



管式电热元件

朱 斌 編

科学技術出版社

內 容 提 要

本書對管式電熱元件作了全面地介紹，主要敘述了管式電熱元件的結構、製造管式電熱元件的材料及工藝過程、和其性能試驗計算、用途、經濟效果等問題，包括很多試制經驗及蘇聯技術資料，對在全國推廣這種具有很多優點的加熱元件，能起很大的作用。

本書可供製造與使用加熱元件的工廠技術人員及工人參考。

管 式 電 熱 元 件

編 者 朱 斌

*

科 學 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 079 號

中國科學院上海分院印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

開本 787×1092 號 1/32 · 印張 1 1/8 · 字數 23,000

1958 年 8 月第 1 版

1958 年 8 月第 1 次印刷 · 印數 1—3 000

統一書號：15119·773

定 價：(9) 0.16 元

管式电热元件是一种結構簡單、輕便、使用可靠、用途極為廣泛的电热元件。它的最大优点是：由于电阻綫是埋在堅密如石、導熱性很高的氧化物介質中，不与空气接觸，其單位負載功率可增大数十倍，寿命也相应提高。因此發热器所需高电阻合金电阻綫的用量，可以大为减少（約 95% 左右）。

早在第二次世界大战前夕，管式电热元件已在德、美、英、日等國出現，并立即得到廣泛应用。但它被作为商品銷到我國。还是在第二次世界大战以后，且大部分是屬於美國奇异电器公司出品。由于旧中國电力工業的落后，在各工業部門很少使用电热，因此尽管管式电热元件有着許多优点，它既沒有引起当时我國电器制造厂的注意，在实际应用上也沒有得到推廣。近年來管式电热元件，在國外已被应用在一切工業部門，并且得到了極其良好的效果。苏联航空工業中鋁合金热处理用的鹽槽，几乎全部是用管式电热元件加热的。在德國根据 1955 年統計，投入实际运用的管式电热元件的总容量已高达 400 万瓩。

解放后在党的正确領導下，电热工業与其他工業一样得到了政府的重視和关怀。在第一个五年計劃期間，我國第一机械工業部已初步建立了非專業性的工業电爐制造厂，制造實驗室用电加热設備的工厂亦日見增多。同时由于我國电力工業的飛躍發展，給各工業部門利用电热設備創造了極為有利的条件。

为了節省國家外匯的支出,和滿足工厂研究機構及学校实验室的需要,尙在1956年5月間;我厂中英試驗室即开始進行管式电热元件的試制。在試制过程中逐步克服困难,解决了若干关键性問題。本書所述即是它的初步試驗总结报告。由于設備和技术水平关系,試驗数据还不够系統,总结也極不全面。請这方面的內行同志們指教,以便繼續改進。

本文蒙本厂楊副厂長代为審閱原稿,瞿金宝、朱士清、錢永兴三位同志帮助繪圖和整理試驗記錄,江聖才、高洪昌、吳根宝、張昂千、徐賢弼等同志協助試驗,特此誌謝。

目 錄

前言

一、管式电热元件的結構	1
二、制造管式电热元件用的材料的选择	2
三、工藝过程	5
四、性能試驗	15
五、管式电热元件的計算	18
六、管式电热元件的經濟效果	21
七、管式电热元件的用途及分类	22
八、初步結論及今后展望	32
参考文献	34

一、管式电热元件的結構

管式电热元件的結構是在金屬管內，沿管子的軸心方向放入螺旋狀高电阻合金电阻綫，該螺旋狀电阻綫应与焊在兩端的引出棒保持同心。在其空隙部分均匀地填滿結晶氧化鎂粉，并用縮管机將管徑軋小，促使氧化鎂粉的密度大大增加，以保證管內螺旋狀电阻綫不致因發生偏移而碰及管壁。为了避免空气中的水分和液体介質侵入氧化鎂中引起絕緣不良，在管子的兩端通常都裝有帶緊固螺帽的接头裝置，或在引出棒出口处直接澆以硼酸和碳酸鋇的混合物，以保證管子的完全密封。接头裝置系由金屬套筒和一空心螺栓組成，分別焊在管子和螺旋电阻綫引出棒上，此套筒与空心螺栓是預先用絕緣耐熱物質“云母玻璃”壓在一起。为了使管式电热元件能固定在設備上，在兩端的接头裝置上裝有緊固螺帽，在套筒下部則焊有襯盤，能方便地固定在各种加熱裝置上。管式电热元件的典型結構如圖 1 所示。



圖 1 管式电热元件的典型結構

1. 金屬管； 2. 螺旋狀高电阻合金； 3. 引出棒； 4. 氧化鎂粉；
5. 接头套筒； 6. 緊固墊圈； 7. 固定螺絲； 8. 緊固螺帽；
9. 云母玻璃； 10. 接綫螺帽； 11. 空心螺栓； 12. 接綫墊圈

二、 制造管式电热元件用的材料的选择

1. 管子

当选取管式电热元件的管子时,必須考慮到它將用來加热何种介質,及其表面所受的最高温度等。采用由抗蝕耐热材料制成的管子,可保証管式电热元件的經久耐用,根据美國奇异电器公司的資料,采用鎳鉻鋼管时寿命可高达 10 年左右。在苏联制造管式电热元件用的管子主要是航空工業用的無縫鋼管,根据工作温度和加热介質的不同,管子的材料可按表 1 所列的参考数据选取。我們这次試驗系采用 $\phi 12 \times 1.5$ (毫米)無縫鋼管,和 $\phi 12 \times 1.5$ (毫米)無縫紫銅管。

表 1

管子材料	容許温度(°C)	加 热 解 質
黃銅或紫銅	400	油、空气
碳素鋼	<450	油、空气
鑄鉄	500	錫、鉛、鋅和其他易熔金屬
鋁鎳鋼(30×MA)	500~530	硝石、空气
鈹鎳鋼	<700	硝石、空气
硅鋼	700	酸和鹽類
鉻鋼	750~800	硝石、氮化銀与氯化鈉
鉻鎳鋼(1×18 H 9)	850	
		混合鹽

2. 高电阻合金电阻綫

管式电热元件用的电阻綫,主要是各种不同成分的鎳鉻合金。它們的特点通常是具有較高的电阻系数和小的温度系数。几种常用鎳鉻合金綫的技術数据如表 2 所示。根据功率的大

小,管式电热元件的电阻线如采用镍铬合金线时,其直径由 0.3~1.5 毫米。加热硝石介质用的元件的电阻线材料为 X 20 H 80 合金,直径从 0.8~1.2 毫米。大功率(12 瓦)的元件则用 ϕ 1.5 毫米的电阻线,一般小功率元件用的电阻线的直径,大都为 0.3~0.6 毫米。我们试验所用的高电阻合金电阻线,为国产 X 20 H 80 镍铬合金。根据功率的大小不同,直径由 0.41~1 毫米。

表 2 高电阻合金电阻线技术数据

最高工作温度 (°C)	材料名称及牌号	化 学 成 分	物 理 性 质		
			比重	电阻系数	电阻温度系数
850	镍铝铁合金 (X 13 H 5)	$\leq 0.2C \leq 1.0Mn < 0.06Ni$ 12~15Cr 3.5~55Al 其余 Fe	$\gamma=7.4$	$\rho=1.25$ ~1.35	$\alpha_t=0.1$ $\times 10^{-3}$
1000	镍铬合金 (X 15 H 60)	$\leq 0.15C \leq 1.5Mn \leq 1.2Si$ 15~18Cr 55~61Ni 其余 Fe	$\gamma=8.4$	$\rho=1$ ~1.15	$\alpha_t=0.1$ $\times 10^{-3}$
1150	镍铬合金 (X 20 H 80)	$\leq 0.15C \leq 1.5Mn \leq 0.5Si$ $\leq 1.75Fe$ 20~23Cr 其余 Ni	$\gamma=8.4$	$\rho=1.1$ ~1.2	$\alpha_t=0.1$ $\times 10^{-3}$
1300	镍铝铁合金 (X 25 H 5)	$\leq 0.13C \leq 0.7Mn \leq 0.3Si$ $\leq 0.5Ti$ 0.6Ni 24~27Cr 4.0~6.5 Al 其余 Fe	$\gamma=7.0$ ~7.2	$\rho=1.25$ ~1.45	$\alpha_t=0.3$ $\times 10^{-4}$

3. 螺旋状电阻线引出棒

引出棒是供空心螺栓与螺旋状高电阻合金电阻线连接之用,一端与螺旋状电阻线相连接,另一端则插在空心螺栓内。为了使引出棒在工作时不致发生过热,在选取引出棒的截面时,通常较电阻线截面大数倍。引出棒内的材料根据工作温度的高低,可分别由镍铬合金铜焊或低碳元钢制成,直径为 2~5 毫米。我们在试验时引出棒系用 ϕ 3 毫米黄铜杆或低碳元钢制成。

4. 絕緣填料

螺旋状高电阻合金电阻线与管壁之间的填料,为耐火陶瓷

氧化物，即氧化鎂、氧化鋁或潔淨的石英砂。所有作为填料的耐火陶質氧化物，都必須滿足下列几点要求：

- (1) 具有高度的电絕緣性能；
- (2) 具有高度的導热系数；
- (3) 具有与金屬發热体相近的綫膨脹系数；
- (4) 在常温或工作温度下对金屬發热体和金屬管均不發生化学作用；
- (5) 具有良好的耐热性；
- (6) 沒有吸湿性或吸湿性極低；
- (7) 能經受温度的急变，并具有高度的机械强度；
- (8) 原料來源廣泛和价格低廉。

但是—种物質要同时具有高度的电絕緣性与導热性，是很困难的。因为凡導热性好的物質其电絕緣性差，或者相反。为此我們曾用氧化鋁、石英砂及氧化鎂等，同时進行多次試驗。結果还是以采用电熔的結晶氧化鎂最为滿意，关于它的詳細提煉过程及化学成分見“工藝过程”一節。

5. 接头及緊固裝置

元件兩端的接头及緊固裝置的材料均为普通低炭鋼，其中空心螺栓的材料一般是根据使用温度來确定，在 400°C 以下时一般均用普通低碳鋼或銅杆制成，其直徑为 5~8 毫米。如使用温度較高时，則可用 $1 \times 18 \text{ H } 9$ 耐热合金鋼。空心螺栓与套筒之間的粘結材料，为“云母玻璃”或硼酸与碳酸鋇的混合物。

三、工藝過程

1. 电阻綫螺旋圈的繞制及与引出棒的連接

管式电热元件用的电阻綫螺旋圈(圖2)的繞制,可利用旧車床或專用机床來進行,这种繞制裝置的簡單示意結構如圖3

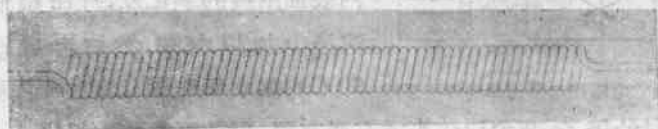


圖2 螺旋狀电阻綫

所示。为了得到均匀平整的螺旋圈,在繞制时必须將电阻綫拉緊。另外由于螺旋圈与圈之間的距离变化范围較大,故可無需

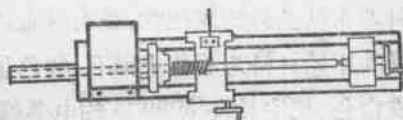
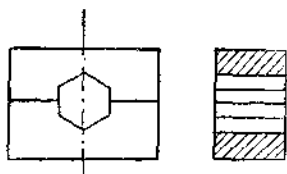


圖3 电阻綫繞制螺旋圈裝置的示意結構

用專門工具來控制它們之間的距离,通常都是在繞好后再加以調整。电阻綫在繞制前不需要進行退火处理,这样虽在繞制时比較困难,但使它保持原有的彈性,在加裝填料和压軋时,可避免螺旋圈的被压塌。关于螺旋电阻綫与引出棒的連接,最初我們是用銅焊燒牢,但在管子压縮后發現电阻綫有断裂处。經鋸开檢查全部断在焊接处,結果改为將电阻綫的末端,直接繞在車有一段螺紋的引出棒上,用六角形模子(圖4)压实后;再將管子進行压縮,即可避免断裂現象。

2. 管子的准备

用来制造管式电热元件的管子,不论它的材料性质如何,均需经过一系列的处理。此程序包括:将管料切断成规定长度之坯料;校直并銼光二端的毛刺;在 700°C 的温度内经过退火,以



消除管子的内应力,和烧去表面的油脂;用 15% 的硝酸溶液洗滌管子内表面附着的氧化皮,并在苛性钠溶液中加以中和,然后再放入约

90 $^{\circ}\text{C}$ 的热水里洗濯。经过洗濯和干燥过的管子,两端以碎布或麻屑塞紧,以免再度发生氧化。

3. 填料的提炼与灌装

(1) 填料的提炼:在前面已谈过,我们所用的填料为电熔氧化镁。这是一种非常结晶体的氧化物,故有时也称结晶氧化镁。此种电熔氧化镁的原始材料为菱苦土矿石,颜色呈灰白色,将其磨成粉状后则成白色,把它放在 3000°C 的电弧炉中经过 2~4 小时的熔炼后,即可得到所需要的电熔氧化镁。由于在市场上无法购到此种电熔氧化镁,我们采用(含 MgO 41.4%)遼寧菱苦土矿石,磨成粉后在电阻电弧炉中自行提炼。这种电弧炉的示意结构如图 5 所示。为了得到满意的结晶体,我们曾采用下面三种方法来进行提炼,以比较用那种方法提炼出来的氧化镁成分最好:

(a) 直接把菱苦土粉放在炉池内,藉电极间的电弧放电所产生的高热来进行熔炼;

(b) 将菱苦土粉制成团块干燥后再放入炉内进行熔炼;

(c) 事先在菱苦土內混入 10% 無砂碳粉、5% 鉄屑及 10% *4 白色石英砂，然后再放入爐內熔煉，以增加它的導電性。

上述三種方法提煉出來的氧化鎂，根据化学分析（見表 3），以第一種方法最好。其中心部分大部為純白色結晶的塊狀物，將其用球磨機粉碎通過 50~60 孔篩，再用磁鉄吸去金屬雜質，并在烘箱內經過干燥除去水分后即可使用。

(2) 填料的灌裝：管式电热

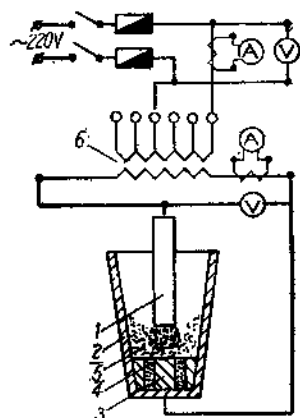


圖 5. 电阻电弧爐的示意結構

1. 石墨電極； 2. 金屬爐壳；
3. 石墨電極； 4. 焦炭瀝青；
5. 氧化鎂； 6. 變壓器

表 3

提 煉 方 法	化 學 成 分 %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO
第一種方法	1.4	1.4	1.1	微	微	95.5
第二種方法	1.78	1.72	1.5	微	微	89.97
第三種方法	1.18	1.8	1.7	微	微	81.24

元件填充料的灌裝，是在电动震动台上進行。我們自制的电动震动加料裝置的外形照相如圖 6。它的震动頻率為 300 次/分，生產率為 15 公尺/小時。加裝填料的程序如圖 7：先把螺旋狀电阻綫 1 放入管 2 內，將螺旋狀电阻綫一端的引出棒 3 用螺帽 4 固定在管子上，然后夾緊在震动台 5 上，螺旋狀电阻綫引出棒

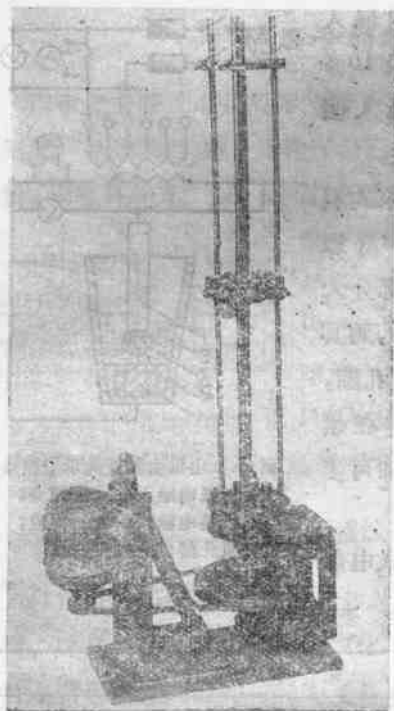


圖 6 电动震动台

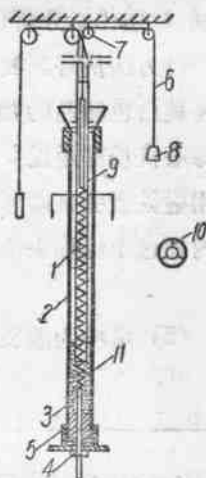


圖 7 灌絕緣填料的程序

的另一端則藉金屬細線 6，通過固定在高處的滑輪 7，用適當重量的重錘 8 吊牢。在懸掛之前需先把加料導管 9 套在螺旋狀電阻綫上，此導管是由薄壁金屬管制成，其內徑略大於螺旋狀電阻綫的外徑。在導管外壁四周裝有數擋星形撐腳 10，以免螺旋狀電阻綫發生偏移而碰及管壁，此撐腳撥開的外徑，等於元件管子的內徑。當上述步驟完成后，即可將經過干燥的電熔氧化鎂粉 11 細細撒入管內。隨着加入料的增加，導管也緊隨着金屬細綫逐漸上升，待預先稱好的料全部灌入后，即可除去導管，並在管子兩端塞上橡皮頭，用兆歐表檢查其絕緣性能，和螺旋電阻綫有

否碰及管壁的情况。当兆欧表上顯示出的数值近于或等于 20 兆(百万)欧时,即可將其两端塞上橡皮塞头,送至下一工序進行压缩。

4. 压 缩

压缩管徑的目的是为了增加管内电熔氧化鎂粉的密度。因为經過震动加料台所得到的密度只有 2.2~2.3 克/立方厘米,根据这样的密度不能完全滿足电加热元件長時間工作的要求,因此必須用縮小管徑的方法來增加氧化鎂粉的密度。通常当其密度为 3.5 克/立方厘米时,螺旋电阻綫發热体就能獲得最良好的工作条件,但实际上要得到这样高的密度是不可能的。一般在管徑縮小后,其密度达到 3.1~3.3 克/立方厘米时,已能完全滿足元件在工作过程中对填料所提出的几点要求,即:

- (1) 在不降低絕緣电阻的情况下,增加其導热系数;
- (2) 颗粒之間空气間隙的减小;
- (3) 保証电热元件經受弯曲或撞击后,螺旋狀电阻綫不会發生偏移。

压缩管徑的方法,根据有关参考資料上的介紹,大致有下列“种;

- (1) 用拔管机拔;
- (2) 用模子在水压机或油压机上压;
- (3) 用自动縮管机軋压。

第一种方法比較陈旧,現在已很少使用。第二种方法效率,而且压出來的管子的表面不太光滑,在模子合攏处会产生一出的筋。我們在試驗时是采用第三种方法,即用自动縮管机軋小管子的直徑,这种縮管机的結構如圖 8。管子通过空心轉

軸的中心孔,根据所需的直徑用压模藉推力轴承的离心力作用進行压軋。在开始时,先压至管長度的一半,然后再压另一半。

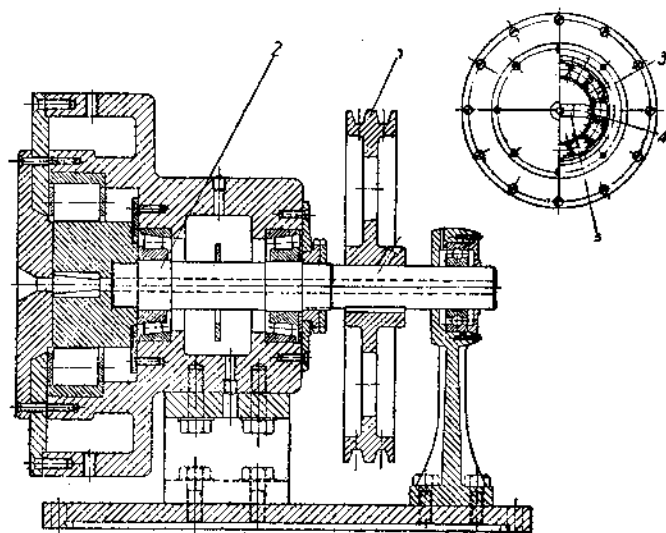


圖 8 縮管机的剖面結構

为了避免管子受到过大的冲力后產生裂縫,及管内螺旋狀电阻綫發生断裂,每次經压軋的管徑縮小量最好为 1 毫米。因此压模要在每一次軋压后加以更換。管子要軋到多大的直徑,可根据管内填料的密度來决定,这种密度应相当于 3.1~3.3 克/立方厘米。但必須注意管子在軋压前,需先用錐形压模压小其二端橡皮塞头处,以免填料在軋压时从二端跑出。管子全部压至所需要的直徑后,沿管周緣鋸去两端塞有橡皮塞头的部分,但不得損坏螺旋电阻綫的引出棒。当管子压好后,需再度進行退火处理,退火的目的是为了消除管子在軋压时所產生的內应力,以免元件在弯曲时其弯曲部分發生裂痕,和除去填料中所含的少量水分。退火可按下述方法進行:

- (1) 將电热元件直接通以一定的电压使其自行發热退火；
- (2) 在电热或燃料爐中退火；
- (3) 把管子直接連通低电压回路，使管子自行發热退火。

5. 弯 曲

管式电热元件剛制好时，均为直綫形。但根据用途不同通常弯成(圖 9)各种形狀，用得最多的是 U 字形。管子的弯曲是

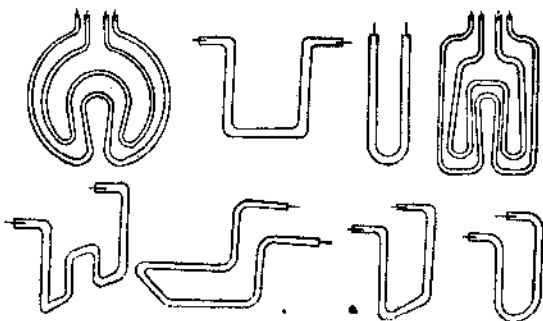


圖 9 几种常用管式电热元件的形式

在自动或手动弯管机上進行。我們所用的弯曲管子的設備，是普通手动弯管机，其結構如圖 10 所示。

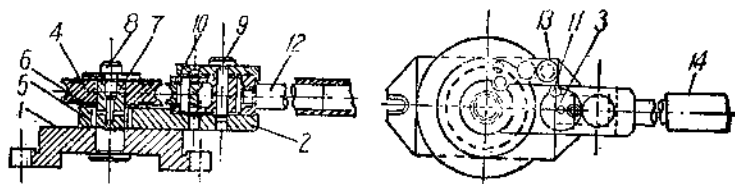


圖 10 手动弯管机

1. 底座； 2. 圓轉架； 3. 軋压輪； 4. 曲度輪； 5. 漲栓； 6. 墊卷； 7. 曲度輪軸； 8. 加油螺丁； 9. 軋压輪架軸； 10. 軋压輪架； 11. 固定銷； 12. 圓轉手柄； 13. 档銷； 14. 黑鉄管把手

在弯曲时需注意管子的弯曲半徑不宜选得过小，否則在其

弯曲处的内面可能会产生凹痕和外表面形成裂纹,或管壁发生显著变薄的现象。一般弯曲半径不应小于电热元件管径的4倍。如因工作条件要求弯曲半径小于上述数值时,管子的壁必须比普通电热元件用的厚,同时最好采用热弯。

6. 管表面的耐热防腐处理

管式电热元件在高于 500°C 的温度下进行工作,或用来加热硝石介质及其他盐类时,无缝钢管将因受温度影响而产生激烈氧化,以致使电热元件损坏。要解决这个问题,必须采用耐热防腐材料制成的钢管,但这样将会增加电热元件的制造成本。由于我国镍铬原料的缺乏,因此在硝石介质中,或在温度高于 500°C 的情况下加热时,制造好的管式电热元件的表面,均需经过渗铝处理。因为铝在高温下与氧作用后,即在其表面产生一层氧化铝(Al_2O_3)膜,此膜具有良好的耐热性能。在水介质和有机物中加热时,电热元件的表面用镀锡、镀锌、镀镍的方法来防止其产生腐蚀。电热元件非发热部分的零件,通常进行镀锌或发蓝处理。

7. 接头及紧固装置的制造

为了保证管式电热元件的经久耐用,两端的接头装置在压制时必须符合下列要求:

(1) 接头装置上的温度高达 300°C 时,仍需具有良好的绝缘性能和不发生软化现象;

(2) 无论在热或冷的急变状态下,都必须具有很高的机械强度;

(3) 对电热元件内部的氧化镁填料,要形成完全的密封;