

第 13 篇 特种电工材料

主编单位:

上海电器科学研究所

编写单位:

桂林电器科学研究所

重庆仪表材料研究所

上海合金厂

上海电工合金厂

天津电工合金厂

目 录

常用符号表

第1章 电触头材料

- 1 概述13-1
 - 1.1 电触头在操作过程中的物理现象.....13-1
 - 1.2 对电触头材料的性能要求.....13-2
 - 1.3 电触头材料的品种分类.....13-2
- 2 常用电触头材料的品种、性能和用途13-2
 - 2.1 强电用触头材料.....13-2
 - 2.2 弱电用触头材料.....13-5
- 3 电触头材料应用中的有关问题.....13-5
 - 3.1 电触头材料的选用.....13-5
 - 3.2 电触头的尺寸和形状.....13-8
 - 3.3 电触头的焊接.....13-8

第2章 电阻合金

- 1 品种分类与性能特点13-10
 - 1.1 调节元件用电阻合金13-10
 - 1.2 精密元件用电阻合金13-10
 - 1.3 电位器用电阻合金13-12
 - 1.4 传感元件用电阻合金13-15
- 2 电阻合金主要性能的测量13-15
 - 2.1 电阻率13-15
 - 2.2 对铜热电动势13-16
 - 2.3 电阻温度系数13-16
- 3 电阻合金电阻温度系数的选用13-17
 - 3.1 由温度变化引起的元件阻值误差 δ 的计算13-17
 - 3.2 合金电阻温度系数允许范围的确定 13-18

第3章 电热材料

- 1 概述13-22
- 2 常用电热材料的性能、规格12-24
- 3 电热元件的选用和计算.....13-24
 - 3.1 单位表面负荷13-24

- 3.2 金属线、带材电热元件.....13-24
- 3.3 硅碳电热元件13-28
- 3.4 硅钼棒电热元件13-30
- 3.5 管状电加热元件13-33

- 4 电热材料应用中注意事项.....13-34
 - 4.1 合金线、带材元件的形状及尺寸比例 13-34
 - 4.2 电热合金的焊接13-34
 - 4.3 炉内气氛影响12-35
 - 4.4 耐火材料的影响13-37

第4章 热电偶材料

- 1 概述13-38
 - 1.1 热电偶的原理与定则13-38
 - 1.2 对热电偶材料的性能要求13-39
 - 1.3 热电偶材料的分类13-40
- 2 各种热电偶材料的主要特点、用途和性能13-40
 - 2.1 常用热电偶材料13-40
 - 2.2 补偿导线13-40
 - 2.3 特殊热电偶13-45
- 3 热电偶材料应用中有关问题13-45
 - 3.1 自由端温度的修正13-45
 - 3.2 低温热电偶热电势值参考表对不同自由端温度的换算13-46
 - 3.3 热电偶材料的选用13-46
 - 3.4 热电偶材料常用焊接方法13-47
 - 3.5 热电偶的定期检定13-47

第5章 热双金属片

- 1 概述13-48
 - 1.1 热双金属片及其动作原理13-48
 - 1.2 组合层材料13-48
 - 1.3 组合层材料的结合13-49
 - 1.4 分类及应用13-49
- 2 性能及品种13-49
 - 2.1 主要物理性能及测量方法13-49

IV 目 录

2.2 常用品种的尺寸规格及性能	13-51
2.3 电阻型热双金属片	13-53
2.4 高温型热双金属片	13-53
2.5 耐腐蚀型热双金属片	13-53
2.6 特殊型热双金属片	13-58
3 热双金属元件的设计和计算	13-58
3.1 热双金属元件的设计	13-58
3.2 计算举例	13-59
4 热双金属元件生产中应注意事项	13-60
4.1 冲剪、弯曲、卷绕和固定	13-60
4.2 元件的热处理	13-60
4.3 表面防护	13-62

第6章 弹性合金

1 概述	13-62
1.1 弹性合金的主要性能	13-62
1.2 常用弹性合金的品种类别	13-63
2 常用弹性合金的品种、性能、特点 与用途	13-63
2.1 高弹性合金	13-63
2.2 高温高弹性合金	13-70
2.3 恒弹性合金	13-72
2.4 耐腐蚀弹性合金	13-74
2.5 铜基弹性合金	13-77
3 弹性合金应用中的有关问题	13-80
3.1 弹性合金的选用	13-80
3.2 成型加工时最终冷加工度的选择	13-80
3.3 热处理的有关问题	13-81
3.4 碱洗与酸洗	13-81

附 录

附录1 常用电阻合金线的规格, 每米电阻值 和每米重量表	13-83
附录2 Cr20Ni80 型镍铬合金线材的重量、长 度及电阻换算表	13-85
附录3 Cr15Ni60 型镍铬合金线材的重量、长 度及电阻换算表	13-85

附录4 1Cr13Al4 型铁铬铝合金线材的重量、 长度及电阻换算表	13-86
附录5 0Cr13Al6Mo2 型铁铬铝合金线材的 重量、长度及电阻换算表	13-86
附录6 0Cr25Al5 型铁铬铝合金线材的重量、 长度及电阻换算表	13-87
附录7 0Cr27Al7Mo2 型铁铬铝合金线材的 重量、长度及电阻换算表	13-87
附录8 铂铑 30-铂铑 6 热电偶分度表	13-88
附录9 铂铑 10-铂热电偶分度表	13-91
附录10 其他高温热电偶的热电势值与热电 势率参考表	13-94
附录11 镍铬-镍硅(镍铬-镍铝)热电偶分度 表	13-95
附录12 镍铬-考铜热电偶分度表	13-98
附录13 铜-康铜热电偶分度表	13-100
附录14 其他中温热电偶的热电势值与热电 势率参考表	13-101
附录15 常用低温热电偶的热电势值与热电 势率参考表	13-102
附录16 常用单根热电极对铂热电势值参考 表	13-103
附录17 常用高温热电偶的热电势与温度的 关系图	13-103
附录18 常用中温热电偶的热电势与温度的 关系图	13-103
附录19 常用低温热电偶的热电势与温度的 关系图	13-104
附录20 常用低温热电偶的热电势率与温度 的关系图	13-104
附录21 常用单根热电极对铂热电势与温度 的关系图	13-104
附录22 国内外弹性合金牌号或代号对照表	13-105
附录23 弹性合金有关性能试验方法的标准 及其适用范围	13-107
参考文献	13-107

常 用 符 号 表

A	断面积	T_1	电热元件的绝对温度
b	宽度	T_2	炉内绝对温度
C_t	电热材料在温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的电阻修正系数	t	厚度、温度
c	比热	t_a	平均温度
D	直径、硅碳棒冷端直径、硅碳管外径	t_m	锰铜电阻对温度曲线的最高点温度
d	密度、硅碳管内径	U	电压
E	热电动势、弹性模量	U_L	硅钼棒冷端电压
E_a	对铜平均热电动势	U_R	硅钼棒热端电压
F	接触电压、推力	U_1	每支硅钼棒电压
Δf	挠度的变化值	u	单位体积贮能
G	切变模量	V	体积
H_{10}	弹性后效	V_0	最小起弧电压
I	电流	w	元件表面负荷
I_0	最小起弧电流	Z	元件支数
I_c	截止电流	Z_0	波阻抗
K	应变灵敏系数、比弯曲	α	电阻温度系数、一次电阻温度系数、线膨胀系数
$L(l)$	长度	α_1	平均电阻温度系数
M	转矩	α_m	电阻温度系数的最大容许值
m	带材宽厚比	β	二次电阻温度系数、螺旋形元件偏转角度
P	元件功率	β_e	弹性模量温度系数
P_L	每支硅钼元件冷端功率	β_f	频率温度系数
P_R	每支硅钼元件热端功率	γ	切应变
P_T	电炉总功率	δ	电阻元件由温度变化引起的阻值误差、伸长率、 内耗角、厚度
P_1	每支元件功率	$ \delta_a $	一定温度范围内的平均阻值误差绝对值
Q	机械品质因数	$ \delta_m $	一定温度范围内最大阻值误差绝对值
R	电阻	e	应变
R_k	接触电阻	θ	温度
dR	电阻 R 的变化值	ρ	电阻率
R_t	温度 t 时的电阻值	ρ_L	硅钼棒冷端电阻率
R_1	温度 t_1 时的电阻值	ρ_R	硅钼棒热端电阻率
R_2	温度 t_2 时的电阻值	ρ_t	元件在温度 t 时的电阻率
R_{10}	10°C 时电阻值	ρ_{20}	在 20°C 时的电阻率
R_{20}	20°C 时电阻值	σ	应力
R_{40}	40°C 时电阻值	σ_b	抗拉强度
r	螺旋形元件半径	σ_{bc}	弯曲弹性极限
r_L	硅钼棒冷端电阻	σ_p	比例极限
r_R	硅钼棒热端电阻	τ	剪应力
r_1	每支硅钼棒电阻、力臂长度	Φ	条片元件偏转角度
S	元件表面积		

索引

按汉语拼音字母次序排列

- A**
- α 相 9-5
- α - β 区域图 见电阻温度系数
- 选用范围
- ABS 塑料 7-78, 80
- B**
- β -W 型化合物 12-10, 15
- β 相 9-5
- 巴申定律 7-9, 12
- 半奥氏体沉淀硬化不锈钢 13-67
- 半导体纸 7-24
- 半导体 11-1
- N 型— 11-2
- P 型— 11-2
- 本征— 11-1
- 玻璃— 11-2
- 固溶体— 11-2
- 化合物— 11-2
- 间接跃迁型— 11-21
- 有机— 11-2
- 元素— 11-2
- 杂质— 11-1
- 直接跃迁型— 11-19
- 绑扎带 7-46, 51
- 保护法 12-36
- 并联电阻— 12-36
- 串联电容— 12-37
- 振荡回路— 12-37
- 薄膜 7-58
- 超导体 见超导体
- 复合制品 7-59
- 绕包线 9-32, 34
- 热电偶 13-45
- 本征激发 11-1
- 本征离子 7-3
- 比磁滞损耗 8-4
- 系数 8-3
- 比例极限 13-62
- 比强度 9-2
- 比损耗系数 8-3
- 蓖麻油 7-19
- 边缘电容 7-106
- 变压器电桥 7-104
- 变压器油 7-15
- 变质处理 9-18
- 标准电极电位 9-8
- 表面态 11-7
- 玻璃膜绝缘微细线 13-11
- 玻璃漆布 7-46
- 玻璃漆管 7-46, 50
- 玻璃丝包漆包线 9-31
- 玻璃丝包线 9-31
- 玻璃碳 10-2
- 补偿导线 13-39
- 不锈钢复铜 9-20
- C**
- 层错 11-15
- 层压制品 7-64
- 成型工艺 7-64
- 机械加工 7-67, 73
- 掺杂 11-1
- 掺杂剂 11-8
- 超导材料 12-10
- 连接 12-29
- 实用— 12-23
- 超导电力电缆 12-27
- 交流— 12-27
- 直流— 12-27
- 超导电性 12-2
- 超导电子对隧道效应 12-8
- 超导多纤维复合导体 12-12, 19
- 换位 12-20
- 拧扭 12-19
- 超导开关 12-37
- 超导态 12-2
- 超导特征参量 12-6
- 超导体 12-2
- 能隙 12-4
- 物理性能 12-16
- 薄膜— 12-11
- II 类— 12-5
- 非理想 II 类— 12-6
- 合金— 12-13
- 化合物— 12-14
- 理想 II 类— 12-5
- III 类— 12-6
- I 类— 12-4
- 硬— 12-6
- 元素— 12-12
- 超导装置 12-35
- 保护 12-36
- 供电 12-35
- 沉浸工艺 见浸渍工艺
- 传热 见低温漏热
- 辐射— 12-33
- 固体— 12-32
- 气体— 12-32
- 瓷漆 7-39
- 磁场强度 8-1
- 磁畴 8-4
- 磁矩 8-5
- 畴壁 8-5
- 取向 8-1, 24
- 磁导率 8-1
- 比温度系数 8-3
- 初始— 8-2
- 峰值— 8-16
- 感应— 8-23
- 回复— 8-2, 27
- 微分— 8-24
- 真空— 8-1
- 最大— 8-2
- 磁感应矫顽力 见矫顽力
- 磁感应强度 8-1
- 饱和— 8-1
- 剩余— 见剩磁
- 磁感应衰减率 见衰减率
- 磁感应温度系数 8-4
- 磁化强度 8-1, 5
- 磁化曲线 8-1
- 拐点 8-23
- 膝点 8-1
- 磁极化强度 8-5
- 磁晶各向异性 8-6
- 常数 8-6
- 能 8-6

2 案 引

磁能积	8-2	—电击穿	13-1	电热元件	13-24
最大—	8-2	—电磨损	13-1	—再氧化处理	13-73
最大回复—	8-28	—动熔焊	13-1	管状—	13-22, 33
磁弹性能	8-6	—负向材料转移	13-2	硅钼棒—	13-22, 30
磁通量子	12-6	—焊接 见焊接		硅碳棒—	13-22, 28
磁通跳跃	12-17	—机械磨损	13-1	硅碳管—	13-22, 28
—临界磁场参量	12-19	—接触电阻	13-1	电容器油	7-14
不完全—	12-17	—截止电流	13-1	电容器纸	7-21
完全—	12-17	—静熔焊	13-1	电容套管芯	7-64
磁通线格子	12-5	—灭弧能力	13-1	电刷	10-3
磁稳定性	8-29	—熔焊	13-1	—安装	10-11
磁温度补偿合金	8-22	—剩余电流	13-1	—尺寸	10-8
磁滞材料	8-4, 35	—收缩电阻	13-1	—单位压力	10-4, 6
各向同性铁钴钼—	8-35	—正向材料转移	13-2	—电流密度	10-4, 6
各向同性铁钴钨—	8-35	—最小起弧电流	13-2	—电阻系数	10-4, 7
磁滞回线	8-2	—最小起弧电压	13-2	—更换	10-11
极限—	8-2	复合—	13-4	—故障	10-11
磁滞损耗	8-2	强电用—	13-2, 4	—灰分	10-8
磁致伸缩	8-4	弱电用—	13-2, 5, 7	—加工	10-8
磁阻法	11-31	真空开关—	13-2	—接触特性	10-5
脆性化合物	9-7, 19	电磁纯铁	8-9	—理化特性	10-7
		电磁偶合	12-19	—引出导线装配方式	10-10
		电磁线	9-22	—最大圆周速度	10-4
		特种—	9-22, 34	电化石墨—	10-3
		无机绝缘—	9-22, 34	分层—	10-9
		电负性	7-1, 13	辐射式—	10-9
		电工用纯铁	8-9	后倾式—	10-9
		电话纸	7-21	金属石墨—	10-3
		电化时间	7-102	前倾式—	10-9
		电化学腐蚀	9-15	上端面倾斜式—	10-9
		电介质	7-1	石墨—	10-3
		—电导	7-3	电子	
		—击穿	7-8	—扩散系数 见扩散系数	
		—极化 见极化		—迁移率	11-6
		—损耗	7-6	—有效质量	11-6
		电缆油	7-14	电子崩	7-9
		电缆纸	7-22	电子波散射	9-2, 4
		电老化	7-11, 111	电子对	12-4
		电热材料	13-22, 24	—相关长度	12-4
		—单位表面负荷(表面负荷)	13-24, 33	电子云	7-2
		—电阻率修正系数	13-23	电阻	9-2
		—工作温度	13-22	电阻合金	13-10
		—焊接 见焊接		测温用—	13-15
		—炉内气氛影响	13-35	传感元件用—	13-15
		—耐火材料影响	13-27	电工仪器用—	13-10
		纯金属—	13-22	电位器用—	13-12
		镍铬—	13-22	分流器用—	13-11
		石墨—	13-22	高电阻率—	13-11
		铁铬铝—	13-22	精密元件用—	13-10
				调节元件用—	13-10, 14
D					
单边突变结	11-5				
单畴颗粒	8-7				
单晶体	8-6				
导电类型	11-25				
等磁能曲线族	8-2				
等焓过程	12-30				
等焓节流膨胀效应	12-30				
等熵过程	12-30				
等熵膨胀效应	12-30				
滴浸工艺 见浸渍工艺					
低场不稳定现象	12-17				
低塑性区	9-8				
低温常用材料	12-37				
低温霍尔效应法	11-29, 31				
低温绝热 见绝热					
低温冷却工质	12-39				
低温漏热	12-32				
低温热电偶参考表换算	13-46				
涤纶漆管	7-50				
碲镉汞	11-24				
碲锑铋	11-24				
碲硒铋	11-24				
碲锡铅	11-24				
电畴	7-5				
电触头材料	13-1				
—表面膜电阻	13-1				
—电弧腐蚀	13-1				

4 索引

- | | | | | | |
|-------------|------------|-------------|---------------|-----------------|-----------|
| 恒导磁合金 | 8-23 | —自场损耗 | 12-12 | 绝缘纸 | 7-20 |
| 恒弹性合金 见弹性合金 | | 交流约瑟夫效应 | 12-8 | —板 | 7-24 |
| 红外吸收法 | 11-32 | 焦耳汤姆逊效应 | 12-30 | —管 | 7-26 |
| 滑移线 | 9-5 | 矫顽力 | 8-1 | 绝热 | 12-33 |
| 化学键 | 7-1 | 磁感— | 8-2 | 低温— | 12-33 |
| 化学交联 | 7-85 | 内禀— | 8-2 | 微珠— | 12-34 |
| 环抗张强度 | 7-46 | 接触电压降 | 11-4 | 真空— | 12-33 |
| 环氧树脂 | 7-31, 42 | 解理面 | 11-4 | 真空多层— | 12-35 |
| 缓慢极化 | 7-5 | 介电常数 | 11-6 | 真空粉末— | 12-34 |
| 换位导线 | 9-35 | 光学— | 11-6 | | |
| 换位节距 | 12-20, 22 | 静电— | 11-6 | K | |
| 换向器云母板 | 7-56 | 介质损耗 见电介质损耗 | | 开关油 | 7-14 |
| 灰分 | 10-8 | 介质损耗角正切 | 7-6, 102, 105 | 空间因素 | 9-37 |
| 回复线 | 8-3, 27 | 禁带宽度 | 11-1, 6, 19 | 空气 | 7-12 |
| 混合态 | 12-5 | 金属化纸 | 7-24 | 空位 | 11-14 |
| 活化分析法 | 11-32 | 浸渍工艺 | 7-37 | 空位团 | 11-14 |
| 带电粒子— | 11-32 | 浸渍漆 | 7-32 | 空穴 | 11-1 |
| 中子— | 11-32 | —烘焙工艺 | 7-34 | —扩散系数 | 11-6 |
| 活化能 | 7-3 | —熔剂 | 7-34 | —迁移率 | 11-6 |
| 活性稀释剂 | 7-37 | 晶格模型 | 11-3 | —有效质量 | 11-6 |
| 霍尔系数 | 11-29 | 金刚石类型— | 11-3 | 快速热老化 | 7-111 |
| 霍尔效应 | 11-29 | 闪锌矿类型— | 11-3 | 矿物油 | 7-14 |
| | | 晶格常数 | 11-4 | —净化 | 7-17 |
| J | | 晶格畸变 | 9-2 | —老化(劣化) | 7-16 |
| 几何电容 | 7-102, 106 | 晶粒取向 | 8-1, 10 | —析气性 | 7-16 |
| 机械紧固 | 12-22 | 晶面 | 11-3 | 扩散 | 11-11 |
| 导体浸渍— | 12-22 | 晶体结构 | 11-4 | 扩散法 | 12-25 |
| 预应力— | 12-22 | —半导体材料— | 11-4 | 扩散系数 | 11-8, 12 |
| 机械品质因数 | 13-63 | 石墨— | 10-1 | 电子— | 11-6 |
| 极化 | 7-4 | 晶体缺陷 | 11-13 | 空穴— | 11-6 |
| 电介质— | 7-4 | 晶向 | 11-7 | | |
| 夹层式— | 7-5 | —偏离度 | 11-7 | L | |
| 离子位移式— | 7-5 | 静磁能 | 8-5 | 老化 | 7-11, 110 |
| 偶极松弛式— | 7-5 | 居里温度 | 8-4 | —处理 | 8-33 |
| 自持式— | 7-5 | 聚丙烯 | 7-87 | 冷加工变形 | 9-4 |
| 极化率 | 7-5 | 聚氯乙烯 | 7-83 | —处理 见弹性合金中间调节处理 | |
| 极性 | 7-2 | 聚酰胺 | 7-31 | 冷屏 | 12-33 |
| 铍铝砷 | 11-1, 23 | 聚乙烯 | 7-85 | 冷作硬化 | 9-4, 7, 9 |
| 铍砷磷 | 11-1, 23 | 聚酯树脂 | 7-30 | 离子键 | 7-1 |
| 夹杂微粒 | 11-14 | 卷绕绝缘纸 | 7-24 | 连铸连轧工艺 | 9-17 |
| 剪应力 | 13-63 | 绝缘材料老化 | 7-11 | 磷化镓 | 11-21 |
| 减落 | 8-3 | —试验 | 7-110 | 磷化钢 | 11-21 |
| —系数 | 8-3 | 绝缘击穿 | 7-8 | 临界长度 | 12-20 |
| 键能 | 7-1 | —强度 | 7-8, 107 | 外磁场中完全偶合— | 12-20 |
| 交流损耗 | 12-7 | 绝缘胶 | 7-42 | 自场中完全偶合— | 12-20, 22 |
| —磁滞损耗 | 8-2, 12-7 | 浇注电缆— | 7-44 | 临界尺寸 | 12-21 |
| —电磁测量法 | 12-29 | 浇注电器— | 7-42 | 动态稳定— | 12-21 |
| —热学测量法 | 12-28 | 绝缘漆 | 7-32 | 焙稳定— | 12-21 |
| —涡流损耗 | 8-2, 12-12 | 绝缘涂层工艺 | 8-26 | 绝热稳定— | 12-21 |
| —正常态损耗 | 12-12 | 绝缘纤维 | 7-27 | 冷冻稳定— | 12-21 |

临界磁场 12-2, 10
 一测量 12-28
 上— 12-5
 下— 12-5
 临界电流密度 12-2, 11
 一测量 12-28
 临界温度 12-2, 10
 一测量 12-27
 硫化 7-89
 硫化剂 7-117
 硫化锡 11-23
 硫化铅 11-23
 硫化锌 11-22
 六氟化硫 7-13
 漏导电流 7-3
 铝 9-12, 14
 铝包钢 9-2
 铝复铁 9-20
 铝铝合金 9-16
 铝合金 9-16
 铝硅合金 9-16
 铝黄铜复铜 9-20
 铝、铝合金焊接 见焊接
 铝、铝合金机械连接 9-18
 铝镁硅合金 9-16
 铝镁硅铁合金 9-16
 铝镁合金 9-16
 铝镁铁合金 9-16
 铝铁钴钛 8-28
 铝镍钴永磁材料 8-28
 粉末烧结— 8-28
 铸造— 8-28
 铝铁合金 9-16
 铝铜 9-10
 氯化聚醚 7-78, 84, 88
 氯化聚乙烯 7-96
 氯磺化聚乙烯 7-95
 裸导体制品 9-19, 21

M

迈斯拉效应 12-1
 弥散硬化 9-2, 6
 一合金 9-2
 一铝 9-18
 一铜 9-6, 12
 摩擦损耗 10-5
 摩擦系数 10-4
 膜沸腾 12-18

N

耐电弧性 7-109
 耐腐蚀弹性合金 见弹性合金
 加工硬化型— 13-74
 时效硬化型— 13-74
 耐热概貌 — 7-110
 耐热合金复银 9-20
 耐热寿命 7-110
 内氧化法 9-12
 能带结构 11-1
 能隙 12-4
 铌 12-13
 铌铝合金 12-14
 铌三锡 12-15
 一多纤维复合导体 12-26
 一复合带 12-25
 铌钛合金 12-13
 一编织带 12-24
 一单芯复合导体 12-23
 一多纤维复合导体 12-23
 一绞线 12-24
 一冷冻稳定复合带 12-25
 一内冷电流复合导体 12-25
 逆窗效应 11-23
 粘带 7-59, 62
 粘滞损耗 12-7
 镍包铜线 9-2, 20
 镍复银 9-20
 镍磷铜 9-10
 镍铍铜 9-10
 镍硅铜 9-10
 镍钛铜 9-10
 拧扭节距 12-20

O

偶极子 7-2
 偶极转向极化 7-5
 偶联剂 7-89, 121

P

PN 结 11-5, 14
 泡沫聚乙烯 7-85
 配合剂 7-74, 89, 117
 膨胀机 12-31
 活塞式— 12-31
 透平式— 12-31
 碰撞电离 7-9
 铍钴铜 9-10
 铍铜 9-9, 12

高导电— 9-12
 高强度— 9-12
 频率温度系数 13-63
 屏蔽电流 12-2

Q

漆包线 9-22
 一回弹角 9-26
 一漆 7-37
 一热寿命 9-29
 一柔软性 9-26
 一直焊性 9-29
 一自粘性 9-29
 环氧— 9-23
 聚氨酯— 9-23
 聚酰胺酰亚胺— 9-24
 聚酰亚胺— 9-25
 聚酯— 9-24
 聚酯亚胺— 9-24
 聚酯亚胺-聚酰胺酰亚胺— 9-25
 耐致冷剂— 9-25
 缩醛— 9-23
 无磁性— 9-25
 油性— 9-23
 自粘性— 9-25
 自粘直焊— 9-25
 漆布 7-46, 48
 漆管 7-46, 50
 漆膜 9-26
 一击穿电压 9-27
 一介质损耗角 9-27
 一耐刮性 9-26
 一热冲击性 9-28
 一热老化 9-27
 一软化击穿 9-27
 一弹性 9-26
 一针孔 9-29
 起始游离电压 7-8, 67
 气体电介质 7-12
 气体吸附剂 7-14
 气相沉积法 12-26
 迁移率 11-7
 漂移— 11-5, 29
 载流子— 11-5
 铅 12-13
 铅铜 9-10
 潜热 12-2
 超导体— 12-2
 切变模量 13-62
 切应变 13-62

- 氢病 9-7
趋肤效应 9-3
区熔法 11-5, 19, 24
全电流密度 12-11
 表面— 12-11
 超导材料— 12-11
 绕组— 12-11
缺口敏感性 9-9
- R**
- 绕包线 9-22, 30
绕组线 9-22
 高频— 9-36
 潜水电机— 9-37
 中频— 9-36
热导率 11-6
热电动势 见热电偶热电动势
 对铂— 13-39, 103
 对铜— 13-15
热电极 13-38
热电偶 13-38
 —工作端(热端) 13-38
 —焊接 见焊接
 —热电动势 13-38
 —热电势率 13-38
 —自由端(冷端) 13-38
 —自由端温度修正 13-45
 薄膜— 13-45
 非金属— 13-45
 铠装(套管)— 13-45
热电偶材料 13-40
 低温— 13-40, 43
 高温— 13-40
 中温— 13-40, 42
热交换器 12-31
热老化 7-11, 110
热双金属片 13-48
 —被动层 13-48
 —比弯曲 13-49
 —电阻率 13-50
 —挠度 13-49
 —偏转角 13-49
 —偏转角灵敏度 13-50
 —弹性模量 13-51
 —线性温度范围 13-50
 —允许工作温度范围 13-50
 —允许应力 13-51
 —主动层 13-48
 —组合层材料 13-48
 —组合层材料结合工艺 13-49
 低温型— 13-49, 52
 电阻型— 13-49, 53
 高灵敏型— 13-49, 52
 高温型— 13-49, 53
 耐腐蚀型— 13-49, 53
 特殊型— 13-49, 52, 58
 通用型— 13-49, 52
热双金属元件 13-58, 60
 —表面防护 13-62
 —冲剪、弯曲、卷绕、固定 13-60
 —热处理 13-60
 熔敷粉末 7-44
 熔解潜热 11-6
 熔融破裂 7-88
 柔软云母板 7-55
软磁材料 8-1, 8
 —表面绝缘处理 8-26
 —热处理 8-24
软化温度 9-9
- S**
- 三元化合物 9-14
砷化镓 11-18
砷化钢 11-22
声子 12-4
剩磁比 8-1
剩磁感应强度(剩磁) 8-2
剩余电阻率 12-1
剩余损耗 8-2
施主 11-2
 —能级 11-2, 10
 —杂质 11-2, 9
石墨 10-1
 —电热材料 见电热材料
 —电刷 10-3
 —晶体结构 见晶体结构
 —纤维 10-2
 —自润滑性 10-1
 多孔— 10-2
 高纯— 10-16
 热解— 10-2
石墨化 10-1
石墨质 10-2
 电化— 10-2
 金属— 10-2
 碳— 10-2
 天然— 10-2
时效硬化 9-3, 5
 —合金 9-2
受主 11-2
- 能级 11-2, 10
—杂质 11-2, 9
输液管 12-35
衰减率 8-32
瞬变接触电压降 10-5
顺磁限 12-6
瞬时充电电流 7-3
丝包线 9-31
松弛时间 7-7
塑料
 —递模成型 7-77
 —模压成型 7-77
 —注射成型 7-77, 79
 热固性— 7-74
 热塑性— 7-78
塑性变形 9-4
塑型云母板 7-55
隧道结 12-8
损耗
 —功率 7-7
 —指数 7-7
 —正常态 12-12
- T**
- 钛铜 9-10, 12
弹簧钢复铜 9-20
弹性变形 9-4
弹性合金 13-63
 —高温调节处理 13-68
 —冷加工变形 13-68
 —清洗、酸洗 13-81
 —中温调节处理 13-68
 —最终冷加工度 13-80
 高— 13-65
 高温高— 13-70
 恒— 13-72
耐腐蚀— 13-74
铜基— 13-77
弹性后效 13-64
弹性极限 13-64
弹性模量 13-63
 —温度系数 13-63
弹性储能 13-63
碳 10-1
 —触头 10-16
 —电阻片柱 10-16
 —滑板 10-15
 —滑块 10-15
 —砂 10-17
碳棒 10-12

- | | | | | | |
|--------------|---------|----------|--------------|-------------|-----------|
| 电池用— | 10-15 | 正— | 11-5 | 铋-锗— | 11-17 |
| 电影放映— | 10-12 | 外延法 | 11-4, 19, 22 | 铟-锗— | 11-17 |
| 光谱— | 10-14 | 弯曲弹性极限 | 13-63 | 橡胶 | 7-89 |
| 摄影— | 10-13 | 完全抗磁性 | 12-1 | 丁苯— | 7-91 |
| 碳弧气刨— | 10-14 | 微沉淀 | 11-14 | 丁基— | 7-92 |
| 阳光型— | 10-13 | 微量杂质分析 | 11-24, 31 | 丁腈— | 7-94 |
| 照明— | 10-12 | 微缺陷 | 11-14 | 氟— | 7-98 |
| 照相制版— | 10-13 | 位错 | 9-5, 11-14 | 氯丁— | 7-93 |
| 紫外线型— | 10-13 | —腐蚀液 | 11-30 | 氯醚— | 7-96 |
| 碳化硅 | 11-23 | —环 | 9-5 | 硅— | 7-97 |
| 碳质 | 10-2 | —密度 | 11-7 | 天然— | 7-89 |
| 陶瓷绝缘线 | 9-34 | —排 | 11-14 | 消除内应力退火 | 9-4 |
| 铈化铜 | 11-22 | —线 | 9-5, 11-14 | 小角晶界 | 11-15 |
| 贴膜平面电阻元件 | 13-12 | —移动 | 9-5 | | |
| 铁钴合金 | 8-21 | 螺型— | 11-14 | Y | |
| 铁铝合金 | 8-18 | 刃型— | 11-14 | 压磁效应 | 8-21 |
| 铁镍钴合金包铜线 | 9-2, 20 | 温度变化阻值误差 | 13-16 | 氧化膜铝带(箔) | 9-34 |
| 铁镍合金 | 8-12 | 温度适应系数 | 12-32 | 氧化膜铝线 | 9-34 |
| 铁损 | 8-2 | 温度指数 | 7-110 | 液氮 | 12-30 |
| 铁铜 | 9-10 | 稳定性 | 12-17 | —制取 | 12-30 |
| 铁氧体 | 8-20 | 本征稳定— | 12-17 | —贮存 | 12-32 |
| 矩磁材料— | 8-21 | 动态稳定— | 12-19 | 移能效率 | 12-37 |
| 软磁材料— | 8-20 | 热稳定— | 12-18 | 易切削铜合金 | 9-12 |
| 压磁材料— | 8-21 | 绝热稳定— | 12-19 | 银包铜线 | 9-20 |
| 永磁材料— | 8-28 | 冷冻稳定— | 12-18 | 银复铝 | 9-20 |
| 软磁— | 8-8, 20 | 自场稳定— | 12-20 | 银铬铜 | 9-10 |
| 同位素效应 | 12-4 | 涡流损耗 | 8-2 | 银铜 | 9-9 |
| 铜 | 9-6 | 无磁性高纯铜 | 9-6 | 印刷电路板(敷铜箔板) | 7-70 |
| 铜包铜线 | 9-2, 20 | 无溶剂漆 | 7-34 | 应变 | 13-13 |
| 镀银— | 9-3, 20 | 无氧铜 | 9-6 | 应变灵敏系数 | 13-13 |
| 铜包铝线(排) | 9-20 | | | 硬度 | 10-4, 7 |
| 铜复镀铜 | 9-20 | X | | 洛氏— | 10-4 |
| 铜合金 | 9-9 | 西林电桥 | 7-104, 107 | 肖氏— | 10-4 |
| 铜基弹性合金 见弹性合金 | | 硒化镉 | 12-37 | 硬钢纸板 | 7-26 |
| 加工硬化型— | 13-77 | 硒化铅 | 9-12 | 硬钢纸管 | 7-26 |
| 时效硬化型— | 13-77 | 稀土钴永磁材料 | 8-29 | 硬铜 | 9-10 |
| 铜-氧化铝合金 | 9-10 | 稀土铜 | 9-10 | 永磁材料(硬磁材料) | 8-27 |
| 铜-氧化铍合金 | 9-10 | 吸收电流 | 7-3 | 永磁体 | 8-27 |
| 透入深度 | 12-1 | 锡磷青铜 | 9-10 | —磁化 | 8-34 |
| 退磁场 | 8-5 | 纤维强化 | 9-2 | 动态— | 8-27 |
| 退磁能 | 8-5 | 线性缓变结 | 11-5 | 静态— | 8-27 |
| 退磁曲线 | 8-2 | 线胀系数 | 11-6 | 永久变形 | 9-19 |
| 退磁因素 | 8-5 | 相对介电系数 | 7-5, 102 | 有机玻璃 | 7-79, 81 |
| 退化现象 | 12-17 | 相容性 | 9-39 | 有机硅树脂 | 7-31 |
| | | 相图 | 11-20 | 有机过氧化物 | 7-86, 115 |
| W | | 铈-砷系统— | 11-20 | 有效杂质浓度 | 11-7 |
| 外延 | 11-5 | 铈-锗— | 11-16 | 有序化转变 | 8-24 |
| 反— | 11-5 | 金-硅— | 11-16 | 阈值 | 11-9 |
| 同质衬底— | 11-5 | 铝-硅— | 11-16 | 原子密度表示法 | 11-10 |
| 异质衬底— | 11-5 | 镍-硅— | 11-16 | 原子浓度表示法 | 11-11 |

8 索 引

云母	7-51	碱金属—	11-9	整浸工艺 见浸渍工艺	
合成—	7-51, 53	快扩散—	11-12	正常电子隧道效应	12-7
天然—	7-51	浅能级—	11-4, 9	正常态	12-1
云母制品	7-51	III 族—	11-2	直拉法	11-4, 19
—补强材料	7-53	深能级—	11-4, 9	直流约瑟夫效应	12-8
—胶粘剂	7-53	施主—	11-2	纸包线	9-30
		受主—	11-2	致冷效应	12-30
		V 族—	11-4	质谱法	11-32
		重金属—	11-4, 9, 14	中间金属定则	13-38
杂质	11-1	再结晶退火	9-4	中间温度定则	13-39
—半导体	11-1, 8	载流子浓度	11-5	中温调节处理	13-68
—补偿度	11-7, 9, 29	本征—	11-6	中子俘获截面	13-39
—电离能	11-4, 29	增塑剂	7-3, 82, 89, 113	重量浓度表示法	11-11
—固溶度	11-13	锗	11-5	周围介质	10-7
—激发	11-2	针状化合物	9-14	皱纹纸	7-21, 23
—能级	11-1, 9	真空绝缘	7-13	自发磁化	8-4
—浓度	11-1, 12	真空压力浸渍 见浸渍工艺		组成定则	13-38
非金属—	11-8				

Z

第1章 电触头材料

1 概述

在电力和电信系统中,许多电气元件需要使用各种型式的电触头。电触头通常可划分为:开闭触头、固定触头和滑动触头三种类型。

开闭触头在开关电器中承担接通、载流、分断和隔离的任务。主要要求接触电阻低,操作可靠,和使用寿命长。

固定触头在线路系统中承担母线和导线的固定连接。主要要求能长期抵抗大气腐蚀,保持良好接触。

滑动触头用于电机车集电器和仪表电讯装置中电位器等的滑动连接处。主要要求摩擦系数小和使用寿命长。

本章所述范围仅限于其中的开闭触头一类。这类触头在不同条件和不同装置中的使用要求下,有很大差别。如它们所分断的电流可小至热电偶回路中的微安级,大至大型油断路器中的兆安级。它们的操作环境可从化工厂中的高度腐蚀性气氛直至高度清洁的真空环境。在备用照明系统中的触头长期不动作,而有的触头则要求在开闭几百万次内能可靠地动作。这样广泛的使用对象必然对电触头材料提出多种多样的性能要求。这些要求也与开闭触头在操作过程中所产生的各种物理现象有密切联系。

1.1 电触头在操作过程中的物理现象

(1) 接触电阻 接触电阻的产生原因有两个:一是当两触头相互接触时,仅有少数突出点真正接触,结果使电流线收缩至有限几个载流点。这种现象形成了所谓收缩电阻。二是由于表面膜影响,形成所谓表面膜电阻。

(2) 电磨损(电弧腐蚀) 开闭过程中的电弧作用能使触头表面的金属熔融、蒸发、飞溅而散失。这种现象称为电磨损。它决定触头的使用寿命。

(3) 机械磨损 触头在频繁的闭合过程中,承受着机械闭合力的冲击。造成触头的变形、龟裂与剥落,统称为机械磨损。它将同样影响触头的使用

寿命。

(4) 熔焊 当触头在闭合状态下,由于通过很大的短路电流或过载电流,使触头发热而形成的熔焊称为静熔焊。当触头在闭合过程中,由于弹跳,产生电弧而形成的熔焊称为动熔焊。如触头熔焊后的焊接强度大于开关的机械分断力,触头就不能断开,会造成严重事故。

(5) 剩余电流 当触头分断一交流大电流时,电弧虽在电流自然过零点熄灭,但在触头间还流着一暂态微小剩余电流。它同触头材料的灭弧能力有关。如钨和石墨等在高温下发射电子,其剩余电流较大,其灭弧能力则较小。反之,如铜与银合金的剩余电流较小,其灭弧能力则较大。

(6) 电击穿 如触头间的开距较小,电压梯度较大,则触头虽在断开状态下,触头表层内较疏松颗粒易被电场拉出,吸引至对面触头,引起触头间的电击穿。这就失去了触头的隔离作用,同样会造成严重事故。

(7) 截止电流 当触头分断交流小电流时,往往发生过早灭弧,使电流在自然过零点 P 以前,突然下降至零,如图13-1-1所示。电流的这一突变值 I_c 称为截止电流。它同触头材料的材质有关。截止电流在电路中将引起一过电压。这过电压约等于 $I_c Z$ 。其中 Z 为电路的波阻抗。感性负荷如电动机等的波阻抗较大,其过电压也较高。如不设法降低,有击穿绝缘的危险。这种现象在真空接触器中较为明显。

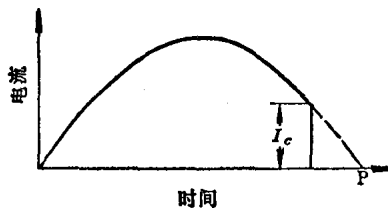


图 13-1-1 截止电流示意图

(8) 电弧特性曲线 各种触头材料具有不同的电弧特性曲线。以银为例,其电弧特性曲线如图13-1-2所示。如触头上的电压 V 与电流 I 位于图

中的曲线以下,则触头分断时不产生电弧。反之,如在曲线以上,则将产生电弧。曲线的左上端渐近于最小起弧电压 V_0 ,其右下端渐近于最小起弧电流 I_0 。故 V_0 与 I_0 愈高,触头愈不易起弧。

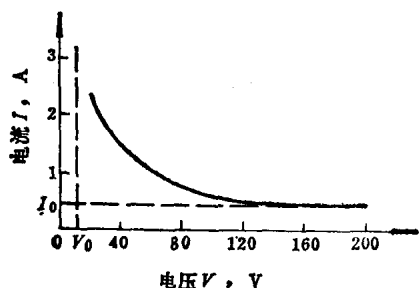


图 13-1-2 银的电弧特性曲线

(9) 材料转移 在直流下操作时,触头材料有从触头对的一方转移到对方的现象,称为材料转移。当触头间的电压与电流较小,处于图 13-1-2 中的曲线以下时,将不产生电弧。但由于触头分离时,阳极上的接点温度增高,阳极上面的熔融金属粘附在较冷的阴极上,造成材料从阳极向阴极的正向转移,使在阳极上留下一凹坑,阴极上出现一凸丘,破坏了触头的正常操作。

当触头间电压与电流超过了图 13-1-2 中的曲线时,开始出现电弧,使阴极受到正离子轰击而发热蒸发,造成材料从阴极向较冷阳极的负向转移。

1.2 对电触头材料的性能要求

上述各种现象在不同用途的触头中,表现的程度不尽相同。故不同的使用条件将对触头材料提出不同的性能要求。现分述如下:

强电用触头材料首先要求具有低的接触电阻,保证长时间通过额定电流时不会过热。其次是电磨损和机械磨损率小,能达到较长使用寿命。第三是抗熔焊性能好,在故障情况下能顺利分断电路。第四是剩余电流小,即灭弧能力强。当触头分断大电流时,在开关灭弧装置的配合作用下,能迅速熄灭电弧,不会引起电弧重燃或持续电弧。

真空开关触头是一种特殊的强电用触头。故所用触头材料也须满足上述各项性能要求。由于真空中的触头表面特别洁净,比在空气中更易熔焊,故要求具有更高的抗熔焊性能。在高压真空断路器中,触头间的开距小,电压梯度大,容易引起电击穿。故要求触头材料具有坚固而致密的组织,在强电场

作用下仍保持光滑完整的表面,使具有足够高的耐电压强度。真空中触头的灭弧能力较强,在分断小电流时,易引起过早灭弧,故要求触头材料具有足够小的截止电流。真空开关触头材料的含气量必须很低,以保证在电弧作用下,从材料中释放出来的极微量气体不影响灭弧室中的真空度。

弱电用触头材料也须具有低而稳定的接触电阻和小的电磨损率,使能长期保持可靠的电接触和具有较长使用寿命。这种触头的闭合力小,故机械磨损不是重要问题。此外,这种触头材料还要求具有较大的最小起弧电压 V_0 和最小起弧电流 I_0 值,使触头尽可能在无电弧情况下操作,避免电弧腐蚀。在直流下,则还要求材料转移小。

1.3 电触头材料的品种分类

对于上述各种性能要求,没有一种触头材料能全面满足。故须根据各种材料的不同特点加以选用。常用电触头材料的品种分类见表 13-1-1。

表 13-1-1 常用电触头材料分类表

类 别		品 种
强 电 用	复合触头材料	银-氧化镉,银-钨,铜-钨, 银-铁,银-镍,银-石墨, 铜-石墨,银-碳化钨
	真空开关触头材料	铜铍钨,铜铍银,铜碲钨, 钨-铜铍钨,铜铁镍钨钼
弱 电 用	铂族合金	铂铱,钯银,钯铜,钯铱
	金基合金	金银,金镍,金钴
	银及其合金	银,银铜
	钨及其合金	钨,钨钼

2 常用电触头材料的品种、性能和用途

2.1 强电用触头材料

2.1.1 复合触头材料

a. 银-氧化镉 这种触头材料具有耐电磨损、抗熔焊和接触电阻低而稳定的特点。广泛应用于接触器、继电器等中,特别是在大电流交流接触器中,其电寿命比纯银和银-镍有很大提高。银-氧化镉所以有上述特性,是由于弥散的氧化镉粒子,起着以下

作用:

(1) 在电弧作用下,氧化镉分解,发生剧烈的蒸发,吹散电弧,并扫清触头表面,因而减少了电磨损,并保持着低的接触电阻。

(2) 氧化镉分解时,吸收大量的热,有利于电弧的冷却、熄灭和减少基体金属的损耗。

(3) 弥散的氧化镉粒子能增加熔融材料的粘度,减少金属的飞溅损耗。

(4) 蒸发的镉中的一部分,重新与氧结合,形成固态氧化镉,落回触头表面,阻止了触头的熔焊。

银-氧化镉常用的制造方法是共沉析法和内氧化法。内氧化法制品的耐磨损性能较好,而共沉析法制品则抗熔焊性能较好。如果把共沉析法制品,再经热锻、热轧、或挤压等方法加工,提高其致密度,则既可保持抗熔焊的优点,又能提高耐磨损性能。

在银-氧化镉中添加一或几种微量元素,如硅、铝、钙等能进一步细化晶粒,提高耐磨损性能。

b. 银-钨 这种触头材料既具有银的良好导电性和易加工性,又具有钨的高熔点、高硬度、耐电弧腐蚀、抗熔焊、材料转移小等特性。随着钨含量增加,其耐弧腐蚀性能和抗熔焊性能提高,但其导电性能降低。

银-钨常用的制造方法有机械混粉法、共沉析法和浸渍法。如低压开关用触头材料的含钨量为30~40%,一般采用共沉析法制造;高压断路器用触头材料的含钨量为60~80%,一般采用浸渍法制造。

银-钨的缺点是接触电阻不稳定。随着开闭次数的增加,接触电阻增大,严重的可达原始值的10倍以上。其原因是在分断过程中,银-钨触头表面上产生三氧化钨(WO_3),钨酸银(Ag_2WO_4)等接触电阻高的薄膜。

c. 铜-钨 这种触头材料与银-钨性能相似,但比银-钨更易氧化,形成钨酸铜($CuWO_4$)薄膜,使接触电阻迅速增大,因此不宜用于空气开关。

铜-钨在油中不氧化,热容量大,耐电弧腐蚀和抗熔焊性能好,可用作油开关触头。

铜-钨主要用于高压断路器,含钨量都在60%以上,一般采用浸渍法制造。在电弧作用下,铜在2000°C左右蒸发,吸收热量,把钨骨架冷却到熔点以下,从而减少了电弧腐蚀。又由于毛细管作用,把熔融的铜液保持在钨骨架中,使其蒸发损耗受到抑制。

d. 银-铁 这种触头材料具有良好的导电、导

热、耐磨损及加工性能。用在中、小电流等级的交流接触器上,其电寿命比纯银触头成倍提高。其缺点是抗熔焊性能较差和易受大气侵蚀,形成锈斑,但在一般情况下,不影响使用。通常采用共沉析法制造。

e. 银-镍 这种触头的接触电阻低而稳定,导电、导热性好,电磨损小而均匀,在直流下开闭时,材料转移比纯银少。其缺点是在大电流下,抗熔焊性能差,通常和银-石墨配对使用。

银-镍触头常采用机械混粉法或共沉析法制造。采用上述制造工艺时,在压型与烧结以后,如果再用热、冷挤压法加工,或采用纤维强化工艺,则触头电寿命能显著提高。

f. 银-石墨 这种触头材料的导电性好,接触电阻低,抗熔焊,在短路电流下也不会熔焊。其缺点是电磨损大,灭弧能力较差,随着石墨含量增加,电磨损量增大。一般含石墨量不超过5%。常和银-镍配对使用。其制造方法和银-镍相同。烧结后再经热、冷挤压的银-石墨触头材料,其电寿命也可成倍提高。

g. 铜-石墨 这种触头材料的制造方法与银-石墨大致相同。其机械强度比银-石墨高,价格较低,但比银-石墨易氧化。

h. 银-碳化钨 这种触头材料的接触电阻比银-钨稳定,抗熔焊性能比银-钨好。但质硬,可加工性较差。可与银-镍配对使用。

以上常用复合触头材料的物理性能和用途见表13-1-2。

2.1.2 真空开关触头材料

a. 铜铍钨合金 这种合金以导电性良好的铜为基,添加0.5~1%具有低熔点、高蒸汽压的铍及少量稀土金属钨。其中铍在合金凝固时析出于铜的晶界上。铍性脆,且凝固时膨胀,产生高应力,使焊接面脆弱,易于拉断,故具有优越的抗熔焊性能。钨起着细化晶粒和改善合金机械性能的作用。因铍在铜中的固溶度很低,故合金的导电率接近于铜。其灭弧能力也较大。其缺点为电弧腐蚀较大。又由于铍的存在,组织不够致密,其中较疏松颗粒易被强电场拉出触头表面,影响其耐电压强度。它适用于真空断路器。物理性能见表13-1-2。

b. 铜铍银合金 这种合金的特点是在含铍

表 13.1-2 常用强电用电触头材料的物理性能和用途

名 称	代表符号	密 度 g/cm ³ 不小于	电阻率 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 不大于	布 氏 硬 度 kgf/mm ²		抗弯强度 kgf/mm ² 不小于	用 途
				硬态② 不小于	软态② 不小于		
银-氧化铜	Ag-CdO12	9.75	2.30	55		33	低压接触器、自动开关、继电器等
	Ag-CdO15	9.65	2.60	65		34	
	Ag-CdO12①	10.20		70			
	Ag-CdO15①	10.10		80			
银-钨	Ag-W30	11.90	2.30	80		38	低压自动开关、高压断路器等
	Ag-W40	12.50	2.65	85		40	
	Ag-W70	14.80	3.40	180		65	
铜-钨	Cu-W50	12.00	3.00	130	105	57	高压断路器等
	Cu-W60	12.80	3.50	160	115	60	
	Cu-W70	14.00	4.10	200	160	65	
	Cu-W80	15.10	5.20	220	180	70	
银-铁	Ag-Fe7	10.00	2.00	60			低压中小电流等级接触器、自动开关等
银-镍	Ag-Ni10	10.10	1.80	50			低压中小电流等级接触器、自动开关、精密仪表、继电器等。常与 Ag-C5 配对使用
	Ag-Ni30	9.75	2.70	75			
银-石墨	Ag-C5	8.50	3.20	35	23	15	与 Ag-Ni30 配对，用在自动开关、高压磁吹开关、铁道信号继电器等
铜-石墨	Cu-C5	7.00	3.40	40	30	20	自动开关
银-碳化钨	Ag-WC20	11.20	2.50	80			低压自动开关、高压断路器等
	Ag-WC40	12.00	3.60	90			
	Ag-WC60	12.90	5.50	110			
铜铋铈	Cu-Bi-Ce	8.80	2.10	45	—		真空断路器
钨-铜铋铈	W-Cu-Bi-Zr	(13~14)		(260~278)	—		真空接触器
铜铁镍钴铋	Cu-Fe-Ni-Co-Bi	8.80	(10~11)	80	—		大容量真空接触器

① 用内氧化法制造。

② 软态是指烧结后，未经复压的产品。硬态是指烧结后再经复压的产品。

0.8~1.0% 的铜铋合金中添加 2.3~2.7% 银，使合金晶粒细化，以提高机械强度和耐电磨损性能。其耐电压强度比铜铋铈更高。

c. 铜碲硒合金 这种合金含有弥散分布的 $\text{Cu}_2\text{Te}-\text{Cu}_2\text{Se}$ 金属间化合物，机械强度较高，具有较高的耐电压强度。又因这些化合物在电弧下分解时吸收热量，有利于冷却和熄灭电弧，故其电弧腐蚀比铜铋铈小。碲、硒同铋一样，能提高抗熔焊性能。适

用于开断容量较大的真空断路器。

d. 钨-铜铋铈 这是用浸渍法制成的复合材料。在多孔性的钨骨架中渗入了铜铋铈合金。它们具有钨的耐电弧腐蚀和抗熔焊性能。适用于操作频繁的真空接触器。铋的作用是减小截止电流，和提高抗熔焊性能。铈用来润湿钨粒，提高浸渍效果。由于钨的灭弧能力较小，这种触头材料的电流分断能力受到限制。其物理性能见表 13.1-2。