_0 K_\lambda X \textcircled{1}$$

●原文中 $K$ 应为 $K_\lambda$ 。——译者注

式中,  $U_{\phi_0}$ 、 $U_{\phi_X}$  为当  $X = 0$  和  $X$  为测量值时光电接收器的输出信号。

当  $K_\lambda X > 0.1 \sim 0.2$  时, 为了得到与  $X$  值成线性关系的信号, 可以把对数放大器接向光电接收器输出端。当向对数放大器输入端输送方程式 (1.3.3) 描述的信号时, 在它的输出端得到

$$U_{\text{вых}} = M - K_\lambda X \quad (1.3.4)$$

当  $\Phi_0 = \text{常数}$  时, 式中  $M$  为常数。

从表达式 (1.3.4) 可得出结论, 对数放大器输出信号随  $X$  值的增加而成比例地下降。

透射光积分测量法可用于测量对象的当量厚度, 或是测量对象的密度和单位长度的重量。

如果借助第二光电接收器测量光通量, 并用相应的电子线路把它转变为信号, 此信号可由下式表示

$$\Phi / \Phi_{np} = e^{K_\lambda X}$$

那么把信号送入对数放大器的输入端, 在其输出端得到的信号等于

$$U_{\text{вых}} = K_\lambda X$$

## 第四节 透射光扫描法

在纺织生产中, 通常用透射光扫描物体的方法测量棉卷和织物的各种参数, 扫描是在垂直于被测对象输送方向进行的, 确保对被测对象全部表面进行连贯地检查。

在这种情况下, 为确保对全部表面进行无遗漏地检查应按如下原则选择扫描速度。

如果光电接收器沿织物运动方向的视野宽度为  $h$ , 而织