

几种电工材料的 制造与应用

第一机械工业部电器科学研究所編



机械工业出版社

出版者的話

在全民办电和电气设备生产飞跃發展的情况下，迫切地需要供应大量的电工材料，和推广应用性能优越的新型材料以提高产品的性能。为此收集了几种常用的电工材料的土法制造經驗，以及目前在大力宣傳推广的几种較主要的新型材料的应用、制造及研究試驗情况。由于時間短促，收集的材料还很零星而不全面；为了早日提供大家参考，故先付印。

本書对电机、电器制造工厂和电工材料的制造研究部門，以及广大的生产电工产品的企业都有参考价值。

編者：第一机械工业部电器科学研究院

NO. 2728

1959年2月第一版 1959年2月第一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 字數90千字 印張4¹/₁₆ 0,001—6,100册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业营业
許可証出字第008号

統一書号 15033·1621

定 价 (10) 0.56 元

几 种 电 工 材 料 的 制 造 与 应 用

第一机械工业部电器科学研究所编

机械工业出版社

1959

目 录

浸漬用水乳絕緣漆的生产及应用	3
滌綸薄膜制造工艺介紹	7
維尼弗列克斯高强度漆及其漆包綫	17 ^a
在中小型电动机中采用有机硅絕緣材料	23
用有机硅絕緣材料試制大型电机轉子綫圈	29
有机硅玻璃絲包綫的試制	39
环氧树脂用作胶粘材料与澆鑄材料	52
环氧玻璃布層压品的研究	62
用环氧树脂澆鑄电流互感器	68
用环氧树脂胶接电瓷	72
用环氧树脂胶接金屬材料的試驗	82
不飽和聚酯热彈性胶	86
粉云母絕緣材料	90
玻璃鋼板的試制介紹	103
* * *	
土法制造粉云母紙	105
土法制造环氧树脂的原料——二酚基丙烷和环氧氯丙烷	108
用臥式脂布机生产黃脂布綢	113
介紹一种用鉄片制造硅鋼片的土办法	118
电器用触头合金的性能及其应用介紹	120
新康銅	131
試用植物油(大豆油)代替变压器油的經驗	133

浸漬用水乳絕緣漆的生产及应用

在电机制造过程中，繞組的絕緣处理是一項很重要的工作。繞組經過浸漬，干燥后，提高了耐压强度、机械强度、耐热性、耐潮性以及防护作用。目前国内工厂所用的浸漬漆有清漆和瀝青漆两种，使用这些漆耗費大量的有机溶剂，如苯、甲苯、汽油……等，并有毒性，影响操作者的健康。近年来，苏联正大量的采用以水为稀释剂的水乳絕緣漆，它无毒性，改进劳动条件；节省有机溶剂，降低成本；不爆炸和燃燒，不需防爆設備，故可运用傳送带的浸漬設備以提高生产率；避免了有机溶剂对漆包綫的影响；浸漬干燥后繞組表面硬化程度比浸瀝青漆硬，这对电机轉动部分很重要。

我院已試制出水乳絕緣漆，并在国内几个絕緣材料厂和电机厂进行扩大生产和应用，結果很好。制造水乳漆的主要材料如桐油、松香、甘油……等都是国内最易获得的，制造又很方便，設備也簡單，使用时不需要改原有的浸漆設備。因此，水乳漆在我国普遍的制造和应用是有条件的。

水乳絕緣漆的生产过程，首先是熬煮水乳漆的漆基，然后制造水乳漆。

漆基的熬煮：将桐油、甘油、亞油酸鉛按配方比例放于熬煮鍋中，用普通的煤爐加热，在 210°C 下进行酯化反应。反应结束后，加松香，在 230°C 左右进行聚合反应。聚合反应終点用粘度控制。然后停止加热，在 230°C 左右加入干燥剂松酯酸錳、松酯酸鉛，攪拌至透明均匀，冷却即可。整个过程一百斤的批量为时三个小时左右。

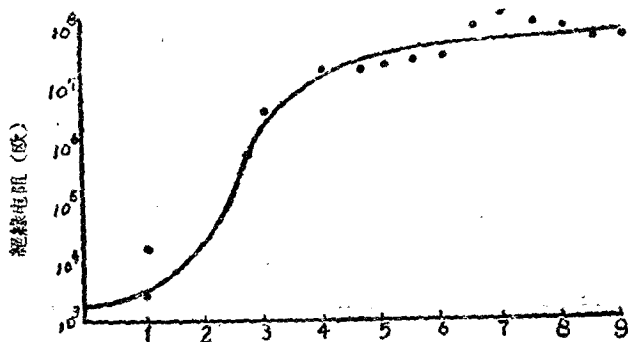
水乳漆漆基熬煮后，按配方比例制造濃度 60% 的水乳漆。当漆基冷却至 90°C 左右，加入乳化剂平平加，将所需的水和氨水置放攪拌器中。攪拌器 50 公升的容量，須用 7.5 瓩电动机带动，攪拌速度 1200~1500 轉/分。在攪拌下将漆基倒入，攪拌 2~3 分鐘即可。制出的水乳漆为白色、均匀的乳濁液。

这样制出的水乳漆，試制結果完全符合技术条件要求，并进行了电机应用試驗。

用水乳漆浸漬 AO31-4 型电机定子一百多台。定子不需預烘，浸漬固体含量为 40~42% 的水乳漆二次，第一次浸漬時間为 15~20 分鐘，在室溫下，滴漆約 30 分鐘，然后用沾有乳化剂平平加水溶液或汽油的抹布擦掉余漆，第一次烘干溫度为 $120 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，烘 8 小时。冷却至 $40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 进行第二次浸漬，浸漬時間为 5 分鐘，滴干擦淨后，置于 $120 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘十小时。

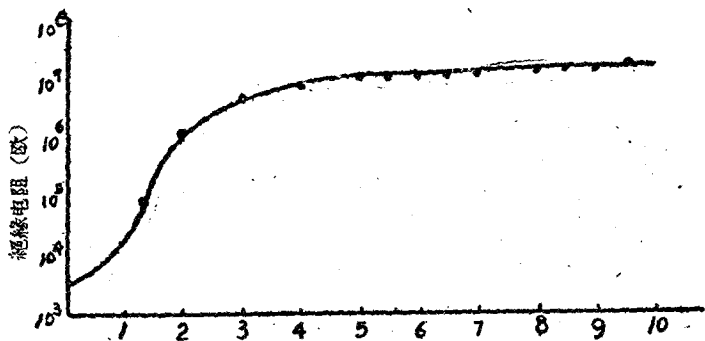
浸漬試驗結果：繞組漆膜厚度均匀，有光澤，棉紗層粘結牢固，完全浸透。根据烘干过程中用絕緣电阻变化情况判断，第一次浸漬后，在 $120 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘焙八小时，第二次十小时，已足够干燥（見圖 1、2），浸漬干燥時間比用 5012 瀝青漆浸漬可縮短七小时。电机試驗結果，完全符合技术条件規定。

用水乳漆浸漬 J4L-22 型感应电动机定子試驗。定子不需預烘，第一、二次浸漬漆，固体含量为 40~45%，第一次浸漬時間为 20 分鐘，滴干和擦去余漆后，放在 $120 \sim 125^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中，烘八小时，冷却至 $40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，进行第二次浸漬，浸漬時間为 10 分鐘，烘干溫度 $120 \sim 125^{\circ}\text{C}$ ，烘焙九小时（圖 3）。



干燥时间 (小时)

圖1 AO31-4型电机定子第一次浸水乳漆后絕緣电阻与干燥时间的关系。



干燥时间 (小时)

圖2 AO31-4型电机定子第二次浸水乳漆后絕緣电阻与干燥时间的关系。

二次浸漬、干燥，包括輔助时间在內，用瀝青漆为28小时，用水乳漆22小时，縮短6小时。

1101型汽車發电机用5091多元酯树脂漆浸漬，它需要較

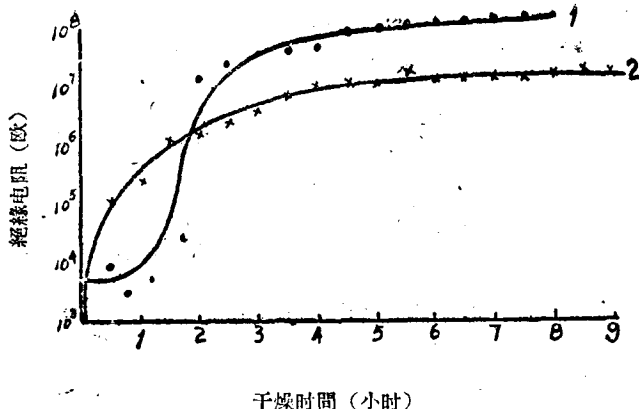


圖3 J4L-22型电动机定子浸水乳漆后絕緣电阻与干燥时间的关系:

1—第一次浸渍干燥; 2—第二次浸渍干燥。

好的耐油性能，我們也用水乳漆浸了一百多台。轉子不需預烘，水乳漆的固体含量为55~60%，浸漆時間为20分鐘，烘干溫度120~125°C，時間6~8小时。整个工艺時間浸5091漆需14小时，而浸水乳漆則要10小时。

浸漆試驗結果：繞組漆膜光亮，坚硬，導綫胶結牢固，完全浸透，水乳漆操作簡便，可縮短生产時間約1/5~1/4，电机性能試驗包括絕緣电阻、耐压强度、超速、溫升等，均符合技术条件規定。

根据水乳漆扩大生产和应用經驗，得出以下几点結論：

1. 制造水乳漆时，在乳化过程中攪拌速度必須在1200~1500轉/分，若低于1000轉/分，則容易分層，以致不能应用。
2. 乳化时，乳液溫度保持在40~50°C，溫度太高，氨水容易揮發，而影响水乳漆的稳定性。

3. 水乳漆的保存和使用必須在 0°C 以上，否則水結冰，乳濁液被破壞。

4. 水乳漆的性能不比瀝青漆差，而价格便宜20%，用來浸漬電機，生產周期可縮短6~7小時。

5. 用水乳漆浸漬電機綫圈，完全能浸透，干燥好，漆膜堅硬，耐油性好。

6. 浸漬電機轉子和定子綫圈必須浸漬，不應澆漆。

7. 浸漬干燥溫度必須在 $120\sim 125^{\circ}\text{C}$ 。

水乳漆應用在電機上，我們做過試驗，結果很好。用在變壓器方面，上海大達電機廠已經初步應用於50仟伏安的變壓器繞卷，結果很滿意，使工藝簡單化，節省工序，今後可繼續在這方面推廣應用。

(北京電器科學研究院王良昭、白彬)

滌綸薄膜制造工艺介紹

滌綸薄膜是近年來正在發展中的一種新型絕緣材料，它的原料是飽和的聚酯樹脂，正式生產並使用的是其中的聚對苯二甲酸乙二醇酯，一般都稱為滌綸樹脂。蘇聯制成的這種薄膜稱為「拉夫桑」，美國則以「瑪愛拉」為名。

我們的研究試制工作正在有關單位協作下進行中，因此還很少經驗可談，這裡只就所知作一簡單介紹。

一、滌綸薄膜的性能和用途

據資料記載，薄膜的性能如下：

項 目	滌 綸	瑪 愛 拉
(1) 熔点	265°C	250~255°C
(2) 比重	1.39	1.38~1.39
(3) 抗拉强度	1760公斤/公分 ²	1200~1760公斤 /公分 ²
(4) 拉断时的伸長率	50%	70~130%
(5) 介質强度(25°C, 60周)	17.7仟伏/公厘	17.7仟伏/公厘
(6) 介电常数(25°C, 60周)	3.1~3.2	3.16
(25°C, 10 ⁶ 周)	3.0~3.1	2.98
(7) 介質損失角正切 (25°C, 60周)	0.002(正弦值)	0.0021
(25°C, 10 ⁶ 周)	0.013~0.015 (正弦值)	0.016 (150°C)
(8) 吸水性	0.5%(長期浸水)	0.3%(25°C时浸水 7晝夜)
(10) 透水汽性	30克/公尺 ² /天 (38°C, 90%相对湿度)	38克/公尺 ² /天(39.5 °C, 厚度0.0254公 厘)
(11) 容积电阻系数, 欧·厘米	1.10 ¹⁹ (25°C) 1.10 ¹³ (150°C)	
(12) 表面电阻系数, 欧	1.10 ¹³ (相对湿度100%)	

滌綸薄膜的可用溫度範圍可自-50至+150°C, 耐化学性能極強, 按其耐热性可屬B級, 但因为与紙等有机材料同用, 故国际电工技术委员会(IEC)規定为E級絕緣, 如果补强材料用矿物質基造型, 則可屬B級。滌綸薄膜可作为电机的槽絕緣、相間絕緣和成型綫圈包扎用絕緣帶, 在变压器中則用于匝間絕緣。在电机电器中使用后, 可减小絕緣体积和提高工作溫度。滌綸薄膜又应用于电容器制造上, 代替浸漬紙作电介質, 可减小尺寸, 并耐較高之电压。

二、树脂的制造工艺

1 生产过程 該聚合体是由对苯二甲酸二甲酯与乙二醇先进行酯交换，然后縮聚合而成，其主要原料是对苯二甲酸、甲醇与乙二醇。欲降低該种聚酯塑料的成本，首先在于用适当的路线，制得便宜的对苯二甲酸。起初我們把試制对苯二甲酸的各种路线經過試制，加以比較。制造对苯二甲酸有許多方法，一般有下列几种：

(1) 把混合二甲苯分离出对位二甲苯后氧化而得。

(2) 从松节油或不旋性檸檬油精等制成对位异丙基甲苯，然后再氧化之。

(3) 从邻苯二甲酸酐轉位而得。

通过試驗，得出了以下結論：

第一法分离对位二甲苯时設備比較复杂；第二法生产率很低；获得量不高，質量也不好；还是第三方法步骤簡單，設備不复杂，所制得的对苯二甲酸也較純粹，同时它的原料邻苯二甲酸酐是从萘氧化而来，有大量資源可利用，成本也最便宜，因此采取了这条路线，为了加快速度，由造化公司試驗室搞轉位試驗，供給我們作为原料。他們的試制方法，是把邻苯二甲酸酐先制成鉀盐，再加5%左右的氧化鋇作触媒，在二氧化碳气流中加热至 $360\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，作用6~10小时而成，轉化率可达60%以上。轉化以后加酸沉淀出来，再用沸水分离掉其中的未轉位的邻苯二甲酸而成。

我們得到了对苯二甲酸后，第一步先用6至8倍的甲醇，以硫酸作触媒，迴流加热8~10小时，酯化成对苯二甲酸二甲酯，不过制高分子化合物的原料，其純度要求很高，顏色

也要求非常潔白，所以上述酯化成的二甲酯需再經過真空蒸餾及再結晶二個步驟提純之。其他單位供應的乙二醇，也經過脫水與蒸餾等提純手續。

縮聚合方法是把對苯二甲酸二甲酯與乙二醇以10:8的比例配合，再加0.3%醋酸鋅和0.6%氧化錫作觸媒，先加熱至195°C進行酯交換；然後在2公厘水銀柱以下的真空下進行縮聚合而成。

2 生產中的關鍵問題 主要在於聚合鍋不能漏氣，一般認為抽真空的鍋子抽足也不過一個大氣壓，與幾百大氣壓，幾千大氣壓的高壓釜相比，好像要求很低，事實上如有些微漏氣的地方，就難達到2公厘水銀柱以下的真空度，也就不能把對苯二甲酸乙二醇聚酯的縮聚合，達到所需要的聚合度。反應鍋的加熱方式（最後要加熱到270~280°C左右）與放料時的方便與否，也是一個關鍵問題，而且聚合體在熔融狀態時接觸空氣，就要顏色變黃，分子量降低，影響成品質量，這些都是要注意的地方。

3 試制中的幾項技術革新

（1）原來提純對苯二甲酸二甲酯，是要用真空蒸餾，然後再結晶一次，可是在設計中這個過程發生很多問題。後來採用在惰性氣體下常壓蒸餾，結果質量完全符合要求，而且還簡化了工序和設備，節約了不少材料。

（2）聚合鍋的加熱方式，原來設計是用聯苯及聯苯醚混合物作載熱體加熱的，這樣就必須有另外一套加熱設備，而且聯苯及聯苯醚價格很貴。我們改用高沸點的礦物油直接電來加熱，效果很好，調節溫度也很敏捷與準確，而不需要另外的加熱設備了。

(3) 酯化鍋和聚合鍋原都要求用不銹鋼來製造，為了節約貴重材料，經我們試驗後，前者可用普通鐵鍋包鉛來解決，後者可以用許多材料（如銅板）來製造，而不會影響聚合體的質量。

三、薄膜加工工藝

1 加工方法的選擇 工業上製造塑料薄膜的方法主要有三種：

第一種為輾光法，塑料借三滾或四滾輾光機加熱輾壓成膜，聚氯乙烯薄膜就是用這個方法生產的。由於滌綸的熔點範圍很窄，通常僅有 10°C 左右，熔化後的粘度很小，只及聚乙烯熔化後粘度的五分之一，而稍冷就完全凝固，缺乏流動性，所以難以用輾光法加工。

第二種方法為流涎法，塑料溶解於溶劑，制成溶液，在無接頭轉帶或轉鼓上流涎並干燥成膜，然後取下，醋酸纖維薄膜是用這個方法生產的。但滌綸在各種溶劑中的溶解度差，不易配制成足夠濃度的溶液供流涎之用，所以這個方法也不够現實。

第三種方法為熔融擠壓法，原理與熔融紡絲法相似，唯不用紡絲頭而用細縫式的機頭模口。滌綸制膜的困難在於它的溫度敏感性和它熔化狀態的粘度小，因此溫度掌握是個非常重要的因素，一定粘度的樹脂要配以一定的加工溫度，否則或者模口堵死，或者流注如水，無法成膜。

2 加工工藝中的幾個重要問題的討論

(1) 連續法或間斷法：連續法是樹脂聚合好以後在熔

融状态下直接挤压，而間断法是先将聚合好的树脂冷却，制成碎片或小粒，然后加热熔化挤压。齿滌綸树脂在高温时受空气作用極易分解，高分子就断鏈而破坏，树脂的色澤变黃，轉深，性能亦随之降低。用連續法制造薄膜，可减少分解的机会，所以比較合理。但連續法生产要求有較高的生产控制条件，否則后一工序的失常将直接影响前一工序，反之亦然。控制不好，势必造成生产上的混乱。所以間断法的优点就在于比較容易控制和管理。采用連續法时，树脂的粘度可以稍低，即平均分子量可以比較小一点；如采用間断法，則粘度要求較高，因为在再熔化的过程中，或多或少有受热或受氧作用而引起分子量减小的情况，所以原料的粘度希望大一些，以消除这个影响。

(2) 薄膜性能的改善：用熔融挤压法制成的薄膜，强度很差，其他性能也不好，改善的方法就是沿二个方向进行拉伸。沒有拉伸过的薄膜，我們称之为原始薄膜，是无定形結構的。在稍予加热或長期儲放后，它会漸漸結晶化。在这种結晶状态中，分子的排列是混乱的，不在同一平面上的，所以就变成不透明并且發脆。拉伸的目的，是使分子按同一平面定向，然后再行結晶化，薄膜在結晶化的过程中密度漸漸增大，这样，强度就高了，性能也好了，同时透明度也好了，就成了可供实际使用的薄膜成品。

(3) 先縱拉还是先橫拉：对薄膜的性能来講，拉伸后薄膜沿二个方向的性能大致相同，所以先縱拉或先橫拉都可以。在实际生产中，如果先橫拉，則縱拉时所需拉伸滾筒的長度就要增加三倍，在設備上是不經濟的，同时操作上的困难也較多；但先橫拉也有有利之处，因橫向拉幅机的車速有

一定限度，否則車身將大大加長，而縱向拉伸設備的速度却較易加快，這樣，產量可以增加。我們在設計中準備採用先縱向拉伸後橫向拉伸的方式。在將原始薄膜進行拉伸的時候，也存在着可以採用連續法或間斷法的二種可能。連續法是將熔融擠壓成的薄膜在滾筒上稍冷後直接送去拉伸，間斷法則為先冷卻打卷，然後再加熱拉伸。後法在操作上的自動化程度雖稍差，但便於控制生產，有一定的優點。

(4) 拉伸的條件：拉伸的車速決定於橫拉的條件。據資料記載，拉伸速度要快，每分鐘至少要400%，一般在1000至1500%之間，最高的有2000至4000%，如果拉幅機拉伸部分的長度是6公尺的話，以每分鐘拉伸1000%計算，則車速將為每分鐘20公尺（拉幅機以拉伸三倍為標準）。拉伸的溫度應該根據三個因素來決定：（一）定向的效率，（二）拉伸所需的功，（三）薄膜結晶化的速率。按照杜邦公司的試驗結果，從25°C開始，定向程度逐漸增加，至60°C時最高，至80°C開始下降，直至110°C下降程度才漸漸減小。但根據另一試驗，薄膜在25°C、40°C或60°C拉伸時，出現第二屈伏點，張力先直線上升，突然下降25%，然後第二次激增，再突然降落，這樣，薄膜就不能均勻拉伸，並易破裂，所以第一次拉伸溫度（即縱向拉伸）以80~85°C為宜，此時定向效率仍高，而不會出現第二屈伏點。第二次拉伸的溫度則取決於要求拉伸所需的功應該是最小或很小，此時薄膜已經初步定向，強度已有增高，如不設法降低其拉伸功，勢必用力硬拉，以致發生破裂。60°C時，拉伸薄膜所需的功為80°C時的9倍，為90°C時的23倍，即80°C時為90°C時的26倍；所以第二次拉伸溫度要在90°C以上，一般在90至110°C左右。至於結晶化

的速率在 200°C 以下时是随温度的上升而增加的, 超过 200°C 后又复下降, 而拉伸定向也加速了结晶化的速率。第二次拉伸所以要選擇稍高于 90°C 的原因, 也是为了要增加一些结晶化的速率。二次拉伸完畢后, 薄膜还須在 200°C 进行“热定型”或称热处理, 需时約 $5\sim 10$ 秒。設計拉幅机内热定型部分長度时必须考虑这一点, 热定型的目的是使薄膜达到 $40\sim 42\%$ 的结晶化而定型。

(5) 拉伸倍数: 拉伸以 3 倍为妥, 超过 3 倍时容易使薄膜破裂, 小于 3 倍时, 例如 2 倍或 25 倍, 所得薄膜成品放在 175°C 做 250 小时热老化試驗后, 發現拉断时的伸長率, 分別跌落 83% 及 53% , 而拉伸 3 倍的只跌落 30% 。拉伸 3 倍的薄膜中分子的定向程度和各項性能也显然要高得多。

3 加工工艺流程介紹 工艺流程如圖1~3所示。

(1) 熔融挤压: 树脂碎粒或碎片經螺旋輸送器送入密閉的不銹鋼熔化鍋中, 熔化鍋有加热夾層, 用有机載热体循环加热。鍋内有攪拌器, 熔化是在惰性气体保护下在攪拌的情况下进行的, 溫度在 $260\sim 285^{\circ}\text{C}$ 或稍高。树脂全部熔化后, 循鍋底放料管經过滤器, 再經螺旋輸送泵再經过滤器, 然后进入計量泵。熔融树脂过滤时阻力很大, 故熔化鍋放料必須加压。計量泵将树脂粘液送至机头, 使从細縫模口中挤出成片。整个上述工作体系, 均須用有机載热体循环加热, 与树脂直接接触之部分須用不銹鋼制成。

机头模口中挤出之薄片, 在 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的滾筒上冷却, 然后卷取。滾筒表面速度可以調节, 一般为机头放片綫速度的 1.5 至 10 倍, 可得厚度較薄的薄膜。机头模口与冷却滾筒相当貼近, 距离可适当調整, 該处須处在惰性气体的保护之下。

(2) 拉伸及热定型: 原始薄膜送入預热塔, 預热塔用蒸汽管加热薄膜至 80°C , 然后进入縱向拉伸机。縱向拉伸机是三个滾筒組, 第一組共 5 个, 系慢速主动滾, 第二組共 9 个, 系被动滾筒, 第三組系快速主动滾筒。所有滾筒系不銹鋼制成或鍍鉻。薄膜的拉伸是由快速与慢速主动滾筒之間的速度差控制的, 拉伸的倍数为三倍。拉伸实际是在九个被动

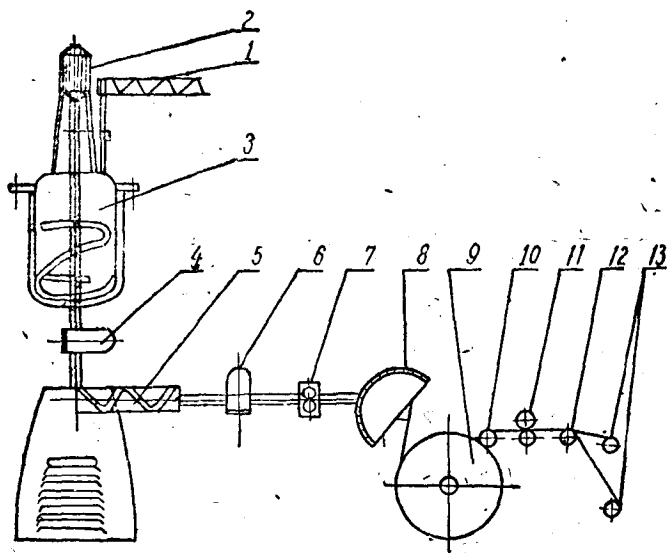


圖 1 熔解及成片設備

1—螺旋输送机; 2—电动机; 3—不銹鋼夾套加热熔化的鍋; 4—不銹鋼多孔性过滤器; 5—不銹鋼螺旋泵; 6—不銹鋼多孔性过滤器; 7—不銹鋼熔體計量泵; 8—成片机头(Hopper); 9—表面鍍硬鉻或不銹鋼冷却滾筒; 10—表面鍍硬鉻导向滾筒; 11—表面鍍硬鉻調整滾筒; 12—表面鍍硬鉻导向滾筒; 13—卷取滾筒。