

15.12.84/2

玻璃纖維淺說

程偉民編著

科技衛生出版社

內 容 提 要

玻璃纖維工业已經在国内形成一种新兴而又成熟的工业，但是对于一般人來說还是覺得比較陌生的东西。它是不同于合成纖維，甚至以坚硬的玻璃拉制成功的細絲，并具有合成纖維和天然纖維所不具备的各种优异性能，因此玻璃纖維用途非常广泛，形成了一种独特而又重要的工业。本书以国内玻璃纖維的种类、制造方法和应用范围簡要地介紹給讀者，以便通过本书能对这一門新兴工业获得一般的概念和理論。本书适宜于玻璃纖維爱好者与玻璃技术人員参考。

玻 璃 纤 維 淺 說

程 偉 民 編

科技卫生出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可証出093号

上海市印刷五厂印刷 新华書店上海发行所总經售

开本 787×1092 1/32 印張 1 1/16 字數 23,000

1958年11月第1版 1959年2月第1版第2次印刷

印數 3,001—10,500

統一書号: 15119·1060

0 13 元

目 录

前 言	1
1·1 玻璃纖維的历史概况和发展前途	1
1·2 玻璃纖維的特性	4
1. 外觀 2. 比重 3. 强度和扭曲 4. 玻璃纖維的耐热性	
5. 玻璃纖維的吸湿性 6. 玻璃纖維的耐电压性和耐化学侵蚀性	
7. 玻璃纖維的耐热性	
2·1 玻璃纖維的分类	8
1. 以玻璃原料组成的分类 2. 以纖維的直径来分类 3. 制	
造方法上的分类	
2·2 应用玻璃棒使用煤气加热拉丝法	10
2·3 应用玻璃棒使用电热丝坩埚拉丝法	11
2·4 利用高温玻璃液离子导电通电加热法	13
2·5 平板玻璃拉丝法	15
2·6 漏板法制造纖維	16
2·7 白金坩埚制造高级玻璃纖維	18
2·8 白陶土坩埚制造高级玻璃纖維	20
2·8 喷射法和离心机制造玻璃棉	23
2·10 制造玻璃纖維毡的机器	25
2·11 玻璃鑄的制造	28
3·1 結束語	32

前 言

玻璃纖維是世界上最近才发展起来的新工业，它的用途几乎超过了任何一类的人造纖維。在解放后的新中国已經充分地掌握了这一門工业的技术，并且已經有不少工厂开始生产了。新中国的玻璃纖維工业是从无到有的，也不是一下子就能制造很多和很高級的产品。1950年，斯美玻璃纖維工厂首先制成了玻璃纖維和它的少数复制品，当时纖維的直徑很粗，大約有25微米，所以用途有了一定的限制，只可以做些声和热的絕緣用品，如玻璃棉，玻璃絲，玻璃毯等，耐酸的蓄電池隔板亦为当时主要产品之一。

最近二、三年来党对这一門年輕的工业进行了大力的支持和鼓励，使玻璃纖維工业大大地跃进了一步，那就是开始制造高級玻璃纖維了。

高級玻璃纖維的直徑很細，它可以任意弯曲和紡織，因此用途也大大扩展了，如机电、航空、船舶、交通、冶炼、化工等重大工业建設都采用了高級玻璃纖維作为新的配件。玻璃纖維工厂和各研究机关先后試制成功了玻璃塑料（玻璃鋼），各向异性玻璃纖維材料，更成功地以玻璃纖維应用在建筑的混凝土里代替了鋼筋。

由于全国的大力支持以及由于目前各地区以蓬蓬勃勃的姿态大搞重工业和机电制造，玻璃纖維工业在今后的迅速发展是有必要和可能的。

为了及时地把玻璃纖維方面的知識介紹給广大讀者，編写的時間是很匆促的，对各种名称和制造方法仅能作一般性的簡介，錯誤的地方亦在所难免，誠懇地希望讀者給予批評和指正。

程偉民于上海

一九五八年九月

1.1 玻璃纖維的历史概况和发展前途

玻璃纖維是一个陌生的名字。我們若是把玻璃与纖維从表面上来認識或許会发生很多矛盾。大家在感覺上所熟悉的玻璃是很透明又是很脆的东西，在日常生活中差不多每天可以接触到玻璃制品，如牛奶瓶、玻璃窗等东西，都是坚硬的玻璃做成的。纖維的概念大凡是一絲絲的細絲，至少是毛茸茸能任意弯曲的如棉花、麻、蚕絲、人造絲，我們都可以叫做纖維。很多人問玻璃纖維是不是可以做衣服和袜子，竟还有很多人誤認為是“尼龙”等合成的有机纖維，这也不能錯怪有这等看法的人們。

的確，玻璃是非常脆弱和坚硬的东西，制造玻璃纖維並沒有添加什么使它柔軟的东西和藥品，仅仅以极快的速度把熔化的玻璃液抽拉成极細的絲，也可以說是一根很細直徑的玻璃棒而已。

当一种物質的形状变化了，跟随着它的某些性質也会变化。

我們可以打一个例子以一根五公分直徑的圓鉄棒，使勁也不能使它弯曲，当把这一根鉄棒拉成了很細的鉄絲呢？假如直徑5微米上下的鉄絲，那末，它准会漂浮在空气中。这样就能理解到所以玻璃纖維会柔軟如蚕絲的初步道理。

玻璃纖維虽然是一門近代工业，要制造高級的玻璃纖維并不是太容易的事，必須解决很多關鍵問題，但是世界上第一根玻璃纖維的出世，远在千年以前的事了。古代埃及人很早就会制造玻璃，古羅馬的教堂窗戶也都鑲着各种顏色玻璃，甚至金色玻

璃。在那时也就有了玻璃纖維。当玻璃工人用鉄棒沾取熔化的玻璃液，从熔窑里一絲一絲的带出来，挂在炉窑的坩堝口上，这不是玻璃纖維的祖先了嗎？据国外报导玻璃纖維是什么工厂首先发明，这都是不可靠的，它們不过是通过机器的操作，抽拉成細长的玻璃絲罢了。听前輩談起远在六七十年前祖国的山东省博山地方已經有了玻璃纖維，勤勞的祖先們把玻璃絲复在美丽的鏡框表面作为裝飾品，不过那时只做了专为有閒階級悬挂的插屏等类的东西，因为直徑很粗，更不能弯曲成茶杯那样的圓周就折断了，所以用途也就不大。

凡是讀过化学的人或是善于注意平常周圍事物的人，在化学实验的时候，利用酒精灯来拉制玻璃管时就会发现連在中間的一段玻璃絲。玻璃依靠了热就会改变它的粘度，我們就利用了玻璃的这一特性来制造很多的玻璃制品。关于应用物質的粘度来进行制造和加工正是金属等东西所不具备的条件。

每一种新事物的产生总有一定的客观要求和启发，这是很自然的。因此首先在缺乏石棉的国家兴起了玻璃纖維的工业生产；它們应用机械的方法拉制玻璃纖維。当时的初期玻璃纖維工业也可以說是一种代用品的工业，产品也很粗硬，所以也不被人们注意。

在玻璃纖維的历史过程中，应用玻璃棒来拉制纖維的方法首先被采用和推广；因为这种方法很简单和方便，至今还有很多的工厂在进行这种方式的生产。

后来由于各种工业的发展，因此对玻璃纖維也是一个新的前途，把玻璃纖維作为一項独立的工业和特殊的材料那是完全可以理解的。繼續要求玻璃纖維能作成卷曲的，可以紡成紗的，可以織成布的，形形式式的東西都提到玻璃纖維工业上来了。

世界上从事于玻璃纖維的劳动者感觉到利用玻璃棒来拉絲是远远不能滿足需要，况且棒式生产玻璃纖維还有某些缺点，因此創造了使用坩堝存料的方法来进行生产，其中有使用电流来加热的，有使用燃煤和重油的，有的利用高压的蒸气来噴吹短纖維的，甚至还有做棉花糖机器相类同的离心机，形形色式的制造方法为玻璃纖維工业打下了一个初步的基础。

近年来在电机制造工业中都以縮小电机的体积来提高性能，玻璃纖維能耐热又不导电，所以被电机工业首先采用作为綫圈包复的高級絕緣材料。苏联很重視玻璃纖維的研究工作，他們成立了玻璃纖維研究院，专门对玻璃纖維及其制品进行了大量的研究工作，到目前为止，苏联已經掌握了生产玻璃纖維的最高技术。

我国的玻璃纖維工业虽然还很年輕，但是時間并不短。1950年即有了正式的工业生产玻璃纖維了。那时所用的方法是棒式法，利用玻璃棒可以生产20微米的玻璃絲，玻璃棉，1952年后制成了玻璃纖維毡，不过产量是不能令人滿意的。自动联合制毡机的成功給玻璃纖維复制品打开了捷徑，产量由一天几公斤增加到六十公斤（每一只机器200个吐絲孔），以玻璃毡为基材制成的产品很多，如隔音板、抗热板、保温架、蓄電池隔板、过滤毡等东西。

由于党对玻璃纖維工业的重視和支持，近年来已經摆脱了只能生产粗的玻璃纖維了。到目前为止，有很多大型的和小型的玻璃纖維工厂，利用不同类型的设备进行高級玻璃纖維的生产。应用的方法大部分是坩堝法，所用的坩堝种类很多，其中有白金的、有陶土的，有瓷坩堝与白金合用的，也有其他金属的，真是各式各样，各現千秋。在党的领导下祖国的玻璃纖維工业可

以說是欣欣向榮了。

玻璃纖維具有不燃燒、不導電、耐高溫，不受化學品侵蝕，單位體積很輕，因此用途非常廣泛。除了電機、航空、化工、交通運輸等項目外，最近在國內已經試制成功了玻璃纖維的塑料船殼、汽車殼，甚至還很成功地應用在建築的混凝土里作為玻璃纖維配筋。象這樣廣泛應用的新型材料，祖國完全有條件來擴展和推廣，況且玻璃原料是不會缺乏的。

親愛的讀者們，今天的玻璃纖維製造方法還沒有完善，用途的面還不夠廣，如何創造更先進的辦法來製造玻璃纖維，是我們的一項重要任務。

1.2 玻璃纖維的特性

玻璃已經拉成了纖維以後，某些性能已經有所改變，如抗拉強度，扭曲等。總的說來，玻璃纖維的性能還未脫離玻璃原料本身的性質和化學組成。各種用途的玻璃纖維對質料的性能要求也不一樣，如應用在電氣上的玻璃纖維希望要對電絕緣性強的玻璃質料。使用在耐酸方面的玻璃纖維則要求對酸液的穩定性特別高。建築方面和玻璃鋼的纖維則對抗拉強度特別注意。

在纖維的玻璃化學組成以外，玻璃纖維的直徑粗細對纖維的抗拉強度很有關係。在製造時候的溫度也會影響玻璃纖維的性能。

現在把玻璃纖維主要的性質分述于下：

(一) 外觀

玻璃纖維的外觀顯然是與各類天然和人造纖維不同的，首先它是光滑的圓柱體，剖面亦呈圓形而不象棉毛或人造纖維的

各种类型。使用噴吹法制成的短纖維則呈現了一端大漸漸地細至尾部，象一条細长的蛇形，在头部还連結一滴小玻璃珠。

(二)比重

玻璃纖維的比重亦較天然纖維为大，如下表：

纖維名称	比 重	纖維名称	比 重
人 造 絲	1.5~1.6	棉 花	1.5~1.6
尼 龙	1.14	蚕 絲	1.3~1.45
玻 璃 纖 維	2.5~2.7	苧 麻	1.52

(三)强度和扭曲

玻璃纖維的特性首先表现在脆性和不能作过分小圓週的打結。减小纖維的直徑能解决这一問題。

玻璃纖維是最富有彈性的物質，它經過外来的力作用以后，能迅速地恢复原状。它的极限拉力也就是破裂的强度。对伸长性来说是微小得可怜的，只有百分之0.2左右。捻成了綫的玻璃纖維，大都依靠了每公尺的撚数来維持一些紡織上所需要的必要拉力。

下面有一个例子直徑30微米的纖維，它的强度为每平方公厘是100公斤，假如以高級玻璃纖維直徑5~7微米来比較，則高級纖維的强度可达每平方公厘250公斤。纖維直徑再行拉細的話，則强度还可以增加。上等的玻璃纖維，其强度几可与銅铁相比，这并不是假話。

对于玻璃纖維的直徑与强度的关系，并不等于数学上的倍数之比，它很难应用淺显的公式去推算它。况且各种玻璃成分制成的纖維，又各具各的强度。

总之，玻璃纖維的直徑愈細，則强度愈高，相应地扭曲性亦好。这一个經驗感觉是不会改变，同时亦不会推翻的。

(四)玻璃纖維的耐热性

玻璃纖維雖說是從高溫中抽拉出來的東西，大家都認為一定能耐極高的溫度，有的同志擦一根火柴來作試驗，結果發現火柴熔化了玻璃纖維，就認為它不能耐高溫連一根小小的火柴都受不了，象這樣的觀念是不太正確的。

火柴的溫度最高點可以達到 900°C 的高溫。在這樣的高溫中玻璃是會熔化的。但是不會燃燒。玻璃纖維的耐熱是決定在組成玻璃的各種成分和熔點。

玻璃纖維在 300°C 的時候是穩定的，強度方面非但不會下降，而且還有增強的趨勢。其它有機纖維如棉麻毛絲或人造合成纖維在 300°C 時則已經老化，慢慢地分解了。在 300°C 以上時玻璃纖維情況就不是這樣，玻璃纖維的強度逐步下降。鈉玻璃纖維在 500°C 時，硼玻璃纖維在 620°C 時候即開始體積上的收縮，最後完全失去強度，接近熔融、纖維相互間熔合成一塊多氣孔的實體。這時候可以說完全破壞了玻璃纖維的外形和組織。

到目前為止，玻璃纖維在電機製造中被利用為高級絕緣材料也就是因為它的耐溫特性，比普通一般的纖維為高。

電機工業中對絕緣材料是依據下表來分等級的。

O. 級絕緣	最大耐熱度為 90°C
A. 級絕緣	最大耐熱度為 105°C
B. 級絕緣	最大耐熱度為 130°C
F. 級絕緣	最大耐熱度為 150°C
H. 級絕緣	最大耐熱度為 175°C

假如能獲得高溫的絕緣樹脂和玻璃纖維來共同使用，則玻璃纖維還可以在更高的溫度中使用。

有機硅和玻璃纖維認為是電機上高級的耐熱絕緣材料。

(五)玻璃纖維的吸湿性

通常講玻璃是不会吸湿的，在某种情况下水或則大气会溶失玻璃，不过作用极微而已，这类情况对日常使用的玻璃器皿都会发生，不过一般人不很注意罢了。

当1克玻璃拉成5微米直径的纖維时它的长度可以达到18~20公里，以这样长的纖維所占的表面积与1克实体玻璃块相比是足够惊人的。由于表面与空气或水气接触面大，以致潮湿空气的侵蚀远較实体玻璃块为快。在这种情况下各类玻璃均有一定的溶失量，含碱玻璃較无碱玻璃大。水分侵蚀了含碱玻璃后与玻璃中的鉀鈉起了作用成为能导电的电解质，同时降低了电的絕緣性能，所以在电机絕緣上必須采用无碱玻璃纖維就是这个道理。

在玻璃纖維的織造工艺中，我們曾发现在潮湿的时候無論无碱和含碱玻璃纖維都会降低抗拉强度，因此說玻璃纖維在潮湿气氛中是不利的。

(六)玻璃纖維的耐电压性和耐化学侵蚀性

玻璃纖維受大气中水分的侵蚀后能与玻璃組成中的一价金属氧化物起作用生成导电的表面。因此它的耐电压性可以說完全处决于組成玻璃的配方了。干燥的玻璃纖維是良好的絕緣体，某些場合玻璃纖維使用在裸銅綫上作为包复层，在外层还須浸漬絕緣清漆，在这种使用情况下对絕緣漆的影响就很重要了。銅綫上的玻璃纖維是呈紧密的排列状态，每根纖維的中間还存有空間，絕緣漆就构成了纖維之間和表面的涂料。

玻璃纖維的耐化学性也有它一定的程度，对大部分的溶剂是够稳定的，如石油类、醇类、二硫化碳等有机溶剂都不能溶解玻璃纖維。低濃度的酸类对纖維仅显出极緩慢的溶失。象这种

化学稳定性的纖維已經比有机天然纖維好得多了。

热磷酸和氢氟酸能够侵蚀玻璃纖維。

玻璃纖維对强碱的稳定性較酸类为差。为了专门抵抗化学侵蚀的玻璃纖維，必須具有独特的玻璃配方。

玻璃的組成中鉀鈉含量引入愈多，則作成纖維的电气性能和化学性能愈差。在低碱或无碱玻璃纖維中都引入硼作为主要配料之一。

(七)玻璃纖維的絕热性

玻璃是不良的导热体。在学术上面講它的导热系数很低。当做成了纖維以后，虽然在形状上有所改变，总的說来，仍旧具备了原来的特性。

使用在絕热的各种地方，纖維經過加工做成了很多形状来使用的，如毡状的块子或杂乱的棉絮状物质，其厚度自 5 公厘至 50 公厘，因玻璃纖維是完全具有彈性的东西，所以在复制品中因纖維相互交差和重疊的关系，其中形成了許多靜止空气层，絕热作用就利用了靜止的空气腔和纖維对热的不良傳导性来达到絕緣的目的。

同样的原理玻璃纖維毡对吸音亦有良好的效果，因此使用在吸音设备上，每年也有大量的数字。

2.1 玻璃纖維的分类

我們不管使用什么方法只要把玻璃拉成直徑 30 微米以下的細玻璃棒，都可以称为玻璃纖維。国内各玻璃纖維制造厂到目前为止，并没有作出一定的分类項目。出品的名称也很多，以下的各种分类方法仅結合个人的主觀安排了一些系統。

(1) 以玻璃原料組成的分類:

- A. 含鹼玻璃纖維——含鉀鈉氧化物 10% 以上的纖維。
- B. 低鹼玻璃纖維——含鉀鈉氧化物 2~6% 的纖維。
- C. 無鹼玻璃纖維——鉀鈉含量不超過 2% 的纖維。
- D. 特種玻璃纖維——含有特種成分的專門纖維，如耐高溫的石英纖維，抗射線的纖維，抗紅外線的纖維，導電玻璃纖維等。

(2) 以纖維的直徑來分類:

- A. 特粗纖維: 直徑在 30 微米以上的纖維，可以做成特殊的空氣過濾器。此種玻璃纖維，實質上很像玻璃棍，刺入皮膚中有極痛和發炎的危險。
- B. 初級纖維: 纖維直徑在 20 微米以上，如普通絕熱用的絕緣，隔音板等的基材。此種玻璃纖維，用手撫摸，有刺痛的感覺，而且扭曲性很差。
- C. 中級纖維: 纖維直徑自 10~20 微米之間的纖維，可以使用於玻璃鋼和代鋼筋混凝土的基材。
- D. 高級纖維: 直徑 5~8 微米，可以供給紡織工藝應用，扭曲性較好，觸及皮膚有發癢的感覺。
- E. 超細級纖維: 指直徑 3 微米以下的纖維，主要供給電工上用作絕緣紙類的基材。這種材料已有柔軟如蠶絲的感覺，因產量不大，故成本很高，用途不廣。

(3) 製造方法上的分類:

玻璃纖維	連續長纖維 (玻璃絲)	棒式拉絲法	煤氣加熱	★
			電熱絲加熱	★
		玻璃液電阻法	★	
		平板玻璃拉絲法	★	
		燃油漏板法	★	
		陶土坩堝法	★	
		白金坩堝法	★	
二次牽拉法	★			

短纖維 (玻璃羊毛)	}	噴吹法	★
		离心盘法	★
		白金坩堝噴吹法	

有★者为国内已在使用这种方法进行生产或已經掌握了这种生产的方法。

以上的各种分类方法，仅以制造法不同而分类。其它复制的方法很多，如双滚筒制毡法，各向异性材料的制造方法，玻璃鋼毡坯的制法，因不属于纖維的制造方法，所以不列入表內。

2.2 应用玻璃棒使用煤气加热拉絲法

使用玻璃棒来生产連續玻璃纖維的方法，認為是最老的拉絲方法；直到現在还有很多地方延用着这种方法来生产。設備简单和操作简单是該法的一个主要特点，缺点也很多，如产量不高，質量不稳定等。

根据实际工作中的經驗，只要不断地加以改进机械的设计。应用玻璃棒也可能制出直徑很細的高級纖維来。

以下二个方法都可以应用玻璃棒来生产纖維：(一)使用煤气来加热，(二)使用电热絲来加热的办法。

使用煤气熔融玻璃棒进行拉絲的办法开始在欧洲，远在 20

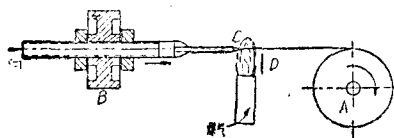


图1. 煤气熔融玻璃棒进行拉絲方法

年前的科学画报上曾介紹过一篇文字也就是以这样的办法作过报导。它的制造方法很简单如图1。

将直徑 5 公厘左右的实心玻璃棒，夹住在长罗絲的頂端，长罗絲由內罗紋的皮带盘 B 利用变速动力拖动，使玻璃棒慢慢向前移动，在 C 处有一煤气火

焰，以恒溫加热玻璃的尖端，在玻璃不断的推送下以人工将熔融的玻璃滴由 C 处迅速拉引，纏于旋轉的滾筒 A 上。为了在 C 处不使火焰燒断嫩絲，所以在 D 处还隔了一层隔板支持火焰的稳定。

2.3 应用玻璃棒使用电热絲坩堝拉絲法

这一种生产方法在国内已經很普遍了。它不需要复杂的煤气设备也不需用电流的附加设备，仅使用镍铬合金絲（电热絲）应用 220 伏电压的市电流来发热，玻璃棒以自身的重量而下墜。使用这种方法可以免去运送装置等复杂的机械部分。图 2 便是制造方法的示意。

从右图內可以看出吐絲坩堝的全貌，坩堝外层由耐火泥包复，在內层由电热絲纏繞而成。二旁露出連結綫由 28 或 32 只小坩堝串連的接头使用市流电来发热的。

温度的高低可以从坩堝的多少来調节，这样的小坩堝內最高温度可以达到 1200°C 的高温。

按照图 2 連接以后就可以通上电流，这样就形成一只只的

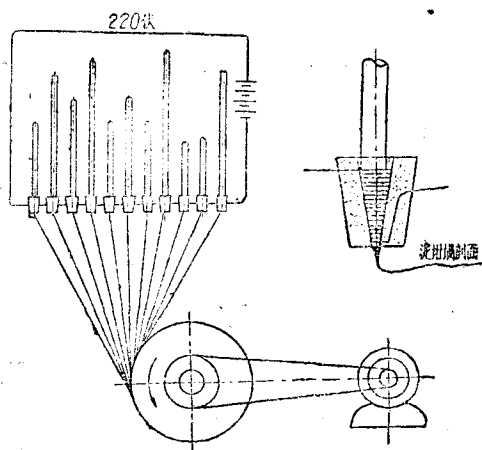


图 2. 电热絲坩堝熔融玻璃棒拉絲方法

小电炉。为了安全起见，按装坩埚的架子上，必须填上绝缘物和接上地线。

玻璃棒由人工添加，待熔融后，在坩埚的底部形成粘度很低的玻璃滴。使用同类原料制成的玻璃棒沾着玻璃滴浇于旋转的圆滚筒上，即成一束光亮银白的玻璃丝了。

一般工厂对滚筒的速度是很注意的，它能影响到产量的多少和质量的粗细。最适合的速度是每分钟 900 公尺。

为了在高速旋转的滚筒上容易“上丝”，以致使用了很多的方法来解决在滚筒的边上围上一圈猪鬃刷子认为是有效的办法，密植的猪鬃能很顺利的将纤维夹进滚筒内。

以玻璃棒法来拉丝给我们带来了好处，国内的玻璃纤维工业是由此起的。这种方法也给我们一定的启发和原理。

应用上述二种方法都可得到玻璃纤维，但是各有缺点。首先以玻璃棒行进的速度来看（在玻璃纤维工艺中制造棒式的办法，必须注意到玻璃棒的行进速度，好似纺织高级纤维时玻璃液面的高低一样重要）。

在煤气加热法应用了罗丝夹具的推进，因此可以控制单位时间内的速度保持不变。在电热坩埚法就不同了，它应用了玻璃棒本身的压力渐渐下坠。在绕丝滚筒不断的抽拉下，玻璃棒也不断下降，压力也随着下降，生产纤维的直径自粗变细。等一周开始添加玻璃棒时又从复增加压力……。象这种情形造成的结果很难获得均匀一致的纤维质量。除了这一个缺点外，还有相互坩埚之间的压力和加料也很不一致，事实上串连着几十只小坩埚也不可能同时加料。最后仅仅把玻璃棒拉成 15~25 微米的细玻璃棒而已。

采取电热坩埚的方法，在纺丝的温度上可以比煤气来得稳