

電機用電刷的 製造和应用

苏联 姆·德·別爾京等著

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書詳盡地研究了電機用電刷的選擇和運行問題。闡述了電刷的性質、電刷的製造工藝和質量的檢查法。說明了發生火花的原因及其消除的方法。

本書可供工程師、技術員和從事電機運行及修理的熟練技術人員之用。

* *

*

電機用電刷的製造和应用

ЩЕТКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН,
ИХ ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)*
1952年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯М. Д. БЕЛКИН Г. С. ШТЫХНОВ著

金宗煦譯 屠大魯校訂

燃料工業出版社出版

社址：北京東長安街燃料工業部
北京市書刊出版業營業登記證出字第013號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：廖美壁 校對：匡文因

書號539電229

850×1092 $\frac{1}{4}$ 開本 * 54印張 * 133千字 * 定價(9)一元二角七分

一九五五年九月北京第一版第一次印刷(1—2,600冊)

序 言

直到目前為止，關於電機所用各種牌子電刷的特性及應用範圍的問題，在我們的技術文獻中是談得很不夠的。出版已有三十年的由尼基漢和格因里赫所譯的書籍，主要祇涉及了滑動接觸的一般問題。克拉西里尼可夫的著作正相反，主要地闡明了電工用炭製品的製造工藝問題。在各種手冊裏所引用有關電機電刷的數據，也多是片斷的和無系統的。此外，這些數據大多已經過時了。

然而，電機的設計者和運行人員都極需要有些參考書，其中把各種牌子電刷的特性和應用範圍的問題敘述得更為詳細，從而可以正確地來選擇電刷。本書可供工業企業、運輸業、發電廠及其他從事電機運行和設計的廣大的工作人員之用。●本書對於企業的工程師，技術員，以及直接從事於電機管理和維護的技工亦能有所裨益。

現時電工用炭製品的許多技術問題，還未能得到解決。例如，電刷成分，製造工藝和特性之間的關係，各種牌子電刷的特性和其應用範圍之間的關係及其他等，在實用上都非常重要，而始終尚沒有明確起來。電機設計人員和運行人員在選擇電刷的牌子時，主要祇是根據選擇電刷類別的一般見解（例如，對於低壓電機可選用含金屬的電刷，對於高速電機可選用電化石墨電刷等）。電刷牌子的具體選擇，通常是根據經驗，並經長時間選擇的方法而確定的。由於這些原因，雖然本書內不可能包括關於在各種運行情況下滑動接觸的本質和特性的詳盡資料，但是在為某種電機選擇電刷的牌子，以及正確地估計各種牌子電刷的運用特性時，本書能有很大的幫助。

在許多企業中，還有這樣一些電機在運行着，它上面應用的是由電機的製造廠家所安裝的外國牌子電刷。當其電刷磨損以

後，就要用本國製造的電刷來更換它。由於有關各種外國牌子的電刷特性的數據不足，選擇本國牌子電刷來代替是極為困難的，且往往選擇得不正確。其結果便造成了電刷的運用不能令人滿意，甚至是毫無根據地採用了難以找到的和價值昂貴的電刷，這在技術上和經濟上都是不適當的。

爲了更容易解決這一問題，本書內列舉了一些主要數據，可用來確定外國公司的電刷牌子與本國製造的電刷牌子是否能相適應的問題。

在編著本書時，作者接受了電炭工業和運行方面許多工作人員的幫助和意見。在編寫第三章時，採納了阿·德·索博列維的意見。第四章的第5、7、8各節是由尼·依·奧加列維所寫。在編寫第五章時，曾參考了伊·普·特里福諾夫和普·斯·里夫西茨的著作，以及採納了許多用戶方面的意見，其中包括以奧爾忠尼啓則命名的「亞速鋼」廠的電氣技術人員在內。沃·伊·巴西可夫熱誠地擔任了本書原稿的審閱工作，並提供了許多寶貴的意見。作者謹向所有上述諸同志和機關表示誠摯的謝意。

如上所述，電機所用電刷的製造和運用問題，在現時比起電氣工業的其他方面來，還祇有較淺近的研究；因此，本書特別需要各方面讀者對它的評價，首先是電刷使用者的評價。作者謹對給本書提出批評和指正的同志及機關致以熱忱的謝意。如有批評請逕寄下開地址：莫斯科水閘河岸街10號——電工書籍編輯部

格·斯·西替赫諾夫
姆·德·別爾京

目 錄

序 言

第一章 电机製造中所採用的電刷及其分類	6
1. 電刷發展簡史	6
2. 電刷按照其成分的分類	7
3. 各組電刷的技術特性	14
第二章 對於電刷的要求	15
1. 決定電刷應用範圍的電刷特性	15
1) 特性的提要	15
2) 滑動接觸點的瞬變電壓降	15
3) 摩擦係數	18
4) 電刷的磨損率	21
5) 整流子和滑環的磨損率	23
6) 由於機械原因而引起的火花	23
7) 由於電氣原因而引起的火花	25
2. 確定電刷在運行中工作性能的條件	26
1) 條件提要	26
2) 圓周速度	26
3) 角速度	27
4) 電刷的單位壓力	28
5) 電樞和滑環上的電壓	28
6) 整流	29
7) 電流密度	29
8) 滑動接觸點的溫度	30
9) 負荷特性	31
10) 周圍介質的情況	31
3. 整流过程中電刷所起的作用	32
1) 總論	32
2) 滑動接觸點電阻恒定的理論	33

3) 滑動觸點上電壓降恒定的理論	38
4) 現行的整流理論和整流过程中電刷的作用的小結	42
第三章 電刷的物理化学特性	46
1. 主要特性提要	46
2. 電阻率	46
3. 硬度	50
4. 机械强度	53
5. 單位体積重和疏鬆度	54
6. 化学成分	56
7. 電刷的目見結構和顯微結構	59
8. 電刷牌子之確定	65
第四章 電刷的製造(簡論)	67
1. 概況	67
2. 電刷塊的製造	68
3. 主要的組成材料	71
4. 石墨化	73
5. 用電刷塊製造電刷毛坯	75
6. 電刷的浸漬	81
7. 電刷的鍍銅	84
8. 電刷的導綫	85
1) 導綫的選擇	85
2) 導綫在電刷上的固定法	85
9. 分層電刷和刻槽電刷	91
10. 導綫連接情况的檢查	92
第五章 電刷的選擇	93
1. 國產電刷的技術特性	93
2. 國產電刷的应用範圍	98
3. 小型電机和短時運行的电机中電刷工作的特點	102
1) 起動器	102
2) 轉數高的小型電動机和發電机	103
4. 國產電刷的選擇	104
5. 外國公司出品的電刷和可以代用的國產電刷	112

第六章 電刷運行的基本規則	120
1. 電刷的裝置和調整	120
1) 對於刷握的要求	120
2) 壓力的均衡性	120
3) 各種牌號電刷的應用	121
4) 電刷在整流子上的佈置	121
5) 電刷的研磨	121
2. 電刷中性區的確定	122
3. 直流電機中磁極的交替	125
4. 整流子和電刷的維護	125
5. 火花程度的判別	126
6. 電刷運行中的故障	127
1) 電刷下的火花及其消除方法	127
2) 電刷和整流子有較高的磨損率	133
3) 電刷及其配件有較高的發熱現象	134
附 錄	135
1. 電刷的額定尺寸	135
2. 電刷的式樣和配件的類型	137
3. 配件的類型和將導綫加固在電刷體上的方法	139
4. 電刷用的銅導綫及其絕緣材料	140
5. 導綫端帽的結構和尺寸	143
6. 電刷毛坯上導綫的小孔	151
7. 在電刷體上固定導綫所用夾圈的結構和尺寸	153
8. 配件的細小零件	158
9. 選擇電刷牌子用的詢問單	159

第一章 電機製造中所採用的電刷及其分類

1. 電刷發展簡史

在雛型的電機內，是用一束外表上好似掃帚或刷子樣的金屬絲，從電機的轉動部分取得電壓或電流的。導流裝置的這個名稱就這樣地打下了基礎，而一直保留到現在，雖然這種由金屬絲組合成的裝置不再採用已經有六十餘年的歷史了。

以後，電刷開始用捲成長方形截面的輓軸樣的薄銅片或銅網來製造。這種電刷在目前老式的電動機中尚在使用，然而，已經不再製造。還有想採用「彈簧與滾珠」作為電刷的；但是這種電刷未能普遍應用。銅網和銅片電刷可以說是現代金屬石墨電刷類中早期的產品。

從1905—1910年開始到現在，金屬石墨電刷是用銅和石墨粉末的混合物所製成的，有時還加進鉛（顆粒約5—80微米大小）。應當指出：用金屬粉末壓製成物品（白金蒸發皿、白金坩堝、錢幣、獎章等等），首先是由奠定金屬陶器的俄國學者普·格·索伯力夫斯基於1826年5月24日發明的。

隨着力能學進一步的發展，電機製造工業也跟着有了發展。電機的電壓和容量愈增，整流問題也就愈困難。雖然增加了間極以及採取了其他改善整流條件的措施，然而，對於電壓在120伏及其以上的直流電機已經不能再採用銅片製成的電刷了。金屬石墨電刷也同樣不能達到無火花整流的的要求。

電碳工業中電弧用電極製造方面的發展，促使電刷有了進一步的發展。起初電極是由石墨塊和木炭塊製成的。以後開始用人造炭來製造電極，即將炭粉與糖漿混合後，加以壓榨和焙燒而製成。這種製造電刷的方法也曾用过。約在1890年製成了最初一批硬質炭精電刷。

這樣便出現了最初兩種牌子的電刷：金屬石墨電刷和炭精石

墨電刷，一種是專用於整流子或滑環上電壓較低的電機上的，另一種則是用於整流子上電壓較高的電機上的。這二種牌子的電刷所具特徵是：滑動接觸點的容許圓周速度較低。

自從出現了有滑環的高速電機以後（主要是交流汽輪發電機和高速整流子電機），就需要新式的電刷，因為金屬石墨電刷和炭精石墨電刷在圓周速度很高時，由於電刷振動而產生火花，不能使用。對於有滑環的高速電機，曾經用壓有少量膠合材料（樹脂、白氏塑膠）的石墨粉末，並把它放在比較低的溫度（約數百度）下進行焙燒的方法，來製造石墨電刷（第三類電刷）。對於某種石墨（錫蘭的），甚至只要壓縮，而不用任何膠合材料和焙燒，就能製成電刷。這種型式的電刷稱之為天然石墨電刷。石墨電刷的最初樣品是在1893年出現的，而天然石墨電刷的最初樣品是在1905年才出現的。

石墨電刷，特別是天然石墨電刷在高速電機的滑環上工作時沒有火花。在220伏以上電壓的高速電機的整流子上，有時甚至在120—220伏電壓的電機上，這些電刷工作時是沒有不發生火花的。然而大家知道，硬質炭精電刷在低速電機的整流子上能很好地工作，但是當滑動接觸點的圓周速度超過12—15公尺/秒時，由於電刷有了振動，開始發生火花。過去由於改變了炭精石墨電刷的製造工藝曾經得到第四類電刷——電化石墨質電刷，這種電刷兼有第二類和第三類，即炭精和石墨質電刷的性能。

電化石墨質電刷的製造過程，最初與製造硬質炭精電刷和炭精石墨電刷類似。

所得到的電刷經過所謂石墨化，即放在特製的電阻爐內，約在2500°C的溫度下再加焙燒。這一種加工的結果，電刷的硬度和摩擦係數減低了，因而減少了電刷的振動和火花。

2. 電刷按照其成分的分類

現時電機所用電刷有下列四種主要的類別：

第一類——金屬石墨電刷；

電刷按成分的分類

表 1

類別	分類名稱	組 別	各組的主要用途	原始材料及製造過程	應 用 範 圍
1	金屬石墨電刷	1) 含銅量高的 (達30%) 青銅並機 有石墨電刷鉛的 (達10—12%) 2) 含銅量高的 (達30—90%) 3) 含銅量較高的 (50%以上) 4) 含銅量較低的 (50%以下) 5) 銀石墨電刷	用於電流密度大 的電機 用於電刷內電力 損耗要少的電機 用於低壓電機 用於電壓較低的 電機 用於特殊情況下	石墨、銅和鉛的粉末。 壓製。在低於1000°C的溫 度下進行焙燒 石墨和銅的粉末。不用 膠合材料混合。壓縮。在 低於1000°C的溫度下進行 焙燒 同上組 石墨和銅的粉末。用少 量膠合材料(樹脂, 有時 是白氏塑膠)混合。在低 於1000°C的溫度下進行焙 燒 石墨和銀的粉末。混合, 壓縮, 焙燒, 與以上1, 2, 3, 4 各項所述相同	異步電動機和變流機的黃銅環。電流 大的低電壓發電機(電解用)。汽車發電 機和起動機。單極電機 應用範圍同上, 但與前一組比較時電 刷的電力損耗較低, 而磨損率則略高 異步電動機, 變流機和同步電機的黃 銅環。充電發電機和汽車發電機, 以及 起動機 變流機的黃銅環。同步電機的黃銅環 和銅環。充電發電機和汽車發電機。電 壓較低的牽引電動機(例如礦山用電氣 機車) 特殊機械的伺服電動機(計算器和類 似的儀表)

續表 1

2	炭精石墨電刷	1) 中等硬度 2) 硬度較高	用於各種最通用的電機 運用於困難的條件下(容易弄雜的電機, 機械震動, 負荷衝動和火花)	石墨和其他炭精材料(碳黑、焦炭混合的粉末)。用膠合材料的混合物(樹脂、瀝青)。壓縮。在 1000°C 以上的溫度下焙燒	容量較小的固定直流發電機。間歇運行的 小容量和中等容量的萬用直流發電機
3	石墨電刷	1) 石墨電刷(普通的) 2) 天然石墨電刷	用於各種最通用型的直流電機 [與 2.1) 相同]	石墨粉末。與膠合材料(樹脂、瀝青)混合壓縮。在 1000°C 以上的溫度下焙燒	直流牽引用電機和其他衝擊負荷的電動機。交流整流子電動機。整流子會弄髒或發黑的電機。小型電動機 與上述 2.1) 組相同的直流電機, 但圓周速度較高。同步電機的滑環。電焊發電機
			用於圓周速度最高的電機的滑環	石墨粉末。大多不用任何膠合材料, 但加焙燒而進行壓縮, 有時稍微加一些膠合材料(樹脂、白氏塑膠)且電刷在低溫下進行焙燒 (約 200°C—500°C)	大多用於高速汽輪發電機的滑環。也可以用於直流電機的整流子, 但是在這種情況下圓周速度一般允許不得超過 40 公尺/秒

續表 1

類別	分類名稱	組別	各組的主要用途	原始材料及製造過程	應用範圍
		5) 高電阻電刷	用於電壓最高的電 機的整流子	石墨粉末。與膠合材料(通常為白氏塑膠)混合。在低溫下進行焙燒(約200°C)	飛行裝置的無縫電旋轉變流機; 整流條件最困難的高壓小型電動機
		4) 磨料電刷	用於會發黑的整流 子和滑環	石墨粉末和磨料物質的混合物(有時也帶各種炭精材料 的混合物)。與膠合材料(樹脂、白氏塑膠)混合, 而在某種情況下不用膠合材料[與 3.2) 相同]壓縮。在不同溫度下進行焙燒(從 200°C 到 1000°C 以上)	與石墨、天然石墨或中等硬度的炭精石墨等電刷 [3.1), 3.2), 2.1)] 相同。當整流子或滑環由於周圍介質的化學作用等等原因而會變黑的場合下
		6) 電石墨電刷	用於最通用的各型 直流電機[與 2.1) 3.1) 相同]	與石墨電刷和中等硬度的炭精石墨電刷相同[3.1) 2.1)], 但是有採用電石墨者(即約在 2500°C 的溫度下用焙燒的方法除去灰的石墨)	與 3.1) 2.1) 相同, 特別是當需要平穩的運轉和實際上整流子或滑環完全沒有磨損的場合下

續表 1

4	電化石墨電刷	1)軟的 2)中等硬度的	用於圓周速度最高的電机的滑環[与 3.2)相同] 用於最通用的各型直流電机[与 2.1) 3.1), 3.5)]相同	与石墨電刷[3.1)]相同, 但需經電化石墨过程, 即在 2500°C 温度下煅燒 与炭精石墨電刷[2.1), 2.2)]相同, 但需經電化石墨过程	与天然石墨電刷[3.2)]相同。特别是当整流子或滑環需要最小的磨損率的場合下。 与中等硬度的炭精石墨電刷, 以及石墨電刷和電石石墨電刷(2.1), 3.1), 3.5)相同。特别是当電刷需要有平穩的運轉和整流子或滑環有最小的磨損率的場合下。電鍍發電机
		3)硬的	用於最新型的和技術上最完善的電机	与硬炭精石墨電刷[2.2)]相同, 但需經電化石墨过程	高速直流汽輪發電机, 牽引用和起重用電動机。中等容量和大容量的固定交流發電机。飛机电机

附註:

1. 含錫的金屬石墨電刷(例如我國的 БГ 牌)亦屬於 1.1)組。
2. 1.4)組電刷中的某幾種牌子(含銅量低的)有時屬於外國型錄中的 3.2)組(天然石墨電刷)。
3. 4.2)組電刷中的某幾種牌子(硬質電石石墨電刷)由於硫酸度很高, 在機械上可能弱一些, 實際上所具的硬度很低(例如我國的 3Г-33 牌)。雖然如此, 它們仍應屬於 4.3)組, 因為它們是用炭精材料製成的(沒有石墨), 同時也與本組中其他有很高硬度的電刷一樣, 於同樣的場合下採用之。

各組電刷的技術特

組 號	組 稱	電流密 度， 安/平 方公分	最大圓 周速度， 公尺/秒	最大角 速度， 千轉/分	瞬變電壓 降(每對 電刷)， 伏	電機電 壓， 伏
1.1	青銅石墨電刷	20	20—25	3	0.3—0.6	6—10
1.2	銅石墨電刷(含銅量高的)	18	20	3	0.1—0.5	6—10
1.3	銅石墨電刷(含銅量較高的)	15	20	3	0.5—1.5	40以下
1.4	銅石墨電刷(含銅量較低的)	12—15	25	4	1.0—2.2	80以下
1.5	銀石墨電刷	所有指標與 1.1—1.4 各組				
2.1	中等硬度的炭精石墨電刷	10	20	3	1.5—2.5	120—220
2.2	硬炭精石墨電刷	5—8	12—15	2	1.8—3.0	500以下
3.1	石墨電刷	10	25—30	4—5	1.5—2.5	120
3.2	天然石墨電刷	10	50—70	7—10	1.2—2.5	120
3.3	高電阻電刷	2.5—4	15—40	2—6	7 以下	最高 (1500 伏以上)
3.4	磨料電刷	10	20—50	3—7	1.2—2.5	120
3.5	電石墨電刷	10	30	4—5	1.5—2.5	120
4.1	軟電化石墨電刷	10—12	40—70	6—10	1.5—2.5	120
4.2	中等硬度的電化石墨電刷	10	25—30	4—5	1.8—3.0	120—230
4.3	硬電化石墨電刷	10	50—60	7—10	1.8—3.0	1000以下

性和容許的運行條件

表 2

整 流	摩擦係數	電刷磨損率每50小 時·公厘	整流子 (滑環)磨損率 公厘/公尺	電阻率 歐姆·平方 公厘/公尺	蕭氏 硬度	按壓入法 的硬度 公斤/平 方公厘	單位體積 重, 克/立方 公分	含灰量, %
容 易	0.75以下	0.30以下	中等	0.08—0.50	10以下	5—20	4.8—6.0	1以下
同 上	0.20以下	0.50以下	同上	0.05—0.40	10以下	5—20	4.0—5.5	1以下
同 上	0.25以下	0.30以下	同上	0.3—1.5	15—30	10—30	3.5—4.5	3以下
正 常	0.20以下	0.20以下	同上	1.0—15	20—40	15—40	2.0—3.0	5以下

相同，与電刷中含銀量有關

正 常	0.25以下	0.25以下	中等	20—40	30—50	20—50	1.45—1.60	3以下
困 難	0.30以下	0.15以下	較高	30—100	40—80	30—100	1.45—1.60	5以下
正 常	0.20以下	0.30以下	中等	15—30	25—40	10—30	1.50—1.70	10以下
同 上	0.75以下	0.30以下	較高	15—30	10—30	3—30	1.50—1.70	10以下
最困難	0.20以下	0.20以下	中等	達 1000	20—40	10—30	1.50—1.80	10以下
正 常	0.25以下	0.25以下	最高	15—40	20—40	10—30	1.50—1.80	20以下
同 上	0.20以下	0.25以下	較低	15—40	20—40	15—40	1.45—1.60	1以下
正 常	0.75以下	0.30以下	較低	10—20	10—30	3—15	1.50—1.70	2以下
稍困難	0.20以下	0.15以下	最低	20—40	30—60	15—40	1.50—1.70	1以下
困 難	0.25以下	0.15以下	較低	25—70	40—70	20—80	1.50—1.70	0.5以下

第二類——炭精石墨電刷;

第三類——石墨電刷;

第四類——電化石墨電刷。

其中的每一類又根據其原始材料和製造方法劃分成組。

在表 1 中列舉了每一組電刷的一般概念，並指出每一組電刷的主要用途，原始材料和製造方法，以及應用範圍。表中所列舉的數據是國產的電刷，也是外國牌子電刷所具有的一般特性。

3. 各組電刷的技術特性

在表 1 中所列舉的各組電刷的技術特性，分述於單獨的表 2 中。表中所列各項是綜合了國產的電刷和外國牌子的電刷的實驗室資料及型錄數據而得來的。

表 2 中所列舉的瞬變電壓降，摩擦係數，電刷的磨損率，整流子和滑環的磨損率等，均相當於電流密度為額定值，圓周速度為 15—25 公尺/秒，角速度不超過 2000—3000 轉分及整流子上電刷的單位壓力在 150—250 克/平方公分範圍內的工作方式下之值。

在該表中對於整流子或滑環磨損率所作的估計，大概是相當於連續工作一年(7—8 千小時)後的磨損值，其值如下：

較低的.....	0.15 公厘以內
中等的.....	0.5 公厘以內
較高的.....	2.0 公厘以內

知道了牌號不明的電刷塊或任何沒有標明牌號的電刷的物理化學特性後，即可以利用表 2 把要研究的製品歸列於這一組或別一組電刷裏去，並根據該表(以及表 1)擬定應用範圍，以及對於這些電刷所容許的運行條件(國產電刷的技術特性列於表 11 中，而其應用範圍列於表 12 中)。

第二章 對於電刷的要求

1. 決定電刷應用範圍的電刷特性

1) 特性的提要

電刷的特性、運行條件和電機的結構數據，決定了電刷是否可以用於運行。

以下列舉了電刷的六種主要特性，這些特性可以確定電刷的應用範圍，同時與電刷在製造中所採用材料的成分和質量及其製造的工藝過程有關。

1. 滑動接觸點的瞬變電壓降，亦即電刷與整流子(滑環)之間的瞬變電壓降。

2. 電刷與整流子(滑環)的摩擦係數。

3. 電刷的磨損率。

4. 整流子(滑環)的磨損率。

5. 由於機械原因而產生的火花。

6. 由於電氣原因而產生的火花。

以上所列舉的每種特性，現在分別地研究如下。

2) 滑動接觸點的瞬變電壓降

當電流通過滑動接觸點，即從電刷流往整流子，或從整流子流往電刷時，滑動接觸點的瞬變電阻，並不能保持恒定，而是隨着電流密度改變的；當電流密度增加時，瞬變電阻就下降，反之，當電流密度減小時，瞬變電阻就增加，因此，滑動接觸點的伏安特性不是直線形狀。這種現象的主要原因在於電刷下面的整流子表面(電刷的痕跡)有一層由氧化銅(有炭粒或石墨顆粒的混合物)所組成的薄膜蓋着。這種薄膜就起了半導体的作用。

因為滑動接觸點的電阻不是恒定值，所以就不採用瞬變電