

陈万聪编著

层压绝缘材料工艺学

科技卫生出版社

序

自从全國解放以來，我國各項工業不僅从無到有，而且是在突飛猛進地飛躍地發展着。在發展电气化的工業中，絕緣材料的制造是重要環節之一。但絕緣材料品种極多，層压絕緣材料也是其中的一种。由于層压絕緣材料具有較高的机械强度与良好的絕緣性能，所以在电器工業上不但被廣泛地采用；即机械、建筑、航空、汽車等工業方面采用也極普遍。

虽然目前，有許多种类的塑料，其性能也很好。但層压絕緣材料仍有它廣泛应用的价值。

要制造合乎質量要求的層压絕緣材料，对原材料的选择与鑒定以及操作工藝的准确与否，关系至为重大。所以本書首先从原料分析开始直至半制品及成品檢驗为止。所有一系列的操作工藝，均分章逐一詳加介紹。在編寫中虽然尽量介紹苏联等先進國家的先進經驗与資料。但由于編者水平有限，錯誤与缺点一定很多，希望讀者惠予指正。

本書在編寫过程中，承潘昌發、江兴、杜功遜等工程師給予很大的帮助，在百忙中协助蒐集資料与校对，致本書得以完成。謹在此深致謝意。

陈万聰 一九五七年十一月于上海

目 錄

序

第一章 緒言	1
第二章 原材料分析和選擇	6
I. 紙	6
II. 布	13
III. 石棉布	14
IV. 玻璃絲布	14
V. 膠合劑	16
第三章 有机合成樹脂配制法	25
I. 各种樹脂的种类和性能	25
II. 酚醛樹脂的原材料	26
III. 触媒劑	28
IV. 配方	28
V. 醇溶性酚醛樹脂制造方法	33
VI. 無溶剂酚醛樹脂制造方法	36
VII. 水溶剂酚醛樹脂制造方法	38
VIII. 脲醛樹脂制造方法	38
IX. 热固性酚醛樹脂的質量标准与測定方法	40
第四章 上膠	49
I. 上膠机的主要機構	49
II. 浸漬上膠方法	50

III. 單面塗膠方法	51
IV. 連有烘干設備的上膠機	52
V. 膠紙、膠布質量測定方法	55
第五章 層壓絕緣材料的製造	61
I. 各種層壓板的製造	61
II. 捲壓管筒的製造	70
1. 管子的捲制設備 2. 捲制前的準備 3. 捲制 4. 烘 焙 5. 脫管 6. 整理 7. 捲壓筒的製造 8. 筒子捲制 設備 9. 捲筒準備 10. 捲制 11. 烘培 12. 脫筒	
III. 各種模壓制品	79
1. 管型的壓制法 2. 棒型的壓制法	
IV. 壓力鍋法	84
第六章 特殊應用的產品	86
I. 電容套管	86
1. 電容套管的設計 2. 電容套管的捲制	
II. 特殊的捲壓紙管	91
III. 合成板	92
IV. 以金屬絲增加強度的壓制品	93
V. 印刷塑料版	94
VI. 裝飾層壓制品	95
第七章 影響層壓絕緣材料的物理性質的幾個因素	98
1. 基層材料的物理性質 2. 樹脂性質的影響 3. 基層 材料中樹脂含量的比例 4. 上膠情況 5. 壓制情況 6. 層壓品的水氣含量 7. 運用中的溫度條件	
第八章 主要輔助設備及層壓品機械加工的工具	108
I. 輔助設備	108

1. 酞尔馬林儲存桶 2. 甲酚儲存桶 3. 苯酚儲存桶
4. 称量桶 5. 反应鍋

II. 工具設備111

1. 層压板的切割 2. 車床加工 3. 銑床加工 4. 鑽床加工 5. 冲床加工

第九章 層压絕緣材料性質的測定117

I. 物理性質117

1. 測定材料几何形尺寸 2. 測定比重 3. 測定吸水性

II. 化学性能119

1. pH 值的測定 2. 耐油性測定

III. 机械性質119

1. 抗張强度測定 2. 抗弯强度測定 3. 抗压强度測定
4. 冲击强度測定

IV. 耐热性123

V. 电气性能125

1. 絕緣电阻 2. 介質强度

VI. 介質損失角正切127

附表:

1. 苏联紙質層压絕緣板主要特性128
2. 苏联布質層压絕緣板主要特性130
3. 玻璃絲布及石棉布底的層压絕緣板主要特性131
4. 苏联紙質捲压管筒主要特性132
5. 苏联層压絕緣樺木板主要特性133

参考文献134

第一章 緒 言

电工絕緣材料是組成电机电器中主要原材料之一，也可以說沒有一個电机或电器中不用絕緣材料能制成的。同時絕緣材料性質好壞，會影響到电机电器使用壽命的長短。由此可以見到絕緣材料对电机电器之重要性。但是絕緣材料種類極多；以其形态來分，可分為有固體的，液體的，氣體的。以其化學結構來分，可分為二大類：無機物質與有機物質，及有機與無機的混合物。对絕緣材料電性能的要求是各式各樣，在某種情況对電阻要求很高，在另一種產品情況对击穿強度要大，而在又一種情況下要求損失角很微小。有時除電性能的要求外，对機械強度也要求很高。由於這些各不相同的要求，我們在电工中應用絕緣材料，就必須要有適當的選擇。如不正確的選用了任何一種成分，或不適當地改變製造過程，都是足以急劇降低絕緣的可靠性。更重要的是責任重大的設備安全性，是與絕緣的可靠性有很大關係。因此正確的選用絕緣材料是具有重大意義的。

絕緣材料在電場中特性應具有：1. 介電系數，2. 比電阻，3. 損失角，4. 击穿強度，5. 有高抗熱性與抗潮性，6. 能承受機械負荷等。要一絕緣材料具有這些特性的，只有目前日新月異的塑料。但是塑料的種類也極多，其中層壓絕緣材料就是塑料中的一種。

所謂塑料，簡單的說就是一種可塑性的材料，但是具有可塑

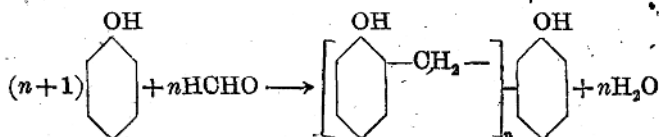
性的材料很多，如泥土、玻璃、鋁、銅鐵等都是具有可塑性的。可是這些材料不是我們所說的可塑性材料，我們現在所說的可塑性材料“塑料”，是一種由人工加以配制成為複雜高分子結構的一種可塑性材料。也就是高分子有機塑性材料。

酚醛塑料，是許多塑料中最早應用在工業上的塑料。遠在1872年蘇聯科學家 J. Bañer 便發現了苯酚與甲醛相互作用時，產生樹脂狀的生成物。當時這個發現並沒有得到什麼實際的結果。因為當時只是從無意中得到，認為所得膠化生成物，是要得到低分子化合物的嚴重障礙。那時在工業上，對新的合成樹脂需要，還不很迫切。天然材料和天然樹脂，如琥珀、瀝青、松香、琥珀、虫膠等，足夠當時的需要。到19世紀末20世紀初，由於電氣工業及其他儀器設備的發展，天然產的材料和樹脂，從量上和質上來講，已不能滿足當時的要求。在量上因天然樹脂等產地不廣，產量不多，以至不敷應用。在質上也很低劣，有的不能耐熱，有的不能耐水，而且極易腐蝕變質，因此便需要尋求新的材料來代替，這樣便引導了科學家們注意從事這方面的研究。直到1902年，才由苯酚甲醛經縮合反應，而得到第一個溶于醇的合成樹脂。但當時還是半工業條件下製造。

大多數塑料的主要組成，分兩部分；即膠合劑與填充劑。此外還有少量的附加劑，如增韌劑與顏料等。膠合劑作用，是使填料團結在一起而成緊密一致的材料。所用膠合劑性質，對所製成塑料的性質影響極大。如要電氣絕緣性能好的，就不能用一般耐水性低的膠合劑。此外填充劑的性質，對塑料的機械性能影響也很大，並且在一定程度上，對電氣絕緣性能也有影響。所謂膠合劑，一般都是樹脂，而樹脂又按其來源分為天然樹脂與人

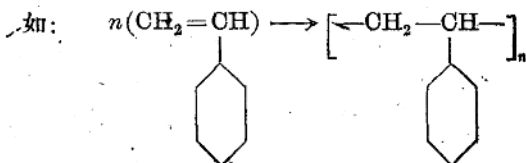
造樹脂兩種。天然樹脂上面已講過，就是虫膠、松香、樹膠及琥珀、琥珀等。人造樹脂則是用很複雜的化學方法，從不同原料加以配制而得。人造樹脂按其化學本性及化學反應的種類，又分為縮合樹脂，聚合樹脂及加工樹脂等三種。

1. 縮合樹脂——是由低分子的化合物，彼此經縮合反應而成的高分子化合物。它在反應過程中，要分出一些低分子物質如 H_2O 、 NH_3 等。如：



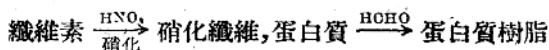
屬於這一類的樹脂有酚醛樹脂，甘油樹脂，尿素甲醛樹脂，氨基苯甲醛樹脂等等。

2. 聚合樹脂——是由低分子的化合物，彼此經聚合反應而成的高分子的化合物。參加反應的物質，具有不飽和的雙鍵和三鍵。在反應過程中，無小分子物質分出，在聚合體的成分中，各種元素還保持着和單機體中相同的比例：



屬於這一類的樹脂：有聚苯乙烯，聚氯乙烯，聚醋酸乙稀等。

3. 加工樹脂——是由自然界中高分子的產物，用化學加工方法制成的生成物。如：



屬於這一類的有硝化纖維，醋酸纖維，和蛋白質樹脂等。

一般樹脂的性質，可分為兩大類；即熱塑性與熱固性樹脂。凡樹脂的分子結構為綫狀的，加熱時保持其熱熔性，能溶解於一般有機溶劑中；如乙醇，丙酮等。即具有可熔可溶性者，稱之為熱塑性樹脂，或熱熔性樹脂。凡樹脂的分子結構是複雜網狀的，在熱的作用下，逐漸硬化，再加熱時，損失其可塑性，同時也不再熔化、溶解。這種樹脂稱之謂熱固性或熱硬性樹脂。

酚醛樹脂，以其所用觸媒劑的不同，可製成熱塑性樹脂與熱固性樹脂。以酸為觸媒的，則成熱塑性樹脂，以鹼性為觸媒的，則成熱固性樹脂。用作層壓絕緣材料，就是在片狀的物質填料上，塗上熱固性樹脂粘料在熱與壓力相作用下，結合成各種形式的具有一定機械強度，而又有良好絕緣性能的一種新材料。這種材料，在電器電機方面應用仍然是很需要的。

我國的塑料工業，尤其是層壓絕緣材料的製造工業，在解放前反動派的統治下，及帝國主義經濟侵略下，根本沒有什麼塑料工業，即使有些也是半殖民地性質的工業，由國外輸入原料進行一定的加工而已。這完全操縱在帝國主義手中的殖民地性質的工業。但是解放以後，在共產黨和人民政府的領導下，更在蘇聯無私的幫助下，我國塑料工業由萌芽到發展。事實證明解放以後，八年來，在塑料工業方面，從無到有，從有到大發展。尤其是層壓絕緣材料，現在我們不但已能全部自給自足。且能出口。同時由於煤焦工業的發展，塑料工業中大部分原料，也都是我國自制的。尤其是製造酚醛類的原料，已全部在國內自己製造。隨着社會主義工業化，電氣化建設的將來，絕緣用的塑料，也將跟着有很大的發展。

塑料工業對國民經濟，及國防建設的重要性，及將來發展遠景，和進一步來提高產品質量上提出了一系列的問題。如改進原材料，和設備的使用，減少廢品，提高勞動生產率等等。要解決這些問題，一方面需要許多技術幹部，另一方面，要有一系列健全的工藝。因為工藝的先進與落后，直接影響產品的質量與成本的高低。在健全的工藝中，對原材料及半制品的鑑定，也是保證產品質量的重要環節。

今後將詳細討論原材料，和半制品的鑑定，以及各工藝操作等問題。

第二章 原材料分析和選擇

任何一个机器电器或物件，其質量的好坏与寿命的長短，首先决定于制造这个机器电器或物件的主要原材料本身質地的优劣。其次要看加工的工藝好坏。層压絕緣材料当然不能例外。因此我們要使層压絕緣材料的質量达到一定标准时，首先对其所用的主要原材料加以詳細的分析与選擇，然后再研究討論其工藝过程。这样对所制造的層压絕緣材料的質量才有保証。

我們知道屬於層压絕緣材料的有層压紙板，布板，捲压紙管，布管，紙筒及模压紙管，布管，紙棍，布棍等等。这些板，管，筒，棍等，都是用紙或布等为基層，在这些基層上塗以有机合成樹脂作为膠合剂，然后經各种成型机制成各种形狀的制品。要使这些制品的質量达到要求，第一就要从它所用的紙，布与合成樹脂的質量加以選擇和分析。現將这些主要原材料的質量标准及其鑒定方法分別述之如下：

1. 紙——紙張的制成，主要是由纖維物質組織成的網狀物相互絞合叉錯而成。至于所用不同的纖維素和纖維密緻或松懈等，是決定紙張本身質量的条件，但是造紙所用的纖維素种类很多如棉花，蔴，稻草，破布，竹纖維，木纖維等等。由于纖維的不同和造紙方法的不同，所產生的紙張也就各不相同，其用途也不一样。造紙不屬本書范围之內，故不一一的詳細介紹，現僅就適用於層压絕緣材料方面所用的紙及其要求略述如下：

製造層壓絕緣材料所用的紙以木質纖維素制成的紙最為優良，其次以棉纖維紙及棉纖維與亞硫酸纖維的混合纖維而制成的紙。在製造木質纖維素中，又分為機械方法，與化學方法二種。以機械研磨木質而產生的纖維含雜質多，纖維短而不完整，且含有原木中的木基質（木素）。其性質脆弱不耐久。因此不適用做層壓材料的基層材料。

以化學方法制成的木質纖維，因其所用的化學品的不同，又分為亞硫酸纖維，鹼纖維（即蘇打紙漿）及硫酸纖維三種。其處理方法大致如下：

亞硫酸鹽法——以薄屑狀木質，在高溫（ $145 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ）高壓（5 公斤/厘米²）下，與酸性亞硫酸鈣強烈的蒸煮，而蒸汽是直接作用於紙漿中，在一定時間（12~18 小時）以後，放出含有木質的黑液，然後用水洗滌紙漿而得亞硫酸鹽纖維的紙漿。這種紙漿制出的紙是清潔易於漂白且有高的強度，同時有優良的耐久性。市上俗稱好的“牛皮”紙即這種紙。

鹼纖維（即蘇打法）——以木屑在壓力下與苛性鈉（ NaOH ）共蒸解，其節頭與腐朽部分，並不需要除去，因為這一方法是強烈地能夠解離這種雜質的，這種處理的纖維是長，強與松大，但不象亞硫酸鹽纖維易於漂白，從這種紙漿做成的紙是柔軟而吸濕，但因制漿產量低，及苛性鈉價格貴，而且用來做層壓材料的基底比亞硫酸纖維要脆弱。

硫酸鹽或硫酸鈉法——是從蘇打法變化出來的一種，即在收回蘇打時焙燒爐中的蘇打灰（無水碳酸鈉）不轉化為苛性鈉，而加入硫酸鈉形成包括苛性鈉硫酸鈉與硫化鈉的混合液體。此種液體適應於所有各品種的制漿用木，包括含有大量樹脂質者，

松或其他松柏科木材,是用于制造以强度为首的硫酸鹽或亞硫酸鹽紙張時用,同時必須保留一定比例的木質素。

一般制造电工材料及高压絕緣的層壓材料,都采用硫酸鹽纖維的紙,因其与亞硫酸纖維相比則它酸价低 pH 值高,耐热性亦較高(虽加热到 120°C 时强度損失小)。同时机械性能强,若制造价廉結構用陶材料,則以木漿紙为宜。制造裝飾用的紙板以亞硫酸纖維,与棉纖維素的混合纖維的紙为佳。但在制層壓

表 2-1 層壓板用紙

項 目	硫酸纖維 索 的 紙	55%棉纖維 与45%硫酸 纖維 的 紙	亞硫酸纖 維 索 的 紙
厚 度 <i>MM</i>	0.12	0.1	0.18
每平方公尺的重量 <i>G</i>	65±5	60	90
含 湿 量 不 大 于 %	7	6	6
灰 分 %	0.8	0.5	0.5
用水抽取法的 pH 值	7.0~8.5	7	7
吸 水 高 度 <i>MM</i>	24~40	20	40
抗拉强度不小于 <i>KP</i>	6	3	3
介电質不小于 <i>KB/mm</i>	5	6	4.5

表 2-2 捲壓管用紙

項 目	硫酸纖維捲繞用絕緣紙			不浸油的紙
厚 度 <i>MM</i>	0.1	0.07	0.05	0.07
每平方公尺重量 <i>G</i>	84	52.5	38	70
含 湿 度 %	8	7	7	6
灰 分 %	1.0	13	13	0.5
用水抽取法的 pH 值	7.0~8.5	7.0~8.5	7.0~8.5	—
吸 水 高 度 <i>MM</i>	4~7	4~10	4~10	0.2
抗拉强度不小于 <i>KP</i>	16	4.5	3.2	9
介电質不小于 <i>KB/mm</i>	10	8	8	16

絕緣材料方面,大体上分板及管
二大類。其對紙的質量,按蘇聯
(ГОСТ) 標準如上:

總的說紙的酸價愈低,其介電
性愈高,耐熱性亦愈好。紙的密度
越大,它的介電強度亦越高,密度增
加時,介電強度也增加。如圖 2-1
所示。因密度大則紙的孔隙就少,
其電場強度就大,至於紙的厚度與
電場強度,是反比例。如圖 2-2 所
示。

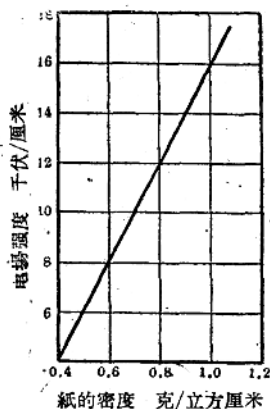


圖 2-1
紙的密度與電場強度關係圖

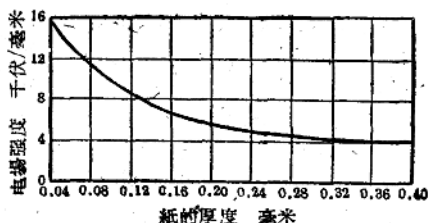


圖 2-2 紙厚與電場強度的關係圖

但紙的濕度與它介質損失關係是紙愈干,介質損失就愈小,
可是要真正烘干,必須在真空條件下加熱,才能得到最低的損失
角數值,在大氣壓力下同樣加熱,就不能得到特別小的 $\text{tg } \delta$ 值。
但在長期烘干下,亦能得到低的 $\text{tg } \delta$ 如圖 2-3 所示。不過任何
紙張,經過一系列測定後,如不經過實際的制成層壓材料試驗,
就能說明這種紙張,能否制成優良的產品是不可能的。可是
不等於說,紙張不要進行試驗測定工作,因為紙張在未用前經過了

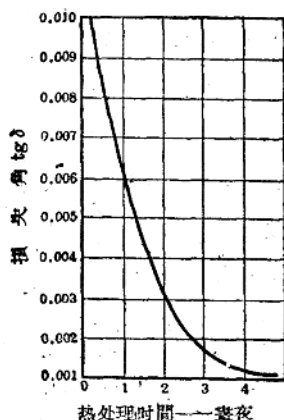


圖 2-3

烘紙時間與損失角關係圖

一系列測定后,对施工工藝上是有一定幫助的。一般紙張須做下列各項測定工作: (1) 厚度, (2) 密度, (3) 含湿度, (4) 灰分, (5) pH 值, (6) 吸水高度, (7) 抗拉强度, (8) 介質强度, (9) 紙纖維方向的判別。現將測定方法述之如下:

1. 厚度測定——用准确度 0.005 毫米, 尺柱直径不小于 5 毫米之螺絲千分尺, 按紙寬的对角直綫上量度至少六点。

2. 密度測定——在整筒或整令紙上, 取用 10×10 厘米小紙張, 在試驗室天平上秤量其重量。用每平方米若干克表示之。或者用每令重量作为基礎表示之, 后者因精确度关系很少应用, 并用下列公式計算。

$$\text{密度} = \frac{\text{厚度}}{\text{每平方米的重量}}$$

这三个数字給予紙張均匀性以很好的指示, 并为紙張塗膠的正确性起一定的作用。

3. 含湿度測定——在整筒或整令紙上, 取用 10×10 厘米的小紙張, 在試驗室用准确度 0.0001 克之分析天平上称量其重量。然后放在 105°C 恒温箱內, 烘到恒重为止。再在原天平上称量其重量, 并按下列公式計算

$$\text{含湿度}\% = \frac{\text{小紙未烘前的重量} - \text{烘后的重量}}{\text{未烘前的重量}}$$

这个測定, 对紙浸漬樹脂的均匀, 与电的性能起很大作用。如果

含湿度超出規定時，在浸漬時必須加以干燥處理。

4. 灰分測定——取紙樣約十克重放在 25 c. c. 之瓷坩堝內，此坩堝事先應用稀鹽酸洗淨再以蒸餾水沖洗後，然後以高溫（800°C 左右）烘干，稍冷後放入干燥器中約 30 分鐘，冷至室溫然後再用精確度 0.0001 克之分析天平上稱其重量。這樣反復烘干幾次後，直到前後二次重量差不大於 0.0004 克為止。將稱好之 10 克紙樣，放在此坩堝內，並加上蓋子，放在高溫爐中燒至 600°C，一直燒到只剩灰分為止。如燒過後的灰分，仍含有黑的炭質混合物時，可滴下數滴 10% 的硝酸鉍，並使其內部水分蒸發再放入高溫爐中再燒一次，如此連續進行直到黑炭狀物完全消滅為止。取出坩堝放入干燥器中冷卻 30 分鐘，再取出稱其重量，然後再燒 30 分鐘，取出冷卻並再稱重量，如此反復進行數次，直到最後二次所稱的重量不差 0.0004 克為止。然後按下列公式計算出灰分。

$$\begin{aligned}\text{灰分} &= \frac{\text{帶灰的坩堝重} - \text{坩堝本身重}}{\text{坩堝及樣品重} - \text{坩堝本身重}} \times 100 \\ &= \frac{\text{帶灰坩堝重} - \text{坩堝本身重}}{\text{樣品重量}} \times 100\end{aligned}$$

5. pH 值測定——取紙樣 100×100 公厘三塊，用剪刀分別剪成細小的碎片，放在三個洗淨的燒杯中注入 100~200 c. c. pH=7 的蒸餾水中浸濕 24 小時後，再放在爐中煮沸三小時。煮時應經常用玻璃棒攪拌，使其均勻，然後取下待冷卻至室溫，分別傾出杯中之液體，用電動的酸度 (pH) 計，分別來測定其 pH 值。在測定第一只時，可能讀數不很穩定，但必須待其穩定以後才可換測第二、三只。

6. 吸水高度測定——裁取 25×125 毫米紙樣 5 條懸掛在

一个架上,紙条的下端应在同一平面上,就是說紙条下端应一律齐整,在架下置一玻璃皿,內裝三毫米高的蒸餾水,然后將架上紙同时浸在下面玻璃皿的水中,当紙条一浸入水中的同时撤动秒表,到五分鐘后,立即將架提高,离开水面,然后用精密的尺量其自三毫米以上所吸水的高度,即为吸水高度。

7. 抗拉强度測定——按ГОСТ 1782-42 取紙样縱橫各五条,然后夾在專試紙張强度的拉力机上試其抗拉强度。但須注意的即所取的紙样必須完全平整無損,也不可以有折痕破洞等。否則得不到准的数据。

8. 介質强度測定——按苏联國家标准电工材料第二册,ГОСТ 1410-42 固定介电体电气强度測定法進行,用周 50 波交流电進行試驗,电極直徑为 50 毫米,弧徑約 2.5 毫米,电極在紙上的压力,应为 2 公斤。試驗紙張長度,应不少于 0.5 公尺,在 10 个点上進行試驗。(电極如圖 2-4)。

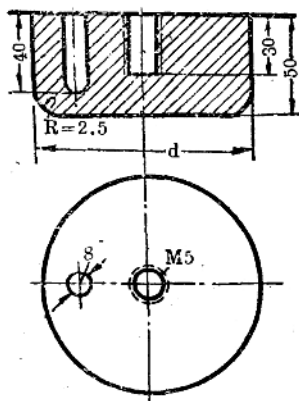


圖 2-4 試紙用电極

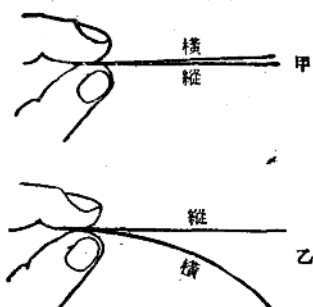


圖 2-5 試紙纖維方向

9. 紙纖維方向的判別——決定紙的纖維方向是割取两条