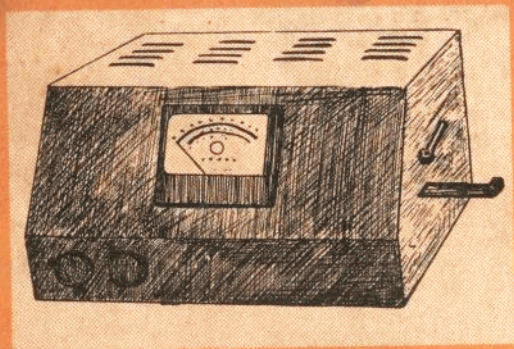




用偏振光測定 棉纖維成熟度

馬 家 馴 編 著

紡 織 工 業 出 版 社

〔統 $\frac{15041}{88}$ 〕用偏振光測定棉纖維成熟度

編 著 馬 家 馴

北京市書刊出版業營業許可證出字第16號

出 版 紡 織 工 業 出 版 社

北京東長安街紡織工業部內

印 刷 上 海 市 印 刷 三 廠

發 行 新 華 書 店

開本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$

字數: 35,000

1956年12月初版第1次印刷

印張: $1 \frac{3}{4}$

印數: 0001~3270

定價: (10)0.27元

用偏振光測定棉纖維成熟度

馬家駒編著

紡織工業出版社

目 錄

前 言.....	(3)
1. 光的基本概念.....	(5)
2. 光的反射与折射.....	(8)
3. 光的双折射現象.....	(11)
4. 偏振光產生的方法.....	(12)
5. 起偏振鏡与檢偏振鏡.....	(14)
6. 橢圓偏振光.....	(16)
7. 偏振光的干涉和色偏振.....	(19)
8. 用偏振光測定棉纖維成熟度.....	(26)

前 言

紡織技術中，有很多場合应用着偏振光，其中用偏振光測定纖維厚度，特別是測定棉纖維厚度的方法，更為一般所習用。由于紡織纖維多為各向异性物質，具有双折射特性，当白色的偏振光通过纖維時，會產生色偏振現象，在視界中随纖維厚度和結晶結構的不同而呈現色彩，对結構相同的纖維，即可由所呈現的色彩來分別纖維的厚度，这种方法特別適宜于判斷棉纖維的成熟度，因棉纖維成熟度是以其管壁厚度來決定的，同时棉纖維的其它特性，如斷裂強度、橫斷面積、單纖維支數等都可從而算出。由于这种方法能較迅速、較多量地得到試驗結果，所以在实际工作中已被廣泛地应用着。更進一步，如果利用光电管，在適當的配置下，可以不必再从偏振光顯微鏡中觀察色彩，而可直接从电表上讀出棉纖維的成熟度及其分級，用这种方法測定棉纖維成熟度和其分級的儀器叫做棉纖維分級儀。一九五五年六月匈牙利紡織儀器展覽會中曾展出过这种儀器。

偏振光在紡織技術中的应用除棉纖維成熟度的測定外，也应用在：

- (1) 判別纖維的品種，尤其是多种多样的人造纖維；
- (2) 研究纖維的結晶構造，從而了解它的物理性能；
- (3) 研究纖維染色的性能；
- (4) 觀察或測定纖維在工藝过程中所受的微小伸長；
- (5) 測定棉纖維的絲光程度。

此外，偏振光在其它科学部門如彈性力学、分析化学、天文学等許多科学領域中都有重要而廣泛的应用。

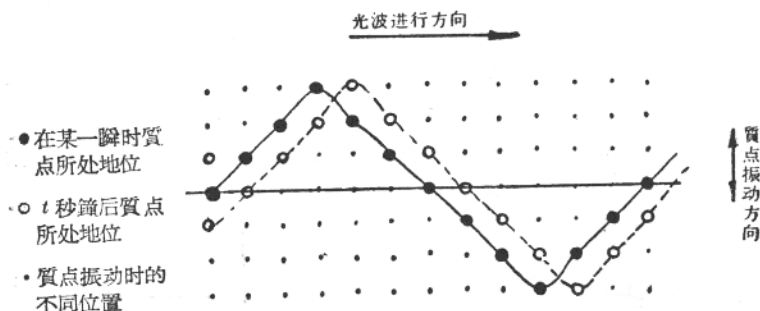
为了帮助讀者能对偏振光有一概念性的認識，并了解它和纖維厚度間的关系，本文將从光的基本概念講起，引渡到光的双折射和偏振的一般理論，然后談到色偏振和纖維厚度的关系，并扼要介紹偏振光顯微鏡和棉纖維分級仪。

1. 光的基本概念

在物理学上对光的性質，大致有三种假說：第一种是微粒說；第二种是波动說；第三种則認為光具有微粒和波动兩種特性，为电磁波的一种。在近代物理学中，認為第三种的假說更能合乎实际情况。

光可以設想是由于一种称为光子的質点振动所產生，这种質点僅在光波的進行方向作垂直的运动，而把波傳送出來，質点的振动橫向于波的進行方向，故名橫波。音波的質点振动方向，則縱向于波的進行方向而与之一致，故称为縱波，与橫波性質不同。

从第 1 圖可清楚地看出，由于質点垂直振动的位置随時間

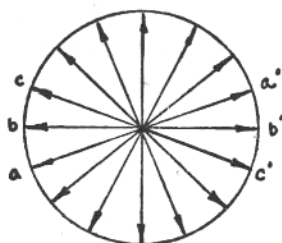


第 1 圖

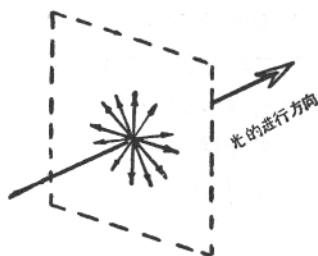
而变化，使光波向右進行，和平常以石投水，水的質点上下振动產生水波有同样的性質。質点的振动是垂直于光的進行方向的，而对普通光綫即非偏振光來說，在它的振动面中，上下四方三百六十度空間中，有無數个这样振幅相等的振动。在第 2 圖中，光波的進行方向是垂直于紙面的，質点的振动則是在圖面平面內，可看出，在这平面中有無數的振动方向，如 aa' 、 bb' 、

ac' 等，第3圖为其立体概念。

普通的光綫都和第3圖所示一样在各个方向振动，但有一



第2圖

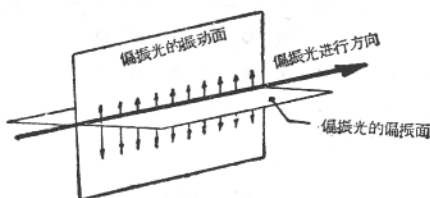


第3圖

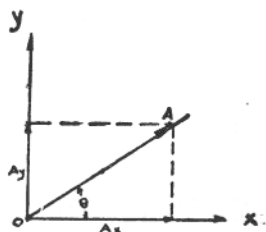
种特殊的光綫，它的質点的振动僅局限在一个方向上振动，犹如在圖2中的 aa' 方向或 bb' 方向，此时，这种光綫即称之为偏振光，包含这一單一方向上質点振动的平面称为偏振光的振动面，与質点振动方向成垂直的面称为偏振光的偏振面見第4圖。

由于光的性質，任何光綫都可应用向量法則分解成兩個垂直座标的分光。

第5圖中， OA 代表一个光波的振幅，它和一个任意座标軸



第4圖



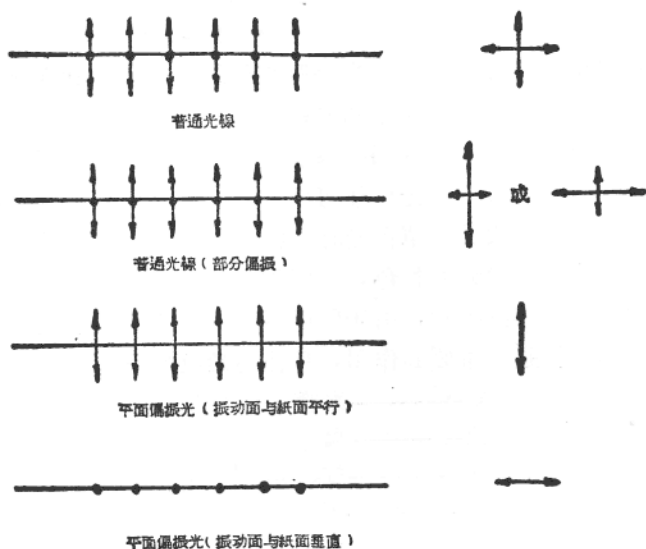
第5圖 光的分解
(光綫進行方向垂直于紙面)

X 、 Y 的 X 軸成 θ 角，因此振幅 OA 可分为 $OA_x = OA \cos \theta$ 及 $OA_y = OA \sin \theta$ 兩個分光，与力的分解相似。

光的強度用它的振幅的平方來表示，即

光强 $I = \overline{OA^2}$

在習慣上，光的圖示法可見第6圖。



第 6 圖 光的圖示法

前面已經講過，光是電磁波的一種，因此它和無線電波、X光波、宇宙綫波等祇不過是由于波長(或頻率)的不同而具有不同的性質而已，人眼可見的光波波長介于400毫微米(一毫微米 $=10^{-9}$ 公尺)與760毫微米之間，其間由于波長的不同，呈現在人眼中即成為若干不同的顏色，它們大致的波長範圍如下，顏色與顏色間的變化是逐漸的，不是很明顯的。

光的顏色	波長(毫微米)
紅	760~630
橙	630~600
黃	600~570

綠	570~500
青	500~450
藍	450~430
紫	430~400

波長大于 760 毫微米的光綫叫紅外綫，小于 400 毫微米的光綫叫紫外綫，这七种可見的光綫混合起來成为白光或称自然光，例如日光、鎢絲灯等的光綫虽然各种光的含量不同，但并未缺少，因此成为白光；任何祇具有一种波長的光称为單色光，当白光中缺去某一單色光时，就会呈现出另一种色彩，这种色彩称为該單色光的补色，这两种色彩是互成补色的，用偏振光顯微鏡观察纖維时，由于厚度不同而产生色偏振現象，其中色彩的互补是一重要的作用，互补的光色如下：

紅	——	藍綠
橙	——	藍
綠	——	紅、紫
青	——	黃

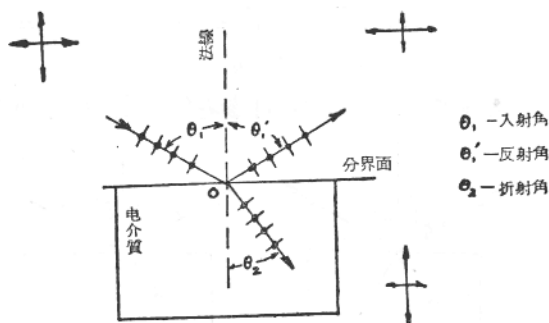
2. 光的反射和折射

当光綫通过两种透明物質的分界面时，入射光綫即分为反射与折射光綫两部分，見第 7 圖。

入射角与反射角相等，即 $\theta_1 = \theta'_1$ ，且与垂直于分界面的法綫在同一平面內，这平面称为入射面，至于入射角与折射角的关系，可用折射定律表示：

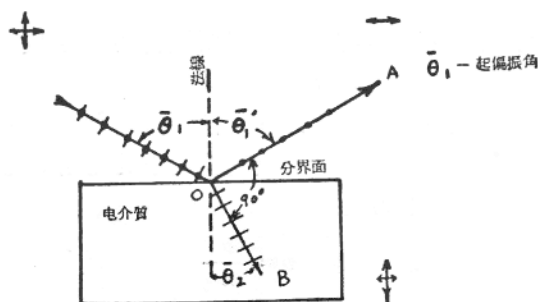
$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_{21}$$

式中 n_{21} 是第二物質对第一物質的折射系数，随物質的折射系数而定，因此折射角也随物質而有不同。真空或空气的折射系数是 1（空气是近于 1）。普通所說物質的折射系数都是指对



第 7 圖 反射和折射產生部分偏振

真空或空气來說的。在普通情形下，反射与折射能產生部分的偏振光，但当入射角漸漸改变而成为某一称为“起偏振角”（用 $\bar{\theta}$ 表示）的特殊角度时，反射光由部分偏振轉而为完全的平面偏振，折射而出的光則仍然是部分偏振光，見第 8 圖。这时反射光和折射光恰成 90° 角度，这特殊的起偏振角是由物質 2 对物質 1 的折射率 n_{21} 决定的。



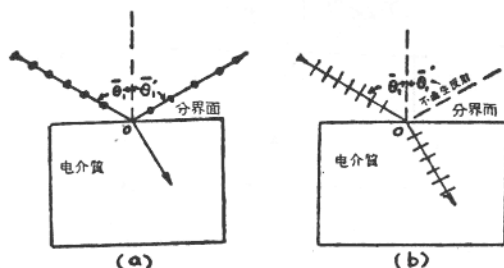
第 8 圖

因为： $\sin \bar{\theta}_1 / \sin \bar{\theta}_2 = n_{21}$ ，但 $\angle AOB = 90^\circ$ ，
所以 $\sin \bar{\theta}_2 = \cos \bar{\theta}_1$ 。

代入，得 $n_{21} = \sin \bar{\theta}_1 / \sin \bar{\theta}_2 = \sin \bar{\theta}_1 / \cos \bar{\theta}_1 = \tan \bar{\theta}_1$

所以 起偏振角 $\bar{\theta}_1 = \tan^{-1} n_{21}$ 。

入射光是偏振光时的情形，可参考第 9 圖，这时如果它的振



第 9 圖 以偏振光入射时的反射光

动面垂直于入射面，反射光的振动面也垂直于入射面，但入射偏振光的振动面也在入射面以內时，則不生反射作用，其原因可以用物理概念來解釋，因为如果產生反射的話，則光綫的進行方向就將与光的進行方向相同，成为縱波，这对光波講是不可能的，因为它是橫波。

兩物質的折射系数与在它們里面進行的光速 成 反 比，即

$$n_2/n_1 = v_1/v_2。$$

光在光性較密的物質中比在光性較稀的物質中傳播得慢，真空的折射系数为 1，因此在其它物質中的光速 v 与在真空中的光速 c 之間有如下的关系：

$$v = \frac{c}{n}$$

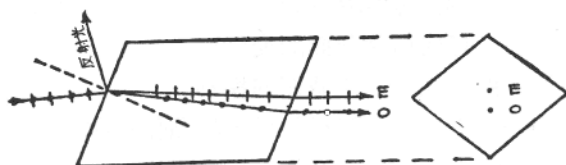
式中， n 是該物質的折射系数。

普通电介質如玻璃对真空的折射率为 1.52，其起偏振角約为 57° ，由反射而得的全偏振光的光强極弱，透过物体的折射光的光强就較强，但非全偏振，如能連續地透过多片玻璃片，

偏振程度就可以提高。

3. 光的双折射现象

当普通光线在各向异性物体（例如方解石晶体、电气石、棉纤维、人造纤维等）内进行时，具有特殊的性质，当一条普通光线射入这种物质（例如第 10 图中的方解石晶体）时，除了



第 10 圖 方解石的双折射

產生反射光反射而出以外，進入晶体的光会成为兩条折射光（進入其它物質，則僅有一条折射光），这种現象称为双折射。如進一步对这两条折射光加以分析后，就可知其中的一条光，能像尋常光线一样遵守着折射定律，即

$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_{21}$ 的法則而折射，故称为尋常光线，簡称为 O 光。但第二条折射光并不按照折射定律的角度而折射，須視其它条件而异，故称之为非尋常光线，簡称为 E 光，这两条光线折射率之差称为双折射率：

$$\text{双折射率} = n_e - n_o$$

式中： n_e ——非尋常光的折射系数；

n_o ——尋常光的折射系数。

尋常光与非尋常光是在相互垂直的兩平面上偏振的，且为全偏振光，而光强比較由反射所生的偏振光强得多。

E 光和 O 光在晶体内的速度是不同的。在某些晶体内的 O 光速度大于 E 光，也就是对 E 光的折射系数 n_e 大于 O 光的折

射系数 n_o (因 $c/v_e = n_e$, $c/v_o = n_o$)，这种晶体称为正晶体，而另一种晶体恰恰相反，称为負晶体。

变更入射光的方向时，可以找到在对晶体某一特殊的方向上射入时， O 光和 E 光合而为一，速度相同并且不再發生双折射現象，順这个方向（注意是一个方向不是某一特殊平面）所引的任何直綫称为結晶体的“光軸”，包含着光軸和已知光綫的平面称为此光綫的晶体“主截面”，顯然地在晶体中可作無数个光軸和主截面，任何兩主截面的交綫都是光軸。 O 光的振动垂直于主截面，而 E 光則在主截面內振动。

只具有一个方向不生双折射現象的晶体，称为單軸晶体；有一些晶体有兩個方向都不發生双折射現象，称为双軸晶体。在大多数透明的單軸晶体中，对 E 光和 O 光的吸收相同，但也有在某一些晶体中，对这两种光綫的吸收性不同，一条比另一条要吸收得多，所余下的就几乎只有一条偏振光，这种性質称为二色性，有些偏振光顯微鏡就是利用某种物質的二色性制成的。

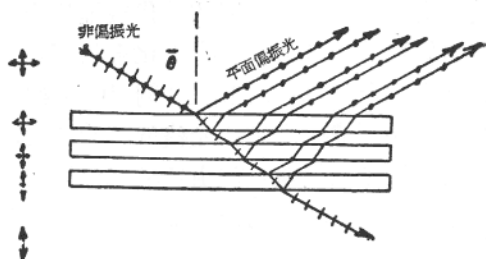
4. 偏振光產生的方法

偏振光可由下列方法獲得：

(1) 由电介質（玻璃、水等）的反射產生，前面已經講过，当入射角等于 $\tan^{-1} n_{21}$ 时可以得到虽然微弱但是完全偏振的反射光，这时反射波的振动面垂直于它的入射面。反射后光的强度大为减弱，如同玻璃面的反射光，僅为入射光的 $1/4$ ，棉纖維分級仪中的偏振光是由这方法產生的。

(2) 由玻璃片的折射產生，如前所述，但是偏振是不完全的(部分偏振)，当反射波为全偏振时，折射光束中偏振光的含量也僅僅等于反射光在整个光束中的含量。例如在用起偏振角对玻璃入射时，僅有 $1/4$ 部分反射， $3/4$ 透过玻璃，在透过的光束

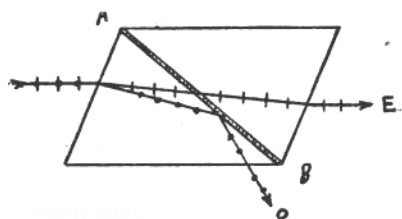
中，偏振光又僅占 $\frac{1}{4}$ ，其餘 $\frac{3}{4}$ 仍是自然光，如要提高偏振程度，可使光連續地通過一組玻璃片，如第 11 圖所示，偏振程度雖可提高，但是並不能得到完全的偏振。



第 11 圖 由玻片堆產生偏振光

(3) 第三個產生偏振的方法，是使光在晶體內折射而得到的，例如採用方介石晶體可以制成一種稱為尼科爾稜鏡的儀器。

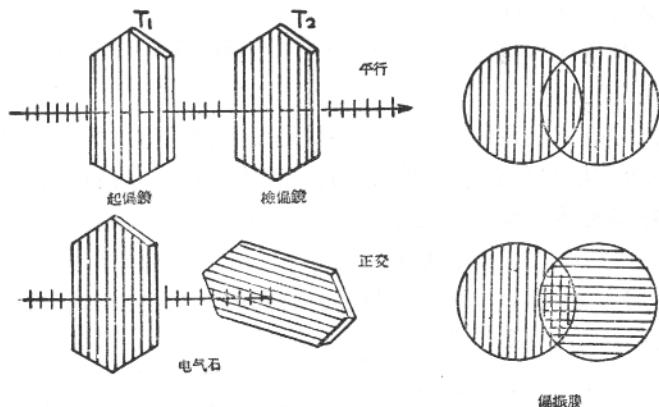
許多光學儀器中都應用尼科爾稜鏡來產生和檢查偏振光。尼科爾稜鏡是用方介石做的，有多種方式，主要原理如第 12 圖所示，將方介石晶體沿 AB 斜切為兩部分，然後再用加拿大樹膠（一種特殊的樹膠，具有合乎需要的折射係數）粘合起來，如果自然光以小於 33° 的角度投射於稜鏡面上，那麼在晶體內將由於雙折射特性而產生兩條光綫，其中 E 光將通過整個晶體，而 O 光則在到達 AB 面時，由於預先的配置，使之產生全反射而從另一面離開晶體，因此只有偏振的 E 光射出晶體。



第 12 圖 尼科爾稜鏡

(4) 第四個方法是利用某種物質，例如电气石等的二色性，可以通過或吸收某一方向上的振動，而對與之垂直的平面振動則不能通過。除电气石外，有一種很普遍的東西稱為偏振

膜，它是由在薄層透明的硝化纖維片上塗以光軸互相平行的、非常細致的碘硫酸奎寧有机化合物所制成的薄膜，这种偏振膜也具有二色性，例如在第 13 圖中 T_1 和 T_2 平行时，可以透过光綫，而在互成垂直时，光綫就不能通过而成为黑暗，大部分較廉的偏振光顯微鏡，就由这种二色性的偏振膜所作。此外它們也用在汽車上的擋光板、某种太陽眼鏡和观察应力的仪器中。

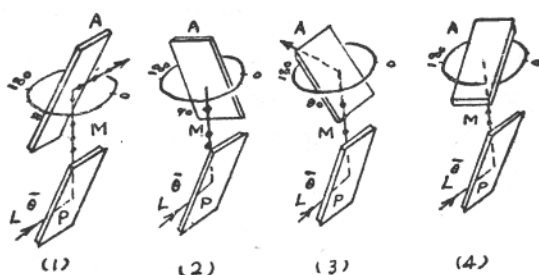


第 13 圖

(5) 由散射產生偏振，因和本題無關，从略。

5. 起偏振鏡與檢偏振鏡

產生偏振的方法已見前述，可以用玻片、晶体、稜鏡等儀器產生，如果要把自然光和偏振光区分開來，以確定偏振光振动的方向，就必要再用一同样的儀器，例如用兩塊稜鏡，一前一后的配置，前者称为起偏振鏡，用以產生偏振，后者称为檢偏振鏡，用以檢出偏振，由這兩個鏡子所組成的儀器称为偏振鏡組。可以用第 13 圖和第 14 圖來說明。



第 14 圖 玻片反射產生偏振光

第14圖应用玻璃片反射的道理，平行的非偏振光綫 L 以起偏角射到玻璃片 P 上，平面偏振光 M 反射而出，而以同样的入射角 57° 射入檢偏鏡 A 的表面， A 是借 M 为軸而旋轉的，当 A 轉到 (1) 的地位，反射光最强，同时 P 的入射面和 A 的反射面相合，当 A 轉过 90° 在 (2) 地位时， P 的入射面和 A 的反射面成直角，不產生反射，故反射光等于零 (参考第 9 圖)。再轉 90° 到 (3) 地位，反射光又为最大，如再轉 90° 到 (4) 地位，則反射光又等于零。

故檢偏振鏡旋轉一周，光强变化四次，由其地位的不同，可把偏振光的振动面檢驗出來。

再如第 13 圖中， T_1 为起偏振鏡， T_2 为檢偏振鏡，二者光軸平行，即交角成 0° 时，光最强； T_2 旋轉时光逐渐变暗，到光軸互相垂直成 90° 时，光成全暗，交角成 90° 和 270° 时光最暗，成 0° 和 180° 时，光最强。

如将这現象作一了解，可見第 15 圖。

第 15 圖中，是迎着光看所見的光的截面， OA 是起偏振鏡的透射面，也就是可以允許在这一方向上光振动通过的平面， OB 是檢偏振鏡透射面，只容許在这一方向上的光振动可以通过，二透射面的夾角为 θ ，可知由起偏鏡出來的振幅 E 可分成 E