

# 煤礦安全工手冊

第一分冊

电机与电器

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY

1968

# 第四章 电 工 材 料

## 第一节 导 电 材 料

### 一、铜

铜是最常用的导电金属。它具有导电性高、导热性好、机械性能好、易于焊接、便于加工、耐腐蚀等特性，属于非磁性物质。

导电用铜通常选用含铜量大于99.90%的工业纯铜，品种有一号铜、二号铜、一号无氧铜和二号无氧铜等，其化学成分见GB466-64和YB145-71中的规定。在特殊场合下还采用无磁性高纯铜。导电用铜的品种和主要用途见表4-1-1。导电用铜的性能和主要工艺参数见表4-1-2。

表 4-1-1 导电用铜的品种和主要用途

品 种	代 号	含铜量 (%, 不小于)	主 要 用 途	
普通纯铜	一号铜	T <sub>1</sub>	99.95	各种电线电缆用导体
	二号铜	T <sub>2</sub>	99.90	开关和一般导电零件
无 氧 铜	一号无氧铜	T <sub>u1</sub>	99.97	电真空器件、电子管零件、电子仪器零件、真空开关触头
	二号无氧铜	T <sub>u2</sub>	99.95	
无磁性高纯铜			99.95	作无磁性漆包线的导体，精密仪表的动圈

铜的电阻率随温度而变，100℃时的电阻率是20℃时的131.6%。温度对铜的蠕变极限、抗拉强度和氧化速度均有影响，因此铜的长期使用的工作温度不宜超过110℃；短时使用的工作温度不宜超过300℃。

铜在室温干燥空气中几乎不氧化。当温度达到100℃时，表面生成黑色氧化铜(CuO)膜；在300℃以下时氧化缓慢，温度再高，氧化速度增加，铜表面生成红色的氧化亚铜(Cu<sub>2</sub>O)膜；高于600℃时，铜会强烈氧化，并使接触电阻增加。为防止氧化，必要时可在铜导体上镀一层锡或银、镍、铬等。铜在淡水、海水、有机酸和非氧化性盐类溶液中是比较稳定的，而在各种含氧或氧化性的酸、盐溶液以及氨盐中则极易腐蚀。

铜在大气中有较好的耐腐蚀性，与大气中的硫化物如硫化氢和二氧化硫相互作用，在表面可生成深绿色保护膜，降低腐蚀速度。但在含有大量硫化物、硝酸、氨和氯等气体的场合，将引起强烈腐蚀，而以氯最为严重。在沿海地区，由于大气中存在盐雾，多年使用后，表面会出现一层细微的溃伤斑点，降低机械强度。

除无氧铜外，一般导电用铜，不宜在氢或含氢的还原气体中高温加热，否则氢将渗入铜中，与Cu<sub>2</sub>O作用，在铜中形成微小气泡或裂纹，经压力加工易开裂。所以普通纯铜应

表 4-1-2 导电用铜的性能和主要工艺参数

熔点	℃		1084.5
密度 (20℃)	g/cm <sup>3</sup>		8.9
比热 (20℃)	cal/(g·℃)		0.092
比潜热	cal/g		50.6
导热系数 (20℃)	cal/(cm·s·℃)		0.923
线胀系数 (20~100℃)	10 <sup>-6</sup> /℃		16.6
电阻率 (20℃)	10 <sup>-2</sup> Ω·mm <sup>2</sup> /m	软态	1.748①
		硬态	1.790①
电阻温度系数 (20℃)	10 <sup>-3</sup> /℃	软态	3.95
		硬态	3.85
弹性模量 (20℃)	kgf/mm <sup>2</sup>		11500
屈服强度	kgf/mm <sup>2</sup>	软态	6~8
		硬态	30~38
抗拉强度	kgf/mm <sup>2</sup>	软态	20~24
		硬态	35~45
疲劳极限	kgf/mm <sup>2</sup>	软态	6~7②
		硬态	11~12②
蠕变极限	kgf/mm <sup>2</sup>	20℃	7③
		200℃	5
		400℃	1.4
延伸率	%	软态	30~50
		硬态	大于0.5
硬度HB	kgf/mm <sup>2</sup>	软态	40~45
		硬态	80~120
浇注温度	℃		1150~1240
热加工:			
热轧温度	℃		750~850
热挤温度	℃		800~950
锻造温度	℃		800~850
退火温度	℃		500~700
再结晶温度	℃		200~270④

① 根据JB467-76规定。

② 10<sup>8</sup>次循环反复弯曲应力。

③ 100小时0.01%的蠕变速度。

④ 与纯度和冷变形成度有关。

在水蒸汽、氮气、二氧化碳气或它们的混合气体中退火或加工使用。

铜的合金种类繁多，用作电机的整流子片和滑环的有银铜、稀土铜、镉铜、铈铜和铬铈铜等。其中银铜（含银0.2%）、稀土铜（含铈Ce、镧La或混合稀土0.1%）和镉铜（含镉Cd1%）适于作250℃以下的电机整流子片；铈铜（含铈Zr0.2%）适于作350℃以下的电机整流子片；铬铈铜（含铬Cr0.5%、铈Zr0.3%）适于作350~500℃的高功率电机的整流子片。用作弹簧、簧片、游丝、张丝等弹性元件的有弹性铜基合金，主要有铍青铜（含铍Be2%、镍Ni4%）、锡磷青铜（含锡Sn6.5%、磷P0.1%）、锡锌青铜（含锡Sn4%、锌Zn3%）、硅锰青铜（含硅Si3%、锰Mn1%）和锌白铜也称德银（含镍Ni5%、锌Zn20%）等。用作电阻元件的电阻合金有康铜（含镍Ni39~41%、锰Mn1~2%）、新康铜（含锰Mn10.8~12.5%、铝Al2.5~4.5%、铁Fe1.0~1.6%）。铜与康铜还可以构成中温或低温的热电偶材料。还有含镍锰的铜合金称考铜的（含镍Ni43%、锰Mn0.5%、

其余是铜) 与镍铬一起也构成热电偶材料。

## 二、铝

铝具有良好的导电性、导热性、耐腐蚀性、比重小、易于压力加工制造, 有一定的机械强度, 属于非磁性物质。铝的品种有特一号铝 (代号Al-00, 含铝量不小于99.7%)、特二号铝 (代号Al-0, 含铝量99.6%)、二号铝 (代号Al-1, 含铝量99.5%)。导电用铝的性能和主要工艺参数见表4-1-3。

表 4-1-3 导电用铝的性能和主要工艺参数

熔点	℃		658
密度 (20℃)	g/cm <sup>3</sup>		2.7
比热 (20℃)	cal/(g·℃)		0.22
比潜热	cal/g		93
导热系数 (20℃)	cal/(cm·s·℃)		0.52
线胀系数 (20~100℃)	10 <sup>-6</sup> /℃		23
电阻率 (20℃)	10 <sup>-2</sup> Ω·mm <sup>2</sup> /m	软态和半硬态	2.83①
		硬态	2.90①
电阻温度系数 (20℃)	10 <sup>-3</sup> /℃	软态和半硬态	4.10①
		硬态	4.03
弹性模量 (20℃)	kgf/mm <sup>2</sup>	硬态	6700
屈服强度	kgf/mm <sup>2</sup>	软态	3~4
抗拉强度	kgf/mm <sup>2</sup>	软态	7~9.5
		半硬态	9.5~14
		硬态	15~18
		硬态	6.0②
疲劳极限	kgf/mm <sup>2</sup>	硬态	6.0②
蠕变极限	kgf/mm <sup>2</sup>	20℃	5③
		150℃	2.4③
		250℃	1③
延伸率	%	软态	20~40
		硬态	大于0.5
硬度HB	kgf/mm <sup>2</sup>	硬态	35~45
浇注温度	℃		670~730
热加工:			
热轧温度	℃		440~490
热挤温度	℃		400~480
锻造温度	℃		350~450
退火温度	℃	达到软态	300~350
		达到半硬态	240~260
再结晶温度	℃		150~250④

① 根据JB468-76规定。

② 10<sup>7</sup>次循环反复弯曲应力。

③ 1000小时的断裂强度, 99.5%Al软线。

④ 与纯度和冷变形成度有关。

温度对铝的蠕变极限和抗拉强度有影响, 因此铝的长期使用工作温度不宜超过90℃, 短时使用工作温度不宜超过120℃。

铝在室温下极易生成一层极薄的致密而坚固的氧化膜, 它能阻止铝进一步氧化, 并可阻止其他因素对铝的腐蚀。因此铝在通常的大气条件下有良好的耐腐蚀性。但如大气中含

有大量的二氧化硫或硫化氢、酸、碱等气体时，在潮湿的气候条件下，铝表面形成电解液，引起电化学腐蚀。大气中如有大量尘埃及非金属夹杂物沉积在铝表面，也易引起腐蚀。使用在工业地区的钢芯铝绞线，由于吸附大气中的水分和尘污，就会产生强烈腐蚀。在导体表面涂油脂可减少腐蚀。

在沿海地区大气中盐雾所含的氯离子凝集在铝表面，易在表面的杂质和缺陷周围引起局部腐蚀，形成孔洞和沟洼。因此，需要采用较高纯度的铝或采取特殊防腐措施，如钢芯铝线，可在钢芯上包涂防腐涂料。

盐酸、硝酸和碱类蒸汽对铝有严重的腐蚀；铝在大部分有机酸（除甲酸和草酸外）和氨水中相当稳定；在各种无机酸（浓硝酸除外）、汞盐、卤化物和碱类等溶液中，也要引起强烈的腐蚀。

导电用铝合金的品种、成分、性能和主要特征及用途，见表4-1-4。

表 4-1-4 导电用铝合金的品种、成分、性能和主要特征及用途

类别	合金名称	化 学 成 分 %							状 态	抗拉 强度 kgf/ mm <sup>2</sup>	延伸率 %	屈服 强度 kgf/ mm <sup>2</sup>	导电率 % IACS	主要特征 及 用 途
		Mg	Si	Fe	Cu	Zr	Y	Al						
热处 理型	铝镁硅 Al-Mg-Si	0.5 ~0.65	0.5 ~0.65	少量				余	硬	30~36	4		53	高强度,用于 架空导线
非 热 处 理 型	铝镁 Al-Mg	0.65 ~0.9						余	硬	23~26	2		53~56	中等强度,用 于架空导线和 电车线(软线也 用于电线电缆 线芯)
	铝镁铁 Al-Mg-Fe	0.26 ~0.36	小于 0.14	0.75 ~0.95				余	软	11.5 ~12	15	5.2	58~60	电线电缆线 芯和电磁线
	铝镁铁铜 Al-Mg-Fe-Cu	0.15 ~0.25	小于 0.14	0.45 ~0.60	0.22 ~0.33			余	软	11.5 ~13	15	5.2	58~60	同 上
	铝镁硅铁 Al-Mg-Si-Fe	0.85 ~1.0	0.35 ~0.45	0.35 ~0.45				余	软	11.5	17	5	53	同 上
	铝锆 Al-Zr					0.1	少量	余	硬	18~19	2		58~60	耐热,用于架 空导线和汇流 排
	铝铁 Al-Fe			0.65				余	软	9	30		61	强度比铝略 高,需连铸连轧 工艺生产,使用 范围同铝
	铝硅 Al-Si		0.5 ~1.0					余	硬	26~33 ①	0.5 ~1.5		50~53	加工性特好, 可拉制成特细 线,用于电子工 业连接线

① 直径25~50微米细线性能。

铝和铝合金的焊接。由于铝氧化膜的熔点高（约 2050℃），不易还原，密度（约 3.75~4.0克/厘米<sup>3</sup>）比铝大，焊接时不易从熔融铝中浮起，易产生夹渣。氧化膜往往吸附较多水分，气焊时会使焊缝中含有气孔。所以焊接前必须用机械或化学方法清除氧化膜，或在焊接时用机械力将其挤去。在焊接过程中还要用氩气保护或在气焊时采用焊药，防止铝的再氧化。又因铝的导热系数和比热比铁大一倍多，焊接铝的热源要求能量集中。铝凝固时收缩率比铁大两倍，焊接时也应采取措施，防止变形过大而产生裂纹。

铝和铜的焊接。因为铜铝接触面在 $250^{\circ}\text{C}$ 以上会产生脆性的 $\text{CuAl}_2$ 化合物，焊接质量受到影响。需采取降低焊接温度和缩短焊接时间来减少 $\text{CuAl}_2$ 的生成，其方法有快速的闪光焊、储能焊和摩擦焊及低温的冷压焊和钎焊等。

铝和铝合金的机械连接。由于铝的氧化膜导电性差，铝与铝或其他金属连接时有较大接触电阻。铝与铜连接还可能发生电化学腐蚀，使接触电阻进一步增大。用螺栓连接的接头，由于工作电流变化引起热胀冷缩，使铝发生永久变形，接头使用一定时间后，导致连接松弛，使接触电阻增大，造成接头过热，甚至引起电弧放电使接头损坏。因此，铝及铝合金的机械连接应根据连接件的具体情况，采用连接面镀银或搪锡；也可应用机械强度高的铝合金接线端子、螺栓等连接器材；或应用铜铝过渡接头。

导电用铝及铝合金的主要焊接与机械连接方法，见表4-1-5。

表 4-1-5 导电用铝及铝合金的主要焊接与机械连接方法

名称	简要说明	主要应用范围
电 阴 焊	通电使接头加热，顶压挤出氧化膜，进行焊接。效率高，操作简便	铝杆、铝线的焊接
闪 光 对 焊	在大电流下，焊件局部接触，使金属强烈熔化蒸发形成爆炸除去氧化物，电弧稳定后，立即顶压焊接。接头质量较好，耗电大	制造截面达 $1200\text{mm}^2$ 及以上的铜-铝过渡接头
储 能 焊	利用电容放电加热，顶压挤出氧化膜进行焊接。接头质量好，速度快	制造截面小于 $15\text{mm}^2$ 的铜-铝过渡接头
摩 擦 焊	利用旋转摩擦发热进行焊接。热能利用率高，接头质量好	制造截面为 $700\text{mm}^2$ 左右的铜-铝过渡接头，只适用于圆形工件
冷 压 焊	利用较大机械压力挤去氧化膜，靠金属原子间相互结合使其焊接。接头质量好，设备较简单，焊接速度较慢	焊接铝杆和铝线，及较小铜-铝过渡接头。小截面单线可用手持式冷压钳焊接
氩 弧 焊	在氩气保护下，用电弧进行焊接。接头质量优良，不用焊剂，需氩气及专用设备，应有劳动防护措施	大、中截面多根铝线、铝排等接头
气 焊	用氧气乙炔火焰，使铝熔化焊接，焊后必须除净焊剂以防腐蚀。设备较普通，工艺简便，接头强度较低	小截面铝-铝接头；亦可用于小直径的铜-铝接头，但性能较差
钎 焊	用低熔点焊料进行焊接。设备简单，操作方便，接头强度低	中、小截面铝-铝，铜-铝接头
渗 铝 焊	将表面清洗后的钢焊件，浸入铝液中渗铝，再在模具中浇铝。设备简单	制造钢-铝过渡接头
药 包 焊	铝粉和氧化铁粉在高温点燃时产生高热，使金属熔化焊接。操作简便，接头强度较低	适用于中、小截面架空铝导线的焊接
爆 炸 压 接	在压接金属表面放置炸药，引燃后产生高压，使金属压合。操作简便迅速，须采取安全措施	铝与铝或其他金属如铜、铁等的复合，适用于单线、绞线及带箔
套 管 压 接	铝或铝合金套管紧压在被连接的铝导线上	电缆铝线芯及架空铝导线等的连接

### 三、复合金属导体和裸导体制品

复合金属导体包括线、棒、带、板、片和管等各种型材。线、棒的被复金属包在基体金属的周围，带、板和片分单面被复和双面被复两种。双面被复的外层可采用相同金属，

也可用不同金属。复合金属导体的分类、产品名称、特性和用途，见表4-1-6，裸导体制品的分类、产品名称、特性和用途，见表4-1-7，圆铜线、圆铝线的标称直径及允许偏差见表4-1-8，扁铜线、扁铝线的计算截面见表4-1-9。

表 4-1-6 复合金属导体的分类、产品名称、特性和用途

分类	产品名称	包复金属	基体金属	特 性	主 要 用 途
高 强 度	铝包钢线	铝	镀锌 钢线	抗拉强度高，耐蚀性好。 抗拉强度为 90~130kgf/mm <sup>2</sup> 导电率为 29~30%IACS 延伸率 不小于1.5%	输配电线，载波避雷线，通信线及制造大跨越架空导线
	钢铝电车线	钢	铝	钢耐磨，截面85mm <sup>2</sup> ，拉断力为3015kgf以上，截面100mm <sup>2</sup> 拉断力为4000kgf以上	电车线
	铜包钢 线和排	铜	钢	抗拉强度高：65~150kgf/mm <sup>2</sup> 导电率为 30~40%IACS 延伸率 不小于1%，耐蚀性好	高频通信线，输电线，大跨越及盐雾等特殊地区的架空导线，排可作小型电机整流子片，直流电机用电刷弹簧，配电装置中的汇流排，刀闸的栏条等
高 导 电	铜包铝 线和排	铜	铝	导电率比铝高，连接与铜一样方便； 抗拉强度21kgf/mm <sup>2</sup> （硬态）；工作温度不能高于250℃。废品处理困难	高频通信线，电视电缆，电磁线，高频屏蔽配电线。排可做电机整流子片导电排等
	银复铝	银	铝	导电率高，接触性好	航空用导线，波导管
高 弹 性	铜复铍铜	铜	铍铜	弹性好，导电性高	导电弹簧
	弹簧钢复铜	弹簧钢	铜	高弹性，高导电，耐高温腐蚀	导电弹簧
耐 高 温	铝复铁	铝（另一面 镀镍）	铁	抗高温氧化性好	电子管阳极
	铝青铜复铜	二面复 铝青铜	铜	抗高温氧化性好，导电率可达80% IACS	作高温大电流导体，如电炉配用电用汇流排
	镍包铜	镍	铜	抗高温氧化性好，导电率高，可达 89%IACS（与镍层厚度有关）	在400~650℃范围内作高温导线
	镍包银	镍	银	抗高温氧化性好，导电率高，可达 85~91%IACS（与镍层厚度有关）	在400~650℃范围内作高温导线 （10%镍层可用于400℃，20%镍层可用于650℃）
	耐热合金 包银	耐热合金 （镍铬合金）	银	抗高温氧化性好，导电率高	在650~800℃范围内作高温导线
耐 腐 蚀	不锈钢复铜	不锈钢	铜	耐蚀性、导热性和成型性好，导电 率为73%IACS	大功率真空管用零件
	银包（或镀 银）铜线	银	铜	导电率高，抗氧化性高，接触性好， 易焊接	高温用线圈。雷达电缆用编织导体， 高温导线线芯
	镀银铜 包钢线	镀银铜	钢	抗拉强度高，抗氧化性好	射频电缆及高温导线线芯
	镀锡铜线	镀锡	铜	耐蚀性好，焊接性好	橡皮绝缘电线电缆，仪器仪表连接 线，编织线和软接线等
其他	铁镍钴合 金包铜	铁镍钴合金	铜	导电性和导热性好，膨胀系数与玻 璃相近	与玻璃密封的导电导热材料



表 4-1-7 裸导体制品的分类、名称、特性和用途

分类	名 称	型 号	技术标准	特 性	主 要 用 途
圆       线	圆 铜 线	TY TR	JB647-76	硬线的抗拉强度比软线大一倍,半硬线有一定的抗拉强度和延伸率,软线的延伸率高	硬线主要用作架空导线;半硬线、软线主要用作电线、电缆及电磁线的线芯,亦用于其他电器制品
	圆 铝 线	LY LYB LR	JB648-76		
	·镀锡圆铜线	TRX	JB1070-76	具有很好的耐蚀性与焊接性能,并起铜线与被复绝缘(如橡皮)之间的隔离作用	电线、电缆用线芯,屏蔽层及电器制品
	无磁性圆铜线		企业标准	含铁量小,磁性小	无磁性漆包线导体
	铝合金圆线	HL(Al-Mg-Si) HL <sub>2</sub> (Al-Mg)	企业标准	具有比纯铝线高的抗拉强度	硬线用于制造架空导线,软线用于电线、电缆线芯等
	铜包钢圆线	GTA GTB GTYD	企业标准	高的抗拉强度,和铜一样的耐蚀性。镀银铜包钢线,对高频通信有大的优越性	架空导线,通信用载波避雷线,大跨越导线,高温电线线芯
	镀银圆铜线		企业标准	耐高温性好	航空用氟塑料导线,射弹电缆线芯等
	铝包钢圆线	GL	企业标准	高的抗拉强度和铜、铝一样的耐蚀性。镀银铜包钢线,对高频通信有大的优越性	架空导线通信用载波避雷线,大跨越导线,高温电线线芯
型       线	铜电车线	TCY TCG	JB650-65		电气运输架空线路,电气化铁道、工矿电机车及城市电车架空线路
	钢铝电车线	GLCA GLCB	企业标准		
	铝合金电车线	HLC(Al-Mg)	企业标准		
	扁 铜 线	TBY TBR	JB2082-76	铜、铝扁线和母线的机械特性和圆线相同,扁线、母线的结构形状均为矩形,仅在规格尺寸和公差上有所区别	铜、铝扁线,主要用于电机、电器等线圈或绕组。铜、铝母线主要作汇流排用,亦用于其他电器制品
	扁 铝 线	LBY LBBY LBR	JB653-76		
	铜 母 线	TMY TMR	JB2083-76		
	铝 母 线	LMY LMR	JB654-76		
	铜 带	TDY TDR	JB2081-76		通信电缆线芯外导体
	空心扁铜线 空心扁铝线	TBRK LBRK	企业标准	导电并兼作冷却水通道	水内冷电机、变压器及感应电炉等作绕组和线圈
	梯形铜排 梯形银铜排 异形银铜排	TPT TYPT TYPT-1	JB651-68 企业标准	银铜合金排,具有比铜好的耐磨性,较高的机械强度和硬度	直流电机换向器片
七边形铜排	TMR-2	企业标准		大型水轮发电机绕组	
软    接  线	铜电刷线	TS TSX TSR TSXR	JB657-65	多股铜线或镀锡铜线绞制。柔软,耐振动,耐弯曲	电刷连接线
	铜 天 线	TT TTR	JB1100-67		通信架空天线
	铜软绞线	TRJ TRJ-3 TRJ-1 TRJ-4 TRJ-2	企业标准	柔软,TRJ-4特别柔软,为提高抗腐蚀性,TRJ-2,3,4可用镀锡铜线绞制	引出线,接地线,整流器和可控硅的引出线等电器设备部件间连接用线
	铜编织线	TYZ TRZX-1 TYZX TRZ-2 TRZ-1 TRZX-2	企业标准	柔软	小型电炉和电器设备等连接线
	铜编织线	QC	JB675-71	柔软	汽车、拖拉机、蓄电池连接线

表 4-1-8 圆铜线、圆铝线的标称直径及允许偏差 mm

标称直径	允许偏差	圆铜线	圆铝线	标称直径	允许偏差	圆铜线	圆铝线
0.020	±0.002	●		0.380	±0.010	●	●
0.025		●		0.390*		●	
0.030		●		0.400		●	●
0.040	±0.003	●		0.410*		●	●
0.050		●		0.420		●	●
0.060		●	●	0.430*		●	●
0.070		●	●	0.450		●	●
0.080		●	●	0.470*		●	●
0.090		●	●	0.490*		●	●
0.100		●	●	0.500		●	●
0.110	±0.005	●	●	0.520*	●	●	
0.120		●	●	0.530	●	●	
0.130		●	●	0.560	●	●	
0.140		●	●	0.580*	●	●	
0.150		●	●	0.600	●	●	
0.160		●	●	0.630	●	●	
0.170		●	●	0.640*	●	●	
0.180		●	●	0.670	●	●	
0.190		●	●	0.680*	●	●	
0.200		●	●	(0.690)	●		
0.210	±0.010	●	●	0.700*	±0.015	●	●
0.230*		●	●	0.710		●	●
0.050		●	●	0.740		●	●
0.260		●	●	0.750		●	●
(0.270)*		●		0.760		●	●
0.280		●	●	(0.770)*		●	●
(0.290)*		●		(0.780)*		●	●
0.300		●	●	0.800		●	●
0.310*		●	●	0.820*		●	●
0.320		●	●	0.850		●	●
0.330*	±0.010	●	●	0.900	●	●	
0.350		●	●	(0.930)*	●	●	
0.370*		●	●	0.950	●	●	

续表

标称直径	允许偏差	圆铜线	圆铝线	标称直径	允许偏差	圆铜线	圆铝线
0.970*	±0.020	●	●	2.65	±0.030	●	●
1.000		●	●	2.73*		●	●
1.03*		●	●	2.76*			●
1.06		●	●	2.80		●	●
1.12		●	●	2.83			
1.13*		●	●	2.85*		●	●
1.18		●	●	2.88*			●
(1.20)*		●	●	3.00		●	●
1.25		●	●	3.06*			●
1.30		●	●	3.15		●	●
1.33*		●	●	3.20*		●	
(1.35)*		●	●	3.22		●	
1.37		●	●	3.35	●	●	
1.40		●	●	3.36*		●	
(1.45)*		●	●	3.50	±0.040		●
1.50		●	●	3.55		●	
(1.56)*		●	●	3.67*			●
1.60		●	●	3.70*			●
1.70		●	●	3.75		●	●
1.76*		●	●	3.80*			●
1.80	●	●	3.98*			●	
1.83	●	●	4.00	●		●	
1.90	●	●	4.04*			●	
2.00	●	●	4.14*			●	
2.07*		●	4.17*		●		
2.12	●	●	4.25	●	●		
2.20*		●	4.50	●	●		
2.24	●	●	4.60*		●		
2.30*		●	4.75	●	●		
2.36	±0.030	●	●	5.00	±0.050	●	●
2.50		●	●	5.30		●	●
2.53			●	5.60		●	●
2.62*		●	●	6.00		●	●

注：1. 符号“\*”表示非优先数系(R<sub>40</sub>)规格。2. 有“( )”者为保留规格。3. 符号“●”表示有此种规格的产品。

## 四、电 磁 线

电磁线按绝缘层的特点和用途可分为漆包线、绕包线、无机绝缘电磁线和特种电磁线四类。

## (一) 漆包线

漆包线的绝缘层是漆膜,它是将绝缘漆涂在导电线上烘干形成。漆膜均匀、光滑,便于自动绕制线圈。漆膜较薄有利于提高电机的槽满率和电器线圈的占空系数。它被广泛地用于中、小型电机电器和微型电工产品中。漆包线的品种、规格、特点和主要用途见表4-1-10。

有关漆包线的名词术语:

1. 漆膜的耐刮性 是指漆包线在绕制、嵌线和整形过程中,漆膜能经受摩擦、弯曲、拉伸和压缩等作用的能力。用直径为0.55~0.56毫米钢针的侧面,并给钢针加上一定的负荷,在漆包线表面以一定的速度往复进行刮漆,将漆包线漆膜刮破所需的往复次数,就是

表 4-1-10 漆包线的品种、规格、特点和主要用途

类别	产品名称	型号	规格① mm	特 点		主要用途	标准号
				耐温等级 ℃	优 点 局 限 性		
油性漆包线	油性漆包圆铜线	Q	0.02~2.50	A(105)	1.漆膜均匀 2.介质损耗角正切小	1.耐刮性差 2.耐溶剂性差(对使用的浸渍漆应注意)	中、高频线圈及仪表、电器的线圈 JB 658-75
缩醛漆包线	缩醛漆包圆铜线	QQ-1 QQ-2	0.02~2.50	E(120)	1.热冲击性优 2.耐刮性优良 3.耐水解性能良	漆膜受卷绕应力,易产生裂纹(浸渍前须在120℃左右加热1小时以上,以消除应力)	普通中小电机、微电机绕组和油浸变压器的线圈,电器仪表用线圈 GB1315-77 企业标准 GB1313-77 JB2078-77 JB2078-77
	缩醛漆包圆铝线	QQL-1 QQL-2	0.06~2.50				
	彩色缩醛漆包圆铜线	QQS-1 QQS-2	0.02~2.50				
	缩醛漆包扁铜线	QQB	a边0.8~5.6 b边2.0~18.0				
	缩醛漆包扁铝线	QQLB	a边0.8~5.6 b边2.0~18.0				
缩醛漆包扁铝合金线	—	—	a边0.8~5.6 b边2.0~18.0	E(120)	同上 抗拉强度比铝线大,可承受线圈在短路时较大的应力	同上 电阻率比铝线稍大	大型变压器线圈和换位导线 企业标准
聚氨酯漆包线	聚氨酯漆包圆铜线 彩色聚氨酯漆包圆铜线	QA-1 QA-2	0.015~1.00	E(120)	1.在高频条件下,介质损耗角正切小 2.可以直接焊接,不需刮去漆膜 3.着色性好,可制成不同颜色的漆包线,在接头时便于识别	1.过负载性能差 2.热冲击及耐刮性能尚可	要求Q值稳定的高频线圈,电视线圈和仪表用的微细线圈 JB2079-77

续表

类别	产品名称	型号	规格① mm	特 点		主要用途	标准号
				耐温等级 ℃	优 点 局 限 性		
环氧漆包线	环氧漆包圆铜线	QH-1 QH-2	0.06~2.50	E(120)	1.耐水解性能优 2.耐潮性优 3.耐酸碱腐蚀和耐油性优	1.弹性差,耐刮性较差,不适用于高速自动绕线工艺 2.对含氯绝缘油相容性差	油浸变压器的线圈和耐化学药品腐蚀、耐潮湿电机的绕组 企业标准
聚 酯 漆 包 线	聚酯漆包圆铜线	QZ-1 QZ-2	0.02~2.50	B(130)	1.在干燥和潮湿条件下,耐电压击穿性能优 2.软化击穿性能优	1.耐水解性差,(用于密封的电机、电器时须注意) 2.热冲击性尚可 3.与聚氯乙烯、氯丁橡胶等含氯高分子化合物不相容	通用中小电机的绕组,干式变压器和电器仪表的线圈 GB1193-74 GB1193-74 企业标准 JB1174-74 JB1174-74
	聚酯漆包圆铝线	QZL-1 QZL-2	0.06~2.50				
	彩色聚酯漆包圆铜线	QZS-1 QZS-2	0.06~2.50				
	聚酯漆包扁铜线	QZB	a边0.8~5.6 b边2.0~18.0				
	聚酯漆包扁铝线	QZLB	a边0.8~5.6 b边2.0~18.0				
	聚酯漆包扁铝合金线	—	a边0.8~5.6 b边2.0~18.0	B(130)	同上 抗拉强度比铝线大,可承受线圈在短路时较大的应力	同上 电阻率比铝线稍大	干式变压器线圈 企业标准
聚酯亚胺漆包线	聚酯亚胺漆包圆铜线 聚酯亚胺漆包扁铜线	QZY-1 QZY-2 QZYB	0.06~2.50 a边0.8~5.6 b边2.0~18.0	F(155)	1.在干燥和潮湿条件下,耐电压击穿性能优 2.热冲击性能良 3.软化击穿性能良	1.在含水密封系统中易水解(用于密封电机电器时须注意) 2.与聚氯乙烯、氯丁橡胶等含氯高分子化合物不相容	高温电机和致冷装置中电机的绕组,干式变压器和电器仪表的线圈 企业标准
聚酰胺酰亚胺漆包线	聚酰胺酰亚胺漆包圆铜线 聚酰胺酰亚胺漆包扁铜线	QXY-1 QXY-2 QXYB	0.06~2.50 a边0.8~5.6 b边2.0~18.0	200	1.耐热性优,热冲击及软化击穿性能优 2.耐刮性优 3.在干燥和潮湿条件下耐击穿电压优 4.耐化学药品腐蚀性能优 5.适用于密闭式的电机电器的绕组	与聚氯乙烯、氯丁橡胶等含氯的高分子化合物不相容	高温重负荷电机、牵引电机、致冷设备电机的绕组,干式变压器和电器仪表的线圈 企业标准

类别	产品名称	型号	规格① mm	特 点		主要用途	标准号	
				耐温等级 ℃	优 点 局 限 性			
聚酰亚胺漆包线	聚酰亚胺漆包圆铜线	QY-1 QY-2	0.02~2.50	220	1. 漆膜的耐热性是目前漆包线品种中最好的 2. 软化击穿及热冲击性优, 能承受短期过载负荷 3. 耐低温性优 4. 耐辐射性优 5. 耐溶剂及化学药品腐蚀性优	1. 耐刮性尚可 2. 耐碱性差 3. 在含水密封系统中, 容易水解 4. 漆膜受卷绕应力容易产生裂纹(浸渍前, 须在150℃左右加热1小时以上, 以消除应力)	耐高温电机, 干式变压器, 密封式继电器及电子元件	JB2080-77  企业标准
	聚酰亚胺漆包扁铜线	QYB	a边0.8~5.6 b边2.0~18.0					
特 种 漆 包 线	自粘直焊漆包圆铜线	QAN	0.10~0.44	E(120)	在一定的温度时间条件下, 不需剥去漆膜, 可以直焊, 同时不需要浸渍处理, 能自行粘合成型	不推荐在过负载条件下使用	微型电机和仪表的线圈和电子元件, 无骨架的线圈	企业标准
	环氧自粘性漆包圆铜线	QHN	0.10~0.51	E(120)	1. 不需浸渍处理, 在一定温度条件下, 能自行粘合成型 2. 耐油性良	1. 漆膜弹性差, 耐刮性较差, 不适用于高速自动绕线 2. 因系热塑性自粘层, 容易在溶剂中溶解	仪表和电器的线圈, 无骨架的线圈	企业标准
	缩醛自粘性漆包圆铜线	QQN	0.10~1.00	E(120)	1. 能自行粘合成型 2. 热冲击性良	因系热塑性的自粘层, 容易在溶剂中溶解	同上	企业标准
	聚酯自粘性漆包圆铜线	QZN	0.10~1.00	B(130)	1. 能自行粘合成型 2. 耐击穿电压性能优	同上	同上	企业标准
	无磁性聚氨酯漆包圆铜线	QATWC	0.02~0.20	E(120)	1. 漆包线中的铁含量极低, 对感应磁场所起的干扰作用极微 2. 在高频条件下, 介质损耗角正切小 3. 不需剥去漆膜即可直接焊接	不推荐在过负载条件下使用	精密仪表和电器的线圈, 如直流感式检流计、磁通表、测震仪等的线圈	企业标准
	耐致冷剂漆包线②	QF	0.6~2.50	A(105)	在密闭装置中, 能耐潮, 耐致冷剂	漆膜受卷绕应力, 易产生裂纹(浸渍前须在120℃左右加热1小时以上, 消除应力)	空调设备和致冷设备电机的绕组	企业标准
	聚酯亚胺—聚酰胺酰亚胺漆包扁铜线	—	a边0.8~5.6 b边2.0~18.0	F(155)	同聚酯亚胺漆包线, 又可改善其耐化学药品腐蚀性能	同聚酯亚胺漆包线	同聚酯亚胺漆包线, 又可用于有化学药品腐蚀的环境	企业标准

① 圆线规格以线芯直径表示, 扁线以线芯窄边(a)及宽边(b)长度表示。② 致冷剂系指 $\text{CCl}_2\text{F}_2$ 、 $\text{CClF}_3$ 、 $\text{CHClF}_2$ 等。

漆膜的耐刮次数。

2. 漆膜弹性 是指漆包线在卷绕过程中,漆膜经受反复拉伸和压缩而不致损坏的能力。用卷绕在直径为漆包线直径的不同倍数的圆棒上直至破裂的前一个倍径作为卷绕的不裂倍径,倍径小,弹性好。

3. 漆包线的柔软性 漆包线的柔软性好,可以卷绕紧密,缩小线圈外形尺寸。用漆包线卷绕在规定的圆棒上,放松后线端回弹的角度来表示柔软程度。回弹角小,柔软性好。

4. 漆包线的伸长率 是反映柔软性的另一参数,伸长率过大,卷绕时易使线径拉细,引起电阻增加,伸长率过小,卷绕不方便。

5. 漆膜击穿电压 是指漆膜承受过电压的能力,与漆膜的品种、厚度和表面光洁度有关。

6. 漆膜的介质损耗角正切 反映漆膜在高频电场下内部介质损耗的严重程度。中高频电器、仪表中绕组用的漆包线,要求漆膜的介质损耗角正切小,以避免产生过热现象。

7. 漆膜软化击穿 漆膜在一定压力条件下加热变形而产生电压击穿时的温度,叫作软化击穿温度,用来表示漆膜的耐热变形的能力。

8. 漆膜热老化 用来反映漆膜经受较短时间的热作用后,保留弹性的能力,用在规定的热老化温度和热老化时间条件下的卷绕不裂倍径表示。

9. 漆膜热冲击性 表示漆包线在烘焙、浸渍或过载运行等过程中,漆膜承受热冲击(急冷、急热)而不破裂的能力,用在规定的热冲击温度和平时条件下的卷绕不裂倍径表示。

10. 漆膜的针孔 当涂覆的漆膜不连续或表面有毛刺刻痕时,都将出现针孔,针孔是线径为0.35毫米及以下漆包线的一项主要性能指标。

11. 漆膜的自粘性 漆包线自粘性好,表示漆包线加热后可以自行粘合成型,省去浸渍工序,也可省去线圈骨架。粘合强度决定于漆膜本身和漆膜上涂的热塑性胶粘层的自粘性能,也与线径大小、加热温度和时间有关。

12. 漆膜的直焊性 将漆包线放入铅锡合金的焊接熔液内经过一定时间,漆膜能自行挥发并直接焊接,这种性能叫漆膜的直焊性。由此可省去用机械或化学方法的除去漆膜的工序,并保证焊接质量。聚氨酯漆包线漆膜具有直焊性,改性的聚氨酯漆包线具有自粘和直焊性,称为自粘直焊漆包线。

13. 漆包线的热寿命和耐温等级 热寿命是决定漆包线的耐温等级的重要依据。耐温等级就是长期允许工作温度。例如,聚酯漆包圆铜线的热寿命在温度250℃时为130小时,在210℃时为4500小时,而耐温等级定为B(130℃)级。耐温等级的确定还和热冲击性能、导体材料有关,例如,由于热冲击性能较好,聚酯亚胺漆包圆铜线的热寿命与温度关系虽和聚酯漆包圆铜线相仿,但耐温等级定为F(155℃)级。聚酯漆包圆铝线的热寿命略高于聚酯漆包圆铜线,这是由于铜导体对漆热寿命是有影响的。

14. 漆包线的化学性能 漆膜承受酸、碱、盐雾、有机溶剂或致冷剂等化学物品侵蚀的能力,称为漆包线的化学性能,分为耐有机溶剂性能、耐化学药品性能及耐致冷剂性能等。

常用漆包线主要性能比较见表4-1-11。

表 4-1-11 常用漆包线主要性能比较表

漆包线种类	耐温等级 ℃	机械性能		电性能		热性能			耐有机溶剂性能				耐化学药品性能				耐致冷剂(氟里昂-22)性能
		耐刮性	弹性	击穿电压	介质损耗角正切	软化击穿温度	热老化	热冲击	溶剂油、二甲苯、正丁醇混合溶剂①	二甲苯、正丁醇混合溶剂②	二甲苯	苯乙烯	5%硫酸	5%盐酸	5%氢氧化钠	5%氯化钠	
油性漆包线	105	差	好	良	优	差	良	可	差	差	差	差	良	良	好	良	一
缩醛漆包线	120	优	优	良	好	可	良	优	良	差	差	良	良	差	差	良	一
聚氨酯漆包线	120	可	良	良	优	良	良	可	优	优	优	优	优	优	良	优	一
聚酯漆包线	130	良	良	良	好	优	优	可	良	好	良	差	良	良	差	良	一
聚酯亚胺漆包线	155	良	优	优	一	良	优	良	优	优	优	优	良	良	差	良	优
聚酰胺酰亚胺漆包线	200	优	优	优	一	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优
聚酰亚胺漆包线	220	可	优	优	良	优	优	优	优	优	优	优	优	优	差	优	可
耐致冷剂漆包线	105	优	优	优	一	好	优	良	良	可	良	可	一	一	一	一	良

① 溶剂油:二甲苯:正丁醇=6:3:1。

② 二甲苯:正丁醇=1:1。

(二) 绕包线

用天然丝、玻璃丝、绝缘纸或合成树脂薄膜等紧密绕包在导电线芯或漆包线上，形成绝缘层的叫绕包线。除薄膜绕包的以外，都还需要经过胶粘绝缘漆的浸渍处理，它属于组合绝缘，电性能较高，能较好地承受过电压及过负荷。薄膜绕包线的这方面性能就更好些。

绕包线的品种、规格和特点见表4-1-12。

表 4-1-12 绕包线品种、规格和特点

类别	产品名称	型号	规格① mm	特 点			标准号
				耐温等级 ℃	优 点	局 限 性	
纸包线	纸包圆铜线	Z	1.0~5.6	A(105) <sup>②</sup>	在油浸变压器中作线圈，耐电压击穿性优	绝缘纸容易破裂	JB662-75
	纸包圆铝线	ZL	1.0~5.6				
	纸包扁铜线	ZB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
	纸包扁铝线	ZLB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线	双玻璃丝包圆铜线	SBEC	0.25~6.0	B(130)	1.过负载性优 2.耐电晕性优 3.玻璃丝包漆包线的耐潮性好	1.弯曲性较差 2.耐潮性较差	GB1342-77
	双玻璃丝包圆铝线	SBELC	0.25~6.0				
	双玻璃丝包扁铜线	SBECB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
	双玻璃丝包扁铝线	SBELCB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
	单玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBCB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
	单玻璃丝包聚酯漆包扁铝线	QZSBLCB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
	双玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBECB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
	双玻璃丝包聚酯漆包扁铝线	QZSBELCB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
	单玻璃丝包聚酯漆包圆铜线	QZSBC	0.53~2.50				



续表

类别	产品名称	型号	规格① mm	特 点			标准号
				耐温等级 ℃	优 点	局 限 性	
玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线	单玻璃丝包缩醛漆包圆铜线	QQSBC	0.53~2.50	E(120)	1.过负载性优 2.耐电晕性优 3.耐潮性优	弯曲性较差	GB1342-77
	双玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYSBEFB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0	F(155)	1.过负载性优 2.耐电晕性优 3.耐潮性优	弯曲性较差	企业标准
	单玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYSBFB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
	硅有机漆双玻璃丝包圆铜线	SBEG	0.25~6.0	H(180)	1.过负载性优 2.耐电晕性优 3.用硅有机漆浸渍改进了耐水耐潮性能	1.弯曲性较差 2.硅有机浸渍漆粘合能力较差,绝缘层的机械强度较差	企业标准
	硅有机漆双玻璃丝包扁铜线	SBEGB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0				
双玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QYSBEGB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0	H(180)	1.过负载性优 2.耐电晕性优 3.耐潮性优	弯曲性较差	企业标准	
单玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QYSBGB	a边0.9~5.6 b边2.0~18.0					
丝包线	双丝包圆铜线	SE	0.05~2.50	A(105) <sup>②</sup>	1.绝缘层的机械强度较好 2.油性漆包线的介质损耗角正切小 3.丝包漆包线的电性能优	如果不浸渍,丝包线的耐潮性差	JB661-75
	单丝包油性漆包圆铜线	SQ	0.05~2.50				
	单丝包聚酯漆包圆铜线	SQZ	0.05~2.50				
	双丝包油性漆包圆铜线	SEQ	0.05~2.50				
	双丝包聚酯漆包圆铜线	SEQZ	0.05~2.50				
薄膜绕包线	聚酰亚胺薄膜绕包圆铜线	Y	2.5~6.0	220	1.耐热性和耐低温性优 2.耐辐射性优 3.在高温下电压击穿性能好 4.和玻璃丝包线相比槽满率较高	在含水密封系统中易水解	企业标准
	聚酰亚胺薄膜绕包扁铜线	YB	a边2.0~5.6 b边2.0~16.0				
	玻璃丝包聚酯薄膜绕包扁铜线	—	a边1.12~5.6 b边2.0~15.0	E(120)	1.耐电压击穿性好 2.绝缘层的机械强度高	绝缘层较厚,槽满率较低	企业标准

① 圆线规格以线芯直径表示,扁线以线芯窄边(a)及宽边(b)长度表示。

② 系指在油中或用浸渍漆处理后的耐温等级。

## 有关绕包线的名词术语:

1. 耐弯曲性能 表示绕包层经弯曲后绕包物不开裂、不露缝的能力。
2. 耐拖磨性 表示绕包层在绕制、嵌线和整形等过程中耐机械磨损的能力。以在一定外力作用下的耐磨次数表示。
3. 热老化性 表示绕包层经受热作用后保留耐弯曲性能的能力。