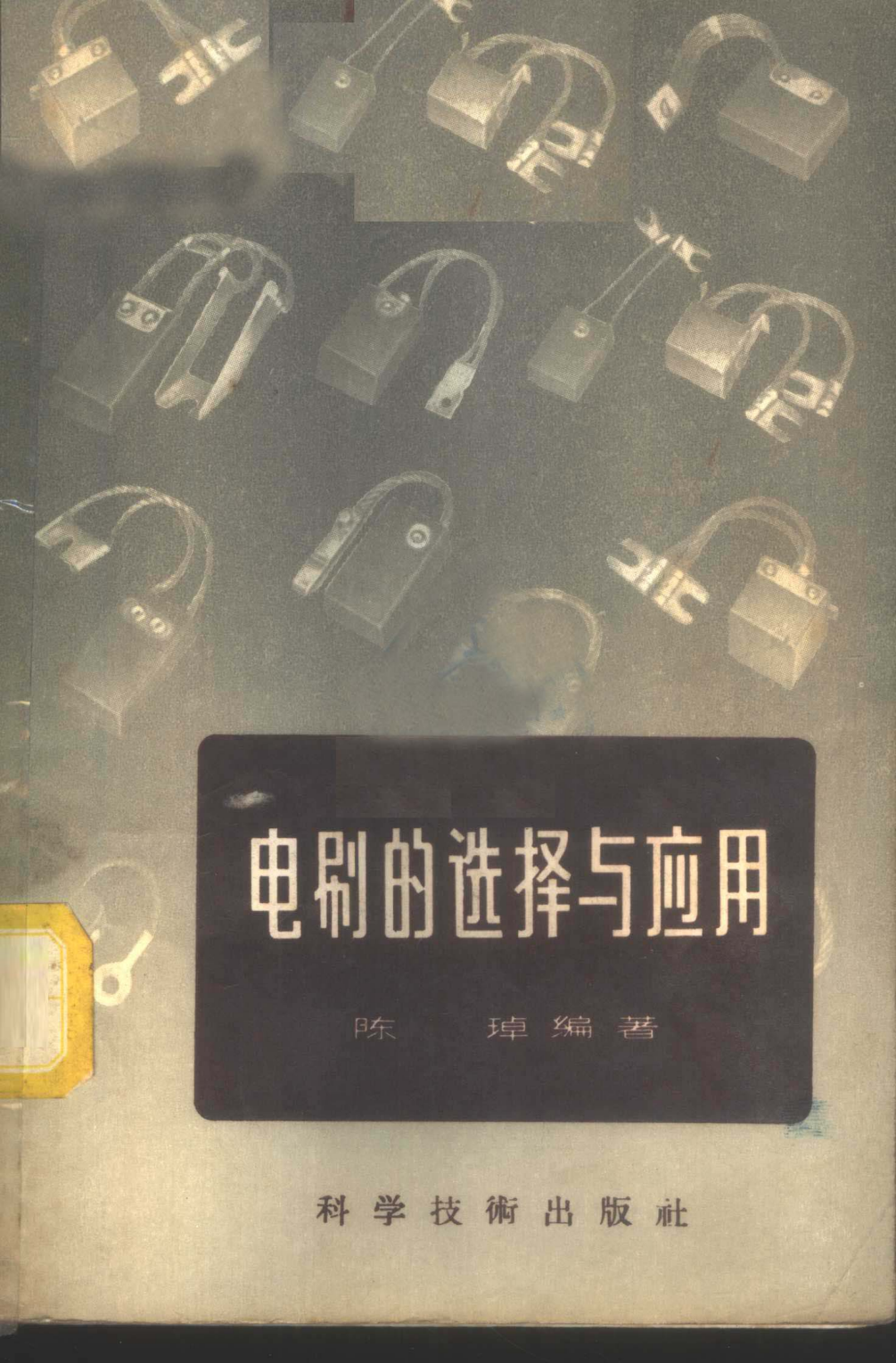




电刷的选择与应用

陈 琯 编 著

科学 技 术 出 版 社

內 容 提 要

本書敘述電刷的種類、材料、構造、性能、選擇、裝置、整流等問題，以及如何在電機內運行得完善可靠而又經濟。在對電機發生火花的嚴重情況下，介紹如何分析原因，改善措施，以消除火花的障礙。本書在電刷、刷握、整流子、滑環的保養管理方面，皆作了具體詳盡說明，和指示出預防維護方法。本書適宜電機專科學校學生及電機設計與管理人員參考之用。

電 刷 的 選 擇 與 應 用

編 著 者 陳 琿

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証出 079 號

上海啓智印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·622

開本 787×1092 1/32 . 印張 47/16 . 字數 90,000

1958 年 3 月第 1 版

1958 年 3 月第 1 次印刷 . 印數 1—1,000

定價：(10) 0.65 元

序 言

电机的發明，已有百余年歷史。它的沿革與發展和電刷的進化，有極密切的關係。本書的主要目的，就是研究和討論各種類型的電刷在电机運行上的有關問題。

電刷與整流子或滑環，構成电机內從機械能轉變成為電能，或從電能轉變成為機械能（小量鼠籠式电动机除外）的一個重要環節。無疑地每個电机工程人員都想在电机上獲得完善可靠而又經濟的運行。這個要求當然是包括電刷、刷握及整流子或滑環等件的保養、壽命及運行費用等等在內。因此在設計及管理上，對於這個很脆弱的環節不能不予以充分的重視。為了配合這個要求，本書對於電刷的種類、材料、構造、性能、選擇、裝置及整流等等問題，都作了較為詳盡的說明。

电机發生火花系电机管理人員面臨的一個嚴重問題。小則电机運行發生障礙，生產因而停頓。大則可能引起火患，造成企業上莫大的損失。明智的电机管理人員發現火花後，決不會任其繼續存在。勢將尋出原因來求改善的方法。產生火花的原因甚多，但是都不外乎電刷與整流子或滑環的有關問題。針對着這個嚴重問題，在本書第九章內詳述了电机產生火花的種種原因及其消除方法，俾讀者參考。

本書對於電刷的應用範圍，僅僅在原則上作了較為廣泛的介紹。電刷工業尚在作不斷的改進，尋求新材料，製造具有特殊性能的新品種，以便配合新的要求。更由於各國各廠的出品，連同我國在內，品種、等級及性能的不相同，碍難作個別電刷的推

荐。

本書系參考書性質，適合于电机專科學生、电机專業技術學校學生、电机設計及管理人員等作參考之用。有關工作人員如認為本書所載有助于電刷的選擇；或在电机發生障礙前，能够採取預防措施；發生障礙后，知其原因，獲得消除方法，避免釀成嚴重事故，則作者認為已經達到編纂本書之目的。

本書在編纂中承西北電力設計院副總工程師徐嘉元先生校閱后提出了許多寶貴意見。上海第二師範學院教師凌其章先生代為制圖。并蒙水力發電設計院顧問陸富如先生審查后，指正不少錯誤，一併在此特致謝忱。

目 錄

序言

第一章 緒論..... 1

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. 概念.....1 | 3. 电刷与整流.....2 |
| 2. 电刷在电机内的任务.....1 | 4. 电刷制造工業的發展.....2 |

第二章 制造电刷的材料及其性能.....4

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. 制造电刷的材料.....4 | 7. 無定形碳与石墨相同的理化性能.....11 |
| 2. 制造电刷的無定形碳.....5 | 8. 电化石墨.....12 |
| 3. 無定形碳的性能.....8 | 9. 电化石墨的性能.....13 |
| 4. 以焦碳为基础的碳素的物理性能.....9 | 10. 制造电刷的金属及其性能.....13 |
| 5. 天然石墨.....10 | 11. 膠合剂.....17 |
| 6. 天然石墨的性能.....10 | |

第三章 电刷的种类.....20

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1. 电刷的种类.....20 | 5. 金属-石墨电刷.....23 |
| 2. 碳刷.....21 | 6. 电化石墨电刷.....26 |
| 3. 碳-石墨电刷.....22 | 7. 电刷的应用范围.....27 |
| 4. 石墨电刷.....22 | |

第四章 电刷的構造.....45

- | | |
|-------------------|------------------|
| 1. 电刷各部的定名.....45 | 7. 導綫接端.....53 |
| 2. 刷握.....47 | 8. 彈簧夾头.....53 |
| 3. 电刷的尺度.....48 | 9. 導綫外圍絕緣.....54 |
| 4. 容許差額.....50 | 10. 刷頂的保护.....54 |
| 5. 距隙.....50 | 11. 电刷鍍銅.....55 |
| 6. 導綫.....50 | |

第五章 电刷的性能.....56

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. 电刷性能的測驗.....56 | 7. 影响接触电压降的一般因素.....63 |
| 2. 电阻率.....56 | 8. 电刷的导热性能.....68 |
| 3. 影响电阻率的一般因素.....57 | 9. 硬度及磨损性能.....70 |
| 4. 摩擦系数.....57 | 10. 惰性.....72 |
| 5. 影响摩擦系数的一般因素.....59 | |
| 6. 接触电压降.....62 | |

第六章 电刷的选择.....73

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. 选择电刷的先决条件.....73 | 5. 温升对于电刷的影响.....80 |
| 2. 选择电刷时应有的资料.....74 | 6. 云母夹片对于电刷的影响.....81 |
| 3. 电刷的电流容量.....77 | 7. 滑环上用的电刷.....82 |
| 4. 外周线速度对于电刷的影响.....79 | 8. 旋轉变流机用的电刷.....83 |

第七章 电刷的装置.....84

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| 1. 机械結構上的要求.....84 | 9. 电刷接触弧面整理問題.....94 |
| 2. 电刷与整流子間的角度.....84 | 10. 整理金屬石墨电刷弧面.....96 |
| 3. 双向轉动电机的电刷裝置.....88 | 11. 电刷压力.....97 |
| 4. 刷握的設計.....89 | 12. 金屬电刷的惰性.....99 |
| 5. 刷箱的設計.....89 | 13. 电刷种类及等級混合应用問題.....100 |
| 6. 压指及彈簧.....90 | 14. 在旋轉变流机滑环上电刷的布置.....102 |
| 7. 校正刷握距离.....92 | |
| 8. 交錯形刷握裝置.....92 | |

第八章 电刷对于电机运行的影响.....105

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. 电机的温升.....105 | 5. 整流子或滑环表面开槽.....114 |
| 2. 整流子或滑环的磨损率.....107 | 6. 灰塵的影响.....114 |
| 3. 云母夹片的影响.....110 | 7. 电刷数目对于滑环損耗的影响.....115 |
| 4. 电刷接触面上开槽.....112 | |

第九章 电刷發生火花或其他障礙的各种原因.....119

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| 1. 电刷运行的一个基本要求.....119 | 3. 电机發生火花或其他障礙的各种原因.....120 |
| 2. 安全第一.....119 | 4. 新刷.....120 |

- | | | | |
|--------------------|-----|----------------------------|-----|
| 5. 电刷受热膨胀 | 121 | 14. 电刷种类、等級或尺度不
合 | 127 |
| 6. 电刷位置錯誤 | 121 | 15. 整流子發黑 | 128 |
| 7. 电刷接触面弧形不合 | 122 | 16. 整流子損耗太快 | 130 |
| 8. 电刷接触弧不完全 | 123 | 17. 導綫燒毀 | 130 |
| 9. 外圍交錯裝置的电刷 | 124 | 18. 电机發生环火情形 | 131 |
| 10. 保持电刷穩定 | 125 | 19. 近年对于火花問題的研
討 | 133 |
| 11. 电刷距离不对 | 126 | | |
| 12. 电刷压力不适当 | 126 | | |
| 13. 电刷振动 | 127 | | |

第一章

緒論

1. 概 念

煤、石油或流水所存在的能量，可以通过机械能变成电能，輸送至远近各地，使現代化家庭和工業獲得照明、电热或动力。电气化的特点为經濟方便、效能高、適應性廣、潔淨無烟、無臭、無毒及易于管理和控制。这种特点远非他种能量可能与比。

电流可分为直流电与交流电兩種，各有其更为適合的应用範圍。轉速常須变更的电动机、电鍍、电解等等，必須用直流电。輪船用直流电已成为國際标准。至于其他多种制造工業及長途的电气化交通事業的动力，多系采用交流电，因其易于升高电压，利于長途輸电。但是除少数的鼠籠式交流电动机外，無論其为直流电机抑或交流电机，都須利用电刷作为电机与外綫路电流交换的中間物。

2. 电刷在电机内的任务

直流發电机或电动机的主綫圈系統在电樞上。綫圈的兩端与整流子接連。因此大量电流不得不通过电刷与外綫路溝通。电刷在直流电机内有兩重任务，除傳遞轉动和固定兩者之間的电流外，尚須滿足整流的要求。

交流电机不論其为發电机或电动机，其主綫圈均布置在固

定部分，俾主电流可直接与外綫路接通，因此可以免除大量电流通过电刷的困难。但大容量电动机之控制电路及发电机之励磁机与磁極电路，仍須使用电刷。

3. 电刷与整流

直流电机内必须有整流子。因为由于它的存在，才可以使电樞在轉动的时候，將綫圈的接头在适当的时间，通过电刷而逆轉过来。綫头逆接后，电流的方向就可以变换，使原来發出的交流电变成成为直流电。这个倒逆接連使电流换向过程，称为整流，是直流电机的一个基本工作过程，亦是电刷在直流电机内的一个主要任务。

欲使直流电机獲得完善运行，無火花整流实屬至要。欲達到無火花运行的要求，除电机本身在設計及構造方面如整流附極，增加補償繞組等等有关問題外，电刷的选择和在整流子上作适当的布置等等，都系电刷与改善整流的有关問題。

4. 电刷制造工業的發展

十九世紀后期，自直流电机發明后，用紫銅制成电刷。在运行上，虽亦可以聚集电流，惟对于整流子磨耗甚大。当年其他工業尚未充分獲得發展，对于发电机和电动机，在种类上的要求不高，更被种类有限的电刷所拘束，电机和电刷，進步都極遲緩。近数十年來，工業日趨發達。各种电机的用途，日趨廣泛。

現代电机，尤其是汽輪发电机，滑环的外圓周綫速度已經達到 70 米/秒。整流子的外圓周綫速度亦已達到 50 米/秒。飛機上的发电机因为受到低气压及低气温的影响，电刷的磨損率甚

高。凡此种种新的条件,对于电刷的性能都有新的要求。电刷制造厂商,經過多年的鑽研和改進,積集了不少的經驗。在設計和用料上,都有顯著的進步。时至今日,已有多种原料,可以制造各种不同用途的电刷。除原有紫銅电刷仍可用在大量电流的电机外,尚有碳素、石墨等等材料及其多寡不同的成分混合,制成各种不同等級的电刷,足以应付現代各种电机的要求。更值得称道的是,各个工業國家,对于电刷材料,仍在繼續不断的試驗和鑽研。对于近代工業作了很大的貢獻。

第二章

制造电刷的材料及其性能

1. 制造电刷的材料

制造电刷的材料为碳素、金属粉末和以碳素为基础的胶合剂。碳素包括无定形碳、天然石墨及电化石墨三种。

在无定形碳的类型中有木炭、碳黑(煤烟)、骨黑及焦炭等,而焦炭一类内尚有石油焦碳及煤瀝青焦碳。无烟煤为一种不纯质的无定形碳。各种碳素在不同的形状下,具有不同的物理和电气性能,而且各具它所适合的应用范围。

天然石墨为矿物质。有鳞片、晶体和无定形三种形状。制造电刷的天然石墨多系采取鳞片形状的一种。在普通商业上,石墨有时亦称为黑铅。其实黑铅系无定形石墨的一种,惟杂质较多。因此它的性能亦与石墨略有差别。

电化石墨系用石油焦碳、煤瀝青焦碳或无烟煤为原料,经过高温电炉烧结使石墨化的一种人造石墨。

金属电刷的主要金属为紫铜,而以锡及铅为辅助材料。紫铜与锡加入石墨制成的电刷称为青铜石墨电刷,苏联有时尚加入锌。

其他制造电刷材料尚有煤焦油及煤焦油瀝青两种的胶合剂原料。

2. 制造电刷的無定形碳

制造电刷的無定形碳有木炭、碳黑、骨炭、焦煤、石油焦炭、煤瀝青焦炭及無烟煤等。这些無定形碳都非天然產品。除碳黑外都系經過破坏蒸馏制成。

(1) 木炭 木炭系將木料与空气隔离,經過破坏蒸馏,將一切可揮發物質消散殆尽后所余的殘渣。由于燒制木炭的木料不同,木炭的物理性能亦因而稍有差別。故木炭的比重为 0.28 至 0.57 之間。木質愈堅,所燒成的木炭的比重亦愈高。制造电刷的木炭的木材以胡桃木、白橡樹、榆樹、黃楊樹及楓樹等为最佳。以輕質木材燒成的木炭來制造电刷,容易吸收气体而致發生火花。

(2) 碳黑 碳黑系將含有碳質的气体火焰冷却,使黄色火焰內的熾热炭末,積聚起來,成为煤烟。有时碳黑亦称煤烟。其实碳黑与煤烟系兩種不同產物。煤烟系由煤焦油或其他油类的帶烟火焰冷却而成。碳黑与煤烟制成后,極為細致均匀,不須再加研磨。但仍存有些微雜質,必須清除,方始適用。

碳黑系黑色或黑灰色粉末。適合于制造电刷的碳黑应以表 2-2 內所列的近似成分分析为范。

(3) 骨黑 骨黑系將新鮮獸骨除去一切油脂及肉經過破坏蒸馏而成。陈旧的獸骨由于暴露在空气內过久,制成的骨黑缺少碳質,不能用作制造电刷原料。优良的骨黑是暗黑色的,碳質較富,气孔率亦高。經燃燒后成为白色或奶黃色,質地最优,最適合于制造电刷之用。下表列举甲乙丙三种質地比較优良,可資电刷制造厂家作为选料标准的骨黑成分。

表 2-1 新骨黑的成分分析

骨 黑 成 分	甲种, %	乙种, %	丙种, %
碳質	10.76	9.30	9.28
过磷酸鈣	73.50	75.00	75.10
磷酸鈣	8.69	6.23	7.40
硫酸鈣	0.05	0.68	0.10
硫化鈣	0.03	0.61	—
氧化鈣	—	—	0.91
磷酸鎂	6.08	—	—
氧化鉄	0.16	0.23	0.34
鹼性鹽	0.44	—	—
砂	0.29	0.42	0.32

(4) 焦碳 焦炭与木炭一样,系將烟煤与空气隔絕,經過破坏蒸餾而成。所漏出的揮發物質有氨、煤气及煤焦油等。留在蒸餾釜內的殘渣就是焦碳。焦碳为不純碳,因为尚有灰分未被清除。燒制焦碳的無烟煤必須具有適當成分。除去灰及水分而仍有 8.5% 的氧,或氫氧比例低于 0.59 的無烟煤等不適于燒制焦碳之用,因为經過蒸餾后所余的殘渣不能凝結成塊。無烟煤亦非燒制焦碳原料,因为这种煤难于熔化。

質地优良的焦碳呈暗黑灰色至淡銀灰色。淡銀灰色的塊狀焦碳有細致的紋理。橫的收縮紋不多。跌在地上鏗鏘作响。这些特征系表示着經過高温碳化过程的焦碳,为制造电刷的优良無定形碳素之一。焦碳的比重为 0.37 至 0.51。密度約为 0.37 至 0.53 克/立方厘米。表 2-2 注明几种適合制造电刷的焦碳的近似成分及元素分析:

表 2-2 焦炭及無烟煤的近似成分及元素分析

种 类	近似成分分析, %				元素分析, %				
	固定 碳	揮發 物	水分	灰分	碳	氫	氮	氧	硫
煤气焦炭	88.0	1.4	0.8	9.8	86.8	0.7	1.1	0.9	0.7
副產焦炭	87.5	1.4	0.8	10.3	85.0	0.8	1.3	1.2	1.0
石油焦炭	90.7	7.0	1.1	1.2	90.8	3.5	0.8	3.2	0.5
煤瀝青焦炭	97.6	1.0	0.5	1.0	96.0	0.6	0.7	0.6	0.5
無烟煤	88.3	6.2	3.0	2.5	94.0	2.7	1.0	1.7	0.6
煤焦油	84.3*	14.0	1.5	0.2	84.9	9.5	0.8	4.3	0.5
煤焦油瀝青	75.4*	24.0	0.3	0.3	93.0	4.0	1.0	1.5	0.5
骨炭	96.6	2.5	0.8	0.1	—	—	—	—	—

* 游离碳+固定碳。

(5) 石油焦炭及煤瀝青焦炭 石油焦炭系將重油分裂过程中所余的殘渣經過破坏蒸餾而成, 因此它为石油工業中主要副產品之一。煤瀝青焦炭系將煤焦油瀝青在 950 至 1,000°C 的温度下餾, 將絕大部分的可揮發物除却后所得的產物。煤焦油瀝青在初期的时候, 系一种頗厚的流質, 逐漸变成塑膠体状态。經過破坏蒸餾將可揮發物除去后, 凝結成为煤瀝青焦炭。

石油焦炭及煤瀝青焦炭都不是單純的碳素。初步制成的焦炭尚含有多种化合物及可揮發物質。在多种化合物中約有 40% 可以溶化于二氧化碳內。如果利用这两种焦炭來做碳素制品的原料, 則在制造之前应將可能溶化的化合物先行溶化, 再在 1500°C 的高温清除揮發物質及所吸收的水分, 使成为精制碳素。

合乎制造电刷的石油焦炭及煤瀝青焦炭, 揮發物質及水分都应在最低限度。在表 2-2 內这两种焦炭的近似成分分析, 灰

分、水分及揮發物質都比較低，系制造电化石墨及其他电碳制品的理想原料。

石油焦碳及煤瀝青焦碳在精制或煅燒成为电化石墨的过程中，体積收縮約達 10% 之多，因此气孔減少，成为細結密致的电碳制品，硬度既高，电導性能亦强。

(6) 無烟煤 無烟煤系礦物燃料之一。在煤的种类中，性質最硬，可揮發物最少，水分甚低，热值亦最高，可達 3,650 卡/千克，燃燒無烟，亦無火焰。色黑有光。比重为 1.45 至 1.70。表 2-2 中所示系灰分甚低的一种無烟煤的成分分析。經過煅燒后成为电化石墨的好原料。

3. 無定形碳的性能

無定形碳的比重，在不同形狀下，高低不同。表 2-3 系上節所述各种無定形碳的平均比重及單位体積重量：

表 2-3 几种無定形碳的比重及單位体積重量

种 类	比 重	單位体積重量, 克/厘米 ³
木炭	0.28~0.57	0.367~0.526
碳黑	1.7~1.8	~
骨黑	~	0.638~0.736
焦碳	0.37~0.51	0.367~0.511
石油焦碳	~	1.60
煤瀝青焦碳	~	1.60
無烟煤	1.40~1.80	1.55

上述几种無定形碳素体質頗硬，磨損性亦大。气孔率高，容易吸收气体及水分。在高温的时候，易于氧化，成为二氧化碳或

一氧化碳,全視氧的多寡而定。就是因为这个特点,碳素常被用來除却金屬上的氧化物。

無定形碳的收縮性頗大。尤其是碳黑,几乎達到18~20%。这个特性在电刷方面是值得我們注意的。如果將碳黑來制造碳刷,則热膨脹性能由于温度的变更而变更。刷握的空隙不無影响。但是如果將它石墨化后再做电刷,或在煨燒过程中使其石墨化,則成品非常細致坚实,硬度頗高,能忍受撞击。

無定形碳的电阻率,在25°C的时候,約在38至41歐平方毫米/米之間。通用电气公司从實驗中所得的結論为無定形碳的电抗与燒制的温度有关。燒制温度增加时,电抗减小。直到后来,漸趨恆定而靠近石墨的电抗。如果碳加热至超过它的燒制温度,电抗將永久减小。在冷却后,不会回复到原值。热抗亦有同样变态。就是因为这个关系,燒制碳素电刷时的适当温度,必須受到嚴格的控制。否則每批材料在表面看來完全相同,而制成电刷后,电抗往往不同,增加了用戶选择电刷的困难。

4. 以焦炭为基础的碳素的物理性能

石油焦炭及煤瀝青焦炭兩項系以焦炭为基础的碳素。由于气孔率頗高,約为25%。这种碳素的表面單位体重为1,602克/立方厘米,压碎力約为420至630千克/平方厘米,全視气孔率的高低而定。導热率为0.00786卡/厘米/°C。热膨脹系数在20至1,000°C的一个幅度中約为 $7.3 \times 1,000^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。比热在26至280°C的一个幅度中为0.200克·卡/°C。电阻率为43歐平方毫米/米。揮發点約为3,500°C。熔点为4,400°C。灰分約为1.0至1.2%,这兩种焦炭和低灰質無烟煤为制造电化石墨的最好原

料。

5. 天然石墨

天然石墨，简称石墨，系天然礦產品，系从它所附着的巖石上用机械分离出來。有深灰色至黑色的金剛色澤。石墨產于錫蘭、墨西哥、美國、加拿大、西伯利亞及朝鮮等國。我國在东北及山东等地亦產鱗片石墨頗丰。

石墨有鱗片、品形及無定形三種形狀。鱗片石墨难于研磨成粉，但是它系制造电刷的良好原料。而以錫蘭及加拿大產者為最佳品，朝鮮產者為最难于研磨。品形石墨的磨損性最高，在制造須要磨損性能較高的电刷時，間或采用，惟并不廣泛。至于無定形石墨內雜質甚多，电刷及其他电气工業上很少采用。產量虽多惟工業价值不大。只可用在鑄造、油漆、鉛筆及其他非电气工業內。

6. 天然石墨的性能

石墨由于世界各地產品的不同，比重亦各異，約在 2.0 至 2.7 之間。單位体重為 1.69 至 2.17 克/立方厘米。體質愈重者則質地愈純。石墨的蕭氏硬度為 20 至 38，毛氏硬度約為 1 至 2 之間。比熱為 0.20。熱膨脹系數不高。在 20 至 600°C 的一個階段中，綫熱膨脹為 $2.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。橫熱膨脹為 $3.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。真性密度為 2.21，氣孔率約為 23 至 30%。氣孔率愈高則石墨制成品的體質愈為松脆。張應力為 50 至 85 千克/平方厘米。壓碎力為 210 至 280 千克/平方厘米。抗酸及抗鹼性甚強。富有潤滑性能。導熱及導電性能亦高，為制造电刷的優良原料。