

成 纜 工 艺 学

目录

第一章：序言

第二章：材料和半成品

第一节：绝缘线芯

第二节：常用材料

第三章：成缆工艺装备

第一节：成缆机的种类及生产范围

第二节：成缆机的结构组成及传动系统

第三节：成缆模具和盘具

第四节：设备的维护保养

第四章：成缆工艺

第一节：成缆工艺基本知识

第二节：成缆工艺计算

第三节：填充、包带及干燥

第四节：扇形线芯成缆

第五节：分相铅报电缆的成缆

第五章：成缆质量控制

第一节：成缆质量控制

第二节：废品种类及防止方法

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

第一章 绪论

电缆是用来传输电能或控制信号的。电力设备用电多数是使用三相电源，所以电力电缆是多芯的，常用三相电源的三芯电缆或四芯电缆（其中有一芯作为地线）。控制电缆主要是用于控制设备的线路，控制线路需要的根数一般是很多的，因此控制电缆往往是做成多芯的。这样不仅使用方便、经济，而且对使用三相电源送电的三芯电缆成缆在一起，可以使三相磁场抵消，减小损耗。因此，在成缆工序中，是将两芯、三芯，甚至是几十根的绝缘线芯绞合在一起。组成多芯电缆。这种将绝缘线芯按一定的规则绞合起来的工艺过程，包括绞合时线芯间空隙的填充和在成缆上的包带过程，叫做成缆。

成缆时，绝缘线芯的绞合形式是采用同心层正规绞合，绝缘线芯直径相同的成缆叫做对称成缆，绝缘线芯中直径不同的叫做非对称成缆。

虽然根据需要根数的绝缘线芯绞合在一起的电缆，使用方便经济，但有些电缆是不成缆的，如高压电缆等，这是为了避免结构太大而笨重和技术设备上的原因，制造成单芯电缆。本书只介绍电缆的成缆工艺极其有关的基础理论。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

第二章 材料和半成品

第一节 绝缘线芯

一、导电线芯

导电材料有银、铜、金、铝等，但考虑经济与资源等因素，常用的导体有铜和铝两种。

铜导体分软、硬、特硬三种状态。在电力电缆中一般采用软铜线(TR)，要求它的电阻率不大于 $0.017241 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，伸长率对不同线径的铜线要求是不同的，线径大伸长率也就大。线径从 $0.66 \sim 3.00\text{mm}$ 的伸长率为 25%，线径 $3.15 \sim 8.00\text{mm}$ 的伸长率为 30%。铜导体的一般物理性能：密度为 $8.89\text{g}/\text{cm}^3$ ，线膨胀系数为 $0.000017/^\circ\text{C}$ ，电阻温度系数 $0.00393/^\circ\text{C}$ ，由于在架空电缆中才采用硬铜线，所以这里对硬铜线的性能暂不作介绍。

电缆中的铝导体多用半硬铝线(H4 状态)。但在大截面的线心中也用软铝线(0 状态)。电阻率为 $0.028264 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，物理性能：密度 $2.703\text{g}/\text{cm}^3$ ，线膨胀系数 $0.000023/^\circ\text{C}$ ，电阻温度系数软线 $0.00407/^\circ\text{C}$ ，硬线 $0.00403/^\circ\text{C}$ ，力学性能见表 2——1。

$$\text{导线电阻 } R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 ρ ——电阻率

L ——导线长度

S ——为导线截面

在其他条件不变时， ρ 越小，电阻值越小/所以要求导线有小的电

阻率。他对导体各项性能的具体指标，在国家标准 GB3952～3956 中

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

有明确的规定。

表 2——1 铝导线力学性能

型号	状态	单线直径 mm	抗拉强度 N/mm ²	断裂伸长率 不小于%
LR	O	≤1.00 1.01~10.00	~98 ~98	15 20
LY ₄	H4	0.30~6.00	95~125	自身直径卷 8 圈 退六圈，重新卷 不裂。
LY ₆	H6	0.30~6.00	125~165	

电力电缆的导电线芯，可以制成整根实心的，或是由多根单线绞合而成的；形状可以是圆形的、半圆形的和扇形的。绞合线芯可以采用非紧压式和紧压式的两种。10kV 及以下的塑料绝缘电缆多采用紧压扇形结构，10kV 以上的交联聚乙烯绝缘电缆多采用圆形紧压结构。对于控制电缆，一般来说截面都比较小，多用细单线或绞合成圆形线。橡皮绝缘电缆，一般要求有好的弯曲性能，所以也常用细单线绞合而成。

圆形导电线芯,其绞合排列采用”正规”绞合形式，绞合原则是：中心一般为一根单线，第二层为六根单线，以后每层比内层多六根，单线采用相同的线径；每层单线的绞合方向应和前一层方向相反，最外层应采用左向绞合。这样的结构可以保证电缆导电线芯的稳定性和一定的柔软性。

交联聚乙烯绝缘电缆和 PVC 塑料绝缘电力电缆，为了改善导线表面情况，并节约其他材料常采用分层紧压结构。电力电缆的导体结构应符合 GB/T3956-1997 《电缆的导体》所规定。35kV 及以下交联聚乙烯绝缘电力电缆导体线芯的结构见表 2——2

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

表 2——2 35kV 及以下交联聚乙烯绝缘电力电缆线芯根数

标称截面 mm ²	线芯中单线根数		标称截面 mm ²	线芯中单线根数	
	圆形不少于	型线不少于		圆形不少于	型线不少于
25~35			185		
50~70			240		
95			300~500		
120			630~800		
150					

常用的塑料和橡皮绝缘电缆线芯结构见表 2——3

表 2——3 常用的橡皮和塑料绝缘电缆导体线芯结构

标称截面 mm ²	铜芯		铝芯	标称截面 mm ²	铜芯		铝芯
	线芯结构	线芯结构	线芯结构		线芯结构	线芯结构	线芯结构
0.03	1/0.20	---	---	10	---	19/0.8	---
0.06	1/0.30	---	---	16	7/1.70	49/0.64	7/1.70
0.12	1/0.40	---	---	25	7/2.12	98/0.58	7/2.12
0.2	1/0.50	---	---	35	7/2.50	---	7/2.50
0.3	1/0.60	---	---	50	19/1.83	---	19/1.83
0.4	1/0.70	---	---	70	19/2.12	---	19/2.12
0.5	1/0.80	7/0.30	---	95	19/2.50	---	19/2.50
0.75	1/0.97	7/0.37	---	120	37/2.00	---	37/2.00
1.0	1/1.13	7/0.43	1/1.13	150	37/2.24	---	37/2.24
1.5	1/1.37	7/0.52	1/1.37	185	37/2.50	---	37/2.50
2.0	1/1.60	7/0.60	1/1.60	240	61/2.24	---	61/2.24
2.5	1/1.76	19/0.41	1/1.76	300	61/2.50	---	61/2.50
(2.5)	---	7/0.68	---	400	61/2.85	---	61/2.85
4	1/2.24	19/0.52	1/2.24	500	91/2.62	---	91/2.62
(4)	---	7/0.85	---	630	127/2.50	---	127/2.50
6	1/2.73	19/0.64	1/2.73	800	127/2.85	---	127/2.85
(6)	---	7/1.03	---	1000	---	---	127/3.15
10	7/1.33	49/0.52	7/1.33				

圆形近压线芯,紧压后的截面如图 2——1 所示,线芯结构参数如表 2——5 所列。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

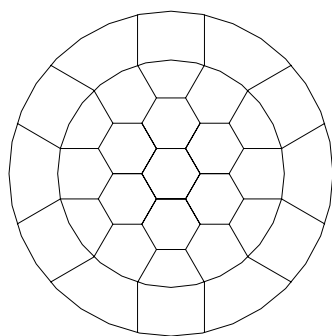


图2---1紧压后圆形线芯截面

扇形和半圆形导电线芯，不是理想的对称形状，因此，设计多根线芯排列时，考虑到弯曲情况下的稳定性极为重要。为使紧压扇形线芯具有足够的可曲度和稳定性，在设计不紧压线线芯时必须遵守下列规则。

中央导线规则：扇型芯的中央导线必须位于扇型芯的中心线上。否则，当线芯弯曲时，位于中心线上部的导线将被拉伸，而下部的将被压缩而可能凸出，这将引起扇形破坏而损伤绝缘。

移滑规则：扇型芯中心线上导线的直径一般较大，处在其两侧的导线应能沿中心线上导线滑动而不改变扇形芯外形，这一规则称为移滑规则，如图 2——2 所示。

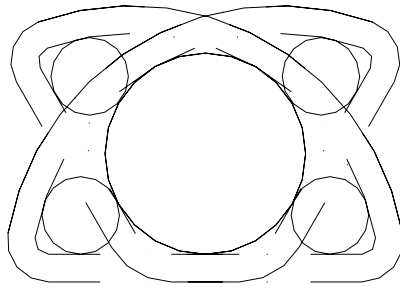


图2---2移滑规则

目前，我国对工作电压在 10kV 及以下油浸纸绝缘电力电缆、kV 级塑料绝缘电缆等均采用紧压扇形结构，先绞合成卵线形坯子，再经过型模紧压成扇形线芯。通常采用的扇形坯的结构如图 2——3、图 2——4、图 2——5 所示。

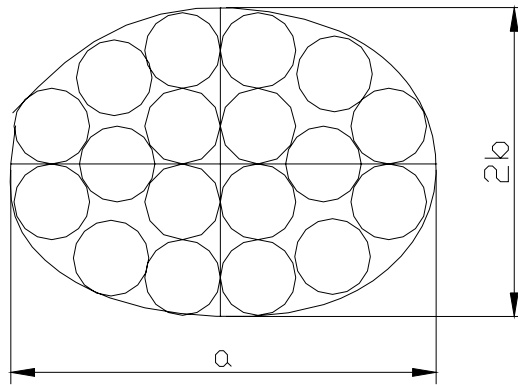


图2—3截面积为25、35、50、70、95mm 扇形芯坯结构

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

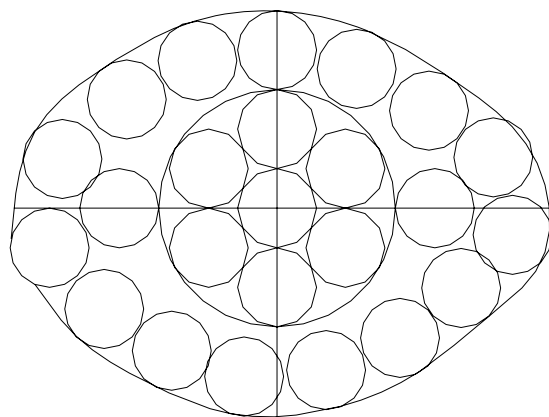


图2-4截面积为70-120mm 扇形芯坯结构

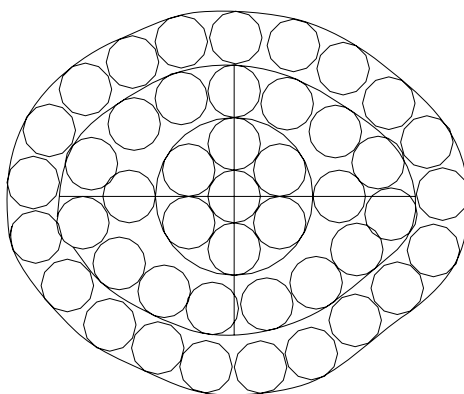


图2-5截面积为150-240mm 扇形芯坯结构

双芯电缆线芯一般采用弓形结构,紧压程序同扇形线芯,弓形线芯坯结构如图 2——6、图 2——7 所示,

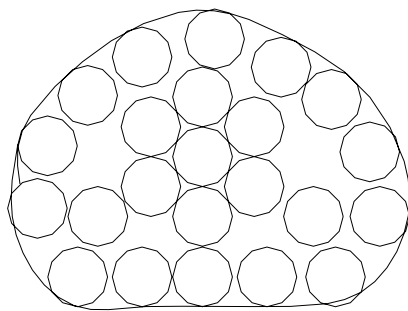


图2--6弓形芯坯结构(95-120mm)

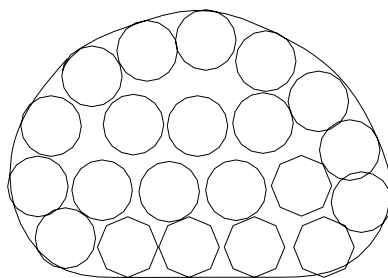


图2--7弓形芯坯结构(25-70mm)

几种标准扇形及弓形线芯的结构参数和尺寸见表 2-6、表 2-7、表 2-8、表 2-9。

控制电缆用线芯结构列于表 2-10。

上述各线芯结构，各制造厂并非完全一样，在符合标准的前提下，各制造厂稍有不同。

表 2—5 紧压圆形线芯结构参数

标称截面 mm ²	导体外径 mm	根数/单线 直径 mm	紧压 系数	20℃ 直流电阻不大于 Ω /km	
				铜芯	铝芯
16	4.8	7×1.78	0.88	1.15	1.91
25	6.0	7×2.26	0.88	0.727	1.20
35	7.0	7×2.65	0.91	0.524	0.868
50	8.4	19×1.91	0.90	0.387	0.641
70	10.0	19×2.26	0.89	0.268	0.443
95	11.6	19×2.65	0.90	0.193	0.320
120	13.0	37×2.12	0.90	0.153	0.253
150	14.6	37×2.38	0.90	0.124	0.206
185	16.2	37×2.65	0.90	0.0991	0.164
240	18.4	61×2.36	0.90	0.0754	0.125
300	20.6	61×2.65	0.90	0.0601	0.100
400	23.8	61×3.01	0.90	0.0470	0.0778
500	26.6	61×3.36	0.90	0.0366	0.0605
630	30.0	61×3.87	0.89	0.0283	0.0469
800	34.0	61×4.24	0.88	0.0221	0.0367
1000	38.2	61×4.92	0.87	0.0176	0.0291
1200	42.0	61×5.25	0.87	0.0151	0.0247

注：结构尺寸为参考值。大于 1000mm²及以上的铜导体，应采用分割导体结构。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

表 2——6 三芯电缆的扇形芯（紧压）结构

标称 截面 mm ²	导线根数及直径 mm				扇形尺寸 mm	
	中心		第一层	第二层	高度	宽度
	绞合	平放				
25	---	6×1.34	12×1.34	---	4.9	9.0
35	---	6×1.59	12×1.59	---	5.8	11.0
50	---	6×1.90	12×1.90	---	7.0	13.0
70	---	6×2.25	12×2.25	---	8.3	15.4
95	---	6×2.62	12×2.62	---	9.8	18.0
120	7×2.62	2×2.62	15×2.40	---	11.2	20.1
159	7×2.07	2×2.07	15×2.07	21×2.07	12.8	22.5
185	7×2.29	2×2.29	15×2.29	21×2.29	14.2	25.2
240	7×2.62	2×2.62	15×2.62	21×2.62	16.4	28.5

表 2——7 四芯电缆的扇形芯（紧压）结构

标称 截面 mm ²	基本线芯					第四线芯		
	导线根数和直径 mm				扇形 高度 mm	导线根数和直径 mm		扇形 高度 mm
	中央		第一层	第二层		中央	第一层	
	绞合	平放						
25	---	6×1.34	12×1.34	---	5.3	6×1.34	12×1.34	6.4
35	---	6×1.59	12×1.59	---	6.5	6×1.59	12×1.59	7.9
50	---	6×1.90	12×1.90	---	7.7	6×1.90	12×1.90	7.7
70	---	6×2.25	12×2.25	---	9.2	---	---	---
95	7×2.32	2×2.32	16×2.14	---	11.0	6×2.25	12×2.25	10.3
120	7×2.62	2×2.62	16×2.40	---	12.4	---	---	---
150	7×2.07	2×2.07	15×2.07	21×2.07	13.4	---	---	---
185	7×2.29	2×2.29	15×2.29	21×2.29	15.2	---	---	---

表 2——8 双芯电缆弓形芯（紧压）结构

标称 截面 mm ²	导线根数和直径 mm				弓形高度 mm
	中央		第一层	第二层	
	绞合	平放			
25	---	7×1.28	13×1.28	---	4.2
35	---	7×1.51	13×1.51	---	5.0
50	---	7×1.80	13×1.80	---	6.0
70	---	7×2.13	13×2.13	---	7.2
95	7×2.25	2×2.25	15×2.25	---	8.5
120	7×2.53	2×2.53	15×2.53	---	9.0
150	7×2.07	2×2.07	15×2.07	21×2.07	10.9

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

表 2——9 三芯、四芯电缆单根扇形芯结构

标称截面 mm ²	结构参数mm ²			
	高	宽	扇形弧半径	扇形角圆弧化半径
3×25	4.65	7.8	5.8	1
3×35	5.5	9.4	6.6	1
3×50	6.65	11.48	7.3	1
3×25+1×16	5.1	7.3	6.6	1
3×35+1×16	6.0	8.52	7.6	1
3×50+1×25	7.19 基本线芯	10.98	8.6	1
3×50+1×25	6.1 第四线芯	6.25	8.7	1

表 2——10 控制电缆线芯结构

标称截面 mm ²	导线结构 根数/直径	芯数范围
0.75	7/0.38	2~61
1	7/0.44	2~61
1.5	7/0.53	2~61
2.5	7/0.67	2~61
4	7/0.85	2~19
6	7/1.04	2~19
10	7/1.35	2~7
16	7/1.70	2~7
25	7/2.14	2~4

二、绝缘线芯

导电线芯在挤包或绕包绝缘层后，成为绝缘线芯。不同电压等级和规格的电缆，绝缘厚度不同。因此在上机成缆前，必须检查半成品是否合格，半成品的标签应与工作单一致，并有检查员合格章，标签与实物相符，线盘清洁无脏物，排线整齐，线芯尺寸和绝缘厚度符合要求，线芯绝缘表面规整，无凸起、皱折、碰伤，芯号或颜色配套。同一芯不得有两种号（主要指纸绝缘线芯），对于 6kV 及以上的纸力缆绝缘芯，还必须注意是经过予干燥，予干燥出罐至成缆前停放时间不得超过 24h，纸绝缘不得有发脆和干燥不好的现象。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

成缆用绝缘导电线芯，按绝缘材料分类有纸绝缘、交联聚乙烯绝缘、橡皮绝缘、聚氯乙烯绝缘等。按线芯形状分类有圆形、扇形、半圆形等。400mm²及以上一般是圆形线芯；300mm²及以下（1kV及以下电缆）大多数做成扇形线芯；150mm²及以下的两芯电缆一般做成半圆形。圆形导线有紧压和非紧压两种，半圆形、扇形均为紧压线芯。

第二节 常用材料

一、电缆纸

电缆纸在成缆中作为带绝缘用,半导电纸是起屏蔽作用。常用的电缆纸是木质纤维制成的，半导电纸是在电缆纸中加进适当的碳黑而成。它们的主要性能见表 2——11。

表 2——11 电缆纸的主要性能

项 目		绝缘纸		半导电纸
		DLZ-12	DLZ-17	IBLZ
厚度 mm		0.12±0.007	0.17±0.01	0.12±0.01
紧度g/cm ³		0.85±0.1	0.85±0.1	0.88
抗张力 kg	纵向	15	20	11
	横向	7	10	5.5
伸长率 %	纵向不小于	2.2	2.2	2.0
	横向不小于	9.5	6.5	6.0
透气度 ml/min 不大于		30	30	25
水分%		8 ⁺¹ ₋₂	8 ⁺¹ ₋₂	7 ⁺² ₋₂
灰份不大于%		1.0	1.0	1.0
体积电阻率 Ω·cm				1×10 ⁷
工频击穿电压 V 不小于		900	1200	

上述性能是根据 GB7969-87、SLSC——NO4003 规定。

二、塑料带

成缆中绕包塑料带，对不同电缆用途不同，但总的说来，分别是隔离、扎紧、绝缘、衬垫用，或者肩而有之。对它们总的要求是与电

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

缆相一致的耐温等级,不吸水,不促使与其接触的材料性能发生变化,主要指标见表 2——12。

表 2——12 塑料带的主要指标

项 目	聚乙烯带	绝缘用 PVC 带	垫层用 PVC 带
厚度 mm	0.05~0.1±0.01 0.11~0.25±0.02 0.26~0.8±0.03	0.1±0.01	0.20+0.03 0.25-0.01
抗张强度N/cm ²	纵≥686 横≥490	117.6	117.6
断裂伸长率%	纵≥180 横≥100	100	126
耐电强度 kV/mm	>40	18	14
体积电阻率 Ω·cm	≥1×10 ¹⁶	1×10 ¹⁴	1×10 ⁹

三、玻璃纤维乳胶布带

玻璃纤维乳胶布带在成缆中多数用于扎紧,它的宽度和厚度种类很多,根据需要选用.它的含胶量不小于 15g/m²,断裂强度以 25mm宽的布条计,纵向不小于 392N,横向不小于 186N。

四、填充材料

填充材料主要用来填充绝缘间的缝隙,使电缆圆整。常用的材料有聚丙烯撕裂薄膜绳,塑胶管条、纸捻等。对填充材料也要考虑耐温和吸水性等问题,应与电缆用材料相一致。塑胶管条是根据需要填充空隙大小挤制的。纸捻由电缆厂自制,一般采用 0.05mm 厚的电话纸在专门的纸捻机上加工。根据需要,纸捻直径的大小确定纸捻的号数。要求纸捻紧密,否则填充就无法饱满,电缆不能圆整,也不能阻止电缆油的流动。一般纸捻的实际面积是其截面的 0.3~0.6 倍的范围,现用纸捻的规格,即它的直径有 20、30、40、60、80mm 等五种。

除上述填充材料外,还有麻绳等,已在淘汰之中。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

第三章 成缆工艺装备

第一节 成缆机的种类及生产范围

用于成缆的设备，也就是把绝缘线芯绞合在一起，并加以填充、绕包的设备，称为成缆机。成缆机有普通式和盘绞式两种。

普通式成缆机有笼式和盘式两种，成缆速度一般在 10m/min 以下。大型成缆机制成盘式，能进行三芯、四芯及五芯电缆的成缆。如 1+3/1600 和 1+3/2400、1+4/1600、1+4/2400 成缆机，最大放线盘分别为 1600mm 和 2400mm。中、小型成缆机制成笼式，绞合部分如同绞线机的绞笼，有 1+6/1000 和 1+6/400 型等规格形式。盘绞式成缆机是较新的成缆设备，生产效率高，速度一般在 30m/min 以上，适用范围大，能用于各种电力电缆的成缆，也可用于通信电缆和控制电缆以及大截面超高压电缆分裂导体的绞合。常用成缆机生产范围见表 3—1。

表 3—1 常用成缆机生产范围

设备规格	生产范围	
	截面积mm ²	芯数
4-400 型		
6-400 型		
6+12+18/400 型		
18+24/400 型		
6+12/600 型		
1+6/1000 型		
1+3（4）/1600 型		
1+3（4）/2400 型		

第二节 成缆机的结构组成及传动系统

一、成缆机的传动

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

成缆机的传动，一般大都采用一台电机，通过传动轴和齿轮，带动放线（绞笼盘）、绕包头、、牵引轮等三部分，并且每部分至少有一组齿轮是可变换齿数，以便改变转动速度，这不仅可以改变成缆速度，而且也可以改变成缆节距和包带节距，几种代表性成缆机的传动系统如图3——1、图3——2、图3——3、图3——4、图3——5所示。

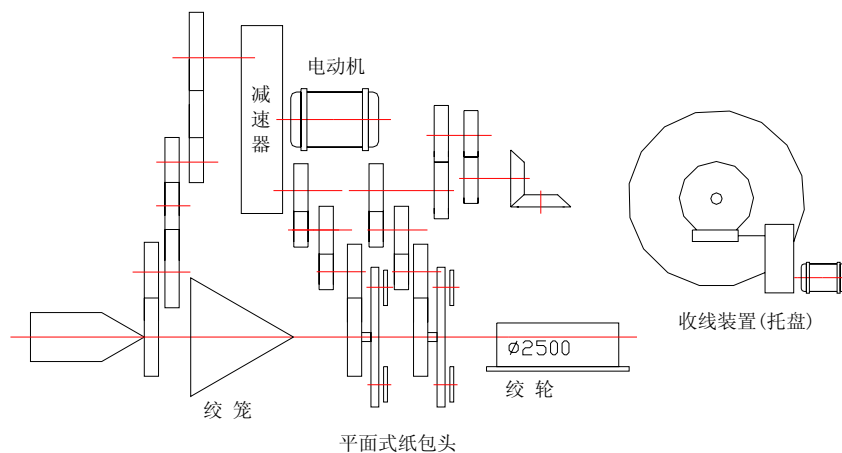


图3_1 1+6/1000型成缆机传动示意图

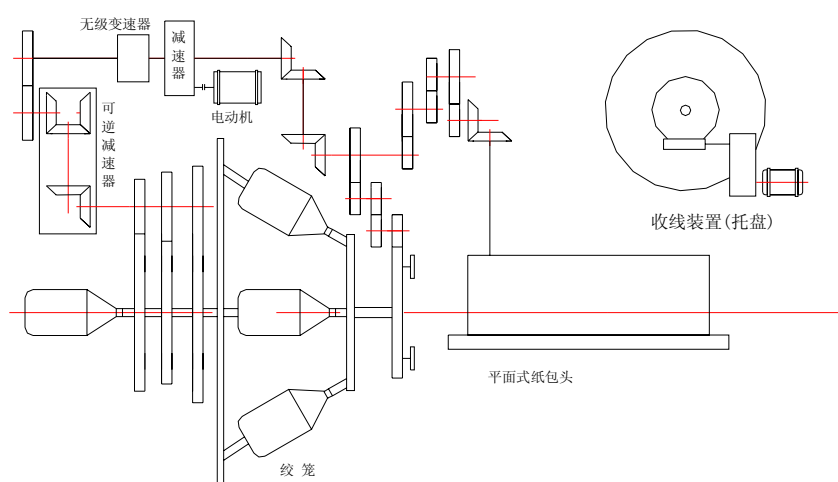


图3-2 1+3/1600型成缆机传动示意图

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

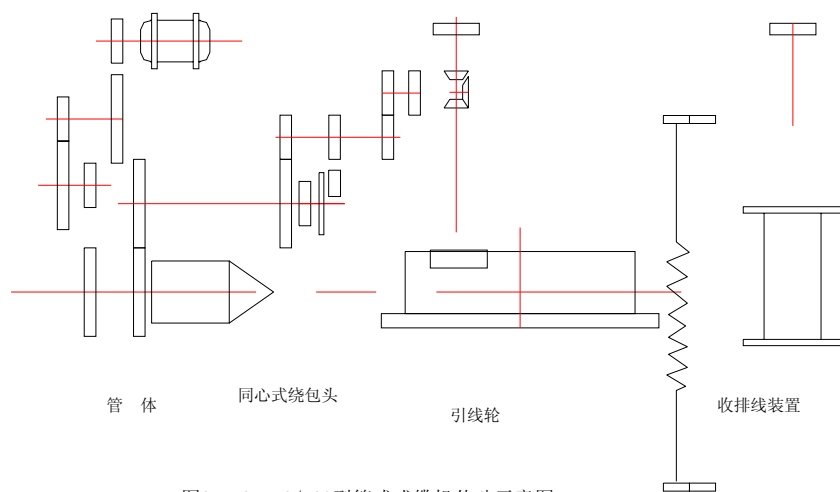


图3—3 6/400型管式成缆机传动示意图

二、成缆机的主要组成部分

1、绞笼 结构与绞线机的绞笼大致相似，在绞笼上有放绝缘线芯盘的线盘架。各种形式的成缆机线盘架数不同，大型成缆机一般是 3---6 个线盘架，小型成缆机可以有 18 个或 24 个，甚至更多的线盘架。在绞笼每个线盘架上都有制动器，用以控制绞合时线芯的张力。绞笼的转速是用变速齿轮来调节的，并且旋转方向也可以改变。在绞笼前部有一些固定的支杆，用以安放填充绳盘。

2、模架 并线模根据需要可以更换。它的作用是使几个绝缘线芯并合，绞成正确的圆形电缆。

3、包带头 结构与纸包头相似,支架上一般有 3 个或 6 个带夹,用来在电缆芯的外面包布带、纸带、玻璃布带或薄膜带等。

4、牵引轮 由一个大直径可转轮盘以及拨线环组成，给线芯以直线运动，并具有可以调节速度装置的部分，绞合节距主要是通过牵引轮

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

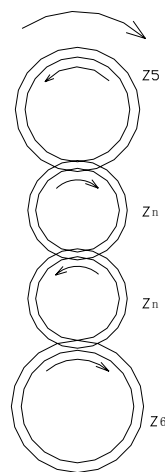
的转速来控制的。

5、收线装置 用来将绞合后的电缆收绕在收线盘上（托盘内），收存速度应和牵引速度配合好。

6、放置中心线具的放线架。

以上所述成缆机的组成仅是一般情况，成缆机的种类较多，各种成缆机的构造稍有不同。下面简单介绍几种成缆机的构造特点。

盘式成缆机。 它由大小不同的圆盘紧固在一个空心轴上，两圆盘间有三只放线盘的盘架，放线盘架轴上装有退扭用的齿轮机构。行星式齿轮机构退扭的简单原理如图 3——6 所示。齿轮 Z_5 装在中央轴上与盘架一起旋转。 Z_n 为一对过渡齿轮， Z_6 连接在放线盘架上，成缆绞合左向时， Z_6 右向。这样使每绞合一转放线盘就回转一转，得到了退扭，这种方法比较方便，当扇形线芯不需要退扭时，卸下 Z_n 即可。



转，前后圆盘均由托轮支撑，空心轴最前端是分线板，使绞合前的绝缘线芯依正确方向进入并线模，并防止绝缘线芯扭回。分线板有辊轮式的，每一根线芯在此均经过一对导轮。也有模孔式的，选择适当尺寸的模式插入分线板来代替辊轮，不同线径的绝缘线芯应选择不同尺寸的辊轮或模子。

笼式成缆机一般可放六个线盘，绞合部分与绞线机的绞笼相同。不论盘式或笼式成缆机，都有一个星形架，以放置成缆用的填充料。在绞合后分别是并线模座支架、绕包头、牵引装置、收线装置等。

盘绞式成缆机原理同束线方式，放线盘固定为一种旋转，而收线盘同时完成绞合和收线双重运动，放线的时候可以同时进行退扭。放线盘的直径可以在 1000~4000mm，其转速为 300~25r/min，比普通成缆机提高了效率，扩大了生产范围。

盘绞式成缆机采用履带式牵引，放线固定，放线角度不变。所以绝缘线芯放线张力均匀，成缆角度小，成缆质量好。当成缆予扭线芯时，通过传感器，能自动校正角度位置。

盘绞式成缆机主要组成部分，除放线部分外也大致和普通盘式成缆机相似。有可以退扭的放线盘架、填料盘架、控制予扭扇形线芯角度的正位传感器、并线模、包带头、转动的履带牵引、收排线装置，传动及控制系统等。

成缆予扭线芯时，放线盘架通过机器的主传动轴带动旋转。如成扇型绝缘线芯不需退扭，放线盘架便固定起来，这样它对予扭和不予扭的绝缘线芯都可用。正位传感器的作用是保证扇型线芯成缆时能正

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

确并合。线芯进入并线模之前，先经正位传感器，如扇形线芯角度有误差，正位传感器就发出信号，使校正马达动作，进行调节，所以它能够在生产中连续调节放线盘架的转动速度。

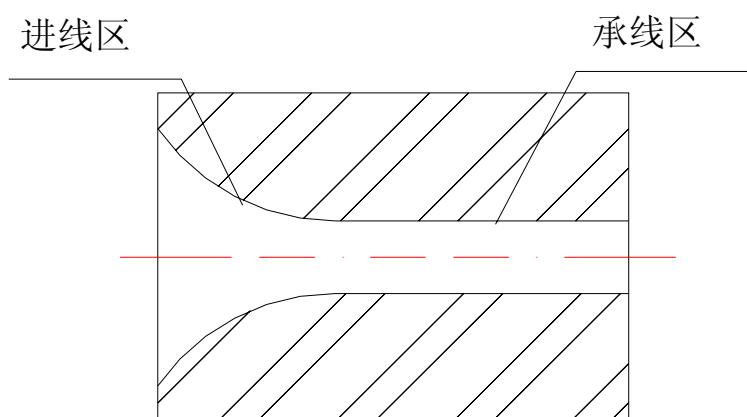
由于盘绞式成缆机速度快，要求绕包头的转速快，一般用两个半切线式的绕包头。最高转速能达到 800r/min 左右，否则就会影响生产率。旋转的履带通过气压将衬垫上的橡皮压紧，松紧调整要合适，避免过紧压扁电缆。对于采用履带牵引的也是一样的，适当的调整气压，使其带动电缆前进即可，注意气压过大会压扁电缆。

第三节 成缆模具和盘具

成缆采用的模具有压模、包带模，这些模具由两个半圆模加定位销组合而成。

模子的形状大致相同，如图 3——7 所示。进线区是圆滑的喇叭形，以适应绝缘线芯进入模时的过渡状态，成缆模具不使绝缘线芯产生过分的弯曲。承线区是直线，使线芯经过这个区域后基本定型。模子的进线段和定型段长度之比大约在 2：1 左右，它们之间是光滑圆弧过渡，使绝缘线芯保持良好状态。模具的内壁光滑耐磨。

图 3——7 成缆模形状



各种绝缘线芯模孔尺寸稍有不同，纸绝缘线芯的成缆模孔径可以比成缆直径小 0.4mm 左右，塑料绝缘线芯的成缆模孔径与电缆直径相等为宜。这里分别介绍一组纸力缆和一组塑力缆配模尺寸，见表 3—2、表 3—3。对控制电缆的配模较简单，基本采用模孔尺寸与成缆外径一致即可。

表 3—2 0.6/1kV 塑力缆成缆配模参数 mm

规 格	成缆直径	模 I	模 II	包带模
3×25	15.6	16.6	15.6	15.4
3×35	17.6	18.6	17.6	17.4
3×50	21.1	22.0	21.0	20.8
3×70	23.5	24.6	23.4	23.2
3×95	27.7	28.8	27.6	27.4
3×120	30.6	31.8	30.6	30.4
3×150	34.3	35.6	34.2	34.0
3×185	38.3	39.6	38.2	38.0
3×240	43.3	44.6	43.2	43.0
3×300	48.2	49.8	48.2	48.0

表 3—3 0.6/1kV 塑力缆成缆配模参数 mm

规 格	成缆直径	模 I	模 II	包带模
3×25	14.1	14.8	13.8	13.6
3×35	15.8	16.8	15.6	15.4
3×50	18.3	19.2	18.0	17.8
3×70	20.9	21.8	20.6	20.4
3×95	23.7	24.8	23.6	23.4

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

3×120	26.5	27.6	26.2	26.0
3×150	30.1	31.4	30.0	29.8
3×185	33.1	34.4	33.0	32.8
3×240	37.6	39.2	37.6	37.4
3×300	41.5	44.0	42.4	42.2

盘具是不出厂的，仅用作工序间装半成品流动。选用盘具的宽度与设备要相匹配。并且盘的内径不小于所装的电缆允许弯曲直径的规定。当然，收线盘芯直径大对电缆质量有好处，但影响装盘容量。盘芯直径太小时会使电缆弯曲过度损伤绝缘线芯。一般要求塑料多芯力缆的收线盘芯直径不小于电缆直径的 15~20 倍，这样是能够满足成缆线芯在收线时不损伤绝缘线芯的要求。

第四节 设备的维护保养

设备正确良好的维护保养，不仅使设备耐久，而且也能减少设备运行中出现的事故，从而提高产品质量。所以设备必须经常维护，定期检修。

设备各组成部分和部件，必须完整好用，如部件有缺陷必须立即修复或更换，不能带病运行。

工模具及变换齿轮应完整，保存整齐，防止腐蚀损伤。

设备各装配部分应紧固不动，保持控制和传动系统状态良好。

绞笼支撑圈及支撑托轮的接触部分应完全接触，中心对准。

线框稳固不晃动。线架予扭销予压定位良好，固定牢靠不松动。

绕包头抱刹灵活好使，绕包带夹拧紧，不应松动。

拨线环和牵引轮间配合良好，运行时拨线环导轮灵活转动，不歪斜。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

收线装置运转声音正常，电流指示不超过负荷要求。

开车时由于转动惯量很大，不能未停稳车就开反车。

起车必须逐级加速，但也不能长期低速运转。

设备要按规定的时间、方法，用润滑剂进行润滑。

详细的维护保养要按各自设备的维护规程进行。

第三章 成缆工艺

第一节 成缆工艺基本知识

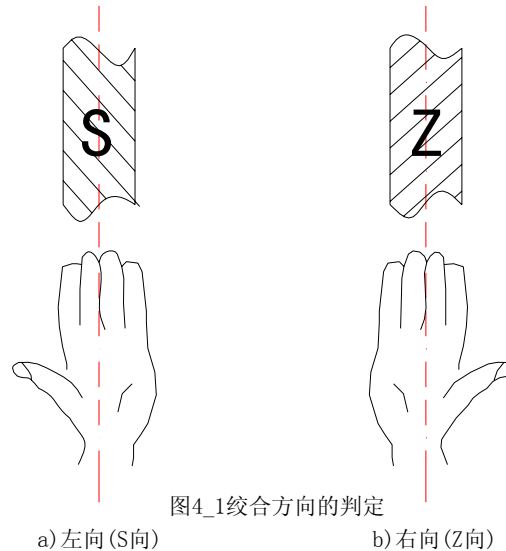
一、成缆绞合方向

成缆绞合方向有左向和右向之分，区别的方法与绞合线芯相同，即将绝缘线芯成缆后，水平放置向前看，如果是左旋为左向，右旋为右向，电缆最外层成缆应为右向。在生产过程中面对着绞线机或成缆机的前端（即放线端），绞笼是顺时针旋转，绞出的线芯为右向，反向为左向。判别已绞好的线芯绞向可用手去比试，拇指沿着电缆线芯轴向，其余四指与绞线方向一致，若与左手相同为左向，与右手相同为右向。如图 4——1 所示。

一般塑力缆的绞合方向均为右向。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>



二、成缆节距与节距倍数

成缆过程中，成缆的每根绝缘线芯，都有直线和旋转两种运动。当绝缘线芯旋转一周时，绝缘线芯沿轴向前进的距离称为电缆节距。

在生产实践中，一般成缆节距是以节距倍数来表示的。所谓节距倍数，即是节距长度与成缆的直径之比。用公式表示为：

$$m = \frac{L}{D}$$

式中 m ——成缆节距倍数；

L ——成缆节距；

D ——成缆直径。

对于不同的产品节距倍数不同。一般要求柔软性较高的电缆，规定节距倍数较小。例如矿用电缆中的电钻电缆，UZ 标准规定不大于 5 倍，UC、UCP 标准规定不大于 10 倍，U、UP 标准规定不大于 12~14 倍，以使这些电缆具有较好的弯曲性能。

成缆节距长度的选择，对各种电缆绝缘线芯是不同的。成缆节距

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

的大小直接影响绝缘线芯变形和电缆柔软性。成缆节距越大，电缆绝缘线芯在弯曲时变形越大，电缆柔软性越差。通常绝缘线芯的成缆节距是根据电缆使用条件、线芯柔软程度以及成缆后电缆的稳定性等因素加以选定。选择合适的成缆节距，使电缆有好的结构稳定性和弯曲性，减少变形和皱折以及有较大的生产率。对于圆形绝缘线芯采用浮动式成缆选用较小的节距，一般节距比为 25~40，而扇形绝缘线芯采用固定成缆，为减少变形和带材的位移，选用较大的节距比，一般在 40~80。常用的节距比如表 4——1。

表 4——1 纸绝缘线心成缆节距比

芯 数	圆 形 芯	扇 形 芯
2	25~30	50~70
3	30~40	40~80
4	30~40	40~80

在具体选择时，一般绞合线芯的截面越大，成缆节距比选得越小。截面小些的电缆通常选节距比 70~80，而截面大些的电缆则选 60~70。因为大截面的电缆成缆时，若节距过大，柔软性变差不稳定。对挤包绝缘线芯成缆时，因绝缘线芯刚性较大，产生的内应力大，为保证其结构稳定性和防止成缆后产生蛇形，应选用较小的节距，如表 4——2 所示。

表 4——2 挤包绝缘线芯成缆节距比

形 式	圆 形 芯	扇 形 芯
节距比	25~30	40~60

控制电缆成缆节距较小，成缆节距倍数，外层一般是 18~20，内层要选得稍大一些。

三、绞合节距和绞入率

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

由于成缆过程中绝缘线芯除直线前进的运动外,还有一个扭绞的转动,因此成缆的长度与绝缘线芯的实际长度是不等的。在成缆的一个节距内,绝缘线芯的实际长度 l 与节距长度 L 之比称为绞入系数 K 。

$$\text{即 } K = \frac{l}{L}$$

在实际使用中,还有绞入率的概念,即在一个成缆节距内绝缘线芯实际长度减去节距长度的差值与成缆节距长度之比称为绞入率。这是因为和导电线芯绞合时一样,成缆时当绝缘线芯沿螺旋线转过一个节距时,它的实际长度大于节距长度,因此将这个增加的长度与成缆节距长度之比称为成缆的绞入率,通常以百分比表示,如图 4—2 所示。

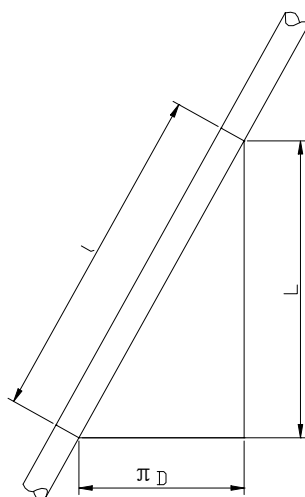


图4—2 一个节距螺旋线展开图

L 为成缆节距, D 为成缆直径, l 为一个节距内绝缘线芯的实际长度。则绞入率可用下式表示:

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

$$\lambda = \frac{l-L}{L} \times 100\%$$

$$\text{已知 } l = \sqrt{\pi^2 D^2 + L^2} = \sqrt{\frac{\pi^2}{D^2} + 1}$$

式中 m ——成缆节距倍数;

所以绞入率 λ 可写成:

$$\lambda = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{m}\right)^2} - 1 \right) \times 100\%$$

由此可见, 绞入率是悠悠节距倍数决定的。节距倍数越小, 绞入率越大。绞入率的增加, 使成缆的导线电阻增加, 同时也相应地增加了单位长度电缆导体材料和其他绝缘材料的消耗。

第二节 成缆工艺计算

通过成缆工艺计算来确定成缆的外径、成缆节距、包带节距、层数、宽度以及选配变换齿轮来达到计算结果的要求。

一、成缆外径计算

因电缆的绝缘线芯的形状、线径、芯数排列方式不同, 电缆外径的计算方法也不同。

1、等圆形绝缘线芯成缆外径计算:

$$D = k \cdot d$$

式中 D ——成缆外径(mm);

d ——绝缘线芯直径(mm);

k ——成缆绞合外径系数。

对于不同数量芯数的电缆, 成缆绞合外径系数 k 值见表 4——3。

表 4——3 成缆绞合外径系数 k 值

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

电缆芯数	绞合规则	K 值		电缆芯数	绞合规则	K 值
2	2	2d		18	0+6+12	5d
3	3	2.154d		19	1+6+12	5d
4	4	2.414d		20	1+6+13	5.154d
5	5	2.7d		21	1+7+13	5.3d
6	6	2.8d		22	1+8+13	5.7d
7	1+6	3d		23	2+8+13	6d
8	1+7	3.3d		24	2+8+14	6d
9	1+8	3.7d		25	3+8+14	6.154d
10	2+8	4d		26	3+9+14	6.154d
11	3+8	4.154d		27	3+9+15	6.154d
12	3+9	4.154d		28	4+9+15	6.414d
13	4+9	4.414d		29	4+9+16	6.414d
14	4+10	4.414d		30	4+10+16	6.414d
15	5+10	4.7d		31	5+10+16	6.7d
16	5+11	4.7d		32	5+11+16	6.7d
17	0+6+11	5d		33	5+11+17	6.7d
				34	6+11+17	7d

成缆外径系数 k 值，也可通过作图用三角关系求得。

例如三等芯电缆如图 4——3。

$$D=2OE=2(EA+AO)=2\left(\frac{d}{2}+AO\right)$$

在 $\triangle AOG$ 中

$$AO=\frac{AG}{\cos \alpha}=\frac{\frac{d}{2}}{\cos 30^{\circ}}=\frac{\frac{d}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=0.577d$$

$$D=2\left(\frac{d}{2}+0.577d\right)=2.154d$$

式中 d——为绝缘线芯直径。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

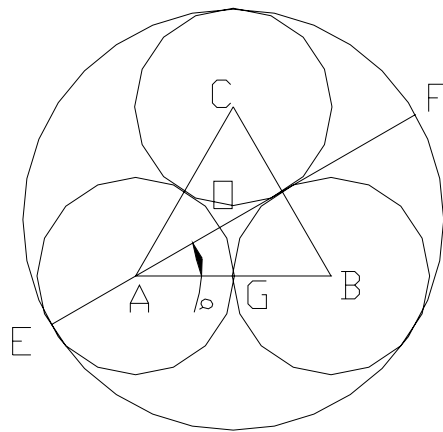


图4—3 三等芯电缆成缆外径计算

四等芯电缆如图 4——4。

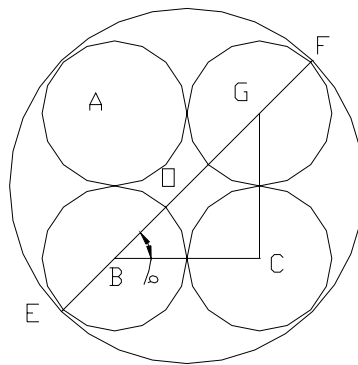


图4—4 四等芯电缆成缆外径计算

$$D=EF=EB+BG+GF=\frac{d}{2}+BG+\frac{d}{2}=d+BG$$

在 $\triangle BCG$ 中

$$BG=\frac{BC}{\cos a}=\frac{d}{\cos 45}=\sqrt{2}d=1.414d$$

五等芯电缆如图 4——5。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

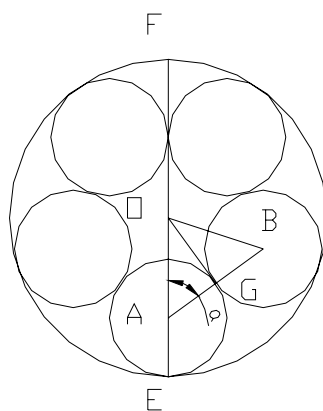


图4—5 五等芯电缆成缆外径计算

$$D=2OE=2(EA+AO)=2\left(\frac{d}{2}+AO\right)$$

在 $\triangle OAG$ 中

$$AO=\frac{AG}{\cos a}=\frac{\frac{d}{2}}{\cos 45}=\frac{d}{2 \times 0.588}$$

$$D=2\left(\frac{d}{2}+\frac{d}{2 \times 0.588}\right)=2.7d$$

采用类似推导方法,即可计算出表 4——3 中所列芯数的成缆系数 k 值。这种电缆结构是最普遍最常见的一种形式,也可称为对称型电缆结构形式,比较多采用的是控制电缆、信号电缆、船用电缆等。

2、不等圆形绝缘线芯成缆外径计算

构成这种电缆结构形式的多为移动式橡套电缆,中性点接地的电力电缆等,通常都是三个或两个同截面的工作线芯与一个截面较小的中性线芯合在一起,俗称三大一小或二大一小,绝缘线芯截面形状呈圆形。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

二大一小电缆成缆外径的计算：

$$D=ad_1 \quad \text{式中} \quad a=\frac{b(b+1+\sqrt{b^2+2b})}{c-1+\sqrt{b^2+2b}} \quad b=\frac{d_2}{d_1}$$

d_1 ——工作线芯直径(mm)；

d_2 ——中性线芯直径(mm)。

由于 b 值 (d_2/d_1) 是已知的，因此与 b 值相对应的 a 值亦可按公式求得，然后即可计算出电缆的成缆外径 D 。

为简便起见， a 与 b 的部分对应值列于表 4——4。

表 4——4 a 与 b 的部分对应值

B	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0
a	2.002	2.015	2.035	2.0588	2.088	2.120	2.1547

三大一小电缆结构示意图如图 4——6。

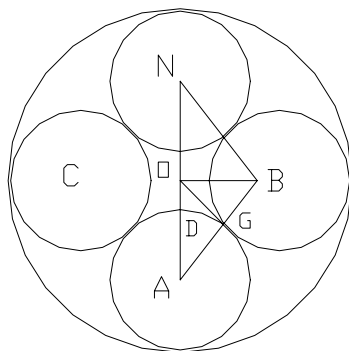


图4—6 四芯不等径电缆成缆计算

这种电缆的成缆外径计算：

$$D=ad_1$$

$$\text{令 } b=\frac{d_2}{d_1}$$

根据三角公式推导可得：

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

b= (a^3 - 2a^2) / (a^2 - a - 1)

式中 d2——中性线芯直径(mm);

d1——工作线芯直径(mm)。

由于 b 值(d2/d1)是已知的，因此与 b 值相对应的 a 值可按上述公式求得，即可计算出电缆的成缆外径。

为便于计算，a 与 b 的对应值可以从图 4——7 中查出，a 与 b 的部分对应值见表 4——5。

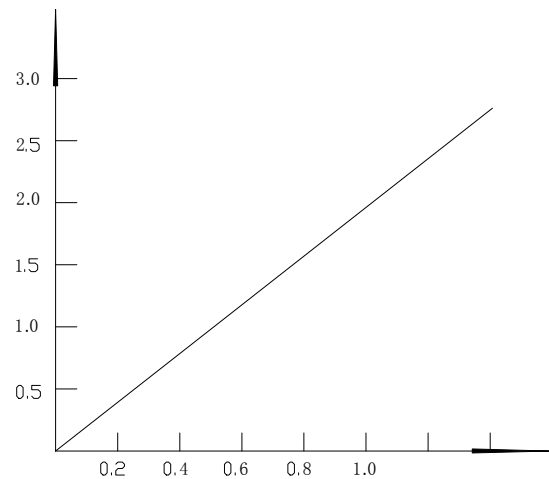


图4——7 a与b的关系曲线

表 4——5 a 与 b 的部分对应值

A	0.367	0.4834	0.590	0.690	0.797	0.8897	0.976	1.000
b	2.100	2.155	2.200	2.250	2.300	2.350	2.400	2.414

3、半圆形或扇形绝缘线芯成缆外径计算

用半圆形或扇形绝缘线芯构成的电缆芯有两芯（180°）、三芯（120°）、四等芯（90°）、五芯五种结构形式。两芯、三芯电缆结构如

图 4——8 所示。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

其成缆外径计算公式如下：

$$D=Mh(\text{mm})$$

式中 h ——绝缘线芯扇形高度(mm)；

M ——外径比，见表 4——6。

表 4——6 半圆形或扇形电缆芯外径比

电缆芯数	2	3	4	3+1
M 值	2	2.11	2.2	2.31

三、计算举例

成缆的工艺计算，要根据电缆的结构、成缆节距允许范围、包带绕包角度范围和宽度以及机器传动范围的数据等进行计算。在允许范围内，尽量发挥机器的生产率，即有较高的线速度。以 1+3/2400 型成缆机为例进行计算如下：

1、主轴转速 n

$$n=950 \times \frac{27}{102}=251 \text{r/min}$$

2、绞笼转速 n_1

$$n_1=n \times \frac{A}{B} \times \frac{24}{44} \times \frac{20}{55} \times \frac{25}{125}=9.96 \frac{A}{B} (\text{r/min})$$

3、绕包头转速 n_2

$$n_2=n \times \frac{60}{60} \times \frac{M}{N} \times \frac{158}{165}=240 \times \frac{M}{N} (\text{r/min})$$

4、牵引轮转速 n_3

$$n_3=n \times \frac{38}{88} \times \frac{C}{D} \times \frac{E}{F} \times \frac{15}{75} \times \frac{17}{204}=1.8 \times \frac{CE}{DF} (\text{r/min})$$

5、牵引轮线速度 V_3

$$V_3=\pi Dn_3=3.14 \times 3 \times 1.8 \times \frac{C}{D} \times \frac{E}{F}=17 \frac{CE}{DF} (\text{r/min})$$

6、成缆节距

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

$$L = \frac{V_3}{n_1} = \frac{17BCE}{9.25ADF} = 1.84 \frac{BCE}{ADF} (\text{m}) = 1840 \frac{BCE}{ADF} (\text{mm})$$

7、绕包带节距 V

$$V = \frac{V_3}{n_2} = 17 \frac{NCE}{240MDF} = 71 \frac{NCE}{MDF} (\text{mm})$$

8、包带角度 (D_n 为第n层包带外径)

$$\tan \alpha = \frac{V}{\pi D_n} \quad \alpha = \arctg \frac{V}{\pi D_n}$$

9、包带宽度 $b = (V - e) \cos \alpha$

式中 D_n ——电线绕包后第n层直径 (或相当于直径);

b ——包带宽度;

e ——为包带间隙;

V ——绕包带节距。

从上面的计算, 将各变换齿轮数据代入, 可得到成缆节距和各部位转速, 现将变换齿轮和节距表计算列于表 4——7。

表 4——7 齿轮速度与节距表

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

牵引轮 变换齿轮		线速度 m/min	绞笼齿轮 A/B 转速和成缆节距			绕包头齿轮 M/N 转速和包带节距			
C/D	E/F		22/68	30/60	38/52	60/80	64/76	67/73	71/69
			3.0r/min	4.63r/min	6.76r/min	180r/min	202r/min	221r/min	247r/min
24/72	36/50	4.08	1360	882	604	22.6	20.2	18.5	16.5
	40/46	4.94	1645	1067	731	27.4	24.6	22.4	20.0
	44/42	5.94	1980	1281	879	33.0	29.4	26.8	24.0
	48/38	7.15	2380	1543	1059	39.7	35.4	32.3	29.0
25/71	36/50	4.31	1437	930	638	23.9	21.3	19.5	17.4
	40/46	5.21	1738	1125	772	29.0	25.8	23.6	21.1
	44/42	6.27	2087	1354	928	34.8	31.0	28.3	25.4
	48/36	7.56	2520	1632	1120	42.0	37.4	34.2	30.6
26/70	36/50	4.54	1514	981	671	25.2	22.4	20.6	18.4
	40/46	5.50	1832	1189	814	30.6	27.2	24.9	22.3
	44/42	6.62	2205	1430	975	36.8	32.7	28.9	26.8
	48/38	8.00	2665	1728	1184	44.4	39.6	36.2	32.4
29/67	36/50	5.30	1768	1143	785	29.4	26.2	24.0	21.4
	40/46	6.40	2135	1381	947	35.6	31.6	28.9	25.0
	44/42	7.70	2565	1662	1140	42.8	38.1	34.8	31.2
	48/38	9.30	3100	2010	1375	51.6	46.0	42.1	37.6

现以 0.6/1kV3×240 力缆为例，介绍工艺计算方法（计算数值作为参考值）：

1、成缆外径

从结构表查出此电缆扇形高度为 18.3mm，所以 $D_0=2.11 \times 18.3=38.6(\text{mm})$

2、成缆节距选择

成缆节距比在 60～70 范围，节距长度 $L=(60 \sim 70) \times 38.6=2316 \sim 2702(\text{mm})$

查齿轮速度节距表取 $L=2665\text{mm}$

选择牵引轮 C/D=26/70，E/F=48/38，线速度 8m/min，绞笼齿数 A/B=22/68

3、包带层数和宽度

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

根据结构表要求,带绝缘厚度为 0.6mm,用 0.17mm 电缆纸(PVC),
带绝缘包带层数:

$$0.6/0.17=3.529 \quad \text{取 4 层}$$

包带的宽度取决于成缆直径和包带绕包角,包带应在一定范围内,以保证绕包质量。包带用间隙绕包,取间隙为 1.5mm,查齿轮节距速度表,与成缆节距相一致的选择绕包头转速为 $M/N=71/69$,纸包头为 247r/min,包带节距为 32.4mm,绕包角正切为:

$$\operatorname{tg} \alpha = 32.4 / 3.14 \times 38.5 = 0.267$$

$$\alpha = 14.96^{\circ} \approx 15^{\circ}$$

$$\text{包带宽度 } b = (32.4 - 1.5) \cos 15^{\circ} \approx 30 \text{ mm}$$

再核算外面一层包带的宽度,包外层包带时电缆的直径为: $38.6 + 2 \times 3 \times 0.17 = 39.62 \text{ mm}$

外层包带绕包角正切为:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{32.4}{3.14 \times 39.62} = 0.2604$$

$$\alpha = 14.63^{\circ}$$

外层包带宽度

$$b = (32.4 - 1.5) \cos 14.63^{\circ} \approx 30 \text{ mm}$$

如果是重叠绕包,则应考虑间隙(或搭盖) e , e 的数值以绕包节距的倍数来表示:

$$e = KV$$

式中 e ——间隙搭盖;

V ——绕包节距;

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

K——系数，一般取 10%~20%

对于挤包绝缘电缆，成缆只过去掉绕包绝缘，按结构表要求包塑料带等垫层，计算的方法都是一样的。这样就可以算出不同规格的成缆节距、包带节距、包带层数和宽度以及相应的变换齿轮等。在实际使用时，这些数据已经列在工艺附表中，只有严格地执行工艺，就能满足产品结构的要求。

第三节 填充、包带及干燥

一、填充

绝缘线芯成缆时，其线芯与线芯之间均有一些空隙，特别是双芯、三芯、四芯和五芯成缆时，其内部和侧面的空隙均较大。如不用填充材料加以填充，很难保证成缆后电缆的圆整度，如图 4——9 所示。此外有些电缆，例如矿用电缆，在绝缘线芯中间放置硫化橡皮填充。此填充一方面起到填充作用，更重要的是增加了电缆的抗冲击和挤压强度。对纸绝缘电缆还有阻止油的流动作用。对某些电缆的空隙不填充对其性能和寿命也无多大关系，但对其散热性能稍有影响。要求填充料的耐热性能与电缆的工作温度相一致，要求不能促使与其接触材料的性能变化，还要求他不具有吸水性。对不同的电缆用不同的填充材料，填充用材料一般有纸捻绳、电缆麻、棉纱、塑料绳，塑料填芯、橡皮填芯等。对于大多数电缆产品，国家标准规定应采用非吸湿性材料。对纸绝缘线芯一般采用纸捻或麻绳填充。对其他电缆多采用聚丙烯撕裂薄膜绳或填充条等。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

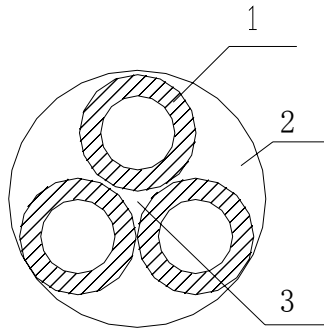


图4—9 成缆填充

1——芯绝缘 2——侧边填充 3——中心填充

圆形绝缘线芯成缆后其空隙较大，对其填充的面积由下面的方法确定（绝缘线芯外径为 d ）。

二芯电缆侧面部分为 $2 \times 0.785d^2$

三芯电缆中心部分为 $0.04d^2$

三芯电缆侧面部分为 $3 \times 0.417d^2$

四芯电缆中心部分为 $0.215d^2$

四芯电缆侧面部分为 $4 \times 0.315d^2$

扇形绝缘线芯成缆时，中心与侧面的空隙与扇形圆角半径有关，一般按不同截面的线芯，选用不同号数的填充绳，其根数不做规定，以填圆整为准。

固体挤出绝缘扇形绝缘线芯成缆时，可以不填充。当然有特殊要求时也可以填充。这类的填充物要与绝缘线芯具有同样耐温等级的非吸水性材料，较常用的是聚丙烯撕裂膜绳。

要绕包带绝缘的纸力缆绝缘线芯的填充，纸捻比麻绳要好，因为

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

这些填充物处在电场作用下，纸捻的电气性能比麻好，同时，麻中的杂质也较多。分相铅包电缆的填充物，纯属是为了电缆的圆整，处在电场作用之外。他一般用沥青、机油、奈酸酮等做防腐剂浸喷的电缆麻填充，并且也不需要填充饱满，以三角形成缆。但对于钢丝铠装电缆，填充饱满，以利于钢丝铠装紧实均匀。

二、包带

绕包带层。在成缆机上绕包的带绝缘、垫层、隔离层等统称为包带层。绕包有三种形式：重叠绕包、间隙绕包、衔接绕包。根据电缆结构和包带的作用选择。所谓重叠绕包是指后一圈绕包带有一部分压在前一圈绕包带之上。间隙绕包是指前后圈带彼此不相接触，有一间隙。衔接绕包是指绕带边彼此相衔接的绕包方式。

带绝缘电缆在成缆时绕包绝缘层，是为了增加线芯对地的绝缘厚度。挤包绝缘电缆的包带层比较复杂，0.6/1kV 的塑力缆，外护层无金属铠装的，成缆时用重叠绕包塑料带或无纺布带扎紧，再挤塑料护套。外护层有金属铠装的要重叠绕包塑料带或无纺布带作垫层，防止铠装金属带碰坏绝缘层，对于 6kV 及以上的塑力缆，在成缆前重叠绕包 0.1mm 厚铜带做屏蔽。

第四节 扇形线芯成缆

圆形电缆的线芯采用退扭成缆，扇形线芯的成缆有两种方式：一种是不退扭线芯（用固定式）成缆，另一种是退扭线芯（用浮动式）成缆。对于线芯不退扭的在成缆时，为了防止扇形线芯在成缆过程中绝缘线芯的变形，采用固定式成缆，使扇形顶角始终对正电缆的几何中

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

心，以保证成缆直径的圆整。为此扇形绝缘线芯必须进行弹性予扭。予扭的含义是：在线芯绞合压形时线芯按相反节距进行扭转，并方向相反。放线芯逆成缆方向转过某一角度，使绝缘线芯有一个相反方向的弹性变形，扇形顶角对正电缆几何中心。予扭角度的多少不是以计算求知，是以经验掌物。

另一种绝缘线芯的退扭的办法。借助于成缆机完成。

绝缘线芯的予扭是提高大截面扇形线芯电缆质量的一种方法。即在绞制线芯予扭，在成缆时他可以从根本上消除由于成缆时线芯变形而引起的损坏。

第五章 成缆的质量控制

第一节 成缆质量控制

一、纸绝缘线芯的质量控制

(1) 供成缆用的绝缘线芯必须有加盖检验员章的标签，线芯表面无灰尘、无损伤及其他赃物。

(2) 70mm^2 以上， $6\sim 10\text{kV}$ 的纸绝缘线芯，必须经过予干燥，出罐后如某种原因不能成缆，若停放时间超过工艺规定者，应回罐重新干燥。

(3) 成缆时，如纸绝缘线芯有损伤、凸起严重缺陷时必须修好，多层纸带返修时，必须逐层错开三个纸包节距。成缆过程不准擦伤芯绝缘，损伤纸带超过一层者必须修好。

(4) 成缆时应按 0、1、2、3 顺序排列，0 在 1 与 3 之间。

(5) 成缆不圆度不准超过其电缆外径的 4%（该值作为参考值，根据各厂具体规定说明）。成缆直径 15mm 及以下和四芯电缆不圆度不准

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

超过 6%（该值作为参考值，根据各厂具体规定说明）。成缆的不圆度是以卡尺在同一截面上测得的最大与最小直径，并按下式计算：

$$\text{不圆度} = \frac{\text{最大外径} - \text{最小外径}}{\text{标称外径}} \times 100\%$$

（6）成缆外径在整个制造长度上应一致，其外径的不均匀度按各工厂的工序检验标准规定执行。

（7）成缆时必须按工艺将填充物填好（保证饱满，又不损伤绝缘），填充不应有跳蹦。

（8）成缆后的扇形线芯，不准有翻身现象。

（9）带绝缘纸层断纸时，必须补足应有的层数，修理处应保持平整、紧实。带绝缘最外层断纸时应以胶水粘牢。

（10）带绝缘绕包间隙 0.5～2.5mm，带绝缘纸包不准有重合现象，绝缘绕包应紧实平整，手按无松感，并且无折叠、皱折以及半导电纸带脱节等缺陷。

（11）带绝缘最外层的厂标纸，字迹清晰，中间局部缺少厂标纸不准超过 1m，分头处不准超过 300mm。

（12）成缆不准有断线、混线或连托盘（短路）现象。

（13）电缆的标准制造长度：

70mm² 不少于 300m；

95～120mm² 不少于 250m；

150mm²以上者 不少于 200m。

具体长度可按生产计划进行，短段电缆长度不得少于 50m（特殊订货例外）。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

(14) 油盘（或专用盘）不允许潮湿或不清洁，盘内无杂质和其他异常情况，同时在生产过程中和成缆后均应保持电缆清洁无污，线在托盘（或专用盘）内必须排得平整，紧密。

(15) 凡由操作者而产生下列情况，但质量尚能符合国家标准规定者，方可流入下道工序加工。凡不符合下列规定之一者，则作为操作者责任事故处理。

(A) 成缆不圆度不符合标准规定者，必须在标签上注明实际不圆度值，并且在压铅过程中因不圆度不合格而发生拉牢时，仍属于成缆责任事故。

(B) 6~10kV 电缆绝缘在同一个绕包头内，上下纸层出现重叠不超过一次者。

(C) 纸带用错，但尚能保证绕包的质量规定，紧度、平整、搭盖等）者。

(D) 间隙不超过 3.0mm，或者有重叠不超过 0.5mm，但能保证绕包平整者。

三、交联和 PVC 绝缘电缆的质量控制

(1) 绝缘线芯必须有检查合格的标签，绝缘线芯表面清洁、无损伤。

(2) 成缆时应按红、黄、绿、蓝或 0、1、2、3 顺序排列。

(3) 如有金属屏蔽，截面必须符合规定要求，并在金属屏蔽外用反向铜带或铜丝扎紧。金属屏蔽的铜带（或铜丝）的宽度、厚度（直径）、绕包节距等应符合工艺规定。

(4) 三芯和四芯五芯电缆的成缆方向为右向，包带为左向，成缆节

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

距应符合工艺规定。

(5) 成缆填充饱满，保证电缆外形圆整，填充物必须是非吸水性材料，与电缆绝缘有同样的耐温等级，并且不促使与其接触材料性能的变化。

(6) 绕包带的作用不同，分别起扎紧、隔离、内衬垫的作用，或兼而有之，必须按工艺规定的层数、厚度、重叠率、节距进行绕包，包带平整、紧实、无皱折。

(7) 绕包带须非吸水性材料，与电缆相适应的工作温度，不促使与其接触材料性能的变化。

(8) 成缆按规定配模。成缆过程中，不得擦伤绝缘线芯，在扇形绝缘线芯成缆过程中不得翻身。

(9) 绕包带材料厚度应均匀一致，不应有穿孔、凸起、皱折、孔眼及其他异常情况。

(10) 如用铜带屏蔽，铜带表面应光滑、清洁、无裂纹、起皮、起刺、边缘整齐。

(11) 电缆的不圆度不大于 15%，整根电缆无明显蛇形。

(12) 分头处两头必须有明显的标记，分头长度不超过 1 米，电缆制造长度按规定进行。

(13) 收线盘具不得有损伤缆芯的缺陷，其筒径不小于电缆直径的 20 倍。

(14) 排线整齐、紧实，不得有起落交叉现象。

四、成缆质量的保证

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>

虽然各种类型的绝缘线芯成缆工艺各有差异，但保证成缆质量的内容大致是相同的。首先对半成品绝缘线芯和原材料进行认真检查，必须是合格的半成品和原材料才能上机投产。开车前必须检查设备正常完好才能使用。绝缘线芯的成缆节距、绕包带的宽度、厚度、绕包节距等，严格按照工艺规定执行。在成缆过程中要经常检查，绝缘线芯不能划伤，填充饱满，绕包带平整。成缆外径圆整和均匀度必须符合工艺规定。在成缆中如有接头应按规定做明显标志，如有不合格应立即处理。成缆过程中应按规定进行自检，并做好检验记录，并且还要有检验员终检。交班时要把注意问题交代清楚。确保成缆的质量合格。

电缆情缘欢迎你

<http://ahwwwsb.b.co.163.com/>