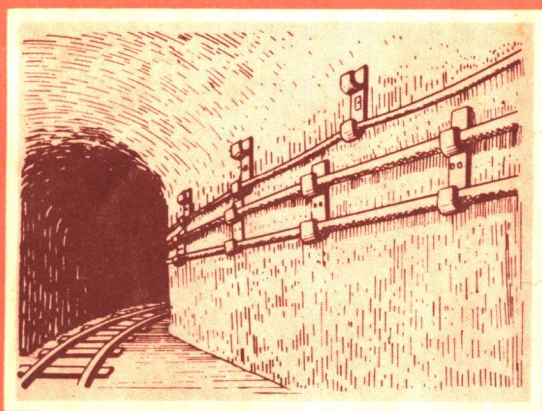


矿井电缆的敷设与运行

(修 訂 本)

李 纪 编



燃料化学工业出版社

矿井电缆的敷设与运行

(修 订 本)

李 纪 编

燃料化学工业出版社

目 录

第一章	煤矿井下用动力电缆	1
第1节	动力电缆的构造	1
第2节	动力电缆的型号和规格	14
第3节	井下各种动力电缆的比较	28
第二章	煤矿井下电缆的敷设	33
第1节	电缆敷设的基本要求	33
第2节	选择敷设电缆的路线	38
第3节	敷设电缆前的检查	40
第4节	电缆的装卸和运送	44
第5节	电缆的敷设方法	46
第三章	电缆的接头与封端	64
第1节	概述	64
第2节	芯线的连接	65
第3节	铠装电缆的接线	77
第4节	橡套电缆的硫化热补和冷补	90
第5节	橡套电缆的插销连接法	98
第6节	向电机、变压器及高压开关连接电缆	102
第7节	电缆的接头和分线	105
第8节	铠装电缆的干封端	119
第9节	防止铠装电缆接头或封端处漏油	122
第四章	煤矿井下电缆的运行	129
第1节	电缆运行中的标准和测定方法	129
第2节	电缆运行中的保护	134
第3节	矿井电缆的试验	146
第4节	电缆的定期检查和维护	163

第5节 电缆运行中的管理.....	167
第6节 电缆的备用方式.....	167
第五章 井下电缆的故障及故障点寻找方法	169
第1节 电缆故障的原因及预防.....	169
第2节 电缆故障点的寻找方法.....	170
第六章 煤矿井下电缆火灾及其处理.....	180
第1节 井下电缆火灾的发生原因.....	180
第2节 井下电缆火灾的预防和扑灭.....	181
附录	183
1. UZ、U、UP、UC、UCP 电缆结构(建议数据)	
2. 铜铝接头	
3. 铅锡合金的配制比例	
4. 井下橡套电缆冷补方法	

第一章 煤矿井下用动力电缆

第 1 节 动力电缆的构造

煤矿井下用动力电缆的类型主要有：油浸纸绝缘铠装动力电缆（以下简称铠装电缆）及软橡胶绝缘电缆（以下简称橡套电缆）。

一、铠装电缆的构造

铠装电缆的构造如图 1-1 所示，由芯线 1、油浸纸绝缘 2 和 4、铅护套 5、金属铠装 8、麻保护包皮等构成。

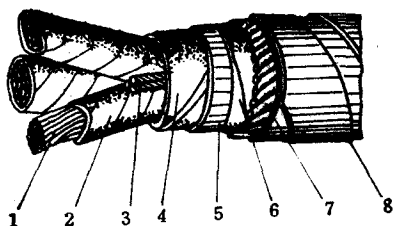


图 1-1 铠装电缆的构造

1—导电芯线；2—分相纸绝缘；3—保持电缆芯呈圆形的填充物；4—统包纸绝缘；5—铅护套；6—保护铅护套的涂沥青的纸衬垫；7—保护铅护套的浸沥青黄麻；8—金属铠装

1. 导电芯线

导电芯线 1 是由优质电解铜制成。16 平方毫米以下的芯线由圆型或扇型单线组成，25 平方毫米以上的芯线，为了使电缆具有必要的柔软度，用多根铜线绕制。由于煤矿井下用动力电缆是三芯的，所以芯线一般做成扇形；为了减少

芯线的尺寸，芯线要经过压紧如图 1-2 乙所示。

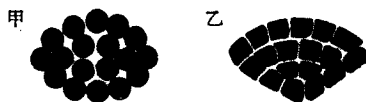


图 1-2

甲—未压紧的芯线；乙—压紧后的芯线

为了节省铜材，目前在煤矿中也广泛使用铝芯线的电缆。铝芯线与铜芯线的区别是：两根同样长度、同样电阻的电缆（即导电能力相同的两根电缆），铝芯线比铜芯线轻一半。但是由于铝的电阻系数比铜大 1.6 倍，通过同样电流的电缆，铝芯比铜芯的直径要大 1.28 倍。因此在使用电缆时，要注意区别不同材质的电缆芯线的导电能力。

2. 油浸纸绝缘

为了使芯线与芯线间及芯线与铅护套间具有结实可靠的

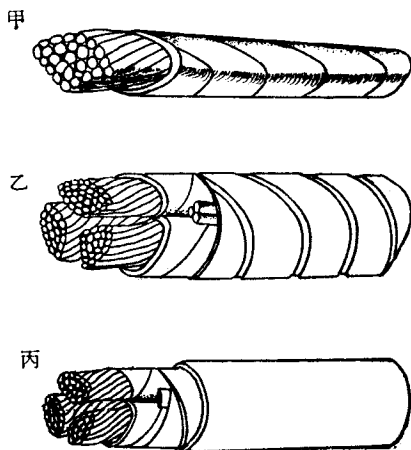


图 1-3

甲—芯线包纸绝缘形状；乙—芯线成缆后统包纸绝缘形状；
丙—铅包电缆形状

绝缘，如图 1-3 所示：在导电芯线上包有用油浸过的绝缘纸，再用绝缘纸把三个芯线统包起来（图 1-3 乙）。

这种包电缆芯线的油浸电缆纸，常用的有以下三种型号：

- (1) K-08，厚度 0.08 毫米，误差 ± 0.005 毫米；
- (2) K-12，厚度 0.12 毫米，误差 ± 0.007 毫米；
- (3) K-17，厚度 0.17 毫米，误差 ± 0.01 毫米。

其中最常用的为 K-12 型电缆纸，它的纵向拉断强度不小于 16 公斤/15 毫米宽。

为了使用方便，动力电缆芯线绝缘用的电缆纸还具有不同的颜色。其中一芯是白色，一芯是红色，另一芯是蓝色。

为了使电缆具有一定的柔软度和便于制造，绝缘纸要做成 20~25 毫米的纸带，按图 1-4 所示绕在芯线上。每圈绝缘纸之间要有一定的距离 a ，以便在使用中可以弯曲。

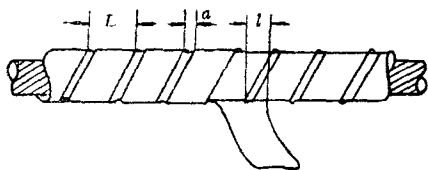


图 1-4 纸绝缘叠盖情况

由于电缆纸的耐电压能力很强，因此由导体向铅护套漏电，往往是沿图 1-5 黑粗线所示的路径，这个路径叫做漏电距离。为了使芯线的漏电距离尽可能长些，绝缘纸上下层之间要交叉缠绕（见图 1-4 及图 1-5），即 l 约等于 $\frac{1}{3}L$ 。为了增加漏电距离，统包纸绝缘的宽度为 30~40 毫米。使用电缆时，如果发现纸绝缘叠盖情况不正常，应及时采取措施，以免由于电缆制造上的缺陷影响正常运行。

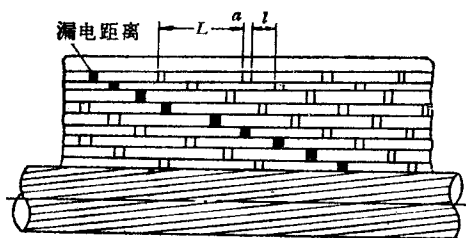


图 1-5 纸绝缘的漏电距离

根据电缆的额定电压，纸绝缘的缠绕层数和厚度不同，在各种电压下纸绝缘的缠绕层数和厚度如表 1-1 所示。

表 1-1 铠装电缆纸绝缘主要数据

额定电压 (千伏)	标称截面 (毫米 ²)	绝缘层厚度 (毫米)		
		芯绝缘厚度	相间绝缘厚度	统包绝缘厚度
1	2.5~95	0.75	1.5	0.5
1	120及150	0.85	1.7	0.6
1	185及240	0.95	1.9	0.6
3	4~240	1.35	2.7	0.7
6	10~240	2.00	4.0	0.95
6*	16~150	2.75	5.5	1.25
10	16~240	2.75	5.5	1.25

* 干绝缘统铅包电缆

3. 铅护套

在统包纸绝缘的外侧，包有一层铅护套（图 1-3 丙）。目的是防止潮气侵入，保持电缆的绝缘性能。

铅护套用国家标准（GB 469-64）五号以上的纯铅制成，其表面不允许有凹陷、气泡及穿透的小孔。

4. 外护层

在铅护套的外面，包有外护层，以保护铅护套不受外界

腐蚀及机械损伤。

自铅护套算起，外护层由内衬层、铠装层、外被层组成。

内衬层由二个沥青复合物、聚氯乙烯塑料带和浸渍皱纹纸带的防水组合层所组成；有时也可用其它类似聚氯乙烯塑料的材料代替聚氯乙烯塑料，用K-17电缆纸代替皱纹纸带。内衬层的作用是当铠装受到机械性损伤时，不致直接伤害到铅护套。

铠装层有钢带、细钢丝、粗钢丝三种，其中铠装钢带必须有防腐措施，钢丝全为镀锌钢丝。

外被层由下列同心层组成：

- (1) 电缆用沥青复合物；
- (2) 浸渍的玻璃毛纱（或浸渍电缆麻）；
- (3) 电缆用沥青复合物；
- (4) 防止粘合的涂料。

铠装外护层的各层标称厚度见表 1-2。

表 1-2 铠装外护层各层的标称厚度表

金属护套标称直径	内 衬 层			铠装层(不包括非金属防腐层)			纤维外
	钢带	细钢丝	粗钢丝	钢 带	镀 锌 钢 丝		被层
				层数×厚×宽 (不大于)	细	粗	
19及以下	1.5	2.0	2.5	2×0.8×20	1.4~1.8	—	2.0
18.01~20				2×0.5×25	1.8~3.0	4	
20.01~25				2×0.5×30			
25.01~37				2×0.5×35			
37.01~50				2×0.5×45	2.5~4.0	4~6	
50.01及以上				2×0.8×60	4.0	6	

由双层钢带组成的铠装层，其外层钢带应盖没里层钢带

的绕包间隙，当弯曲电缆时，在外层钢带的间隙内不应露出里层钢带的绕包间隙。钢带铠装电缆钢带剥开的情况见图 1-6。

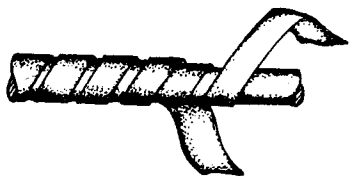


图 1-6 钢带铠装电缆钢带剥开的情况

纤维外被层的沥青复合物或其它类似的涂料须使纤维材料彼此粘牢，内衬层沥青复合物或其它类似涂层应与金属护套相互粘牢。

纤维外被层的沥青复合物或其它类似涂料在温度 $+70^{\circ}\text{C}$ 时不应滴下；在 0°C 时弯曲不应碎落。

裸铠装电缆没有外被层。

钢带铠装电缆是在煤矿生产中应用较广的一种动力电缆，但是由于它的两层钢带的厚度多在 0.5 毫米左右（见表 1-2），只能对电缆起保护作用，不能承受拉力，所以只能在倾斜为 45 度以内的巷道中使用。在倾斜为 45 度以上的巷道中可以使用细钢丝铠装电缆，在垂直井筒中则使用粗钢丝铠装电缆。

5. 纸绝缘的浸渍油和干绝缘

浸渍电缆纸绝缘的油是用光亮油和松香配成的。它的作用是增加电缆纸的绝缘强度。浸渍电缆绝缘纸的浸渍油要求具有较高的粘度，以免由内部沿封端（电缆头）芯线流出。

在 20°C 时，当电极的间隙为 2.5 毫米时，浸渍油的耐压强度应不小于 35 千伏。

这种普通的油浸纸绝缘电缆，在垂直或急倾斜巷道中敷设时，由于电缆内油柱的作用，可能使铅护套膨胀和破裂，因此在制造时又加一道滴干的工序，这种电缆即属于干绝缘

电缆。

二、橡套电缆的构造

橡套电缆的主要构成部分如图 1-7 所示是：导电芯线 1，橡皮绝缘 2，橡皮垫芯 3 和保护橡胶套 4。

1. 导电芯线

煤矿中使用的橡套电缆的芯线材料为优质电解铜。

为了能得到足够的柔软度，芯线所用的铜须经退火处理。因此铜芯线的电阻系数与不退火的不同，当长度为 1 米，断面面积为 1 平方毫米时，其电阻值为 0.01748 欧，而未退火的硬铜线的电阻值则为 0.0179~0.0181 欧·毫米²/米。

经过退火的铜线的抗拉强度约降低百分之五十（由 42 公斤/毫米²降至 20~21 公斤/毫米²），但伸长率却增加了 25 倍左右（伸长率由不小于百分之 0.5~1.2，增加到不小于百分之 18~30）。

橡套电缆的芯线是将多根铜丝捻成股后再行捻绞。多根铜丝的捻合方法可以分成：（1）分层捻法（图 1-8 甲）；（2）成股捻法（图 1-8 乙）；（3）束捻法（图 1-8 丙）。

按上述方法之一捻成的多根金属线，再根据对电缆的不同柔软度的要求，组成不同类型的导电芯线，并以国家标准

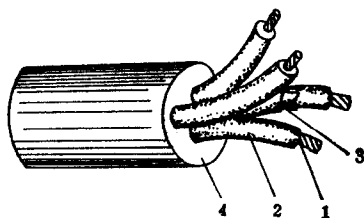


图 1-7 橡套电缆形状
1—电导芯线；2—橡皮绝缘；
3—橡皮垫芯；4—保护橡胶套

● 橡皮：指橡胶加混合剂（硫化剂、填充剂、促进剂、塑性剂、着色剂和安定剂）。

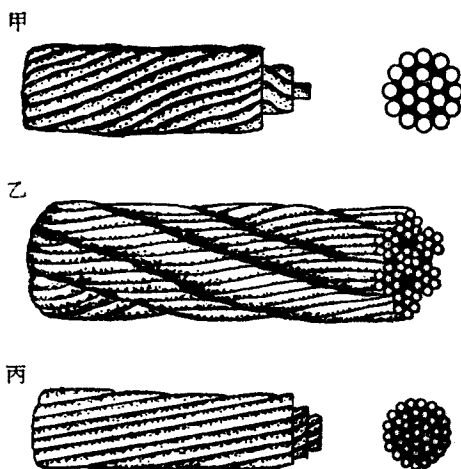


图 1-8 多根铜丝的捻合方法
甲—分层捻法；乙—成股捻法；丙—一束捻法

的形式进行了规定，其摘录见表 1-3。

煤矿中使用的橡套电缆的芯线结构数据见表 1-4。

2. 橡皮绝缘

为了保持芯线之间的绝缘，每相芯线外包有一层耐热绝缘混合胶。它的径向厚度根据芯线断面的大小而不同，其数值见表 1-4。在制造上，其厚度允许高于表内数值，若低于表内数值相差最多不得超过 10%。橡皮型号为 XJ-35 型。●

这种橡皮抗张强度不小于 50 公斤/厘米²，伸长率不小于 300%，在 120℃恒温箱中放（术语叫老化）96 小时后，抗拉强度不小于 25 公斤/毫米²，伸长率不低于 150%。

① 橡皮型号后面的数字表示含橡胶量的最小百分数，XJ-35 橡皮后面的 35 即表示橡胶含量不低于 35%

表 1-3 (JB 947-67) 橡皮和塑料绝缘电线电缆
用铜导电线芯摘录

种类	主要用途	标 称 截 面 (毫米 ²)	计 算 截 面 (毫米 ²)	单 , 线 根 数	单数标 称直径 (毫米)	线芯参 考外径 (毫米)	每公里的直 流电阻值 +20℃时不 大于 (欧)
第 Ⅱ 种	固定敷设 时要求柔 软的电线 电缆的线 芯	10	10.41	49	0.52	4.68	1.73
		16	15.76	49	0.64	5.76	1.14
		20	21.07	49	0.74	6.66	0.854
		25	25.89	98	0.58	7.68	0.695
		35	35.14	133	0.58	8.70	0.512
		50	48.30	133	0.68	10.20	0.373
		70	68.64	189	0.68	12.55	0.262
		95	94.06	259	0.68	14.28	0.191
		120	117.50	259	0.76	15.96	0.153
第 Ⅲ 种	移动式电 缆线芯	2.5	2.60	49	0.26	2.34	6.92
		4.0	4.09	77	0.26	2.70	4.40
		6.0	6.19	77	0.32	3.99	2.91
		10.0	10.13	126	0.32	4.80	1.78
		16.0	16.81	209	0.32	6.65	1.07
		25.0	24.97	209	0.39	8.10	0.721
		35.0	34.05	285	0.39	9.17	0.529
		50.0	51.37	323	0.45	11.25	0.350
		70.0	70.61	444	0.45	13.09	0.255
		95.0	94.15	592	0.45	14.81	0.191
第 Ⅳ 种	特别柔软 电线电缆 线芯	2.5	2.42	77	0.20	2.08	7.44
		4.0	3.96	126	0.20	3.00	4.55
		6.0	5.94	189	0.20	3.69	3.03
		10.0	10.15	323	0.20	5.00	1.77
		16.0	16.12	513	0.20	6.15	1.12
		25.0	25.07	798	0.20	8.00	0.718
		35.0	35.22	1121	0.20	9.00	0.511
		50.0	50.15	1596	0.20	10.70	0.359

表 1-4 矿用橡套电缆绝缘芯线的结构数据

额定断面 (毫米 ²)	导 电 芯 线			绝缘 厚度 (毫米)	绝 缘 芯 线 直 径 (毫米)
	单 线 数	单 线 直 径 (毫 米)	芯 线 直 径 (毫 米)		
2.5	[7/11]49	[0.2]0.26	[2.48]2.34	1.0	4.4
4	[126](7/11)49	[0.2](0.26)0.32	[3.0](3.24)2.88	1.0	4.9
6	(7/11)49	(0.32)0.39	(4.00)3.51	1.0	5.5
10	49	0.52	4.68	1.2	7.1
16	84	0.49	6.10	1.2	8.5
25	139	0.49	7.35	1.4	10.2
35	(139)19	(0.58)1.51	(8.70)7.55	1.4	(11.5)10.4
50	(139)49	(0.68)1.13	(10.20)10.17	1.6	(13.4)13.4
70	(189)49	(0.68)1.35	(12.55)12.17	1.6	(15.8)15.4

注：括号内外为同时存在的数据。其中 [] 括号内为 UZ 电缆数据。

线芯绝缘橡皮的电气性能：在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的水中浸放 24 小时后测定，其击穿强度不小于 20 千伏/毫米。

普通没有着色的橡皮近于白色，为了使用方便，芯线的绝缘加着色剂做成不同颜色。地线为黑色，主线芯（沿顺时针方向）为红（黄）蓝（绿）白（白）或各芯打号。

3. 橡皮垫芯

垫芯一般用 XT-30 型无硫填充橡皮。电缆的绝缘线芯绞合在成型橡皮垫芯的周围，橡皮垫芯应贯穿在电缆整个长度的中心线上（见图 1-7, 3）。有的矿用电缆的结构中以地线芯代垫芯（见图 1-14）。

矿用橡套电缆中常见的垫芯形状见图 1-9 甲、乙、丙。

如图 1-9 甲所示，鞍形垫芯的作用是当电缆受挤或砸时，避免线芯直接接触，引起线芯绝缘的损坏，同时当电缆弯曲时，线芯与垫芯之间产生相对位移，保证了电缆的柔软度。

图 1-9 丙所示圆形垫芯与鞍形垫芯相比较,可以减少电缆的直径,但是对防止线芯直接接触的作用差些,且线芯间的空间不能全部用垫芯充满,容易积存潮气,甚至积存水。

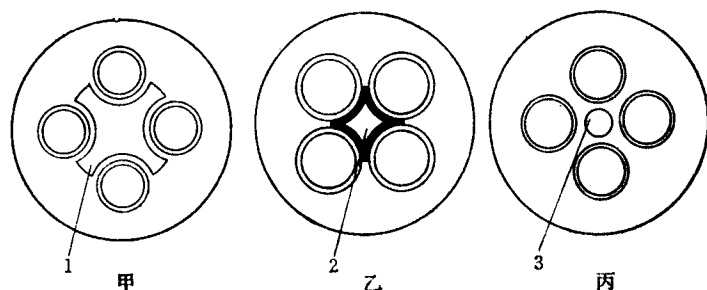


图 1-9 垫芯形状

1—鞍形垫芯；2—菱形垫芯；3—圆形垫芯

图 1-9 乙是具有上述两种垫芯特点的中间类型。

垫芯的形状应根据电缆的具体使用条件来确定。我国 1970 年后生产的矿用橡套电缆多为菱形及圆形垫芯。因此电缆的外径较改型前减少了一些,但因使用时间较短,尚不能完全肯定可以代替鞍形垫芯。

4. 保护橡套

在芯线外面包有一个保护橡套(如图 1-7,4),可使橡套电缆具有足够的机械强度。

橡套用橡皮有 XH 及 XHF 两种型号。XH 型是标准橡套用橡皮;XHF 型是非燃性耐油橡皮。它们的机械性能载于表 1-5 中。

表 1-5 中的老化系数,是指热老化后仍应保有的机械性能的限度。橡套用橡皮的热老化试验是在温度为摄氏 70 ± 2

表 1-5

型 号	拉断强度不小于 (公斤/毫米 ²)	拉断伸长率不小于 (%)	老 化 系 数	
			对 拉 力	对 伸 长 率
XH-60	180	400	0.8	0.7
XH-50	150	350	0.8	0.7
XH-40	100	300	0.8	0.7
XHF-60	120	350	0.8	0.7
XHF-50	90	300	0.8	0.7
XHF-40	60	250	0.8	0.7

度时进行。此时人工老化 96 小时后测定机械性能。

耐寒能力：XH 为 -35°C ；XHF 为 -30°C 。根据电缆直径的不同，橡套的厚度分别为 3.5~5.0 毫米。

5. 绞合节距

如图 1-10 甲那样，如果把一组芯线平行排列，而行弯曲时，则在轴线外面部分将受拉力；内面将受压力（见图 1-10, 乙）。

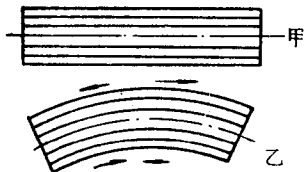


图 1-10

当芯线围绕垫芯绕绞时，每一芯线将轮流处在轴线的内侧和外侧，同一芯线的不同段落将轮流地受到拉伸和压缩，

其结果是拉伸和压缩相抵消，只是芯线沿垫芯自由移动。这样，沿垫芯绞绕起来的多根芯线（加上保护橡套后即 是电 缆）就产生了可弯曲的特性。这是橡套电缆的一个重要特性，它经常用绞合节距和绞合节距倍比这一术语表示。

芯线围绕垫芯绕绞一周所经过的轴向长度称为绞合节距。

绞合节距值与相应绞合外径的比值叫做绞合节距倍比。

即：

$$\text{绞合节距倍比 } m = \frac{\text{绞合节距 } L \text{ (毫米)}}{\text{相应的绞合外径 } D \text{ (毫米)}}$$

m 值愈小，电缆愈柔软。但是 m 值愈小做同样长度的电缆所需的材料也增多，因此要根据电缆的用途选用合适的 m 值。例如电煤钻尾线 m 值在 2.5~5.0 倍，普通矿用电缆在 8~12 倍左右。

绞合的方向应按设计的规定，分成左向或右向。

图 1-11 即为线芯绞合的方向。

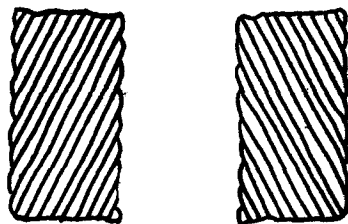


图 1-11 绞合的方向

6. 镀锡铜线

有硫绝缘橡皮和铜芯线接触时，由于橡皮中的硫和铜发生化学反应而产生铜的硫化物。在铜线表面产生黑绿色的硫化铜，对铜产生腐蚀作用，使线径变细，增加了导线的电阻，降低了导线的机械强度。同时，由于铜和硫化铜对橡皮有明显的促进老化作用，使橡皮加速发粘变软，最后硬化龟裂。

因此，在有硫绝缘橡皮的电缆结构中，必须将铜线与橡皮隔离开来，不使直接接触。橡套电缆中比较有效的一种隔离方法是将铜线镀锡。

目前电缆的绝缘橡皮大都采用以秋兰姆为硫化剂的耐热无硫橡皮，但在硫化后的橡皮内，仍存有极少量的游离硫。所以现在发现有些电缆使用几年后仍会在铜线表面产生一种黑绿色的变色膜，最后使铜线与橡皮绝缘相互粘连起来，影