

电线电缆的主要材料 2

宁波一舟科技 杨涛

（二）电线电缆用金属材料

金属材料在电线电缆工业中应用很广泛。有色金属作电线电缆的导线（导线线芯）、屏蔽层等，黑色金属用作电缆的凯装层、架空线的加强芯等。

用作导电材料的金属，应具有优异的导电性、足够的机械强度、不易氧化、抗腐蚀、容易加工、容易焊接、及资源丰富等条件。就导电性能而言，最好的是有色金属中的银，其次是铜和铝。

电线电缆导体一般采用单一金属，常用的是铜和铝。

电线电缆常用金属材料的种类及其主要用途：

金属种类		材料形态	主要用途
铜及铜合金	纯铜	电解铜	熔铸铜线锭、上引法或浸涂法生产无氧铜杆、连铸连扎机组生产光亮铜杆
		铜线锭	轧制铜杆及铜母线等
		圆线	裸绞线、绝缘电线电缆的导电芯及编织屏蔽层等
		型线、带（箔）料	电线电缆的导电线芯、电车线、铜母线、电缆的屏蔽层、同轴电缆外导体等
	铜合金	圆线	高强度电线的导电线芯、电磁线、架空线等
		型线	电机换向器用梯排、电车线
		带材	高压充油电缆护层中的加强层
铝及铝合金	纯铝	铝锭	熔铸铝线锭及连铸连扎铝杆
		铝线锭	轧制铝杆及铝母线等
		圆铝锭	挤制电缆铝护套、铝杆及型线
		圆线	架空输电线、绝缘电线电缆的导电线芯
		型线	绕组线、铝母线和电车线等
		带（箔）材	电缆的屏蔽层、通信电缆综合护层、同轴电缆外导体等
	铝合金	圆线	架空输电线及绝缘电线电缆的导电线芯
		型线	电车线、变压器用换位导线
铅及铅合金			电力电缆及通信电缆的铅包护层
钢		钢丝	钢芯铝绞线的加强芯、电缆护层中的编制或凯装层、特殊电线电缆的导电线芯加强芯等
		钢带	电缆护层中的凯装层、同轴电缆的外屏蔽、通信电缆的综合护层和钢杆电车线
锡			制作镀锡铜线

银			制作镀银铜线
镍			制作镀镍铜线

1. 铜

铜有良好的导电性、导热性，并有一定的机械强度以及抗大气腐蚀的性能，在冷态和热态下有良好的压力加工的工艺性，所以铜被广泛的应用于电线电缆工业中，大量用于制作电线电缆到电线芯；

铜是紫红色金属，常称紫铜。铜属于重金属，密度为 8.89g/cm^3 ，熔点为 1064.5°C 。铜具有以下特性：

1) 导电和导热性能好。铜的导电性仅次于银，居第二位。

铜的导热性仅次于金、银居第 3 位。

2) 化学稳定性高，抗腐蚀性好。

3) 无磁性。

4) 力学性能较好。铜的抗拉强度为 $200\text{-}240\text{MN/M}^2$ ，屈服点为 $60\text{-}70\text{MN/M}^2$ ，伸长率可达 50%。

5) 塑性好，易于加工。铜具有很高的塑性变形能力，可采用压延、挤压和拉伸等压力加工方法制成各种形状和尺寸的制品。

6) 易于焊接。

7) 来源可靠，资源丰富。

作为电线电缆的导体材料，通常选用含铜量高于 99.90% 的工业纯铜。为了提高电导率和改进柔软性，现在已广泛采用无氧铜。

为改善铜的性能（提高耐蚀性和抗氧化能力）通过热镀和电镀，在金属连续被覆以保护金属（锡、银）制成铜基双金属材料。镀锡铜线耐腐蚀性好，焊接性好常用于仪器仪表的连接线；镀银铜线电导率高，抗氧化性强、易焊接，可用于耐高温电线。

2. 铜合金

为了在高温下具有良好的强度和耐磨性，同时延长铜制品的使用期，铜合金在电线电缆中用于裸电线产品较多。

A. 银铜合金

铜中加入少量银可以显著提高软化温度和耐蠕变能力，而电导率下降不多。银铜合金具有很好的耐磨性、电接触性和耐蚀性，用于制造电车线、通信电缆线芯和其它高耐磨性电线。

B. 镉铜合金

通过冷拉具有较高的抗拉强度，用于制造大跨距架空导线、高强度绝缘电缆、通讯线、滑动接触导线等。

C. 稀土铜合金

在铜中加入铈、镧或混合稀土金属的合金，可以和银铜媲美，铜中加入稀土元素，不仅可使晶粒细化，改善工艺性能，还可以铜的耐热性，同时具有较高的导电性，用于制造高耐磨、耐热、高导电的电线。

D. 铍铜合金

铍铜合金具有高的强度、硬度和弹性极限，并且还具有良好的耐腐、耐磨、耐疲劳、导电性、导热性、无磁性以及受冲击时不产生火花等特性。铍铜在淬火状态下有极高的塑性，易加工成各种型材和复杂形状的元件。用于跨度大的通讯和煤烟多的地区的架空线。

3. 铝

铝的导电率仅次于金、银、铜，且资源丰富。铝及铝合金在电线电缆工业中主要用于：架空线用铝绞线及钢芯铝绞线，绝缘电线电缆的铝导电芯；铝型线以及电缆的铝屏蔽层、铝保护层、铝-塑综合护层等。

铝是银白色轻金属。作为电线电缆的导电芯是采用99.5%以上的电工用铝。导电用铝的性能和主要特点是：

- 1) 导电性好铝的电导率为铜的 62%
- 2) 导热性好
- 3) 耐腐蚀性良好。（易生成氧化膜，防止铝氧化）
- 4) 纯铝的力学强度一般
- 5) 塑性好，可用压力加工方法制成各种产品
- 6) 密度小、价格便宜，来源可靠。

铝作为导电材料主要缺点是抗拉强度低一些，焊接性差。

工业用纯铝的物理性能	
项目	数值
熔点(°C)	658
沸点(°C)	1800
比重(密度) 20°C (g/cm ³)	2.7
线膨胀系数 1/°C (0-100°C)	2.3×10^{-6}

抗拉强度(kgf/mm ²)	8.0-8.5(软)
伸长率(%)	32-40(软)
弹性模数(kgf/mm ²)	6300
电阻率 mm ² /m(20℃)	0.028264
电导率%IACS	61(硬)

4. 铝合金

铝合金主要用作电线电缆的导体，与纯铝相比，一般具有较高的机械性能，耐热性也有一定的提高，但电导率略有下降。

A. 高强度的铝合金

- 1) 铝-镁-硅（AL-MG-SI）合金，这是热处理型的铝合金。高强度，用于架空导线。
- 2) 铝-镁（AL-MG）合金，这是非热处理的铝合金。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）。
- 3) 其它高强度导电铝合金

铝-铁-钴（AL-FE-CO），铝-铁（AL-FE）、铝-镁-铜-铁（AL-MG-CU-FE），铝-镁-铜-硅（AL-MG-CU-SI）等，主要用于布电线、电磁线、通信线等的导体以及母线等。

B. 耐热铝合金

- 1) 铝-钴合金：导电率 58%，耐热 180℃
- 2) 特高耐热合金：导电率 58%，耐热 230℃
- 3) 高电导耐热铝合金：导电率 60%，耐热 180℃

5. 锡

锡是银白色而略带蓝色的金属。锡的密度是 7.30g/cm³，

熔点 230℃，电导率为 15%IACS，居金属中 18 位。锡的抗拉强度较低，仅为 17MN/m²，伸长率为 80-90%。

在电线电缆生产中，锡多用于铜线和钢丝的保护镀层，其基本作用在于防止腐蚀。镀锡铜线一般是用于制造橡皮绝缘的电缆。橡皮中含有硫、硫化铜，这样会使橡皮变质-发粘、老化，使铜芯线电阻增加，力学强度下降。铜线镀锡就是为了避免这些现象发生。延长电缆使用寿命。锡在大气条件下极其稳定。锡是中性金属，在强碱和强酸性溶液中可迅速腐蚀，而在稀碱溶液中腐蚀却极微。

6. 铅及铅合金

铅是质地柔软、熔点较低的金属，它具有熔炼方便，易于加工成型和较高的化学稳定性、密封性，以及不透潮、不透气等特点。纯铅的耐腐蚀性能好，加工方便，但是它的强度很低，特别是有很大的蠕变性和疲劳龟裂性。所以多采用铅合金作为电缆护层。

目前用作电缆铅护套的主要是铅锑铜合金，它是一种固溶体，在铅中加入锑和微量的铜，使铅的晶粒细化，再结晶温度提高，因此其强度和耐震动疲劳性能相应提高。我国生产的超高压自容式充油电缆则是采用铅锑砷合金作为电缆的密封护套。

7. 锌

锌主要用于钢丝、钢带的镀层，用以防止钢铁材料的腐

蚀，也可用于铁导体的防蚀层。锌是蓝白色的金属，密度为 7.4g/cm^3 ，熔点 420°C 。锌的电阻率为 $0.0591\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，锌的抗拉强度在冷加工时为 $120\text{—}70\text{MN/M}^2$ ，退火时为 $70\text{—}110\text{MN/m}^2$ ，伸长率在冷加工时为 $10\text{—}20\%$ ，退火时为 $40\text{—}50\%$ 。

锌具有相当好的耐蚀性和力学性能，易于压力加工，但有较大的蠕变性。锌的防腐蚀性是电线电缆应用技术中最需要的一种性能，在干燥的大气中或露天状况下，锌的腐蚀极微。锌在淡水中比较稳定，在酸性和碱性盐溶液中则会被强烈腐蚀。

8. 银

银属于贵金属，具有白色光泽。在所有金属中银的导电性和导热性最高。在贵金属中银的密度较小，熔点较低，具有较好的耐蚀性和良好的塑性，极易拉制成极细的银丝，易于焊接。银在电缆应用技术中主要用于镀层和包覆层，如制造银包铜线和镀银铜线等。他是制造耐高温导体的优良材料。镀银铜线一般用于制造电线电缆的导电线芯、编制层及其他电气设备。

银的性能如下：

- 1) 导电性 银的电导率最高，为 $108\% \text{IACS}$ 。电阻温度系数为 $0.00411/^\circ\text{C}$ 。银中有杂质时，电导率明显下降。
- 2) 力学性能 银的弹性模量为 8050MN/m^2 ，屈服点： 加

工状态为 310MN/m^2 ，退火状态为 55MN/m^2 。抗拉强度(加工)为 380MN/m^2 。伸长率：加工态为 3.5%，退火态为 43-50%。

- 3) 化学稳定性 在常温下，银在空气中不氧化，但有臭氧存在时则易被空气氧化。在 200°C 以下时，银能与氧生成氧化银。超过 200°C 时，氧化银就分解，温度越高分解越快，到 400°C 时，明显分解，因此在高温下银的氧化物不可能存在。在潮湿的空气中，银易被硫磺或硫化氢腐蚀，生成黑色的硫化银，使银表面变黑。

9. 钢带和钢丝

在裸电线产品中，为了弥补铝的强度较低的弱点，因而在某些产品要求强度高的场合下用钢铁金属材料来进行补强。钢芯铝绞线就是在铝绞线中间增加一定数量的钢丝线芯制成的。电缆护层是为了使电缆能适应各种使用环境的要求所施加的保护覆盖层，电缆护层一般可分为内护层和外护层两类，外护套主要是增加电缆的强度在敷设和运行中可以承受一定的外力作用，抵御可能遇到的机械损伤和腐蚀或兼其他特种作用的保护覆盖层以延长电缆的使用寿命。

1) 钢带

铠装电缆用钢带用螺旋状绕包在电缆上作为铠装的钢带，起机械保护或电磁屏蔽作用，一般用冷轧低碳钢带，钢带抗拉强度不小于 300MN/m^2 ，伸长率不小于 20%。

为了提高电缆铠装钢带的防腐性能，要求必须镀锌或涂漆防锈处理。一般镀锌钢带的锌层重量应不低于 80g/m^2 ，而连锁铠装用镀锌钢带其锌层重量应不低于 275g/m^2 。

2) 钢丝

钢丝在电缆中作为铠装材料使用，以承受电缆所受张力。

电缆铠装用钢丝一般用低碳钢，其抗拉强度在 35000MN/m^2 之间，伸长率为 10%。用于电缆铠装的钢丝分细钢丝和粗钢丝两类。通常把直径在 4mm 以下的称为细钢丝。铠装钢丝必须镀锌（热镀、电镀），锌层重量为 $150\text{-}270\text{g/m}^2$ ，提高耐蚀性。