

电工碳素品制造工艺学

陈 蔚 然 編

科学 技 術 出 版 社

81.27

电工碳素品制造工艺学

陈蔚然 編

科学出版社

內 容 提 要

本書內容包括：(1)制造电工碳素品用的原材料性質和技术条件；
(2)碳素品制造的工艺程序；(3)电机用电刷、电影机用发光碳棒、通訊
用碳素品等等制造方面的基本知識。

本書可供从事电工碳素品制造和电机、电器制造技术人員的参考。

电 工 碳 素 品 制 造 工 艺 学

編 者 陈 蔚 然

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海建国西路336弄1号)

上海市書刊出版业营业許可証出 079 号

上海新華印刷厂印刷 新華書店上海发行所总經售

*

統一書号:15119·477

开本 787×1092 耗 1/27 · 印張 6 4/27 · 字数 127,000

1957年3月第1版

1957年3月第1次印刷 印数1—4,500

定價：(10) 0.90 元

序

本書內容包括制造电工碳素品用的主要原材料的性質和技术条件、碳素品的制造工艺程序、电刷及其他碳素品的制造等方面的資料。其中，以电刷的制造为主。

在制造工艺程序方面，是按順序逐項叙述，輔以必要的理論說明。在电刷的制造方面，介紹了几种具有代表性的电刷品种的制造工艺。为了使讀者明了电刷的性質及使用性能，在第三章中对电刷的物理、化学性質及整流性能作了理論性的闡述。讀者如能对以上所指的几方面作較深入的探討，那末，对于电工碳素品制造的一些基本問題就可以明确了。

在編写本書的时候，蒙赵其昌同志給予支持和协助，高秋同志抽空繪制插图，还有其他許多同志也直接間接地对本書的編纂給了很大的帮助，特在此致謝。

由于編者对电碳的制造尚在摸索、学习阶段，本書舛誤之处在所难免，敬祈讀者賜教。

編 者 1956 年 9 月

1466468

目 录

序

緒論	1
----	---

第一章 制造电工碳素品的主要原材料	3
-------------------	---

第一节 石墨	第七节 煤焦油瀝青
第二节 石油焦碳	第八节 銅粉
第三节 煤瀝青焦碳	第九节 鉛粉
第四节 无烟煤	第十节 銀粉
第五节 炭黑	第十一节 硫酸銅
第六节 煤焦油	第十二节 硫酸

第二章 电工碳素品制造的主要工序	17
------------------	----

第一节 粉末材料的准备	第四节 輾压
第二节 結合剂的准备	第五节 搗料与压型
第三节 压粉的混捏或混合	第六节 燒結

第三章 电刷的分类及性質	43
--------------	----

第一节 电刷的作用	第三节 决定电刷使用范围的諸性質(整流性能)
第二节 电刷的分类及按組別的技术規格	第四节 电刷的理化性質

第四章 电刷块的制造和电刷的加工	68
------------------	----

第一节 金属-石墨刷的制造	第四节 电化石墨刷的制造
第二节 碳-石墨刷的制造	第五节 电刷的加工
第三节 石墨刷的制造	

第五章 电刷的整流性能与理化性質的測定	104
---------------------	-----

第一节 电刷整流性能的測定	第二节 电刷理化性質測定
---------------	--------------

第六章 电影机用发光碳棒及通訊用碳素品的制造	118
------------------------	-----

第一节 电影机用发光碳棒制造	第二节 通訊用碳素品制造
----------------	--------------

第七章 其他电工用碳素品制造	142
----------------	-----

第一节 碳圈与碳圓板制造	第四节 自潤滑青銅-石墨軸承襯套的制造
第二节 接触点的制造	
第三节 干电池用碳棒的制造	

参考文献	162
------	-----

緒 論

电工碳素品制造业（简称电碳工业），是电机和电器制造业的一个组成部分；同时，它对机械制造业、化学工业、金属冶炼工业等部门也起着重要的配合作用。

电工碳素品（以下简称电碳制品）是用碳素粉末（或碳素粉末与金属粉末的混合物）制成的。它有很高的化学稳定性，能经受各种氧化过程和多数酸、硷的侵蚀；有良好的导电性、导热性和润滑性；有一定的机械强度。

电碳制品因有以上这些主要特性，而被广泛地使用在国民经济的各部门。

电刷使用在各种发电机、电动机上；照明、发热与干电池用的碳棒、电极制造业的一系列产品，如炼钢、炼铝电极，电解槽内衬，耐高温炉壁等，它们的使用范围和电刷一样广泛。

通讯器材使用的碳素振动膜片、碳素杯（座）、碳质电阻器、真空整流管的碳质阳极、避雷器用碳块、开关上使用的各种接触点、自动电压调整器用碳柱，以及汽车、飞机、拖拉机、纺织机和其他精密机械上使用的自润滑青铜-石墨轴承等等，这些形形色色的特殊配件都是电碳制品。

原子能工业中所用的石墨减速剂也是电碳工业的产品之一。

以上所列举的不过是电碳工业产品的一小部分，其他更多的产品不可能在此一一列举。随着工业技术的向前发展，将有更多的新产品被制造出来。

电碳工业就其工艺性质来说是一种化学工业，但由于它的半

成品須先經机械加工（磨削、裝配零件等）而后成为某种电机、电器或机械上的配件，所以实际上它是一种綜合性工业，而与电工技术的发展有着密切的关系。

由于电碳制品的制造过程中的复杂性及其本身的多种多样，同时，随着电工技术及电碳工业的日益发展，本書中有些資料也許今天还是新的而明天便成过时的了；但是，就电碳制造的基本工艺程序來說，这里所討論和介紹的知識还是可以符合目前需要的。

例如，电工技术发展的結果，許多大功率的高速电机出現了，其圓周速度已超过 70 米/秒，一般旧型的电刷已不符合要求；航空技术发展的結果，使人們正在研究一些品質更高、工作穩定性更好的电刷，这是因为高空空气稀薄、气温极低，一般电刷在高空中已因剧烈磨損而无法使用；航海事业的发展，也对电碳工业提出更高的要求，在軍艦、潛水艇、海軍基地及濱海地区所用的碳素配件，須具有更好的耐湿性和抗蝕性等。所有这些，都是电碳工业的从业技术人員研究的对象和努力的方向。

随着国家經濟建設的发展，我国的电碳工业必將充分发展和壯大起来。

第一章

制造电工碳素品的主要原材料

制造电工用碳素品的主要原材料有如下的十二种：

石墨——鱗狀、土狀；石油焦碳；煤瀝青焦碳；无烟煤；炭黑；煤焦油；煤焦油瀝青；銅粉；鉛粉；銀粉；硫酸銅；硫酸等。由于碳素制品种类的多样性和复杂性，还有很多材料不能一一列举出来，只能在談到某一制造項目而要使用它們时再加以补充。

第一节 石 墨

石墨是一种結晶的碳。它有深灰色的金属光澤，用手撫摸时有滑膩的感觉。比重是 2.23，熔点約 $3,500^{\circ}\text{C}$ ，沸点为 $3,850^{\circ}\text{C}$ ，电阻率极低，其值約 1 欧·平方毫米/米。

石墨与金剛石同为結晶的碳，但它們的物理性質完全两样，这是因为碳原子的排列各不相同的缘故。在金剛石中，所有的碳原子作距离相等的紧密結合，它們的排列法使金剛石具有最高的硬度；在石墨中，則碳原子排列成层，各层中原子相互結合的距离虽相同，但层和层間原子的距离却很大。所以，石墨容易切离为薄层，質地松軟，如鱗狀石墨，就是用肉眼也能看出它的鱗片狀組織。

石墨的化学性質极为穩定，在普通情況下，几乎不参加化学反应。和氧的化合，只在高溫下才能緩慢进行。

正由于石墨具有較高的导电性、穩定的化学性質、小的摩擦系数以及高的熔点这些性質，而使它成为电碳制品的最主要原材料

之一。

天然石墨有两种形态：一为鳞状粉末，颜色深灰，有金属光泽，具有高的润滑性及导电性；另一为土状（即细粉状）粉末，颜色更深，无金属光泽，润滑性、导电性较鳞状稍差，粒度小，它是非晶形碳变为晶形碳的过渡阶段的产物。

在我国东北、山东、湖南等地蕴藏着丰富的石墨原矿。其中东北、山东产的多为鳞状石墨，质地纯净，结晶粗大，湖南产的多为土状石墨，质地也很高，都适合制造电碳制品及其他工业用品之用。

一般所谓非晶形碳，如木炭、煤炭、炭黑、焦炭等，实际上也是由很细的晶体所构成。但因其结晶粒子特细，其性质也和天然石墨不同（如缺乏润滑性等），同时表面上看不出它们的结晶形状，因此人们都叫这些碳素物质为非晶形碳。但是，如果将它们加以高温处理（约 $2,500^{\circ}\text{C}$ ），其细微的晶体便聚合成较大的晶体，而转化为石墨，这就是人造石墨。人造石墨所含杂质极少。如果温度能达到 $3,400^{\circ}\text{C}$ 左右，即碳的熔点附近，其中杂质便全部蒸发，即可得到纯粹的碳素。这样的石墨制品可以作为光谱分析仪用的碳电极和原子核反应器（原子堆）的石墨减速剂以及其他特殊用途。用人造石墨做成的电刷（即电化石墨刷），在导电性、耐磨性、润滑性和机械强度各方面都比一般天然石墨制造的强。

在含金属量高的有色电刷中，石墨是作为滑动接触的润滑剂，减少电刷的硬度，即减少电刷的摩擦系数和因之而引起的机械火花。在含金属量较低的有色电刷中，石墨一方面作为滑动接触的润滑剂，一方面也作为导体；在不含金属的黑色电刷中，石墨是主要的导电材料。

使用天然石墨时，如其中灰分未经适当除去，则制成品将有两个缺陷：（一）是电阻大，这样会使制成品难以达到所要求的规格，而且在使用时，会发生过热现象；（二）用以制造电刷时将使电刷的润滑性降低，因石墨的灰分主要是由二氧化矽所组成（二氧化矽占

灰分总量一般为 50~60%), 沒有潤滑作用, 而且它的坚硬的粒子能引起对整流子及滑环較高的磨損, 电刷本身的磨損也將增大。

天然石墨中的灰分可用选矿設備除去。要除去其中細粒的二氧化矽及重金屬的氧化物, 可以用浮游选矿法。由于机械运轉时的磨蝕而混入石墨中的鉄分及其氧化物, 可以用磁力选矿机除去。但用机械的选矿法仅能有限度地除去一部分粗粒子杂质, 至于混合在石墨粉粒中的細粒子杂质, 則难以用此法清除, 而必須用煅燒的方法。这是將石墨隔絕空气加热至 $2,700\sim 3,400^{\circ}\text{C}$, 使其中灰分受高热的作用而发生复杂的化学反应, 部分地或全部地逸去。

天然石墨中除了灰分以外, 还含有水分、硫及硫化物及其他有机物質。在一般使用上, 除了用选矿机械除去固体杂质外, 还要將石墨煅燒至 500°C 左右, 以除去水分、硫、硫化物及有机物質。

制造各种不同的电碳制品, 可以使用各种不同的石墨原料。在电碳制品工业中一般使用的石墨, 其灰分不能超过 11%。用以制造較高級电碳制品的石墨須符合下列条件:

- | | |
|--|-------------|
| (1) 粒度 | 全部通过 250 目篩 |
| (2) 灰分 | 5% 以下 |
| (3) 水分 | 1% 以下 |
| (4) 300°C 时的揮发物 | 0.3% |
| (5) 800°C 时的揮发物 | 1.5% |
| (6) 硫 | 0.3% 以下 |
| (7) 氧化鉄 | 0.1% 以下 |
| (8) 氯 | 不存在 |
| (9) 在鋼模中压型, 在压强为 1,000~2,000 千克/平方厘米时, 压成的块不应有裂紋, 而应为一完整块。 | |

在石墨的純度測定方面, 应进行下列項目:

- (1) 揮发物的測定: 將試样放在分析天平上准确称重, 盛在磁坩堝中, 將坩堝的盖盖上, 然后在 300°C 及 800°C 的电炉中分別灼

燒五分鐘,其减少的重量即为揮发物的分量。

(2) 灰分的測定:將前經 800°C 灼燒后的試样称重,再在800~850°C 的电炉中开盖灼燒 4~5 小时,殘渣即为灰分。

(3) 將試样的总重减去揮发物与灰分的重量之和,即得含碳量,試样含碳量的百分比,可由下式計算得出:

$$\text{含碳量}\% = \frac{\text{試样总重} - (\text{揮发物} + \text{灰分})}{\text{試样总重}} \times 100$$

第二节 · 石油焦碳

石油焦碳是电碳制品的重要原材料之一。它是由重油殘渣即石油軟瀝青和裂化殘渣制得。將这些原料在大气压下加热至 400~450°C,即发生重的碳氢化合物分子的分裂反应,分裂成为較輕的气体或液体餾出物;在此同时,亦发生凝聚反应,这种凝聚反应即导致焦碳的形成。因为重油殘渣本来就含有大量的凝聚了的物質(凝聚了的芳香族烴、焦油和瀝青),因此,焦化便很快地开始,而且焦碳的生成量很大。石油焦碳既是由石油制得,因此按其性質來說,是几乎不含灰分的。

石油焦碳主要用来制造发光碳棒,如电影机用碳棒、探照灯用碳棒等。在这些碳棒中不能容許多量的雜質存在,因为如果含有多量雜質的話,那么,使用时发出的光就有一些火焰的黄色光,而不是明亮的白光,同时碳棒所发的光也不安定。

許多类型的电化石墨刷也同样用石油焦碳作为主要原材料。

电碳制品制造上使用的石油焦碳,应具有如下的技术条件(ГОСТ 3278-48):

(1) 揮发物	7%以下
(2) 水分	3%以下
(3) 灰分	1%以下
(4) 硫	0.5%以下

- (5) 鉄 0.08% 以下
- (6) 二氧化矽 0.07% 以下
- (7) 最大块尺寸 400毫米
- (8) 最小块尺寸 25毫米
- (9) 1~25 毫米的小块占 8%, 小于 4 毫米的小块占 1%.
- (10) 不容許含有砂石; 焦碳块不应有瀝青狀的表面.

石油焦碳应是純粹的, 不能有旁的夹杂物.

石油焦碳应是細气孔的, 不能有密致的黑色硬壳层.

石油焦碳的分析方法与石墨同.

第三节 煤瀝青焦碳

煤瀝青焦碳也是电碳制品的重要原材料之一. 它是由煤焦油瀝青在 $900\sim 1,000^{\circ}\text{C}$ 的溫度下干餾而得. 煤焦油瀝青在干餾时, 一方面蒸出蒽、吡啶、蒾及其他类似蒽油的油类, 另一方面又蒸出由瀝青热分解而生成的气体和水蒸汽, 干餾后的殘渣即为瀝青焦碳.

干餾所得的煤瀝青焦碳在使用前大都要在 $1,200\sim 1,480^{\circ}\text{C}$ 的溫度下重行煅燒, 以除去殘存的可揮发物和在儲藏时吸收的水分. 揮发物及水分应降至 0.5% 以下, 这是制造优良的电碳制品的必要条件. 因为揮发物或水分的多量存在, 將會使制成品在煅燒时发生龟裂或变形(石油焦碳的情况也与此相同).

由煤瀝青焦碳制成的半制品在煅燒或石墨化时具有很大的收縮率(石油焦碳也是一样), 一般是 6~12%. 由于体积收縮, 使制成品的气孔率减少, 成为很密致的結構, 成品的机械强度和导电性因此提高. 也正由于这样, 煤瀝青焦碳(和石油焦碳)的制成品有极高的硬度.

煤瀝青焦碳入厂时, 应具备下列技术条件(ГОСТ 3213-48):

- (1) 灰分 0.3% 以下

(2) 揮发物	0.8% 以下
(3) 水分	3. % 以下
(4) 硫	0.7% 以下
(5) 鉄	0.08% 以下
(6) 二氧化矽	0.07% 以下
(7) 最小尺寸	不小于 25 毫米
(8) 碎屑	不超过 4%

第四节 无烟煤

无烟煤是具有黑灰色金属光泽的硬質煤碳, 含碳量超过90%。它是制造电极、电刷和微音器碳粒的原材料, 使用前要在 $1,480^{\circ}\text{C}$ 的溫度下煅燒, 以除去其中的水分、高分子量化合物和硫。

无烟煤应具备如下的技术条件 (ГОСТ 5059-49):

(1) 灰分	5% 以下
(2) 硫	2.5% 以下
(3) 單位体积重	大于 1.5 克/立方厘米
(4) 粉碎强度指数	高于70
(5) 热穩定性指数	高于60

第五节 炭 黑

炭黑是純黑色或黑灰色的极細粉末, 是用煤气、天然煤气或石油殘渣在不足量的空气中燃燒分解而得。我国四川等地有大量的天然煤气, 可供制造炭黑。

炭黑广泛地使用在电碳制品中; 由于其粒度特別細, 因此炭黑便具有最大的表面积。据測定, 一克炭黑的表面积可达 6 平方米。要使每顆炭黑粒子都包上一层結合剂, 便需要多量的結合剂。在炭黑制的电碳半制品煅燒时, 每一顆炭黑粒子成为碳化的中心, 使制品的体积收縮率增大, 几达 20%。因此, 制品的結構异常密致, 硬

度特高。如苏联 ЭГ-10 电刷，在制造时含多量的炭黑，在石墨化前，用压入法测定的硬度值达 500 千克/平方毫米，蕭氏硬度值达 100，就是在石墨化后也还有很高的硬度（蕭氏硬度 50~70），使用时能經受冲击和打击。

电碳制品工业中所用的炭黑須符合如下的技术条件：

- | | |
|--|-----------|
| (1) 揮发物 | 不超过 3% |
| (2) 灰分 | 不超过 0.1% |
| (3) 水分 | 不超过 0.75% |
| (4) 一克干的炭黑所占的体积不大于 10 立方厘米 | |
| (5) 一克炭黑放入汽油中 15 分鐘后，其沉滓所占体积应达 30~45 立方厘米。 | |

炭黑在使用时，应先通过 18 目的篩。

炭黑的試驗，进行如下的項目：揮发物，灰分，硫分，水分含量的百分率，單位体积重。

第六节 煤 焦 油

煤焦油在电碳制品工业中用来作为粉末材料的結合剂，它是煤在 450°C 以上破坏蒸餾时所得的初步产物。这种产物由于干餾溫度、煤的种类和碳化設備等不同，品質成分也不尽相同。干餾时，这种物質随高热煤气由碳化器导出，經冷却裝置凝結，而与煤气分离，是黑色粘稠性的半流体物質。

煤焦油是多种碳氢化合物的混合物。其主要成分有：苯类、萘类、蒽、蔥、菲、瀝青質、酚类、含氮化合物、含硫化合物、游离碳等許多复杂物質。在电碳制品制造过程的焙燒工序中，这些化合物随溫度上升而逐漸分解和散逸，最后剩下固有的游离碳和分解后殘留下来的碳素，对散粒的粉末起坚实的結合作用。在这同时，成品的体积縮小了一些。电碳制品的配方中如有煤焦油作为結合剂的

話,則煤焦油的分量愈多,制成品的收縮率便愈大.可是,由于煤焦油的成分变化較大,在一批新的煤焦油使用前,除了应測定其物理性質及化学組成外,还必須通过样品試制,观察成品結果,然后决定如何使用,以免造成大量廢品.

电碳制品工业用的煤焦油須符合如下的技术条件 (ГОСТ 4492-48):

(1) 比重 (20°C)	1.16~1.20
(2) 灰分	不超过 0.2%
(3) 水分	不超过 2%
(4) 游离碳	不超过 9%
(5) 粘度 (用流出孔直径为 5 毫米的恩格拉粘度計在 80°C 时測定)	1.27~2.15

未經加工的煤焦油常含有大量水分和其他雜質,必須經過熬制或蒸餾,使水分和輕油蒸发,固体雜質下沉.加工溫度为 210~350°C,視制造何种产品而定(詳見第二章第二节).

第七节 煤焦油瀝青

煤焦油瀝青为煤焦油蒸餾后所余的殘渣.瀝青的化学組成成为高分子烴、有机氮硷、酚类等复杂化合物,此外尚有游离碳.煤焦油的蒸餾溫度高到380°C时,所剩下的为硬瀝青;如在 270~320°C 即停止蒸餾,所剩下的为軟瀝青.

瀝青在电碳工业中亦用来作为粉末材料的結合剂.視需要的粘稠度不同,經常与煤焦油混合使用,但也經常單獨使用.因瀝青成分較煤焦油穩定,故在今日电碳工业中已逐漸普遍使用.

按軟化点的界限,瀝青可大別为三种:

軟瀝青	軟化溫度 40~60°C
中瀝青	軟化溫度 60~90°C

硬瀝青

軟化溫度 90~120°C

在电碳工业中使用的多为中瀝青,有时也使用硬瀝青。

瀝青与精制煤焦油的化学成分极为类似,所不同的只是在物理性質上,但也沒有明显的界限。一般的划分方法是規定軟化点在 26.7°C (立方块法) 以下的为精制煤焦油,以上的为瀝青。

如果瀝青中含有較多的游离碳,其粘結力便較低。因此在制备或使用时,应尽可能防止油質分解。

用作电碳制品的瀝青,应符合下列技术条件(ГОСТ1038-41):

(1) 軟化点	65~70°C
(2) 揮发物	60~65%
(3) 灰分	不超过 0.3%
(4) 游离碳	20~28%
(5) 水分	不超过 0.5%

第八节 銅 粉

銅粉是制造金属石墨电刷及自滑潤青銅-石墨軸承襯套的主要原材料之一。銅具有仅次于銀的极高的导电性,每立方厘米的电阻为 1.724 微欧。导电率大約高于石墨 500 倍(石墨为 720~812 微欧)。因此,在金属-石墨刷中由銅粒子構成的格子,是主要的电流导体。此外,当电刷在整流子或滑环上工作时,銅粒子会磨掉氧化膜,使电刷工作面与整流子或滑动环間的接触电压降减低。

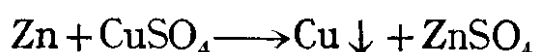
随着电刷中含銅量的增加,电刷的导电率大大增加,大約与 V 值的立方成正比例(V 为电刷中銅的体积)。这是由于随着銅粒子数量的增加,不仅是形成导电格子的鏈的数目相对增加,而且更多的零散的銅粒子形成了新的鏈。

銅的比重为 8.89,熔点是 1,083°C。

銅粉主要是用电解^①的方法取得。阴极和阳极均为紫銅板

(阴极的面积比阳极稍小), 浸在具有适当酸度、铜离子浓度和温度的电解液中。在较大的电流密度(通常为 8~16 安/平方分米)的作用下, 在阴极便产生铜粉。铜粉的粒度和生成率完全取决于以上所指的几个参数。

也可以用化学方法得到铜粉。它是根据不同金属电位序的高低而发生作用的。电位序较高的金属取代了电位序较低的金属在其化合物中的位置。例如锌的电位序比铜的高。若把锌片浸入硫酸铜溶液中, 稍稍加温, 铜粉便按如下的方程式被锌取代而出:



由此而得的铜粉, 具有极细的粒度。这种方法在十多年以前曾有人利用过生产电刷, 现时已被电解法所代替。利用化学方法制成的铜粉, 其缺点是显而易见的, 因为在这种铜粉中含有多量的锌, 用它做成电刷, 即所谓锌青铜电刷, 具有特别高的硬度, 对整流子或滑环的磨损很大, 有时它本身的磨损也很大。但是, 用这种方法取得铜粉, 设备比较简单, 用不着象电解铜粉那样需要很多的设备; 而且所得的铜粉粒度细, 制成的产品机械强度好, 所以用它来制造青铜-石墨轴承倒是很适宜的。

铜粉在温暖潮湿的空气中极易氧化。氧化后的铜粉必须加以还原。经验证明, 若铜粉被洗涤得异常干净而且稍带硷性, 则保藏时氧化程度便可减低。

电碳制品用的铜粉应具有如下的技术条件:

- (1) 铜粉中的铜含量不应小于 98.5%
- (2) 锡、砷、铅和铁的含量仅容许有痕迹;

① 电解铜粉的条件:

电解液中铜离子浓度	10~25 克/升
硫酸浓度	100~200 克/升
电流密度	8~16 安/平方分米
温度	40~60°C