

黑龙江科学技术出版社

# 电机电刷的应用与维护

宋正芳 编著

## 内 容 简 介

本书共分十一章。第一章介绍电机用电刷的发展简史,制造方法,外型结构等;第二章介绍电机用电刷的静态性能及其测定方法;第三章介绍电刷的动态性能及测试方法;第四章介绍安装电刷时应注意的问题;第五、第六两章介绍了电刷在运行中的滑动接触特性和导电机理;第七、八、九章主要介绍与电刷换向性能有关的一些理论和实践问题;第十章介绍选择电刷的方法和针对不同类型电机所推荐的电刷型号;第十一章介绍电刷在运行过程中发生故障的征象、原因及解决措施。在本书的附表里还介绍了英、法、日、德、美等国家主要电碳公司电刷产品的性能。

本书可供电机运行监护者在选择电刷型号及日常维护和保养电刷时参考,也可供电机设计者在选择电刷型号时参考。

封面设计: 琪 馨

## 电机电刷的应用与维护

宋正芳 编著

---

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区分部街28号)

长春新华印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米1/32·印张10·插页1·字数203千

1984年3月第一版·1984年3月第一次印刷

印数: 1—15,700

---

书号: 15217·117 定价: 1.20元

# 前 言

随着我国社会主义现代化建设事业的发展,电机制造业和电机的使用范围不断发展和扩大。特别是近年来,有刷电机的应用范围迅速地从电力、冶金、机械制造、航空、煤炭、交通等部门发展到轻纺、食品、电动工具和家用电器等方面。作为电机的主要部件之一——导出导入电流的电刷的使用范围,也随着扩大到这些领域。对于电刷的基本构造、化学物理性能、检验方法、选择方法、安装时应该注意的问题,以及电刷在运行过程中导电和换向机理,改进换向性能的方法,电刷运行的维护,引起故障的原因及排除故障的方法等,是目前普遍存在的问题。

本书企图从基本原理和实践两个方面,对上述问题加以叙述。但由于我国目前关于这方面的资料还比较少,加之本人理论水平和实践经验有限,因此,要达上述目的,确感心余力绌。书中错误和不足之处在所难免,敬请读者不吝指教。

本书在编写过程中,得到了湖南大学、哈尔滨大电机研究所、西安第七设计院、东新电碳厂、上海电碳厂、哈尔滨电碳厂、哈尔滨电碳研究所等单位的有关教授、专家们热情的帮助和鼓励,又经于志璇总工程师进行了审校。在此,谨向这些同志表示衷心的感谢。

编 著 者

# 目 录

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第 一 章 概述            | 1  |
| 第一节 电机用电刷的生产工艺      | 6  |
| 第二节 电刷的分类           | 9  |
| 第三节 电刷的尺寸与结构形式      | 11 |
| 第四节 电刷刷体的各向异性及外形    | 18 |
| 第五节 电刷刷辫的固定         | 23 |
| 第六节 电刷配件            | 27 |
| 第 二 章 电刷静态性能及其测定    | 33 |
| 第一节 电刷的电阻系数及其测定     | 33 |
| 第二节 电刷的硬度及其测定       | 36 |
| 第三节 刷体与刷辫间的接触电阻及其测定 | 40 |
| 第四节 刷辫脱出刷体的拉力及其测定   | 43 |
| 第五节 电刷假比重的测定        | 46 |
| 第六节 电刷抗折强度的测定       | 47 |
| 第七节 电刷弹性模量的测定       | 49 |
| 第八节 电刷灰分的测定         | 53 |
| 第 三 章 电刷的动态性能及其测定   | 55 |
| 第一节 短路整流子测试法        | 56 |
| 第二节 模拟电机测试法         | 60 |
| 第三节 实际电机试验          | 63 |
| 第 四 章 安装电刷时应注意的问题   | 65 |

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 第一节 | 电刷与刷盒的安装         | 66  |
| 第二节 | 换向器的处理           | 72  |
| 第五章 | 电刷的滑动接触          | 78  |
| 第一节 | 接触面的构造及氧化膜的形成    | 79  |
| 第二节 | 氧化膜的状态           | 84  |
| 第三节 | 影响氧化膜形成的因素       | 86  |
| 第四节 | 滑动接触时的导电机理       | 87  |
| 第五节 | 接触电压降            | 90  |
| 第六章 | 摩擦与磨损            | 96  |
| 第一节 | 摩擦力与摩擦系数         | 97  |
| 第二节 | 影响摩擦系数的因素        | 98  |
| 第三节 | 电刷的磨损            | 105 |
| 第七章 | 电机的构造原理与电刷       | 118 |
| 第一节 | 交流发电机            | 119 |
| 第二节 | 直流发电机和直流电动机      | 122 |
| 第三节 | 同步电机             | 125 |
| 第四节 | 异步电机             | 127 |
| 第五节 | 交流整流子电机          | 129 |
| 第六节 | 单相交流整流子电动机       | 137 |
| 第八章 | 直流机的电枢绕组         | 140 |
| 第一节 | 直流电机的主要构件        | 141 |
| 第二节 | 绕组的分类            | 144 |
| 第三节 | 单迭绕组和单波绕组中的电势    | 150 |
| 第四节 | 电枢反应——电枢电流对磁场的影响 | 154 |
| 第九章 | 直流电机的换向          | 163 |

|             |                               |            |
|-------------|-------------------------------|------------|
| 第一节         | 换向过程·····                     | 164        |
| 第二节         | 换向元件内的电势·····                 | 166        |
| 第三节         | 古典换向理论·····                   | 167        |
| 第四节         | 换向火花产生的原因·····                | 176        |
| 第五节         | 换向火花的等级·····                  | 182        |
| 第六节         | 改善换向性能的措施·····                | 183        |
| 第七节         | 换向性能的检查和调整·····               | 196        |
| 第八节         | 换向性质的新近概念<br>——电刷滑动接触的本质····· | 205        |
| <b>第十章</b>  | <b>电机用电刷的选择·····</b>          | <b>209</b> |
| 第一节         | 主要国产电刷的性能·····                | 211        |
| 第二节         | 选型方法·····                     | 214        |
| 第三节         | 大型汽轮发电机组用电刷的选择·····           | 220        |
| 第四节         | 轧钢电机用电刷的选择·····               | 225        |
| 第五节         | 汽车拖拉机用电刷的选择·····              | 229        |
| 第六节         | 牵引电机用电刷的选择·····               | 234        |
| 第七节         | 交流整流子电机用电刷的选择·····            | 237        |
| 第八节         | 各类型电机用电刷·····                 | 239        |
| <b>第十一章</b> | <b>电刷运行时的监护及故障处理·····</b>     | <b>247</b> |
| 第一节         | 电刷运行时的监护·····                 | 247        |
| 第二节         | 引起电机换向不良的因素·····              | 263        |
| 第三节         | 引起换向不良因素的判断·····              | 270        |
| 第四节         | 电刷运行不正常的征象、<br>起因及解决措施·····   | 281        |

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 附表 1 | 国产电刷新旧型号对照表·····       | 288 |
| 附表 2 | 英国摩根坭坭有限公司电刷技术性能表····· | 289 |
| 附表 3 | 法国罗兰碳素公司电刷技术性能表·····   | 293 |
| 附表 4 | 西德林斯道夫工厂电刷技术性能表·····   | 297 |
| 附表 5 | 日本碳素股份有限公司电刷技术性能表····· | 299 |
| 附表 6 | 美国联合碳化物公司电刷技术性能表·····  | 301 |
| 附表 7 | 苏联电机用电刷技术性能表·····      | 306 |
| 附表 8 | 苏联航空电机用电刷技术性能表·····    | 309 |

#### 参考文献

# 第一章 概 述

电刷是用在电机的换向器或集电环上，作为导出或导入电流的滑动接触体（图 1—1）。各种电刷的外观如图 1—2 所示。

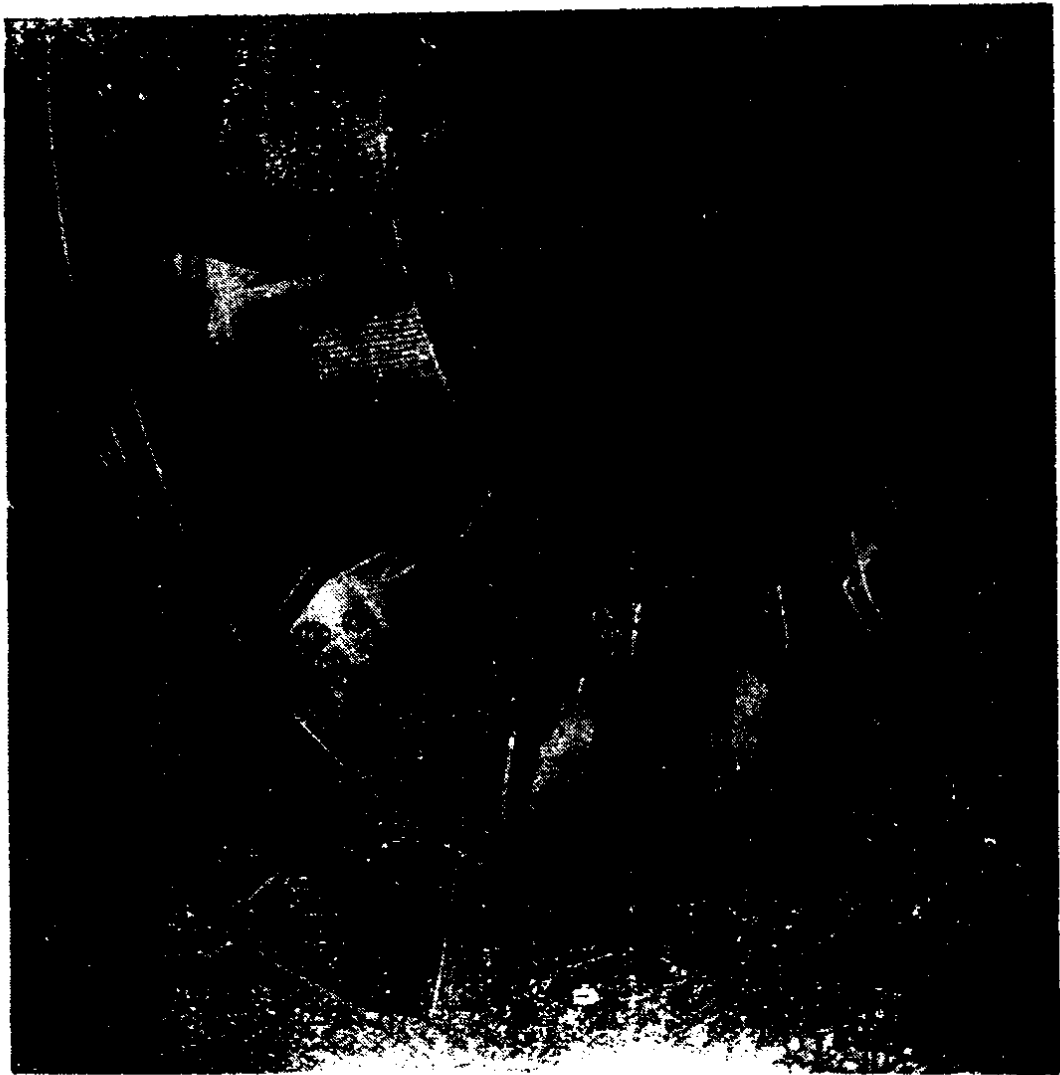


图 1—1 电机用电刷



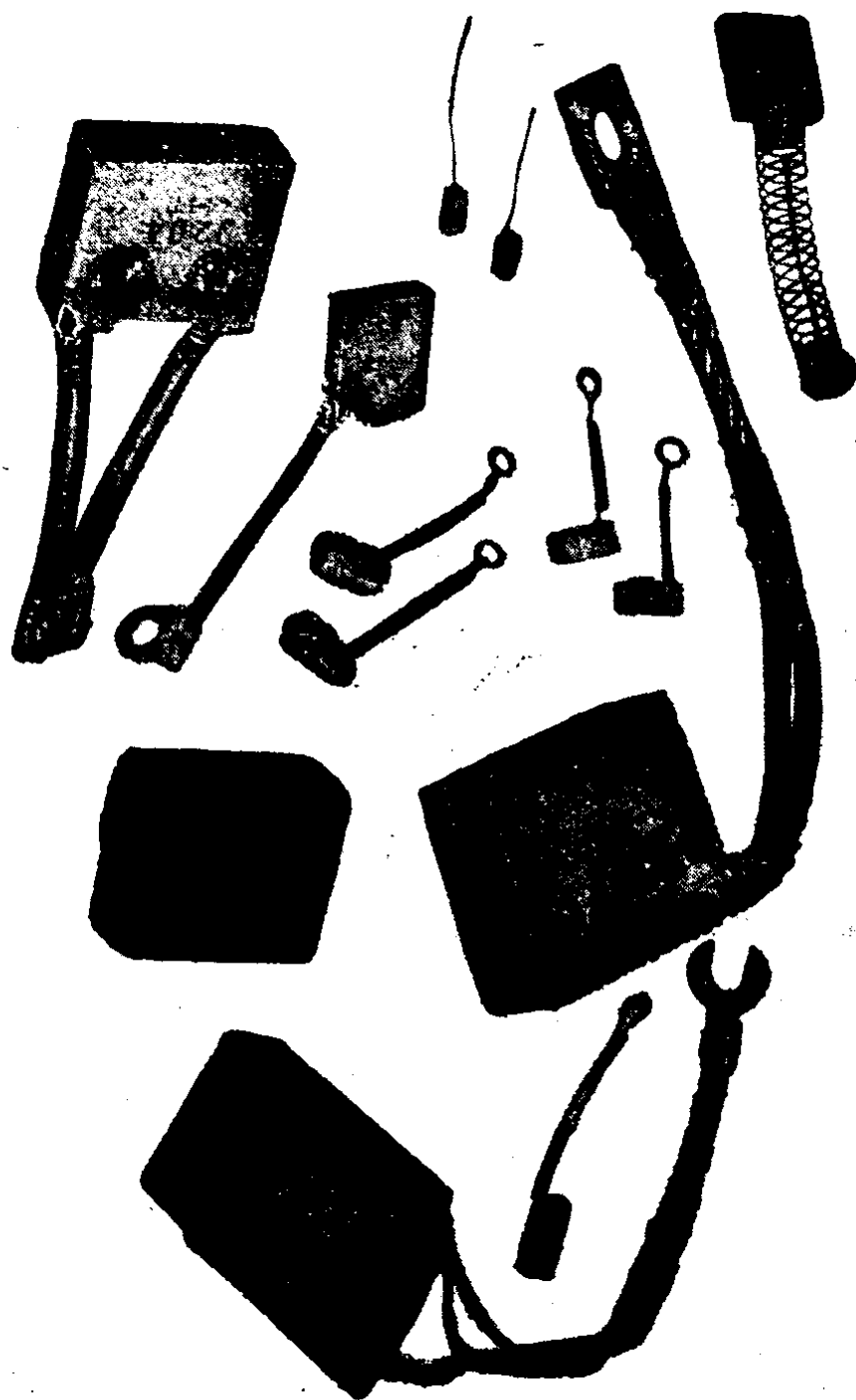


图 1—2 各种电刷的外观

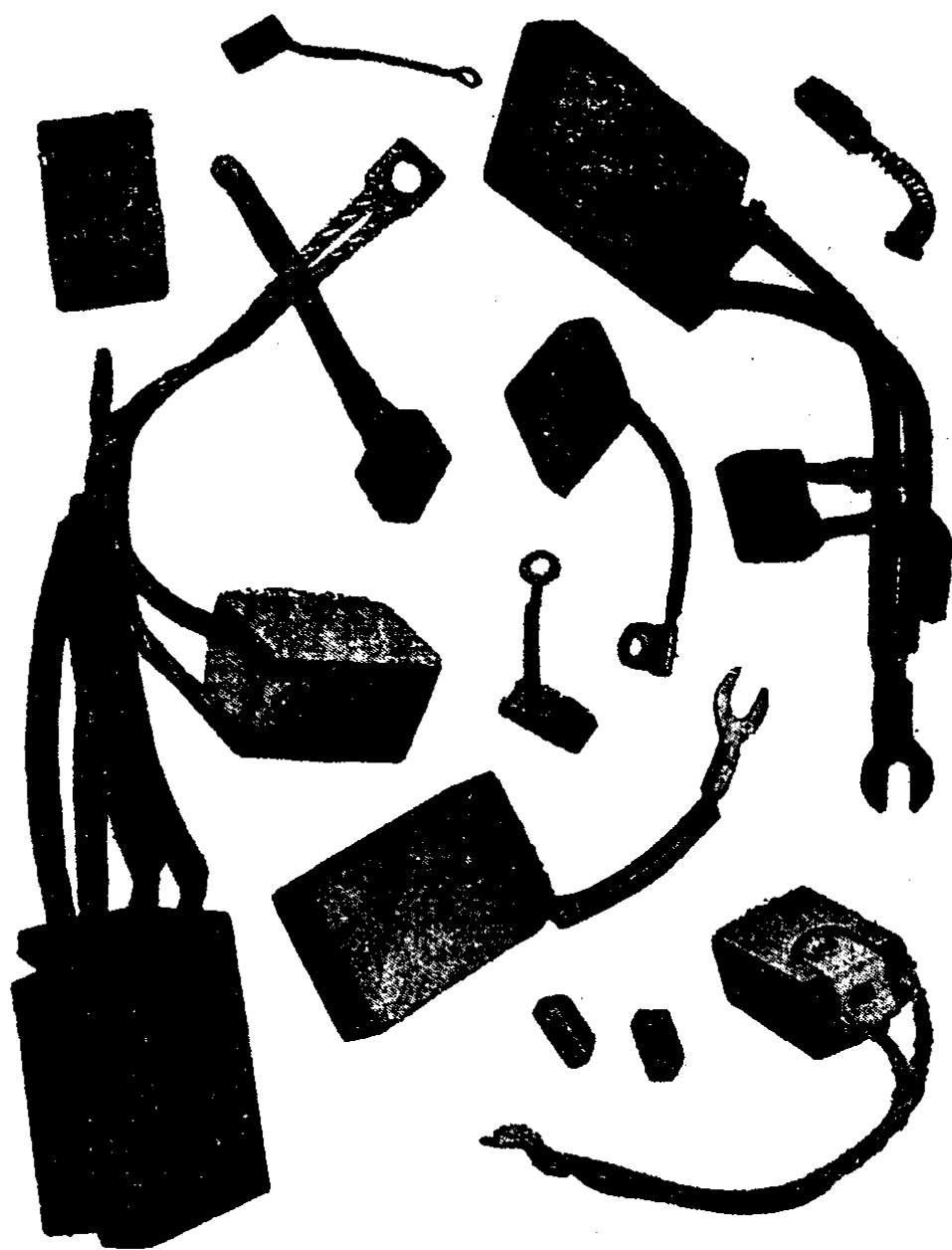


图 1—2 各种电刷的外观

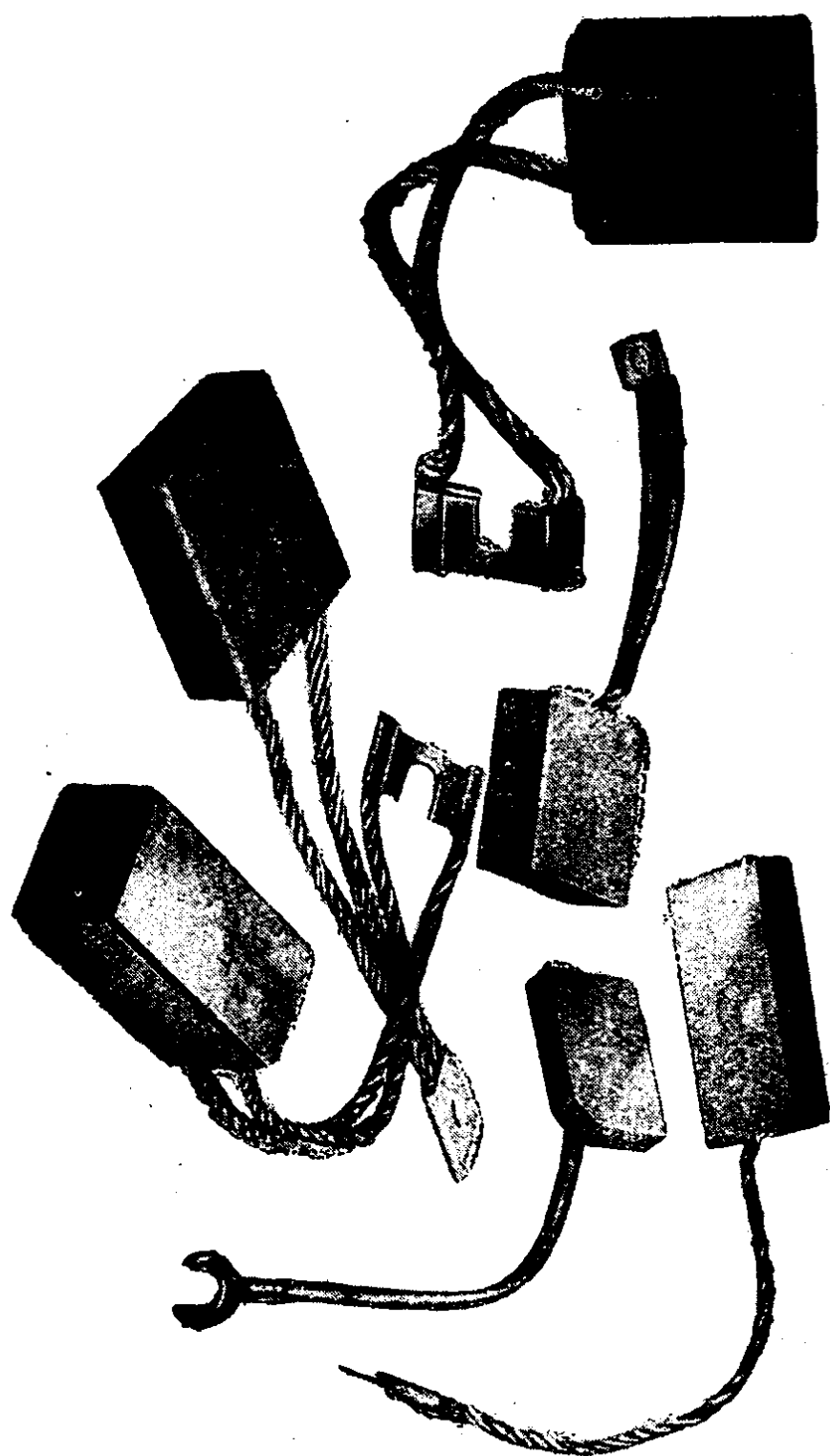


图 1—2 各种电刷的外观

从图上可见，这种导出或导入电流的滑动接触体的形状并不象一把刷子。之所以称其为电刷，是因为早在1832~1833年间，首批电机上的滑动触点采用的是水银集电装置，1~2年之后，电机上的滑动接触体又改用铜片或者铜丝压制而成，其形似一把毛刷，因而得名电刷，意即导电的刷子。这种电刷的最大缺点是对集电环或整流子（换向器）的磨损快、摩擦系数高，在电弧条件下会发生熔化现象，而且接触电阻很低，不能适应电机工作的要求。因此人们又在寻找新的电刷材料。当碳和石墨的固有特性被发现后，它很快就成为制造电刷的主要材料。

英国早在1885年就取得了用炭制造电刷的专利权，1890年左右开始普遍使用。随后，在其他国家也推广开来。1895年采用铜粉压制的方法制成了电刷。但这种电刷还有一定的缺点，1900年又开始用铜粉和炭粉的混合料制造电刷，即所谓的有色电刷。这种电刷虽有很大的优点，但仍不能满足电机工业迅速发展的要求。因此又很快用天然石墨和其它炭素材料制造电刷，当时生产碳素电刷有两个品级的：天然石墨电刷和碳—石墨电刷。

阿契逊式石墨化炉出现以后，随着人造石墨电极的生产，于1927年也将碳—石墨电刷开始石墨化，由此出现新的品级的电刷—电化石墨刷。总之，用碳石墨材料制造电刷的成功，对电机工业的发展起了很大的推动作用。尽管这期间，在电刷的制造工艺和结构上有很大的改进，然而电刷这一名称却没变，一直沿用到今天。

## 第一节 电机用电刷的生产工艺

自从碳石墨材料的优越性被人们发现并用来制造电刷，至今已有近百年的历史了。在近百年的时间里，制造电刷的工艺也在不断的发展，日趋完善。随着电机工业的发展，出现了好多不同性质的电刷。根据所用原材料和制造工艺的不同，可分为碳—石墨电刷；天然石墨刷；电化石墨刷；金属石墨电刷。

碳—石墨电刷主要用炭粉、石墨粉按一定比例混在一起，用煤焦油或者沥青作粘结剂，经过混合、磨粉（按一定粒度）、压制、焙烧（焙烧温度在 $900^{\circ}\text{C}$ 以上）、加工装配而成。因为这种电刷的滑动接触特性不好，我国目前基本上已淘汰。

石墨电刷是以天然石墨粉作基体材料，用树脂或者煤焦油沥青作粘结剂，经混合、压制（树脂作粘结剂时也可在 $200^{\circ}\text{C}$ 左右热压）、固化（指树脂作粘结剂）或焙烧（指用沥青或煤焦油作粘结剂），再经加工装配制成的。这种电刷滑动接触特性良好。随着采用原材料、粘结剂的种类和含量的不同，可制造出电阻系数范围很大的各种不同牌号的电刷。目前新生产出来的高阻系列的电刷，就是这种电刷的代表。这种高阻电刷可以使用在角速度很高，换向又很困难的交流整流子电机上和其它一些换向困难的电机上。我国近年来在这个类型电刷的制造上有较大的发展。

电化石墨类电刷是目前世界各国所生产的电刷中的主要

品种，占电刷总量的70%以上。其生产方法是：主要采用炭黑、焦炭（包括石油焦、沥青焦）、木炭和部分石墨粉为原材料，以煤焦油或沥青作粘结剂经混合、磨粉、压制、焙烧、石墨化（处理温度在2500℃以上）等工序制成半成品毛坯，然后再经加工装配制成成品电刷。所谓石墨化，就是将经焙烧固形（1300℃）后的毛坯再经过2500℃以上的高温热处理，使其配料中的无定形炭转变成人造石墨，这个过程就称为石墨化。

虽然电化石墨类电刷都经过石墨化处理，但因为所采用的原材料的种类、成分不同，石墨化处理时温度高低及高温时停留的时间长短等因素的不同，所以其性能相差很大。例如，以炭黑为基本原材料的电刷，经石墨化处理后，硬度较高，电阻较大，换向性能良好。随着炭黑含量的增加，这一性能表现得越明显。以沥青焦为基体材料的电刷，其强度要比以石油焦为基料的电刷的强度高一些，但在石墨化处理时，不如石油焦那样容易石墨化，润滑性能差一些，但较炭黑好一些。炭黑和木炭的石墨化转化能力都较差。电化石墨电刷除了原材料的种类、含量不同影响其性能外，石墨化的程度对制品的性能影响也很大，石墨化度高一些，制品的电阻就小一些，硬度就低一些，润滑性能也就好一些。有些电刷，因为石墨化温度低，灰分跑不净，使用时会增加磨损。特别是天然石墨含量多的电化石墨电刷，若石墨化温度低于2400℃时，生成的金刚砂排不出去，这对电刷自身和换向器或集电环的磨损都是很严重的。因此，严格地控制石墨化的温度，对于电刷的生产是很重要的。

金属石墨电刷（又称有色电刷），是以金属粉末（铜、银、锡、铅等粉末）和石墨粉为基本原材料，经混合、压制、烧结、机械加工、装配而制成。这种电刷又分为两种：一种是金属含量较高，成型性能较好，不用粘结剂即可生产的，通常称为无粘结剂电刷。这种电刷以铜粉和石墨粉为主要原材料，铜粉含量越高，制成的电刷的电阻就越小，而其允许的电流密度则越大。这种电刷、适用于低电压大电流的电机，但耐磨性能则随之变坏。另一种金属石墨刷，其中铜和其它金属粉末的含量相对来说较少，而石墨粉的含量较多，混合时需要用煤焦油或者沥青作粘结剂，将各种粉末结合在一起，以增加成型性能和制品的强度。这种电刷通常称为代粘结剂电刷。

目前世界各国大量采用单个成型法来生产金属石墨刷。我国主要电刷生产厂也已开始用这种方法进行了大批量生产，例如汽车电机用电刷等。用单个成型法生产金属石墨刷，用料省、效率高、成本低、质量均匀，是这种类型电刷的生产方向。

所谓单个成型法，就是经过一次模压，把整个刷体外形（包括接触弧）全部压出来，甚至把电刷的刷辫也一起压入刷体内。用这种办法生产电刷比用生产大块毛坯经过切割、荒磨、精磨、倒角、钻孔、装刷辫、压接头等生产方法减少了很多工序。当然，采用这种办法要很好地解决烧结问题，严防在烧结过程中刷辫氧化。

## 第二节 电刷的分类

不同类型的电机在换向性能、速度、负荷等方面各不相同,而且又在各种不同的条件下运行,所以对电刷的要求也不同。例如,有些电机没有改善换向性能的换向极,要求通过电刷来达到改善换向性能的目的;有的电机要求电刷的接触电压降能高一些,以满足换向的要求;而有的电机则相反,希望电刷的接触压降能低一些,以便减少电能的损失;有的电机长期在湿度大的地方运行,氧化膜过厚,希望选用硬度高一些,或者带有磨料的电刷,以便减少氧化膜的厚度;而有些电机长期在湿度很低的情况下运行,又希望应用润滑性能好、易形成氧化膜的电刷。总之,由于电机的种类和使用条件不同,就需要有各种不同品级的电刷来满足这些要求。

目前世界上电刷主要的分类方法有:

1. 按照电刷材质的软硬来分类。这可分为软质电刷,中硬质电刷和硬质电刷;
2. 按照电刷的用途分类。例如,汽轮发电机用电刷,轧钢电机用电刷,牵引电机用电刷,汽车拖拉机用电刷,微电机用电刷,电动工具用电刷,飞机用电刷,宇航电机用电刷等。
3. 按照电刷的颜色分类。这可分为黑色电刷(指碳石墨电刷)和有色电刷(指金属石墨电刷)两种。
4. 按照原材料的组成和生产工艺的不同分类。可分为碳石墨刷,天然石墨刷,电化石墨刷,金属石墨刷。



我国电刷的部颁标准和命名方法也是根据上述原则进行的。我国目前电刷的有以下几类：

1. 天然石墨电刷：S 3、S 4、S 5、S 6 B、S 6 M、S 7、S 26、S 201、S 251、S 253、S 255、S 270等；
2. 电化石墨电刷：D 104、D 172、D 172 N M、D 202、D 213、D 214、D 215、D 252、D 280、D 308、D 308 L、D 309、D 374、D 374 B、D 374 D、D 374 N、D 374 F、D 374 S、D 374 L、D 374 D L、D 376、D 376 N、D 376 Y、D 464 F、D 479等；
3. 金属石墨电刷：J 101、J 102、J 103、J 105、J 113、J 151、J 164、J 201、J 203、J 204、J 205、J 206、J 213、J 220等。

注：① S—代表天然石墨电刷，S 之后的数字为顺序号；

② D—代表电化石墨电刷，D 之后的第一位数字表示：

1—代表石墨基（即原材料以石墨为基础）；

2—代表焦碳基（即原材料以焦碳为基础）；

3—代表炭黑基（即原材料以炭黑为基础）；

4—代表木炭基（即原材料以木炭为基础）。

其余数字为顺序号。

③ J—代表金属石墨电刷，J 之后的第一位数字表示：

1—代表无粘结剂电刷；

2—代表有粘结剂电刷。

其余数字为顺序号。

④ 字尾M、NM、L、N、F、S、Y分别表示刷体浸渍的不同有机物。