

常用符号表

ΔE ——接触电压降

I ——电流

P ——摩擦损耗

p ——施于电刷的单位压力

S ——面积(电刷与换向器或集电环接触的总面积)

v ——电机的圆周速度

μ ——摩擦系数

第1章 概述

电碳制品的用途主要有:电机用电刷;电力机车和无轨电车馈电用碳滑板和碳滑块;电力开关、分配器和继电器用碳和石墨触头;弧光照明、碳弧气刨和光谱分析用碳和石墨电极;电真空器件用高纯石墨件,如大型电子管的石墨阳极和栅极;通信设备用碳素零件,如送话器用碳砂;各种碳电阻,如电压调整器的碳电阻片柱;各种碳和石墨电热元件;电池用碳棒等。

电碳制品之所以能有如此广泛的用途,是由于它的材料组成中的碳和石墨具有下述基本特性:能导电,它的导电能力具有很大的各向异性;导热系数极高,介于铝和软钢之间;耐高温,在无氧化性气体介质中,能在 3000°C 左右的高温下工作,机械强度在 2500°C 以内随温度的升高而增大;比重小,介于镁和铝之间;在正常大气压条件下,当温度超过 3500°C 时,碳直接升华为气体;不与液态金属沾粘;在有水蒸汽的条件下,石墨自润滑性好;化学稳定性好,仅与很强的氧化剂作用;热发射电流密度随温度的升高而急剧增大等。

碳有结晶碳和无定形碳两种类型。石墨为结晶碳;焦炭、木炭和碳黑等为无定形碳。

石墨的晶体结构属六方晶系。它是由许多平行的层面叠合而成,每一层面的碳原子分布在正六角平面的顶角上,构成三维空间的有序排列(见图10.1-1)。

由于石墨晶体层面之间的距离($3.35\text{\AA}$)比层面上碳原子间的距离($1.42\text{\AA}$)大得多,因此石墨的各种性能在平行于层面方向和垂直于层面方向截然不同,具有很明显的各向异性。此外,当受外力作用时,层面容易发生滑移,使石墨具有自润滑性。高纯度的天然石墨导电性能极好,这是由于它的晶体中会出现价带与导带重叠的现象,使它的导电性能与金属导体近似。

无定形碳的碳原子排列属乱层结构(见图10.1-2),其硬度比石墨高4~5倍。它经过 2200°C 以上的高温处理(石墨化)后,能逐步转变成三维空间的有序排列,其性能也随之逐渐接近石墨。

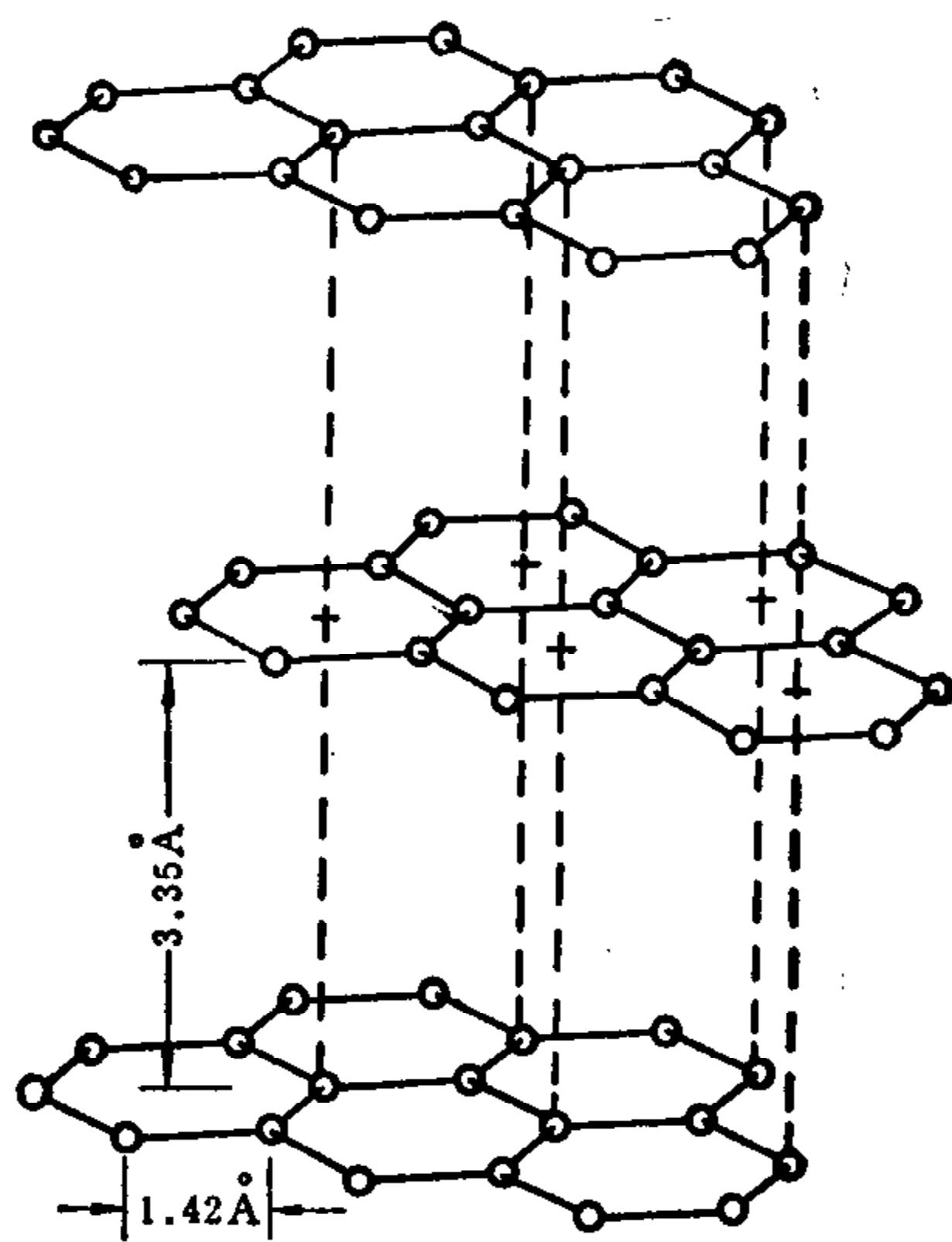


图 10.1-1 石墨的晶体结构示意图

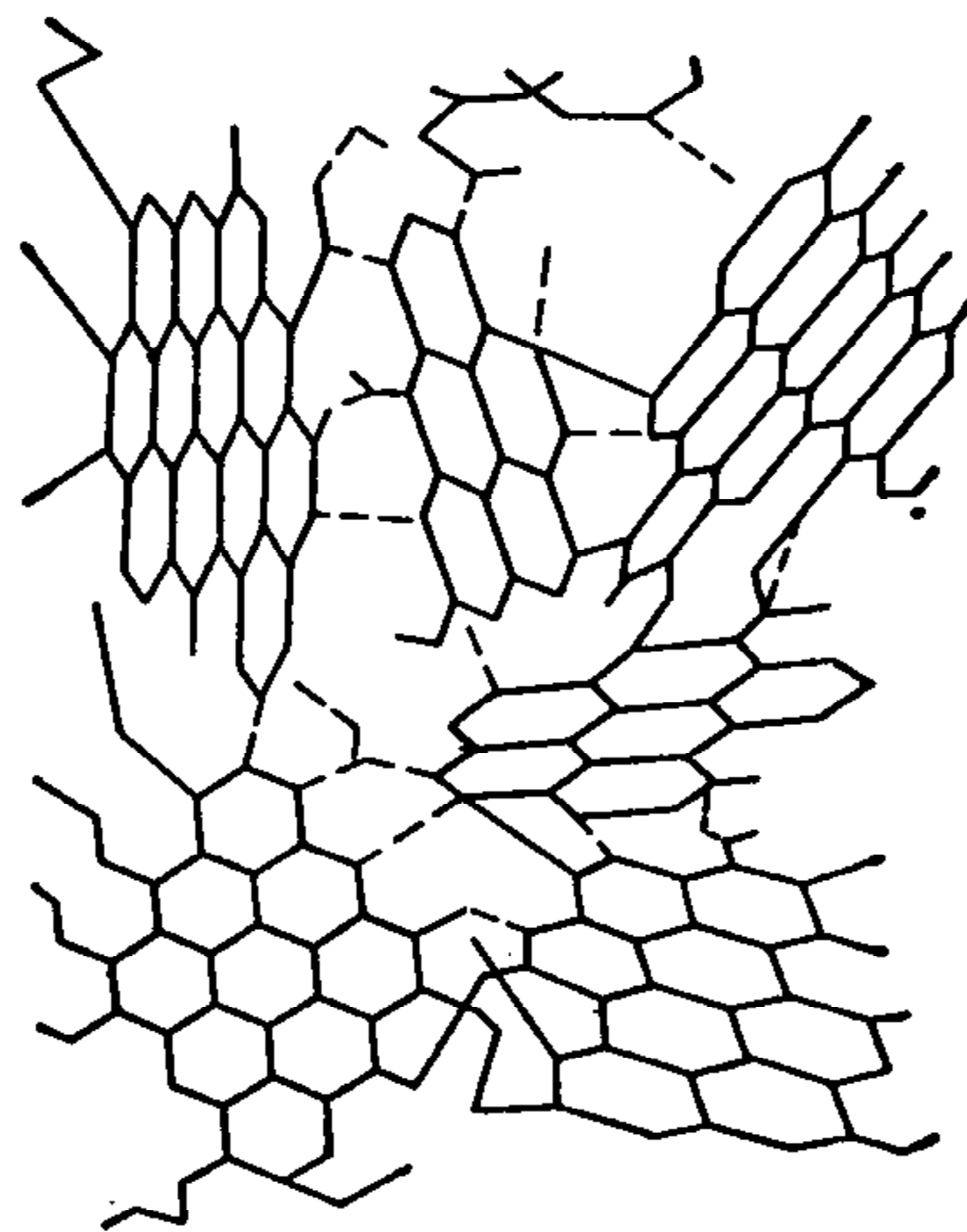


图 10.1-2 无定形碳的乱层结构

电碳制品由碳质材料、碳-石墨质材料、天然石墨质材料、电化石墨质材料和金属-石墨质材料等五类基体材料组成。这些基体材料的主要性能见表10.1-1。

电碳制品还可通过改变配方和选用特殊工艺,改进它们的某些特性。例如,配料中加入适量的二硫化钼等粉末可提高制品的自润滑性和耐磨性;将

表 10.1-1 各类基体材料的主要性能

主 要 性 能	碳 质 (石油焦为基体)	碳-石墨质	天然石墨质	电化石墨质 (石油焦为基体)	金属-石墨质
电阻系数 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	30~80	<30	8~20	7~15	基体材料中含有不同量的金属粉末,如铜粉、铅粉、锡粉和银粉等,并随含量的增加而使基体材料的性质逐渐接近于该金属的特性
导热系数 $\times 10^{-2} \text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ 近似于	0.55	0.69	1.7	1.4	
线膨胀系数 $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$	5~11	5~8	1~5	0.7~4.5	
抗压强度 kgf/cm^2	170~500	150~400	50~350	140~350	
抗折强度 kgf/cm^2	50~100	50~80	15~60	80~130	
摩擦系数 小于	0.3	0.25	0.20	0.20	
在氧气氛中开始氧化的温度 $^\circ\text{C}$ 不小于	400	400	450	500	

某些液态物质(煤沥青、熔融金属、润滑剂和人造树脂等)浸入碳和石墨材料毛坯的微孔,经过加热处理,可提高制品的机械强度、密度和润滑性等。

随着科学技术和工业生产的发展,电碳工业的新材料、新品种和新工艺不断涌现,电碳制品的应用范围也日益扩大。

就新材料而言,热解石墨、玻璃碳、多孔石墨以及碳和石墨纤维等特殊碳素材料已逐步应用于电工领域。

热解石墨的特性近似于石墨单晶体。由于其各向异性强、致密度高(密度可达 $2.10 \sim 2.15 \text{g}/\text{cm}^3$)、透气率很低(气孔率小于 $0.01 \text{cm}^3/\text{g}$)、抗氧化性能好,以及高温下机械强度高特性,已用于大功率电子发射管的阳极和栅极。

玻璃碳是一种各向同性的不透性材料,兼有石墨和玻璃的性能。它具有机械强度和电阻系数比一般石墨高;导热系数虽低于一般石墨,但比玻璃高得多;硬度高;耐热冲击性好,以及能在 600°C 以下的氧化介质中正常工作等特性,可用作激光器件的电极。

多孔石墨是一种具有一定强度的渗透性材料。它的气孔率比普通石墨大,一般在 50% 以上,最高

可达 85%,气孔分布均匀,且能保持一定的机械强度,可用作燃料电池和某些稀土金属电解用电极材料。

碳和石墨纤维具有耐热性良好、高温下机械强度大和柔软性好等特性,用它制成电刷,纵向的电阻系数比横向的小得多,有利于增加电流密度和提高换向能力。

在电刷新品种方面,已生产并正在发展的有:高转速、大电流牵引电机用电刷;严重过载、急速反转和机械冲击剧烈的大型轧钢电机用电刷;能保持接触电压降低而稳定的电刷,以及超导电机用电刷等新型电刷。这些新品种可以满足高电流密度、高圆周速度、剧烈的机械冲击、低湿度和严重缺氧等各种不同的特殊使用条件。

电碳制品的生产近年来采用了一些新工艺。如超细粉工艺的应用,可增强制品的机械强度和均匀性;高熔点金属浸渍、低温气相沉积渗碳工艺和加压石墨化再结晶工艺的应用,可提高制品的机械强度和密度;水静压工艺的应用,可改善制品性能的各向同性;以及瞬间石墨化和连续石墨化工艺的应用,可缩短石墨化工序的时间,改善劳动条件,提高制品质量的均匀性等。

2 电刷的技术特性及选用

正确选择和使用电刷,与电机能否正常运行有密切的关系。但电机运行情况是否良好,还取决于电机的设计和结构是否合理。因此,选择电刷时,要综合考虑电机对电刷的技术要求和电刷的技术特性,包括接触特性和理化特性。在原材料和工艺不变的情况下,控制理化特性,是为了使电刷具有某些相应的接触特性,同时,可以判断电刷本身的质量均匀程度。从电机运行的角度考虑,电刷的接触特性

较理化特性显得更为重要;而电刷的接触特性又受电机运行条件等许多因素影响,它们之间是互相关联的。在某些特殊的运行条件下,要求从原材料、工艺等方面采取措施,使电刷具备某些特殊技术特性,以满足电机正常运行的要求。

各类电刷的技术特性,见表10·2-2。表中所列某些特性的数值,是积累长期的实践和试验数值得来的平均值,它反映不同型号电刷在额定试验条件下的性能,可作为选用电刷的参考,但实际选用这些参数时,还要根据电机运行条件而定。

表 10·2-2 电刷的技术特性及运行条件

类别	型号	电阻系数① $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	硬 度		一对电刷接 触电压降③ V	摩擦系数 不大于	额定电流 密 度 A/cm^2	最大圆周 速 度 m/s	使用时允许 的单位压力 kgf/cm^2
			肖 氏	洛氏② kgf/mm^2					
石墨电刷	S-3	14		22	1.9	0.25	11	25	0.20~0.25
	S-4	100		20	4.5	0.15	12	40	0.20~0.25
	S-6	20		3.9	2.6	0.28	12	70	0.22~0.24
电 化 石 墨 电 刷	D104	11		6	2.5	0.20	12	40	0.15~0.20
	D172	13	25		2.9	0.25	12	70	0.15~0.20
	D202	25		31	2.6	0.23	10	45	0.20~0.25
	D207	27	45		2.0	0.25	10	40	0.20~0.40
	D213	31		30	3.0	0.25	10	40	0.20~0.40
	D214	29	50		2.5	0.25	10	40	0.20~0.40
	D215	30	40		2.9	0.25	10	40	0.20~0.40
	D252	13		17	2.6	0.23	15	45	0.20~0.25
	D308	40	43		2.4	0.25	10	40	0.20~0.40
	D309	38	45		2.9	0.25	10	40	0.20~0.40
	D373	52	50		2.5	0.20	15	50	0.32~0.35
	D374	57		35	3.8	0.25	12	50	0.20~0.40
	D479	25		16	2.1	0.25	12	40	0.20~0.40
金 属 石 墨 电 刷	J101	0.09		11	0.2	0.20	20	20	0.18~0.23
	J102	0.22		9	0.5	0.20	20	20	0.18~0.23
	J104	0.25		12	0.4	0.25	20	20	0.18~0.23
	J104A								
	J164	0.10		8	0.20	0.20	20	20	0.18~0.23
	J201	3.5		28	1.5	0.25	15	25	0.15~0.20
	J203	8		18	1.9	0.25	12	20	0.15~0.20
	J204	0.75		25	1.1	0.20	15	20	0.20~0.25
	J205	6		18	2.0	0.25	15	35	0.15~0.20
	J206	3.5		20	1.5	0.20	15	25	0.15~0.20
	J220	8		16	1.4	0.26	12	20	0.15~0.20

① 电阻系数的数值为平均值。

② 洛氏硬度,是用直径为7.94mm的钢球压入测定。对中等硬度的试样,载荷60公斤,预压10公斤;对于较软的试样,载荷30公斤,预压10公斤。单位为 kgf/mm^2 。表内数值为平均值。

③ 为额定电流密度下之值。表内数值为平均值。

2.1 电刷的接触特性

电刷的接触特性,主要有瞬变接触电压降 $\ominus$ 和摩擦系数。

通常提到的电刷与换向器或集电环的滑动接触面,实际上是少数接触点组成的很小的面积。电刷在换向器或集电环上运行一定时间以后,它们之间便形成一层薄膜。这层薄膜由氧化亚铜以及吸附的石墨屑、水分等组成,电流只是从电刷与换向器或集电环接触点之间的薄膜通过。接触点的数量和接触面积的大小,随施于电刷的单位压力的大小而变化,在电机运行时,如运行条件不变,接触点的位置不断变化,但实际接触的面积不变。

2.1.1 瞬变接触电压降 $\ominus$

接触电压降(ΔE)是电流通过电刷、接触点薄膜、换向器或集电环的电压降。每一种电刷的接触电压降,都有其极限值。金属石墨电刷接触电压降值较石墨电刷及电化石墨电刷低。如果超过了接触电压降的极限值,滑动接触点的电损耗将过大,并引起过热。对换向器来说,如果接触电压降值过低,则可能在电刷下出现火花。

在选用电刷时,应考虑电刷的接触电压降值与电机的换向困难程度、电流、电压相适应。例如,某台直流电机的电压为500伏,换向条件又较困难,以选用接触电压降值较高的电刷为宜。在这种情况下,因电流较小,即使采用电化石墨电刷,其接触电压降值与电机的电压相比,也几乎可以忽略不计;引起的能量损耗,对电机输出功率影响也较小。又如,一台低电压大电流直流发电机,电压为6伏,电流为3000安。在这种情况下,显然不应采用象D308电化石墨电刷这样的接触电压降值高的电刷。如果采用D308电刷,一对电刷接触电压降(2.4伏)引起的能量损耗为:

$$W = 2\Delta E \cdot I \ominus = 2.4 \times 3000 = 7200 \text{ W}$$

其中大量的能量损耗转化为热能损耗,造成电刷散热的困难。而如果采用象J101金属石墨电刷(一对电刷的接触电压降值为0.2伏)这样的接触电压降值低的电刷,引起的能量损耗就将大为减少。

对集电环来说,以采用接触电压降值低的电刷

$\ominus$ 瞬变接触电压降简称接触电压降。

$\ominus$ $2\Delta E$ 为一对电刷的接触电压降(伏), I 为电流(安)。

较为合适。

某些特殊用途的电机电刷和换向器的使用温度较高,如超过150°C时,换向器表面薄膜变厚,接触电压降过大,容易产生火花。在这种情况下,可采用硬质电刷或特制的磨料电刷,以清除过厚的表面薄膜层。

电刷的接触电压降,采用等效试验方法,在规定的温度、湿度等条件下,在短路换向器即开槽的集电环上进行测量。在按表10.2-2规定的电流密度和允许的施于电刷的单位压力,以15m/s的圆周速度运行一定时间(通常为50小时)后,从正负电刷引出导线上测量一对电刷的瞬变接触电压降。

2.1.2 摩擦系数

摩擦是电刷正常运行必须考虑的一个重要因素。它是产生热量的原因之一。在电机运行时,电刷与换向器间存在着一层薄膜。薄膜的组成和性能对摩擦情况的影响比较显著,而它又受电刷和换向器或集电环的材质、接触面情况及运行条件的影响。摩擦情况通常用电刷的摩擦系数来衡量。

电刷在换向器或集电环上滑动接触时的摩擦系数(μ),可用下式表示:

$$\mu = \frac{P}{9.81 p S v} \times 10^{-3}$$

式中 P ——摩擦损耗 W

p ——施于电刷的单位压力 kgf/cm²

S ——电刷与换向器或集电环接触的总面积 cm²

v ——电机的圆周速度 m/s

9.81——计量单位换算系数

由上式可以看出,当电刷数量越多,摩擦系数越大,圆周速度越大时,则摩擦损耗也越大。从机械损耗角度来看,用于高速电机的电刷,要求摩擦系数小。

剧烈的摩擦会使电刷在运行过程中引起振动,发出噪音,并导致接触不稳定。严重时甚至使电刷碎裂。

摩擦系数的测量与接触电压降的测量可同时进行。

2.2 影响电刷接触特性的因素

影响电刷接触特性的因素很多,主要有电机的

圆周速度 $\ominus$ 、电流密度、施于电刷的单位压力以及周围介质情况。

2.2.1 圆周速度

换向器或集电环从静止状态开始转动时,滑动接触点的接触电压降就开始增加,而电刷的摩擦系数则降低。在较慢的转速下,圆周速度的增加对接触电压降和摩擦系数影响不大。圆周速度超过电刷的允许范围时,带入电刷与换向器或集电环之间的空气薄层,会使接触电压降急剧增加,摩擦系数急剧降低,并使电刷运行不稳定;容易产生机械性火花。随圆周速度的增加,各种电刷的磨损率也不同程度的增加。

通常电化石墨电刷和石墨电刷适用于圆周速度高的电机,金属石墨电刷适用于圆周速度低(20~35 m/s)的电机。

换向困难的特殊高速电机,如圆周速度为90m/s以上的汽轮发电机和圆周速度为70m/s以上的直流电机,必须选用特殊的电化石墨电刷,或采用分层电刷 $\ominus$ 。

2.2.2 电流密度

随电刷的电流密度增加,接触电压降相应增加;但在电流密度达到一定值后,接触电压降增加缓慢。几种电刷的接触电压降与电流密度的关系曲线(伏安特性曲线)见图10.2-1。

电刷伏安特性曲线的斜率,反映电刷的换向能力。伏安特性曲线斜率大的电刷,其换向能力就高。换言之,在电流密度较小的条件下,接触电压降的绝对值较大的电刷,换向能力较高。高电阻的石墨及电化石墨电刷的伏安特性曲线斜率大;而金属石墨电刷的伏安特性曲线斜率最小。

随电刷的电流密度增加,电刷的电损耗也增加。此时,滑动接触点、电刷刷体及附件发热加剧。电流密度超过允许范围时,由于发热过高,摩擦系数增大,极易引起火花,电机甚至不能正常运行。

由于电机的单机容量不断增加,同时要求体积尽可能小,就换向器而言,要求电刷的对数少和截面积小,这就要求提高电刷允许的电流密度。电化石

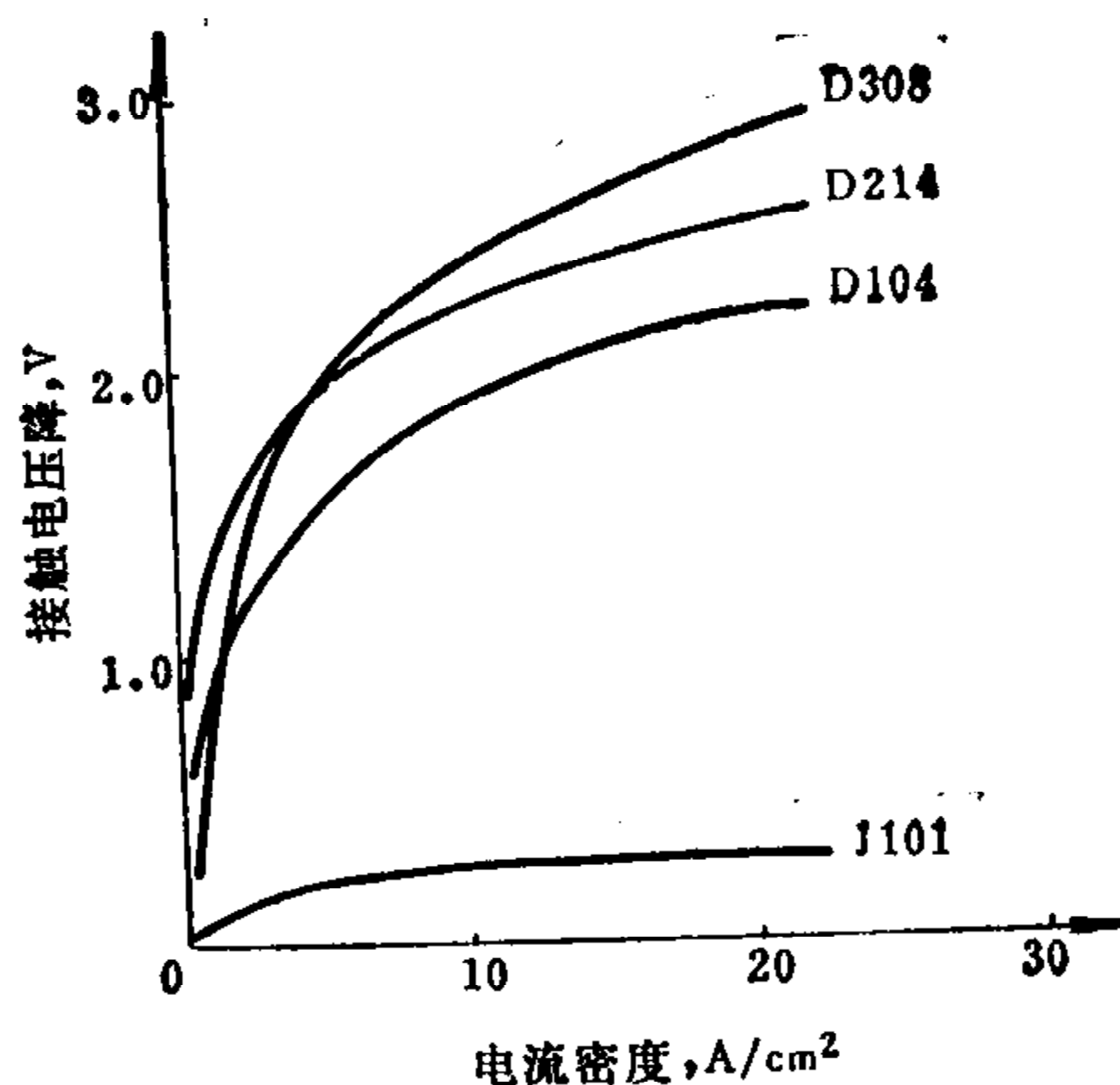


图 10.2-1 几种电刷的伏安特性曲线

墨电刷允许的电流密度一般为10~12A/cm²,个别的达15A/cm²。低电压大电流直流电机,往往采用含铜量高的金属石墨电刷,其电流密度可高达25~35A/cm²。

经常在轻载或空载情况下运行的电机,对电刷允许的电流密度也提出了较高的要求。例如,带冲击负荷运行的牵引电动机、轧钢电动机和电焊发电机,其特点是瞬时电流密度经常急剧增加,继而又转入轻载或空载运行,因此,往往产生电气性火花,使换向器烧灼,甚至发生飞弧闪络,使电刷的磨损率急剧增加。由于转速经常急剧改变,以及正反向运转,又往往产生机械性火花和机械振动,电刷的边缘甚至因机械振动而碎裂。选用换向性能、机械强度和韧性好的电化石墨电刷,才能承受较大的电流密度,并适应电机的轻载和空载运行。

选用电刷时,也不宜将电刷的电流密度选择过低,以免增加电刷的数量,导致摩擦损耗增大。

2.2.3 施于电刷的单位压力

施于电刷的单位压力增大,电刷与换向器的接触电阻就减小,接触电压降也随之减小,但摩擦系数则稍有增加。因此,随着施于电刷单位压力增加,摩擦损耗增加,电损耗减小,总损耗则呈马鞍形变化,而在总损耗最小时的单位压力下,电刷的磨损率也最小。

选择施于电刷的压力时,应考虑采用电机运行中总损耗和电刷磨损最小时的相应的单位压力。施于同一台电机各个电刷的单位压力应力求均匀,以免通过各个电刷的电流密度不均,导致个别电刷产

$\ominus$ 小型电机则为角速度。

$\ominus$ 分层电刷包括多层粘合电刷、双子电刷、三子电刷等,见第3.3节。

生过热或火花。

施于电刷的单位压力减小到低于某一极限时,电刷与换向器之间的接触就开始不稳定,容易出现机械性火花。对转速高的小型电机和在振动条件下工作的电机,应适当提高其单位压力,以保证电刷的正常工作,例如,牵引电机电刷的单位压力应增加到 $0.4\sim 0.6\text{ kgf/cm}^2$ 。

2.2.4 周围介质

电刷与换向器或集电环的滑动接触点,对于周围介质极为敏感。在化工厂附近,大气中往往存在某种腐蚀性(如酸性)气体及油污,会导致换向不良和换向片烧灼。通常可采用质地较硬的电刷,它具有一定的研磨能力,以清除换向器表面的脏污。灰尘,特别是含硬质颗粒的灰砂,会加快电刷和换向器的磨损。磨落的铜粒、碳粉积聚在换向片间,会引起飞弧闪络。船舶用电机的换向片,容易受盐卤素蒸汽的腐蚀。空气中含有适量的水分和氧是电刷与换向器或集电环间形成薄膜的重要因素,高原干旱地区和空气稀薄的地方(如高空),由于缺乏水分和氧,不易形成膜薄而使摩擦系数剧增,造成电刷严重磨损,甚至粉化。必须采取相应的措施,例如,将某些固体润滑剂或特种干性润滑油脂等浸渍到电刷中去,以改善其自润滑性能。

2.3 电刷的理化特性

电刷的理化特性主要有电阻系数、硬度和灰分杂质。

2.3.1 电阻系数

碳是非金属中良好的导电材料,但导电性能不如金属。电化石墨的最低电阻系数约 $7\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$,而铜的电阻系数(20°C)只有 $0.01724\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$,两者相差达400倍,但是,在运行中电刷电阻引起的损耗较接触电阻和摩擦引起的损耗为小。

电刷的电阻系数波动范围要小,根据电阻系数值可以粗略确定它的适用范围,见表10-2-3。

测定电刷电阻系数用的试样尺寸为 $10\times 10\times 40\text{ mm}^3$,侧面(即 $10\times 40\text{ mm}^2$ 的面)应是制品的压力方向。电刷电阻系数的测定是采用电压电流法在专用的测试装置上进行。其线路示意图见图10-2-2。

表 10-2-3 电刷电阻系数值及适用范围

电阻系数值 $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$	电刷基体类别	适用范围
50 以上	树脂石墨电刷、碳黑基和木炭基电化石墨电刷	换向困难的电机
30~50	碳黑基和木炭基电化石墨电刷	换向困难的电机
20~30	焦炭基电化石墨电刷	一般直流电机
10~20	石墨电刷、焦炭基和石墨基电化石墨电刷	一般直流电机
10 以下	含有25~50%铜的金属石墨电刷	电压较低的电机
0.5~1	含有60~75%铜的金属石墨电刷	低压电机
0.1~0.5	高含铜量金属石墨电刷	低压大电流电机

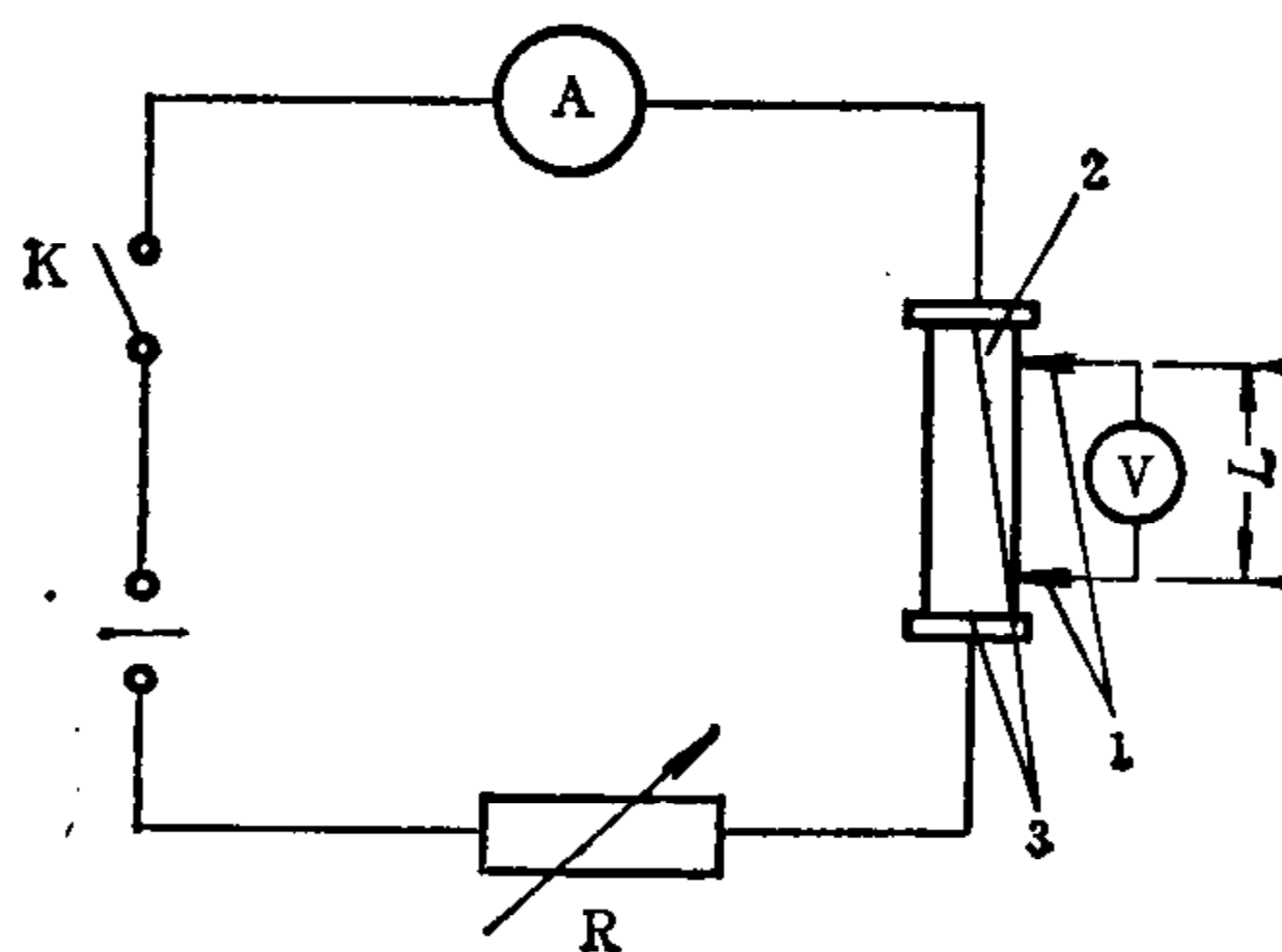


图 10-2-2 测量电阻系数线路示意图

1—电位刀 2—被测样品 3—导电电极
V—电压表 A—电流表 R—可调电阻

被测样品竖直夹在试验装置的上、下两电极间,试样与电极面接触应保持良好的,然后通以直流电流。试验时的电流密度:碳-石墨、石墨和电化石墨电刷采用 5 A/cm^2 ;低含铜量电刷采用 10 A/cm^2 ;高含铜量电刷采用 15 A/cm^2 。用电位刀置于试样的压力面上(电位刀间距 L 根据制品的大小,采用30、15和10mm,测出电压降,以计算电阻系数值。

2.3.2 硬度

电刷硬度通常采用肖氏、洛氏和布氏硬度计测定。在肖氏硬度计上,用回跳法测量较硬材质的电刷。在洛氏、布氏硬度计上,用压入法测量较软的电

刷,特别是金属石墨电刷。

电刷的硬度和它的电阻系数,可以综合反映电刷质量和使用性能的一般情况。如果它们中间之一,偏离允许的极限值,就可能出现一些缺陷,影响使用效果。如果两者都偏离,则影响更大。例如:电阻系数值偏高而硬度值偏低,说明电刷的密度低,易产生较高的磨损;电阻系数值、硬度值都偏高,说明电刷的热处理(烧结或石墨化)温度不够,易导致接触电压降过高,产生机械性火花;电阻系数值、硬度值都偏低,表明电刷的热处理(烧结或石墨化)的温度过高,使磨损率增大,易出现电气性火花;电阻系数值偏低而硬度值偏高,说明电刷密度过大,易产生机械性火花。

2.3.3 灰分杂质

电刷中含有少量极细微的灰分,能提高电刷的

耐磨性能,并对换向器有磨光的效能。然而,灰分杂质中含有少量的硬质磨料颗粒(碳化铁、碳化硅即金刚砂),会使换向器严重磨损,把换向器或集电环表面拉成沟槽,对电机的危害极大。

3 电刷的结构设计

3.1 电刷尺寸

电刷规格用 $t \times a \times r$ 表示。常用电刷尺寸见表 10.2-4。

3.2 对电刷坯料加工的要求

电刷坯料一般系模压成型,碳粒随着所受的压力而成层状排列,形成明显的各向异性。以天然石墨为基体的电刷尤为明显,垂直于压力面方向的电阻系数大于平行于压力面方向的电阻系数,例如:

表 10.2-4 常用电刷尺寸

r a t	5	6.5	8	10	12.5	16	20	25	32	40	r a t	6.5	8	10	12.5	16	20	25	32	40	50
4	10	10	16	16							12.5	20 25	25 32	25 32		25 32 40	32 40 50	32 40 50	40 50 60	50 60 80	
4.5	8	12.5	12.5	16	16						16	20 25	25 32	32 40		32 40 50	32 40 50	40 50 60	50 60 80	60 80	
5		10	12.5	16	16	20	20	25			20	25	32	32	40	32 40 50	32 40 50	40 50 60	40 50 60	60 80	
5.5		12.5	16	16	20	20	25	25			25	32	32	40	50	32 40 50 60	32 40 50 60	40 50 60	40 50 60	60 80	
6.5	16		20	20	20	20	25	25	32	40	25	32	32	40	40	32 40 50 60	32 40 50 60	40 50 60	40 50 60	60 80	
8	16	20		20	20	25	25	32	32	40	32	40	40	50	50	40 50 60	40 50 60	50 60 80	50 60 80	60 80 100	
10	16	20	25	32	25	25	25	32	32	40	40	50	50	60	60	40 50 60	40 50 60	50 60 80 100	50 60 80 100	80 100 125	

D104 电刷的电阻系数各向异性因数为 $\rho_{\perp}/\rho_{\parallel}=5.7$ 。其他如：热膨胀系数、硬度和机械强度等性能，也具有各向异性。为了有效地利用坯料各向异性的特点，更好地满足电机运行的需要，在切割坯料时，应注意压制的压力面方向和非压力面方向。一般电刷跨接换向片的方向(沿换向器旋转的方向)，希望电阻大，这样有利于换向。所以，切割毛坯时，按以下原则进行(图 10·2-3)：

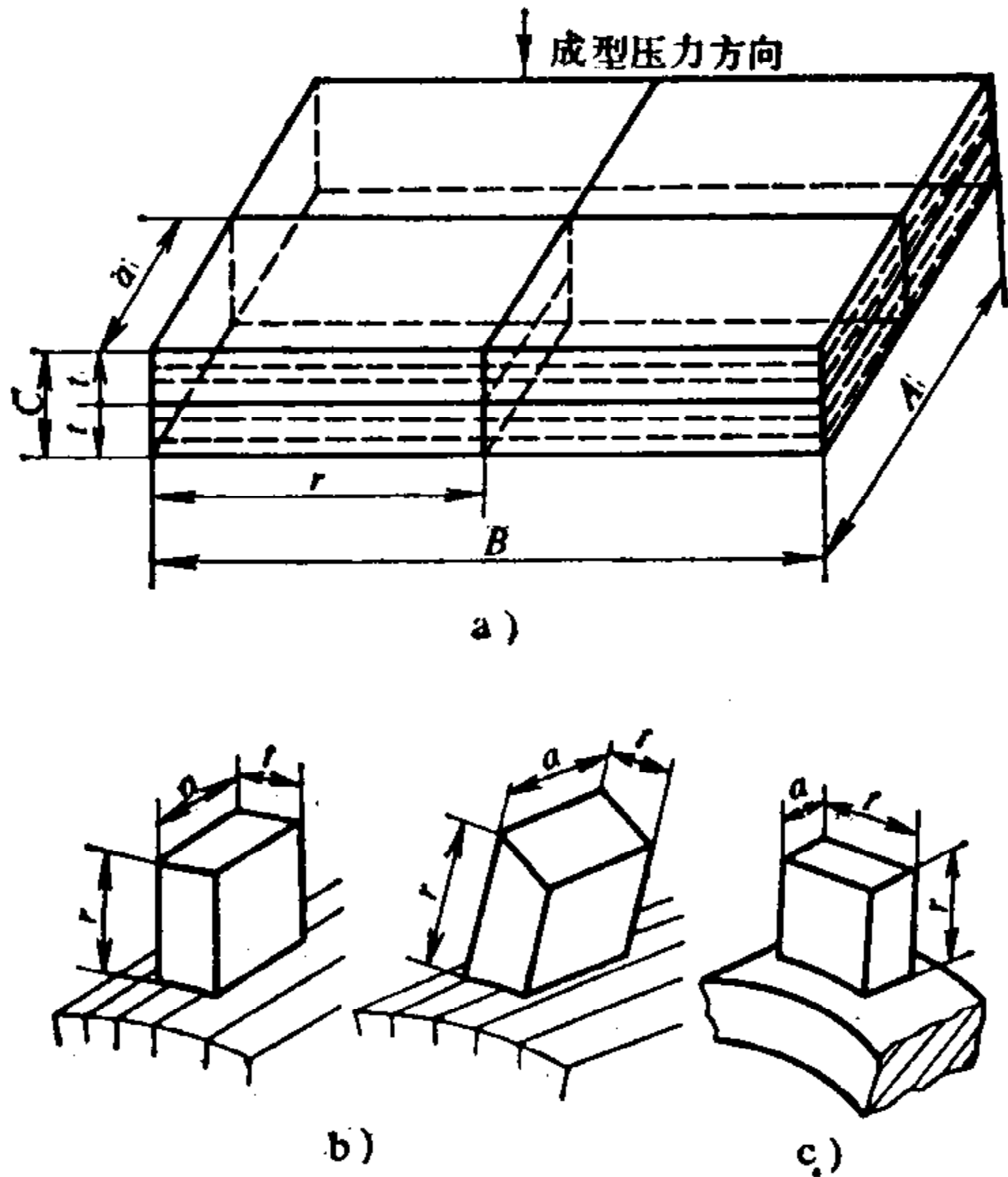


图 10·2-3 电刷坯料切割方向及电刷尺寸标注

a) 电刷坯料切割方向 b) 在换向器上
c) 在集电环上

t —沿换向器(或集电环)旋转方向的尺寸(电刷厚度)
 a —沿换向器(或集电环)轴线方向的尺寸(电刷宽度)
 r —沿换向器(或集电环)半径方向的尺寸(电刷高度)

无论用于换向器或集电环的电刷，其高度 r 不能取自毛坯的厚度 C 。用于换向器的电刷，其厚度 t 必须是用毛坯的厚度 C 加工的；用于滑环上的电刷，则 t 与 a 可以互换。

3.3 电刷的外形

3.3.1 辐射式电刷

辐射式电刷亦称径向式电刷，如图 10·2-4 所示。

平顶的辐射式电刷适用于单向运转和正反向运转的电机，但是，刷握必须精确加工；刷体本身不宜过长；与刷握的间隙必须适当(视电刷规格的大小而

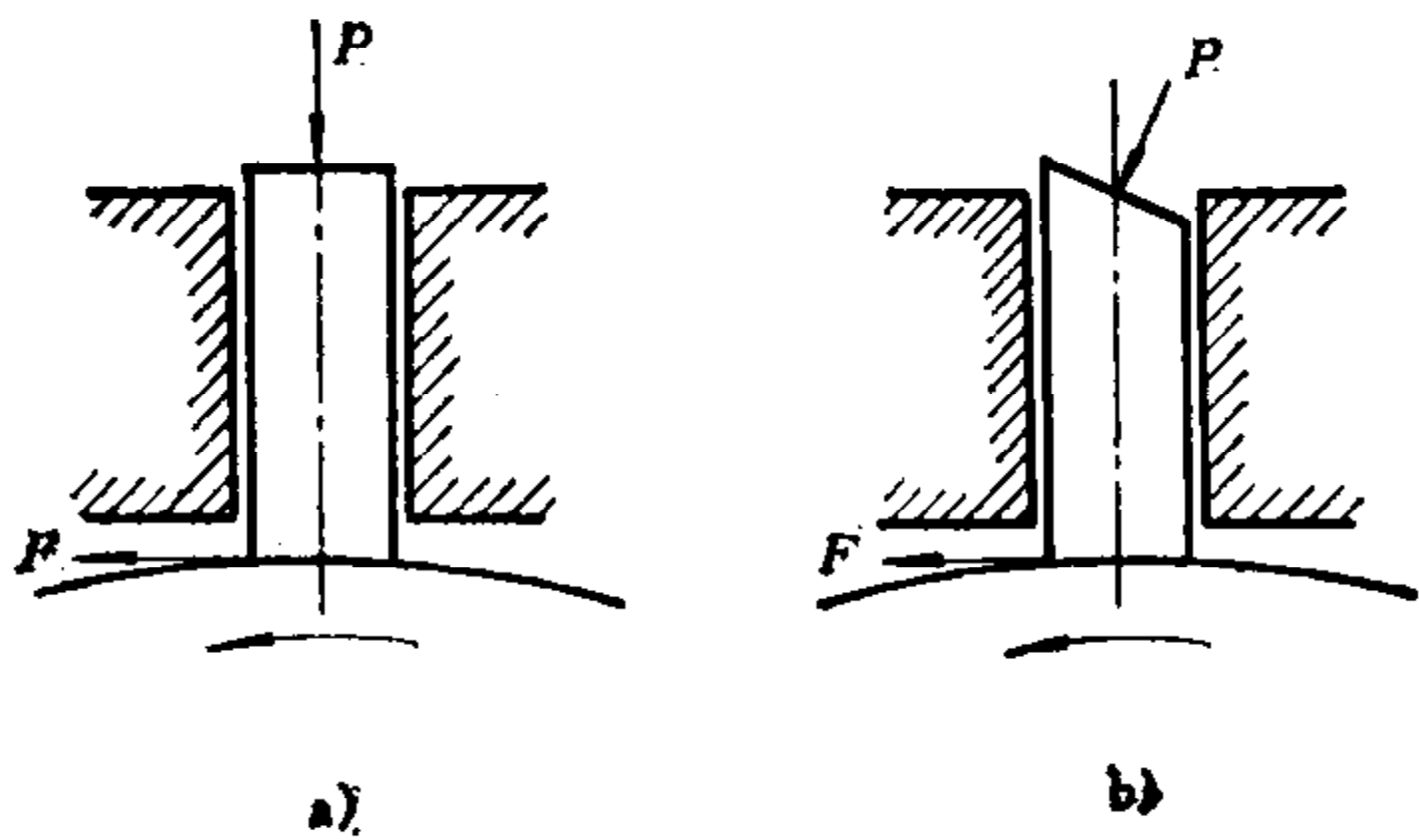


图 10·2-4 辐射式电刷

a) 平顶 b) 上端面倾斜

异)；刷握下边沿与换向器面间的距离也不宜过长。这样，就可以避免由于电刷运行时的摩擦力，将电刷推向刷握壁，使电刷产生卡塞现象；又可防止在转变方向运行的过程中，引起电刷跷起，与换向器面接触减小，接触面的电流密度增大，以致产生过热、火花等现象。由于电刷与刷握的间隙很小，电刷的加工精度与公差必须严格控制。

辐射式电刷也采用如图 10·2-4b 所示的上端面倾斜的形式，适用于单向运转的电机，由于电刷与刷握前壁紧靠，可保证电刷在换向器面的稳定运行。

3.3.2 前倾式及后倾式电刷

这类电刷安置在刷握中，电刷对换向器倾斜一定角度。在平顶的电刷(图 10·2-5a 及 b)中，前倾式的倾斜角要大于后倾式的电刷，前者约 30° 左右，后者以 15° 左右为宜。也可采用刷顶倾斜的形式(图 10·2-5c)。

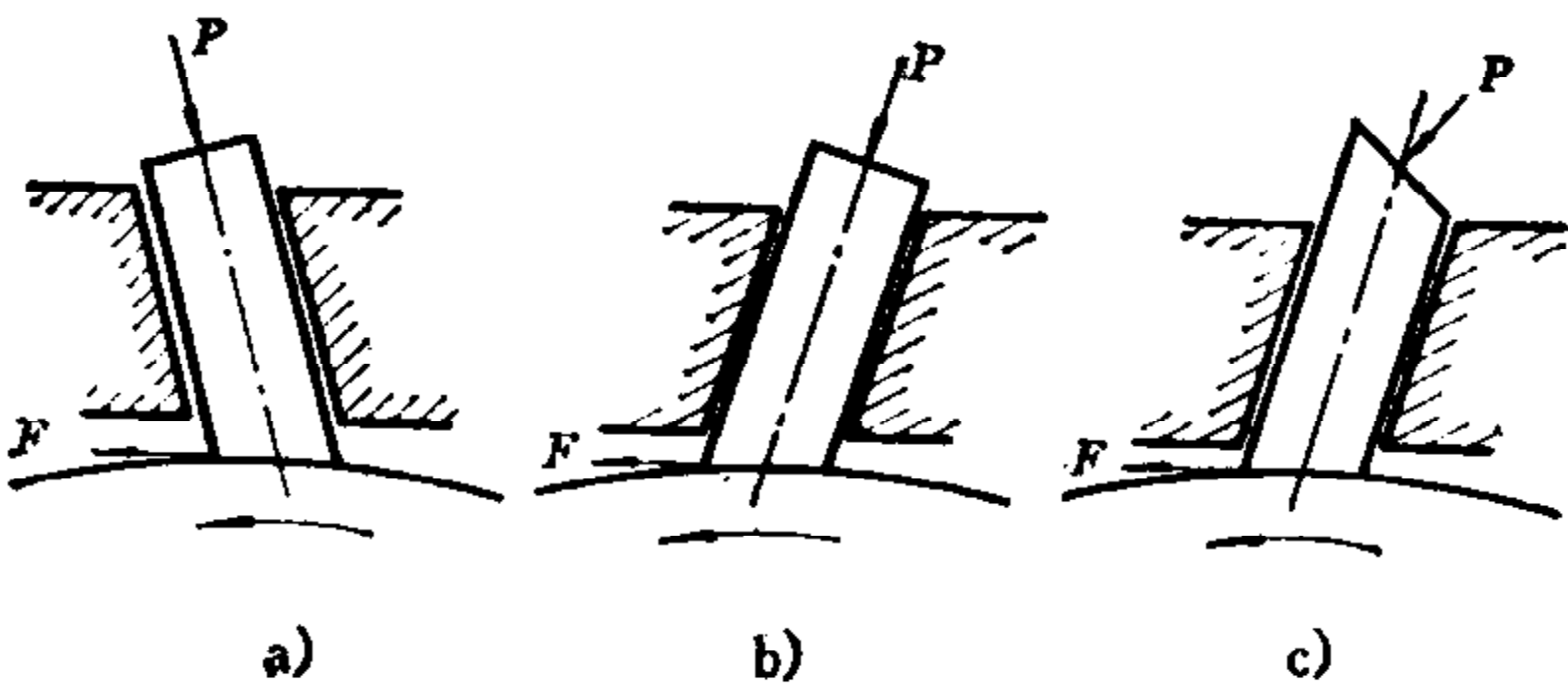


图 10·2-5 前倾式及后倾式电刷

a—前倾式 b—后倾式 c—上端面倾斜的后倾式

3.3.3 分层电刷

分层式电刷有很多型式，二块电刷拼合的称双子电刷(图 10·2-6)，适用于高速、振动大和换向困难的电机，如电力机车用牵引电机。这种电刷易于与换向器保持良好的吻合。另外，中间粘结并互

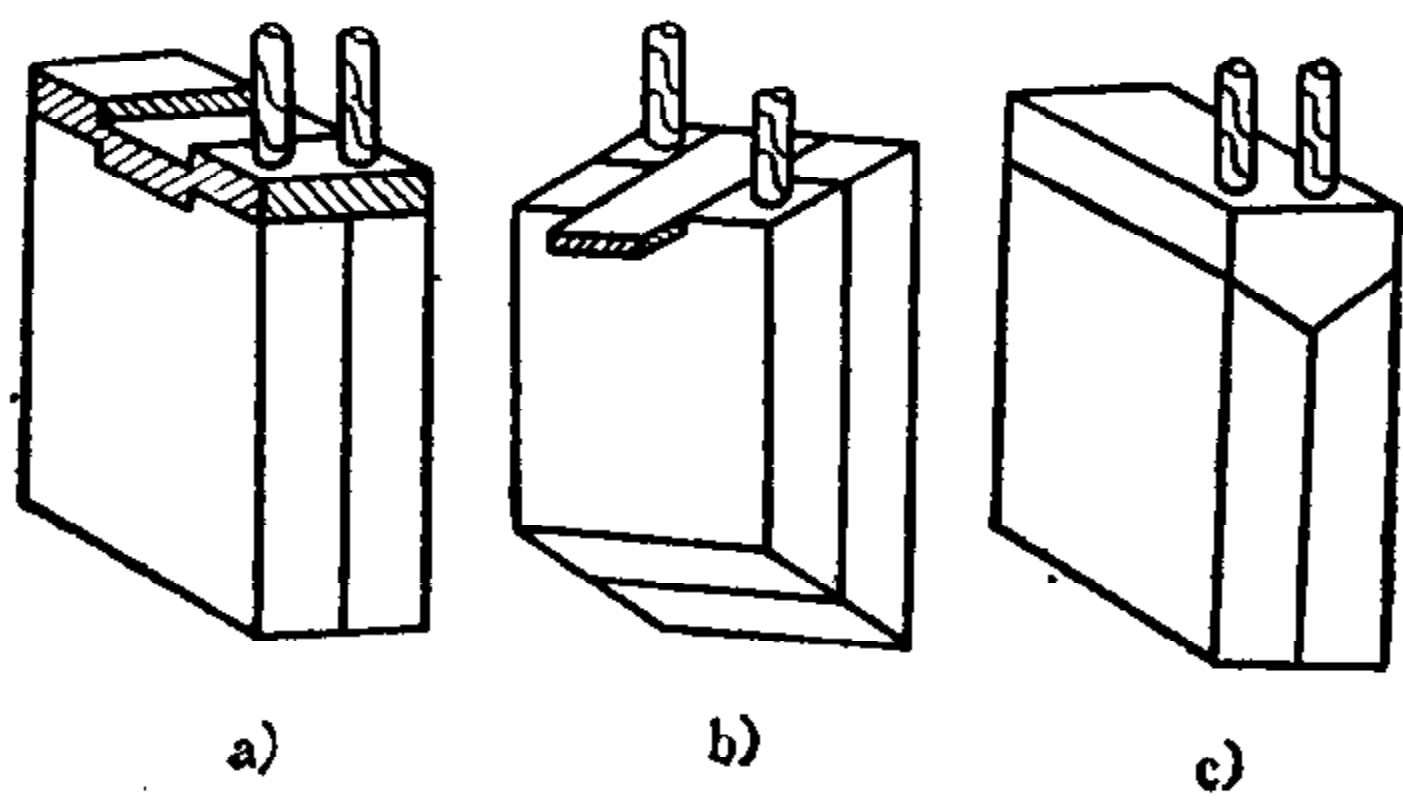


图 10-2-6 几种不同形状的双子电刷

相绝缘(或具有高电阻)的为多层粘合电刷。电刷的横向电阻大,对改善换向,可以起到良好的作用。

3.4 电刷引出导线的装配方式

装配电刷引出导线通常有填塞法、扩铆法、焊接法和压入法等方式(见表 10-2-5)。导线装配必须牢固,与刷体接触良好。

表 10-2-5 电刷引出导线装配方式

装配方式	结构示意图	装配工艺	特点及适用范围
填塞法		将导线装入在刷体上预先钻好的锥形孔或螺纹孔内,用铜粉或镀银铜粉填塞	导线与刷体间的接触电阻小,结合牢固。 适用于截面较大的电刷
扩铆法		在刷体上部钻孔、铣槽,将导线穿入刷体的容线槽,并绕在铜管上,将铜管两端扩张,导线即固定在刷体上(黑色电刷及含铜在 70% 以下的金属石墨电刷,为降低导线与刷体间的接触电阻,需在容线槽内镀铜)	机械强度好,适用于振动条件下使用的电机,但厚度太薄的电刷,不宜采用此装配方式
焊接法		刷体上钻好焊接孔,孔内镀铜,将导线穿入刷体孔内,用焊锡焊牢	适用于小型、微型电刷,结构牢固、耐用
压入法		在上端钻孔,穿入导线,在模具中,用冲床冲压,或在坯料成形时,将导线直接压入	适用于含铜量高的电刷

4 电刷的维护与故障处理

4.1 电刷的安装

在同一台电机上,应采用同一种型号的电刷,并将电刷引出线均匀地紧固在刷杆上,使每块电刷的电流分布均匀,以免个别电刷产生过热和火花现象,导致烧坏电刷引出导线和附件。但对某些电流大、换向困难的电机,可采用双子电刷,其滑入边配用电流密度大或润滑性能好的电刷,滑出边配用换向性能好的电刷,从而使电机的运行得到改善。

4.2 电刷的更换与磨合

经过长期运行的电刷刷体、导线和其它金属附件,有的氧化、腐蚀、刷体磨损长短不一,电刷宜一次全部更新。如果新旧电刷混用,会出现电流分布不

均的现象。

对中小型电机,在更换电刷前,应先将换向器磨光研平,并检查换向器的偏摆度,使之达到要求。用细玻璃砂纸,沿电机运转的方向,研磨电刷,不可采用金刚砂纸研磨,以防止金刚砂颗粒嵌入换向器槽中,在电机运转时,擦伤电刷和换向器的磨面。

研磨后,先以20~30%的负荷运转数小时,使电刷与换向器表面磨合,并形成适宜的表面薄膜,再逐步提高电流至额定负荷。

对于大型机组,停机更换电刷,会影响生产。因此,可以不停机,每次更换20%的电刷(即每台电机的每个刷杆的20%),每次时间间隔1~2周,待磨合后,再逐步更新其余电刷,以保证机组正常连续运行。

4.3 电刷运行中常见故障与处理方法

(见表10.2-6)

表 10.2-6 电刷运行中常见故障与处理方法

序号	故障现象	产生故障的原因	处理方法
1	电刷磨损异常	电刷选型不当;换向器偏摆、偏心;换向片、绝缘云母凸起等	应根据电机的运行条件选配合适的电刷,并排除故障
2	电刷磨损不均匀	电刷质量不均匀或弹簧压力不均匀	更换电刷或调整弹簧压力
3	电刷下出现有害火花	1. 机械原因如:换向器偏摆、偏心;换向片、绝缘云母凸起和振动等;2. 电气原因如:负荷变化迅速;电机换向困难;换向极磁场太强或太弱	1. 排除外部机械故障;2. 选用换向性能好的电刷;3. 调整气隙,移动换向极位置等
4	电刷导线烧坏或变色	1. 电刷导线装配不良;2. 弹簧压力不均	1. 更换电刷;2. 调整弹簧压力
5	电刷导线松脱	1. 振动大;2. 电刷导线装配不良	1. 排除振源;2. 更换电刷
6	换向器面拉成沟槽	电刷工作表面有研磨性颗粒,包括外部混入杂质;长期轻载、过冷、严重油污、有害气体,损害接触点间表面薄膜的形成	清扫电刷;更换电刷;排除故障
7	电刷或刷握过热	1. 弹簧压力太大或不均匀;2. 通风不良或电机过载;3. 电刷的摩擦系数大;4. 电刷型号混用;5. 电刷安装不当	1. 降低或调整弹簧压力;2. 改善通风或减小电机负荷;3. 选用摩擦系数小的电刷;4. 换用同一型号的电刷;5. 正确安装电刷
8	刷体破损,边缘碎裂	1. 振动大,2. 电刷材质软、脆	1. 排除振源;2. 选用韧性好的电刷;3. 采取加缓冲压板等防振措施
9	电机运行中出现噪音	电刷的摩擦系数大;电机及刷握振动大;空气湿度低	选择摩擦系数小的电刷;排除振源;调整湿度
10	电刷表面“镀铜”	1. 由于电刷与换向器间接触不好而产生电镀作用,在电刷表面粘附铜粒,2. 由于产生火花,使铜粒脱落,并积聚在电刷面上;3. 局部电流密度过高	1. 排除换向器偏摆,电刷跳动,弹簧压力低而不均等故障;2. 消除产生火花的原因;3. 排除电流密度不均的故障

第3章 其他电碳制品

1 碳 棒

电弧放电具有很高的温度和发光强度。碳棒用作电弧放电的电极,是因为碳具有在高温下不经过液态而直接升华为气体和在燃烧时发射强光等特性。

碳棒的品种很多,按其用途和使用特点来分,主要有:照明碳棒、碳弧气刨碳棒、光谱碳棒以及电池用碳棒等。

1.1 照明碳棒

用照明碳棒为电极的弧光灯,是照明设备中发光强度最高的一种。

1.1.1 照明碳电极之间电弧放电的物理过程

弧光灯可用直流或交流电源。当直流弧光灯中连接电源的两根碳电极互相接触后立即分开时,便有电弧发生,在两电极之间形成电弧放电的等离子区。在电弧电场的作用下,两极之间的空气因电离产生的正离子不断轰击负极碳棒,使它达到高温;与此同时,阴极发射的电子和空气电离产生的自由电子不断轰击正极碳棒,使它发热形成弧坑,并变成高能量的光发射能,这就是电弧放电产生的光源。碳电极之间电弧放电的物理过程见图10.3-1。由于正极碳棒的温度比负极碳棒高,所以,其燃烧速度也比负极碳棒快;而为了使正、负极碳棒的燃烧速度平衡,正极碳棒的直径应比负极碳棒大。空心的正极碳棒里填充了含有发光剂(稀土族金属的氟化物等)的

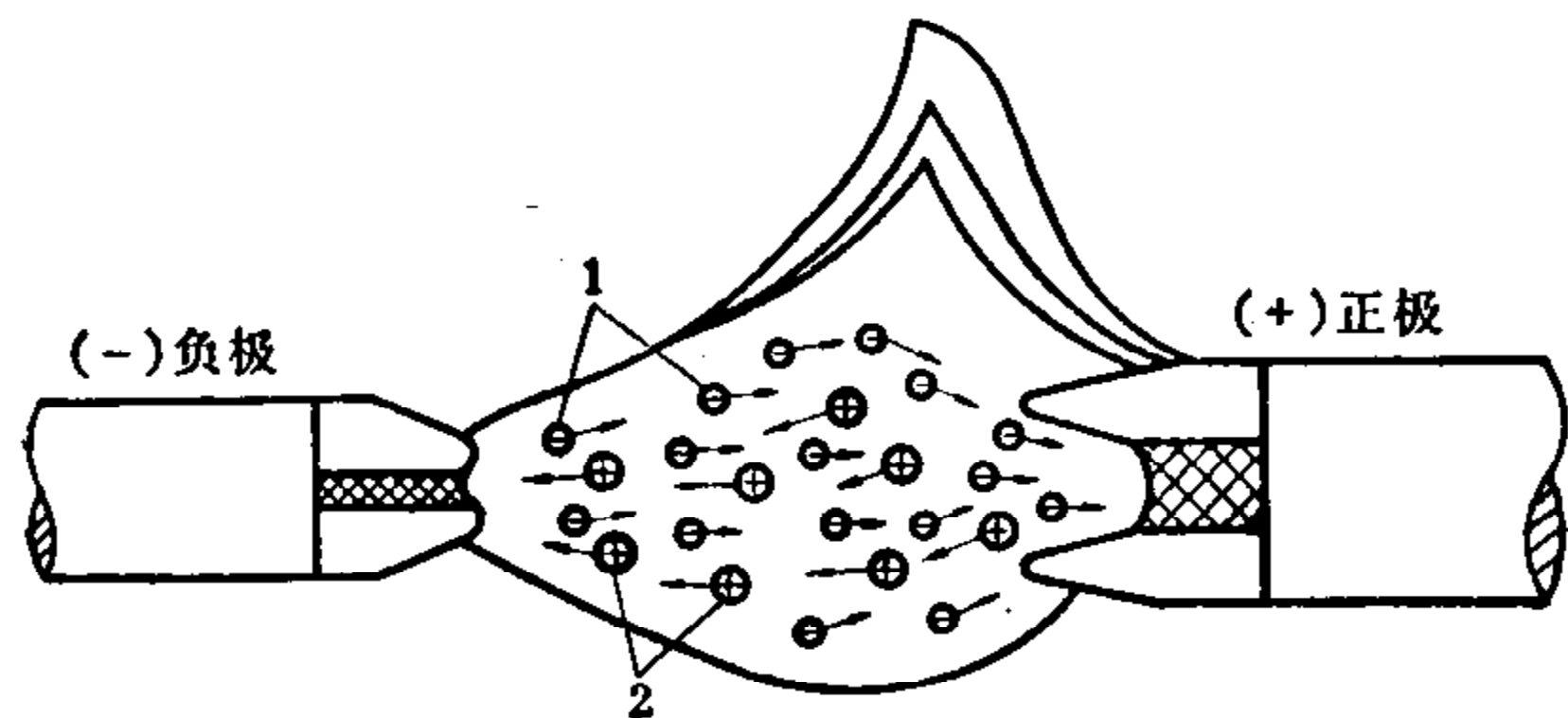


图 10.3-1 电弧放电的物理过程示意图
1—电子运动方向 2—正离子运动方向

芯料,既便于形成火焰口,又增加发光强度,并改变火焰的颜色。

交流弧光灯中的两根碳棒互为正负电极,碳棒末端均呈圆锥形;燃烧速度也相同,所以,两根碳棒的直径一样,并且都有芯料。在电流强度相等的条件下,交流电弧的光通量比直流电弧小 25~50%,直流电弧比交流电弧更近似于点光源。

1.1.2 照明碳棒的分类、用途和技术特性

照明碳棒按其用途分为以下几类:电影放映碳棒、高色温摄影碳棒、紫外线型和阳光型碳棒以及照相制版碳棒等。

a. 电影放映碳棒 电影放映碳棒用于电影放映机的直流弧光灯,它是一种高光强弧光碳棒。碳棒芯料内的稀土族金属氟化物主要是氟化铈,其含量可达 50% 以上。为了增加导电性和降低燃烧速度,可在碳棒外壳上镀一薄铜层。电影放映碳棒的规格、技术特性、工作条件和用途见表 10.3-1。

在放映黑白和彩色影片过程中,由于银幕的照度和色度的变化,银幕边缘的照明不均匀以及传色的畸变等原因,会降低影片的放映质量。为此,除了考虑电影放映机本身的因素外,电影放映碳棒还需满足如下要求:

(1) 具有足够的亮度。随着电影技术的发展,要求增大碳棒的亮度,以保证银幕具有足够的照度。同时,在放映彩色影片时,也可获得较好的传色效果。

(2) 燃烧的稳定性好。碳棒燃烧时的稳定性直接影响银幕上照度的稳定程度,要求碳棒在额定工作条件下使用时,不出现断弧、跳动、喷火星、芯料脱落和冒黑烟等现象。为此,碳棒必须准确地安装在弧光灯中,使电弧保持固定的长度(通常正负极之间的距离相当于正极碳棒的直径),不要超过电弧长度的允许范围。小于允许范围,弧光闪动不稳定,而且未烧尽的碳微粒从正极碳棒飞向负极碳棒并沉积下来,使负极碳棒出现蘑菇状的渣屑(蘑菇头),容易造成断弧;大于允许范围,光线发暗,也容易造成断弧,

表 10.3-1 电影放映碳棒的规格、技术特性、工作条件和用途

碳棒型号	规格 mm	直径 1.2mm 的 火焰口中心的 平均亮度 ×10 ⁶ cd/m ² 不小于	允许最大的 燃烧速度 mm/h	电 流 A	电 压 V	用 途	备 注
B107(+) B107(-)	φ7×355 φ6×230	480	350 130	50	38	普通银幕	镀 铜
B108(+) B108(-)	φ8×355 φ7×230	500	320 130	60	42	同 上	同 上
B109(+) B109(-)	φ9×355 φ8×230	700	650 130	90	55	宽银幕	同 上

同时,造成火焰面积增大,导致弧光灯的反光镜过热甚至损坏。

(3) 燃烧速度低。要求碳棒的燃烧速度低,避免在放映过程中更换碳棒。

(4) 此外,碳棒应保持干燥,避免在燃烧时引起电弧喷闪。

b. 高色温摄影碳棒 高色温摄影碳棒用于拍摄影片的照明弧光灯,它是一种高光强弧光碳棒,其特点是光强而色白,能发出近似于太阳光的光谱,照射距离远,以及燃烧噪音小。高色温摄影碳棒的规格和工作条件见表 10.3-2。对它的技术要求与电影放映碳棒基本相同。

表 10.3-2 高色温摄影碳棒的规格和工作条件

碳棒型号	规 格 mm	电 流 A	电 压 V	备 注
B202(+) B202(-)	φ16×550 φ11×305	150~170	75~85	不镀铜
B203(+) B203(-)	φ16×550 φ13×305	190~230	85~95	同上
B204(+) B204(-)	φ16×400 φ16×310	150~170	75~85	同上

c. 紫外线型和阳光型碳棒 紫外线型和阳光型碳棒用于橡胶、塑料、油漆和颜料等人工老化试验的弧光灯。这两种碳棒的芯料中都含有一定量的钾盐。紫外线型碳棒用于封闭式交流弧光灯,碳棒在封闭的玻璃罩内燃烧,弧光呈蓝紫色,含有丰富的紫外线光谱。阳光型碳棒用于非封闭式直流弧光灯,发出近似于太阳光的光谱。紫外线型和阳光型

碳棒的规格和工作条件见表 10.3-3。

表 10.3-3 紫外线型和阳光型碳棒的规格和工作条件

类型	碳棒型号	规格 mm	电源	电 流 A	电 压 V	备 注
紫外线型	B413	φ13×330	交流	12~17	50~80	不镀铜
		φ13×305				
阳光型	B423(+)	φ23×305	直流	60	50	镀 铜
	B423(-)	φ13×305				

d. 照相制版碳棒 照相制版碳棒用于照相制版作业晒版用各种交流弧光灯。点燃时,两电极之间的球状白炽气体产生强烈的弧光,成为点状光源,光强而色白,色温近似于太阳光,并且有弧光稳定,燃烧速度低以及发光效率高等特点。照相制版碳棒的规格和工作条件见表 10.3-4。

表 10.3-4 照相制版碳棒的规格和工作条件

碳棒型号	规格 mm	电 流 A	电 压 V	备 注
B313	φ13×355	30~50	30~60	不镀铜
	φ13×305			
B315	φ15×355	35~60	30~60	同上
	φ15×305			
B316	φ16×355	40~65	30~60	同上
	φ16×305			
B318	φ18×305	40~65	30~60	同上

注: 电源为交流。

1.2 碳弧气刨碳棒

碳弧气刨碳棒应用于碳弧气刨工艺, 采用碳弧气刨工艺可进行挑焊根, 焊缝返修时刨缺陷, 金属部件开坡口, 刨除和修整金属铸件的浇冒口和铸疤, 切割金属材料, 钻孔以及拆除焊接件和铆接件等作业, 具有加工效率和加工质量高, 操作方便, 设备简单, 以及改善劳动条件等优点。

1.2.1 碳弧气刨的工作原理

使用直流电源的碳弧气刨, 通常将碳棒作为正极, 被加工的金属部件作为负极(对于铸铁件、铜及其合金部件, 采取相反的接法效果较好)。当碳棒接触金属表面后随即离开时, 在碳棒和金属表面之间产生电弧。由于通过这种短电弧(弧长1~2毫米)的电流密度很大, 产生的高温(约6000~7000℃)将起弧部位的金属迅速熔化。同时, 与碳棒平行的喷嘴吹出压缩空气, 将熔化的金属熔渣立即吹开, 从而在金属表面刨出一条沟槽或将金属按需要切割开。碳弧气刨工作原理示意图见图10.3-2。

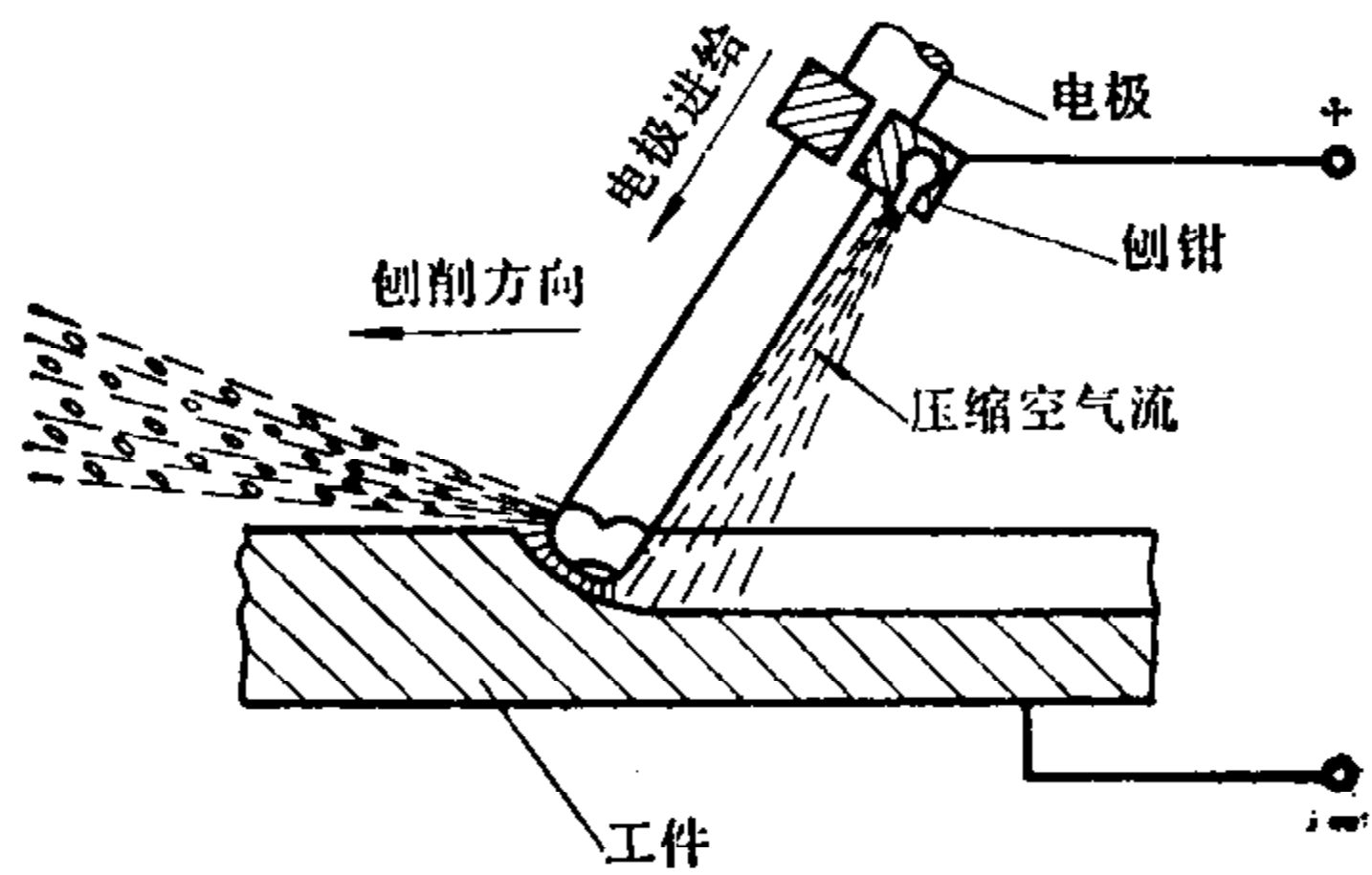


图 10.3-2 碳弧气刨工作原理示意图

1.2.2 碳弧气刨碳棒的规格和工作条件

见表 10.3-5。

1.2.3 碳弧气刨碳棒使用时的注意事项

(1) 碳弧气刨选用的电流范围不仅取决于碳弧气刨碳棒的型号和规格, 还应考虑金属材料的厚度和风压的大小。电流过大, 则碳棒端部的烧红部分过长, 使碳棒端部变细, 刨槽宽窄不一, 影响加工质量; 电流过小, 则电弧不稳定, 容易造成断弧, 使刨槽困难。

表 10.3-5 碳弧气刨碳棒的规格和工作条件

碳棒型号	型 式	规格 mm	电 流 A
B504	圆	$\phi 4 \times 355$	150~250
B505		$\phi 5 \times 355$	150~250
B506		$\phi 6 \times 355$	200~300
B507		$\phi 7 \times 355$	300~400
B508		$\phi 8 \times 355$	300~400
B509		$\phi 9 \times 355$	350~450
B510		$\phi 10 \times 355$	350~450
B512		$\phi 12 \times 355$	400~500
B514		$\phi 14 \times 355$	500~600
B516		$\phi 16 \times 355$	500~650
B5510	矩 形	$5 \times 10 \times 355$	320~380
B5512		$5 \times 12 \times 355$	320~380
B5515		$5 \times 15 \times 355$	350~450
B5518		$5 \times 18 \times 355$	350~450
B5520		$5 \times 20 \times 355$	350~450
B5525		$5 \times 25 \times 355$	450~550
B5620		$6 \times 20 \times 355$	450~550

注: 1. 电源为直流。
2. 碳棒外壳镀铜。

(2) 碳弧气刨选用的风压范围(一般为4~6kgf/cm²)与碳弧气刨碳棒的直径有关。直径大, 风压应较大, 直径小, 风压亦应较小。风压过大, 电弧不稳定; 风压过小, 熔化的金属熔渣不易吹开, 影响加工质量。

(3) 妥善选择碳弧气刨碳棒的伸出长度, 碳棒与工件沿刨槽方向的夹角, 以及刨槽速度等。这些因素对提高碳弧气刨的效率和质量都有很大的影响。

1.3 光谱碳棒

光谱分析是利用元素特定光谱线的出现与否和谱线的强弱程度进行矿石、矿物、金属和溶液等的定性和定量分析。光谱碳棒可用作光谱分析用摄谱仪的碳电极。用低灰分的原材料经高温纯化处理制成的光谱碳棒, 具有纯度高, 杂质含量低, 不影响分析

精度,机械强度高,以及导电性和热稳定性好等特点。光谱碳棒的电弧波谱在 $2000\sim 3500\text{\AA}$ 范围内。对碳棒所含杂质元素的含量,只允许硼、硅、铝、镁、铁、铜和钛等元素的极微弱谱线出现。光谱碳棒的规格和技术特性见表10.3-6。

1.4 电池用碳棒

电池用碳棒通常用作电池和电池组的阳极,这是由于碳具有导电性和化学稳定性好等特性。它的规格和技术特性见表10.3-7。

表 10.3-7 电池用碳棒的规格和技术特性

规 格 mm	抗折强度 kgf/cm ² 不小于	电阻系数 $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ 不大于
$\phi 4\times 26\sim 34$	400	50
$\phi 6\times 32\sim 55$	500	60
$\phi 8\times 58\sim 96$	170	60
$\phi 10\times 85$	180	70
$\phi 15\times 116\sim 120$	170	80
$\phi 18\times 150\sim 180$	150	80

2 碳滑板和碳滑块

采用热挤压成型工艺制成的碳滑板和碳滑块,

具有导电性好,自润滑性好,不与金属沾粘,接触电阻稳定以及切断接触时出现气体放电的可能性非常小等特性,是电力机车和无轨电车用以从接触网导线引入电能的滑动接触件。碳滑板和碳滑块已成功地取代金属滑板和金属滑块,是由于它们具有如下优点:

(1) 碳滑板在接触网导线的磨面上滑动摩擦,产生一层碳润滑膜,不涂润滑油就可减少接触网导线的磨损,从而延长导线寿命,减轻保养和更换工作。

(2) 能在弯度大,隧道多,气候条件恶劣,坡度为30%的电气化铁道上长期工作。

(3) 使用碳滑板能大大减少接触电弧,可减轻接触网导线和碳滑板表面的烧伤,并减少对无线电波的干扰。

碳滑板和碳滑块的技术特性和用途见表10.3-8。

为了不断变换碳滑板与接触网导线的接触点,以达到磨损均匀,寿命延长的目的,接触网导线一般应采用“之”字形的架线方式。为了减小接触电阻,避免过热现象,可采用两块碳滑板并用方式,以增加接触面积。电力机车起动时滑动慢,电流大,接触点过热现象较严重,甚至可能烧伤接触网导线,操作时应特别注意,并采取限制过载电流的措施。

表 10.3-6 光谱碳棒的规格和技术特性

碳棒型号	规 格 mm	纯 度 %	杂 质 含 量	表观密度 g/cm ³	气 孔 率 %	抗折强度 kgf/cm ²	电阻系数 $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$
B606 B608 B610 B613 B615	$\phi 6\times 300$ $\phi 8\times 300$ $\phi 10\times 300$ $\phi 13\times 300$ $\phi 15\times 300$	99.995~ 99.999	硼、硅、镁、铁元素光谱线微弱出现; 铜、铝、钙元素光谱线微弱出现到不出现	≥ 1.6	≤ 25	≥ 400	9~12

表 10.3-8 碳滑板和碳滑块的技术特性和用途

型 号	基体材料	肖氏硬度 不小于	电阻系数 $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ 不大于	抗折强度 kgf/cm ² 不小于	抗压强度 kgf/cm ² 不小于	用 途
C11 C12	碳 质	60	50	250	—	无 轨 电 车
C21	碳 质	60	40	300	700	干线电力机车
C22	碳-石墨质	35	20	200	230	矿山电力机车
C23	碳 质	40	35	200	350	矿山电力机车

3 碳和石墨触头

碳和石墨触头具有导电性、导热性和自润滑性好，耐高温，不与金属沾粘以及化学稳定性好等特性，可用作电气控制设备中的接触件。它的技术特性和用途见表 10.3-9。

表 10.3-9 碳和石墨触头的技术特性和用途

型 号	硬 度	电阻系数 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	用 途
C31	35~65 (肖氏)	≥ 50	电炉控制 器、汽车和 拖拉机分电 器
C32	35~65 (肖氏)	≥ 50	
C33	10~35① (洛氏)	8~20	

① 洛氏硬度单位的说明见表 10.2-2 注 2。

4 电真空器件用高纯石墨件

高纯石墨以石油焦、沥青焦为主要原料。经 2500℃ 以上的高温处理制成的高纯石墨，所含杂质极低，可用作大功率电子管和汞弧整流器的阳极和栅极，某些真空电炉用电热、隔热和支撑元件，以及其他电真空器件的石墨件等。

高纯石墨的主要特性是：

(1) 高纯石墨的灰分一般不超过 0.1%，经特殊净化处理的特高纯石墨的灰分可 $< 0.001\%$ 。这种材料不仅可以避免二次电子发射，而且可使由于杂质元素的蒸发而污染使用系统的现象减小到最低程度。

(2) 结构致密，机械强度较高。一般情况下，气孔率不超过 30%，抗压强度大于 $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，特殊情况下，气孔率可降至 5% 左右，抗压强度可达 $800 \sim 1000\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。用它制成的各种石墨件，具有较大的支撑能力和抗振性能，并在高温下不掉粉，不碎裂。

(3) 电子热发射效率高，重量轻，能耐高速电子流的轰击。

(4) 在空气中 500℃ 左右就开始氧化，其氧化速度随温度的升高而加剧。所以石墨件在高温下使用，必须置于真空或还原性气氛中。石墨件在真空

中经高温除气处理后性能稳定，能保证设备在高真空状态下正常工作。

高纯石墨的技术特性和用途见表 10.3-10。

表 10.3-10 高纯石墨的技术特性和用途

型 号	G 21	G 31	G 41
灰分 % 不大于	0.01	0.025	0.10
含硫量 % 不大于	0.03	0.05	0.05
含钙量 % 不大于	0.002	0.003	0.003
表观密度 g/cm^3 不小于	1.60	1.50	1.50
电阻系数 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	6~12	10~16	10~20
气孔率 % 不大于	25	30	30
抗压强度 kgf/cm^2 不小于	400	230	—
抗折强度 kgf/cm^2 不小于	—	—	180
用 途	汞弧整 流器石墨 阳极，真 空电炉石 墨电热元 件	汞弧整 流器石墨 阳极，真 空电炉石 墨电热、 隔热和支 撑元件石 墨坩埚	大型电 子管石墨 阳极和栅 极，真空 冶炼用石 墨坩埚和 电热元件

5 碳电阻片柱

碳电阻片柱是由许多平整的碳片或碳圈叠合而成，其电阻值可随压力负荷的变化而在较大的范围内改变，并能在除去负荷之后恢复原来的电阻值。对碳电阻片柱的要求是电阻变化范围大，机械变形小。它可用于发电机自动电压调整器、电动机转速调整器、连续改变电阻的各种变阻器、压力调整器等电气设备。

组成碳电阻片柱的碳片和碳圈是用碳黑和天然石墨的混合料制成的，为取得电阻的最高上限值，功率较小的碳电阻片柱采用未经石墨化的混合料，功率大的制品要经过石墨化。