

目 录

前言

再版前言

第一章 绪 论.....(1)

第一节 绞线产品的类型.....(1)

第二节 绞线的特性及用途.....(3)

第二章 材料和半成品.....(7)

第一节 材料的种类、性能及用途.....(7)

第二节 材料的技术指标.....(8)

第三节 防腐剂.....(15)

第三章 绞合设备.....(17)

第一节 绞合设备种类及基本结构.....(17)

第二节 绞线机的放线部分.....(19)

第三节 绞线机的牵引及收排线装置.....(25)

第四节 束线机.....(28)

第四章 绞线工艺.....(34)

第一节 绞线工艺参数及绞合规律.....(34)

第二节 一般绞线.....(56)

第三节 架空绞线.....(77)

第四节 异型绞合线芯.....(88)

第五节 工装模具与量具.....(96)

第五章 废品种类与排除方法.....(99)

再 版 前 言

自1987年7月出版发行电线电缆专业三十四个工种的中级工人技术理论培训教材以来，深受电线电缆行业欢迎。在深化改革、扩大开放的新形势下，线缆行业迫切需要工人培训教材，为此，我分会决定对电线电缆行业量大面广的拉线工艺学、线模制造工艺学、绞线工艺学、挤塑工艺学、成缆工艺学、漆包线工艺学等六个工种的中级工人技术理论培训教材再版发行。

因原教材出版至今已近六年，目前再版时，根据每本教材不同情况，作些适当补充及修改。本教材由原主编成长仁同志修改补充，原主审宋宏升同志审查。在本教材再版之际，谨向付出艰辛劳动的全体编审人员、组织人员表示衷心感谢。

电器工业职工教育研究会

电线电缆分会

一九九四年三月

前 言

为适应机械工业“三上一提高”的需要，有计划地加强对工人的技术理论培训，国家机械委电器局成立了电线电缆专业技术工人培训教材编审委员会。在编审委员会领导下，由上海电缆研究所组织编写了电线电缆专业三十四个工种的中级工人技术理论培训教材，并作为全行业的指定教材。

这套教材是根据原机械工业部《工人技术等级标准》和《电线电缆行业专用工种工人中级技术理论教学计划、教学大纲》编写的，内容以电线电缆制造工艺为主，包括材料、设备知识和产品质量方面的分析，介绍了新技术、新工艺和新设备。

这套教材，课时一般以100~150学时为宜，各单位在保证培训质量的前提下，可根据实际情况适当调整。

参加这套教材编写的有沈阳电缆厂、上海电缆厂、郑州电缆厂、西安电缆厂、哈尔滨电缆厂和湘潭电缆厂的教育部门同志及工程技术人员。除此，昆明电缆厂、天津市电缆厂和北京市电线总厂的同志也参加了教材的审定工作。本教材由成长仁同志主编，宋宏升同志主审。为了保证教材的质量，聘请毛安民、胡懋书、林必梁三位专家为顾问，对于以上同志的辛勤劳动，表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，缺乏经验，不足之处，请读者批评指正。

机械工业委员会电器局

一九八七年三月

第一章 绪 论

导线通过电流后，因有电阻而发热，温度升高，会影响电线电缆导体、绝缘层和护层材料的使用寿命。所以，当输送大容量电能时，应增大导体截面积。但大截面的单根导线不易弯曲，柔软性差，给生产、运输、安装、敷设和使用都带来了困难。同时，由于截面大，涡流损耗大，影响输电效果。因此，从电气性能上要求输电导体有一定的截面，从力学性能上又要求具有一定的柔软性。如果将大截面的电线电缆的导体采用多根单线扭合在一起，就可以解决采用单根导体所存在的不足之处。

绞线就是把多根导线绞合的过程。绞合的导线不仅增加了电线电缆的柔软性，还能提高导体的强度和可靠性。有些电线电缆的导体并不要求大的截面，但也采用绞合形式，目的是为了具有更好的柔软性和可靠性。因此，绞线在电线电缆生产中是主要生产工序之一，也是电线电缆绕包、束制等工艺的基础。

第一节 绞线产品的类型

由多根单线绞合的绞线、软绞线、专用绞线和电线电缆线芯要经过绞合、束合、压型等工序。按其结构组成，有同心层正规绞合绞线和特殊结构绞线(非正规绞合)。两者有相同的单线(材料与单线线径相同)构成的绞线和不同单线

(材料不同或线径不同)构成的绞线,这样就可以把各种绞线进行分类归纳。

一、架空绞线分类

架空绞线分类如表 1-1。

表 1-1. 架空绞线分类

正规绞合的绞线		特殊结构的绞线 (非正规绞合)
同一单线构成	不同单线构成	
裸铝绞线	钢芯铝绞线	扩径绞线
铝合金绞线	钢芯铝铝合金绞线	消振绞线
裸铜绞线	铜和铝包钢混合绞线	光体绞线
铝包钢绞线	防腐钢芯铝绞线	防冰雪绞线
钢绞线	镀铝钢芯铝绞线	异型电缆线芯

二、绞合线芯分类

绞合线芯分类见表 1-2。

表 1-2 绞合线芯分类

品种类别	用途	导体材料	结构	软 硬	外 形
圆形线芯	各种电 线 电 缆	铝、铝 合金。	同心层绞, 束 绞,	软、半硬	圆形,紧压
异型线芯		铝、铜、 铝合金	同心复绞, 特 殊	软、半硬	圆形,扇 形紧压, 扇形实心

同心式绞合是把若干根单线按一定方向和一定的规律,以同一中心为绞合中心进行编绕,同时绞线以一定速度前进,这样扭绞并合在一起制成绞线或绞合线芯。

第二节 绞线的特性及用途

一、绞线产品的基本特性

(一)柔软性好

同一截面的单根导电线芯与多根单线绞合的导电线芯相比较,绞合线芯柔软。因为绞线在弯曲时受压缩的部分向受拉伸的部分作微小的滑移,绞线弯曲的外力只要克服单线的弯曲应力和单线间的滑移摩擦力就行了。如果是单根导线,则弯曲时的外力要克服外侧的很大拉应力和内侧的很大压应力。绞线和单根导体的弯曲情况见图 1-1。绞线的柔软性能好有利于安装,可减轻因弯曲、振动、摆动时所造成的损坏。

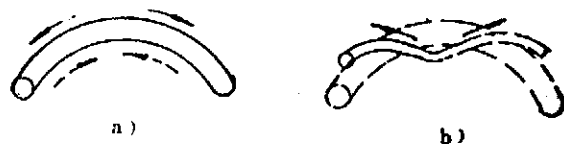


图 1-1 单线和绞线弯曲情况

a) 单线 b) 绞线

(二)可靠性好

单线在制造过程中由于受到材料性能、工艺及生产条件的限制,将会出现一些缺陷,这些缺陷极大地影响单线的可靠性。而绞线则是由多根单线构成的,单线上的缺陷几乎没有可能全部集中于绞线的同一处,故对绞线的性能影响较对单根导体要微弱得多。

(三)强度高

同一截面的单根导线与多根导线绞合的绞线相比,因为绞线中的单线直径比与绞线同一截面的单根导体直径小得多,在使用同样杆材的情况下,小线径经受的变形程度高于大线径的变形程度,因而其强度也高,经绞合后引起的强度损失较小,约5%。所以,绞线的强度高于同截面单根导体的强度。线材经接头后虽然强度下降很多,但绞线中单线的接头按工艺要求都要错开一定距离,而单线却无法做到这一点,在线材生产中接头又是不可避免的,这也是绞线强度高于单线的另一个原因。

二、绞线的用途

(一)普通绞线

1. 铝绞线: 导体重量轻, 导电性好, 应用于受力较小的架空电力线路的配电线。
2. 硬铜绞线: 电气性能优越, 应用于架空输电线路。
3. 铝合金绞线: 抗拉强度高, 为铝绞线强度的一倍左右, 导电率较铝绞线低10%左右, 应用于冰川、山区、丘陵等地带一般线路及大跨越输电线路。
4. 铝包钢绞线: 力学性能优越, 应用于大跨越线路。

(二)组合绞线

1. 钢芯铝绞线: 抗拉强度高, 应用于架空输电线路、配电线路、重冰区及大跨越输电线路。
2. 防腐钢芯铝绞线: 性能与钢芯铝绞线相同, 它能防止钢芯腐蚀, 提高导线使用寿命, 应用于咸水湖、沿海、工矿区及腐蚀气氛较严重的地区。
3. 钢芯铝包钢绞线: 能提高钢芯耐腐蚀性能, 钢芯使

用寿命长, 应用于大跨越线路或避雷线。

4. 压缩型钢芯铝绞线: 抗拉强度高, 为普通绞线的1~2倍, 导线表面光滑, 应用于输电线路, 可加大杆塔的跨度。

(三)特种绞线

1. 扩径钢芯铝绞线: 能增加导线外径, 节约有色金属, 减少电晕损失, 应用于高压输电线路及高海拔地区。
2. 扩径空心导线: 具有较大的导线外径, 减少电晕损失, 节约有色金属, 应用于高压变电站。
3. 消振及间隙型绞线: 各绞层分离, 能自身减少振动, 应用于多风暴地区。
4. 防冰雪绞线: 抗冰雪能力强, 应用于重冰区地带。
5. 铜电刷线: 结构稳定, 柔软性良好, 采用束绞及复绞而成, 应用于电机中的引接线。
6. 裸铜软绞线: 采用股线正规绞合, 束绞, 无复绞或束绞后再按正规绞合复绞等形式, 应用于连接电机、电器设备部件。
7. 铜编织线: 导线柔软, 应用于移动电器装备的连接线, 也可用于汽车、拖拉机蓄电池的连接。
8. 镀铝钢芯铝绞线: 它和钢芯铝绞线基本一样, 只是将镀锌钢丝改为镀铝钢丝。钢丝镀铝后不但能增加抗腐蚀性, 而且也减少铝的电位差, 防腐线路采用镀铝钢芯铝绞线可避免电场畸形。
9. 耐候绝缘架空线: 这种产品是在铝绞线及钢芯铝绞线(裸铜绞线也可以)表面加一层聚乙烯护套, 一般用来线路通过林区和城市使用。

10. 导电线芯：大多用于油浸纸绝缘和塑料绝缘的电力电缆。根据需要可分为：硬、软、特软三种。

(1) 硬线芯：用于船用电缆、电力电缆等。

(2) 软线芯：用于矿用电缆、橡套电缆等。

(3) 特软线芯：用于经常移动的电线电缆线芯及有特殊要求的导电电线电缆。

第二章 材料和半成品

第一节 材料的种类、性能及用途

绞线用的材料有镀锌钢丝、镀铝钢丝、电工圆铝线、电工圆铜线和铝合金线等。

电线电缆的导体多采用电工圆铝线，因在同等导电功能情况下，特别是高压远距离大容量输电，铝更为经济。目前国际上已开始大量采用铝合金，我国还没有大量推广使用。铜导体在架空线路中用得很少，只在特殊条件下采用，但在电线电缆导电线芯中还是采用铜导体和铝导体两种材料。

镀锌钢丝及镀铝钢丝在绞线中是用来增加绞线力学性能。为了改善钢的抗腐蚀性能，一般在钢丝表面镀锌或镀铝。铜绞线采用电工圆铜线。有的品种为了改善铜线的抗腐蚀性能和物理性能，在电工圆铜线上镀锡、镀银。为了改善电缆导电线芯的柔软性和导电性，通常以减小单线直径，增加导线的根数，再进行束制、复绞、同心绞合等工艺。

由于单线在拉制过程中，加工硬化使机械强度增大，伸长率下降。冷加工后铜单线不能完全满足电线电缆导电线芯的性能要求，因此必须采用韧炼的方法，即中间退火方法来满足工艺及电缆性能要求。

第二节 材料的技术指标

一、镀锌钢丝

镀锌钢丝应符合 GB3428—82《钢芯铝绞线用镀锌钢丝》

标准。

(一)镀锌钢丝尺寸及允许偏差见(表 2-1)。

表 2-1 镀锌钢丝尺寸及允许偏差

钢丝直径 (mm)	尺寸允许偏差 (mm)
≤2.00	±0.04
>2.00	±2% d

(二)镀锌钢丝的性能

应符合表 2-2 规定。

表 2-2 镀锌钢丝的性能要求

钢丝直径 (mm)	抗拉强度 (N/mm ²)不小于	1%伸长时应力 (N/mm ²)不小于	伸长率 (L=200mm) (%)不小于	扭转次数 (次/360°)
1.25~2.25	133.6	119.5	4	18
2.26~3.00	133.6	116	4	18
3.01~3.80	133.6	112.5	4	18

注：钢丝在等于其直径的芯杆上紧密地缠绕 8 圈，不得断裂。

(三)镀锌钢丝的锌层质量

应符合表 2-3 规定。

二、镀铝钢丝

(一)镀铝钢丝基体的化学成分

应符合下表要求：

元素	碳	锰	磷(最大)	硫(最大)	硅
成分(%)	0.5~0.95	0.5~1.30	0.040	0.050	0.10~0.30

表 2-3 镀锌钢丝锌层性能要求

钢丝直径 (mm)	锌镀层质量 (g/m ²)不小于	硫酸铜浸置次数 (每 60s 一次) 不小于	锌镀层牢固性	
			芯杆直径为钢 丝直径的倍数	圈数
1.25~1.50	183	2	4	8
1.51~1.75	198	2		
1.76~2.25	214	2 1/2		
2.26~2.75	229	3		
2.76~3.50	244	3 1/2	5	
3.51~3.80	259	4		

(二)供镀铝用的铝锭或铝料杂质最大极限值
铜为 0.01%，铁为 0.50%。

(三)镀铝钢丝抗拉强度

应符合表 2-4 规定。

表 2-4 镀铝钢丝抗拉强度要求

标称直径 (mm)	1%伸长应力 (MPa)不小于	极限抗拉强度 (MPa)不小于	标距 254mm 时的极限 伸长率(%)不小于
1.270~2.283	1170	1280	3.0
2.286~3.045	1100	1240	3.5
3.048~3.515	1030	1210	4.0
3.785~4.826	930	1140	4.0

(四)镀铝钢丝铝镀层

应符合表 2-5 规定。

(五) 镀层附着性

镀铝钢丝应以不超过 15 圈/min 的速度, 按表 2-6 附着性试验用圆棒尺寸, 在规定直径圆柱形钢棒上紧密地螺旋状卷绕, 而铝镀层应无裂纹或剥落 (用裸手指不能擦掉铝镀层为准)。

表 2-5 铝镀层的最小质量

镀铝钢丝标称直径 (mm)	镀铝钢丝表面的镀层质量 (g/m ²)
1.270~1.524	70
1.524~1.905	76
1.905~2.283	79
2.286~2.639	85
2.642~3.045	92
3.048~3.553	98
3.556~4.160	104
4.172~4.826	116

表 2-6 附着性试验用圆棒尺寸

标称直径 (mm)	圆棒直径与线径之比
1.270~2.283	3
2.286~3.553	4
3.556~4.826	5

注: 附着性试验过程中, 镀铝钢丝的表面由于机械摩擦所形成的表面小铝颗粒的脱落, 不应视为不合格。

(六) 尺寸和公差

镀铝钢丝在互相垂直方向测得的两个精确尺寸的平均值, 规定值之间的偏差应不超过表 2-7 所规定的线径公差。

(七) 表面质量

镀铝钢丝表面应无裂纹, 无裂片, 无氧化皮, 镀层厚度均匀、光滑, 没有与良好工业品不相称的其它缺陷。

表 2-7 镀铝钢丝的线径公差

镀铝钢丝标称直径 (mm)	允许偏差 (mm)	
	正	负
1.905 以下	0.051	0.025
1.950~3.045	0.076	0.051
3.048~3.553	0.076	0.051
3.556 及以下	0.102	0.076

三、电工圆铝线

铝绞线、钢芯铝绞线和电缆线芯用圆铝线, 应符合 GB 3955—83《电工圆铝线》标准中 H9 状态的 Ly9 型硬铝线的规定。

(一) 尺寸偏差

圆铝线垂直于轴线的同一截面上测得最大和最小直径之差, 应不超过标称直径偏差的绝对值, 并符合表 2-8 圆铝线的线径偏差规定。

表 2-8 圆铝线的线径偏差

标称直径 (mm)	允许偏差 (mm)
2.49 及以下	±0.025
2.50~4.60	±1% d

(二) 力学性能

圆铝线的力学性能应符合表 2-9 规定。

卷绕试样在等于自身直径的圆棒上紧密卷绕 8 圈, 退绕

6圈之后,重新紧密卷绕,用正常目力检查,铝线应不断,但允许铝线表面有轻微裂纹。

表 2-9 圆铝线的力学性能

标称直径 (mm)	抗拉强度 (N/mm ²) 不小于
1.25	200
1.26~1.50	193
1.51~1.75	188
1.76~2.00	184
2.01~2.25	180
2.26~2.50	176
2.51~2.75	173
2.76~3.00	169
3.01~3.25	166
3.26~3.50	164
3.51~3.75	162
3.76~4.25	160
4.26~5.00	159

注:电阻温度系数:0.004031/°C

(三) 电性能

圆铝线的电性能在 20°C 时应不大于 0.02826Ωmm²/m

(四) 外观

圆铝线表面应光洁,不得有与良好工业产品不相称的任何缺陷。

四、圆铝合金线

(一) 圆铝合金线型号

热处理铝镁硅合金圆线为 LH_A, 热处理铝镁硅稀土合金线为 LH_B。

(二) 合金元素成分

热处理铝镁硅合金圆线含镁约 0.6%, 硅约 0.6%。热处理铝镁稀土合金圆线含镁约 0.6%, 硅约 0.6%, 稀土约 0.1%。

(三) 尺寸偏差

铝合金圆线标称直径的偏差和 f 值应符合表 2-10 规定。

表 2-10 铝合金圆线的偏差和 f 值

标称直径 (mm)	偏差 (mm)	f 值 (mm) 不大于
d < 2.50	±0.025	0.025
d ≥ 2.50	±1% d	1% d

(四) 机械性能

铝合金圆线, φ1.33mm~φ4.60mm 抗拉强度不小于 294N/mm², 断裂伸长率不小于 4%。

(五) 电性能

铝合金圆线在 20°C 时的电阻率应不大于 0.0328Ω·mm²/m;

五、圆铜线

(一) 圆铜线型号

软圆铜线型号为 TR, 硬圆铜线型号为 TY, 特硬圆铜线型号为 TYT。

(二) 尺寸偏差

圆铜线标称直径的允许偏差应符合表 2-11 规定。圆铜线垂直于轴线的同一截面上测得的最大和最小直径之差, 应不超过标称直径偏差的绝对值。

表 2-11 圆铜线的线径偏差

标称直径(mm)	允许偏差(mm)
0.020~0.025	+0.002
0.026~0.125	±0.003
0.126~0.400	±0.004
0.401~6.00	±1% d

表 2-12 圆铜线的力学性能

标称直径 (mm)	TR 型	TY 型		TYT 型	
	伸长率 (%)	抗拉强度 (N/mm ²)	伸长率 (%)	抗拉强度 (N/mm ²)	伸长率 (%)
	不 小 于				
1.03	25	411	0.5	—	—
1.12	25	410	0.5	—	—
1.22	25	409	0.5	—	—
1.31	25	408	0.6	—	—
1.41	25	407	0.6	—	—
1.50	25	406	0.6	446	0.6
1.56	25	405	0.6	445	0.6
1.60	25	404	0.6	445	0.6
1.70	25	403	0.6	444	0.6
1.76	25	403	0.7	443	0.7
1.83	25	402	0.7	442	0.7
2.00	25	400	0.7	440	0.7
2.12	25	399	0.7	439	0.7
2.24	25	398	0.8	438	0.8
2.36	25	396	0.8	436	0.8
2.50	25	395	0.8	435	0.8
2.62	25	393	0.9	434	0.9
2.65	25	393	0.9	433	0.9
2.80	25	391	0.9	432	0.9
2.85	25	391	0.9	431	0.9
3.00	25	389	1.0	430	1.0
3.15	30	388	1.0	428	1.0
3.35	30	386	1.0	426	1.0
3.55	30	383	1.1	423	1.1
4.00	30	379	1.2	419	1.2
4.25	30	376	1.3	416	1.3
4.50	30	373	1.3	413	1.3
4.75	30	370	1.4	411	1.4
5.00	30	368	1.4	408	1.4

注：标称直径值介于表中所列相邻两个数值之间时，采用较大标称直径值的相应性能。

(三)力学性能

圆铜线的力学性能应符合表 2-12 规定。

(四)电性能

圆铜线的电阻率应符合表 2-13 规定。

计算时，20℃时的铜线密度为 8.98g/cm³，线膨胀系数为 0.000017/℃，电阻温度系数 TR 型为 0.003931/℃ TY、TYT 型标称直径 2.00mm 及以上为 0.003811/℃，标称直径 2.00mm 以下为 0.003771/℃。

(五)外观

圆铜线表面应光洁，不得有与良好工业产品不相称的任何缺陷。

表 2-13 圆铜线电阻率

型 号	电阻率 $\rho_{20\Omega} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 不大于	
	2.00mm 以下	2.00mm 及以上
TR	0.017241	0.017241
TY、TYT	0.01796	0.01777

第三节 防 腐 剂

防腐钢芯铝绞线所用的防腐剂，由光亮油或低压电缆油、天然橡胶、聚异丁烯(B₁₅)、地腊(80°)、氧化锌、云母粉、石棉粉、乙炔炭黑、防老剂和加强剂等组成。一般情况下，光亮油占 60% 左右，它的作用是增加防腐剂的粘附性能；聚异丁烯对酸、碱、盐溶液和氧及溴氧有很好的耐蚀能力，但它的防老化能力不好，因此在防腐剂中加有防老剂。

(常用防老剂丁); 加强剂有炭黑、氧化锌、石棉粉等, 炭黑还起提高防腐剂滴点的作用。氧化锌的作用是和高聚物的游离脂肪酸, 生成锌盐, 提高防腐剂的不透水性; 云母粉能增加耐化学药品性的功能。

防腐剂的防腐性能

防腐剂应符合表 2-14 指标要求, 具有较好的涂敷工艺性能、粘附性能和成膜性能。

二、防腐剂的加工过程

(一) 母片

表 2-14 防腐剂各项性能要求

项 目	单 位	指 标
滴点	°C	> 200
粘附性	%	> 95
耐流痕	110°C 两周	不滴
耐寒性	-5°C 30min	不裂
老化	150°C 两周	弯曲不裂
水溶性	80°C 72h	< 1
吸湿性	40°C % 48h	< 1
盐雾	°C 两周	不腐蚀

一定温度下, 在开放式混炼机上(或可行), 素炼数分钟, 再加入防老剂丁, 数分钟后加入切成小块的地腊, 素炼均匀后, 切片造粒。

(二) 涂料配制

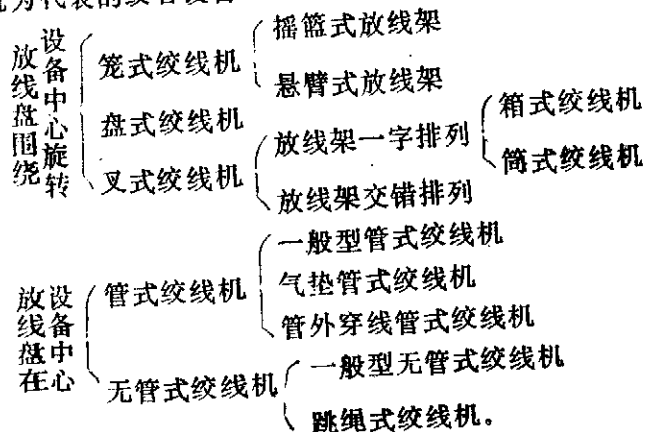
按配方的顺序, 先取一定量的光亮油, 加入母片, 逐渐加温, 温度达到 120~130°C 时开始恒温搅拌, 数小时后再加入炭黑、氧化锌、石棉粉、云母粉, 待料混合均匀后出罐。

第三章 绞合设备

第一节 绞合设备种类及基本结构

一、绞合设备种类

绞线机的种类很多, 从结构上分有笼式、盘式、叉式、管式、筒式、无管式和跳绳式等绞线机; 从绞合根数上分有 7、12、18、24……54 盘等绞线机; 从放线盘直径大小分有 200、400、500、560 和 600 型绞线机; 还可从有无退扭、传动方式、转数快慢等方面划分为不同类型的绞合设备。归纳起来绞合设备基本类型为两大类: 一类是放线盘围绕设备中心旋转的, 以笼式绞线机为代表的绞合设备; 另一类是放线盘在设备的中心, 而使单线围绕设备中心旋转, 以管式绞线机为代表的绞合设备。各类绞合设备分类如下:



盘式绞线机与叉式绞线机是不退扭的；笼式、管式与无管式绞线机都是退扭的。

绞合设备按绞合产品层数和每层根数分，有一段、二段、三段、四段等，每段旋转方向是互不相同的，使绞合成的绞线各层绞向相反。绞合设备一般都是卧式安排的，因此占地都相当长，当然有些小型绞合设备也可采用立式。

二、绞合设备基本结构

绞合设备既然有不同段、不同盘数、不同放线盘直径，因此绞线机名称常把这几个因素表示出来。例如二段笼式绞线机，第一段有12个放线盘，第二段有18个放线盘，放线盘直径是400mm，这部绞线机就称为12+18盘400型二段笼式绞线机。管式绞线机一般都是一段的，例如6盘400mm直径放线盘的管式绞线机，就称为6盘400型管式绞线机。

绞合设备主要组成部分有：

放线部分：这部分是绞合设备的主体，放线盘数目多，占设备整体的大部分。

牵引装置：是绞合设备的拖动部分，有单牵引和双牵引两种型式，现在大多采用双牵引。

收线装置：有单独拖动的力矩电机收线，也有机械传动的收线和滑车式收线。

拖动系统：系指用电动机来带动机械运动的系统。

此外，还有定长计米器，电气、液压、气压控制装置和分线板、压模、压型、预扭、绕包、自动停车等装置。

在研究绞合设备时，重点应放在绞线机的放线部分，同时也应对绞合设备的其它部分有较完整的了解，图3-1为—

图3-1 笼式绞线机的结构简图。

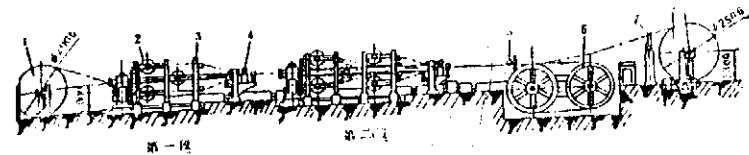


图3-1 笼式绞线机结构简图

1—中心单线放线盘 2—笼内放线盘 3—绞笼 4—并线模
5—计米器 6—牵引轮 7—排线装置 8—收线盘

绞线机生产的绞线规格比较大，绞合时除中心一根单线外，其余单线的放线盘都放在放线部分，通过它的旋转使单线围绕中心单线形成绞层。根据绞线的层数和每层单线根数，一般绞线机设有几个分别旋转的放线部分，使之制成各层绞向不同的绞线，这对生产同心层绞的绞合产品尤为合适。

第二节 绞线机的放线部分

放线部分是绞线机的主体，放线盘围绕设备中心旋转的绞合设备有笼式、盘式和叉式各类绞线机。管式和无管式绞线机的放线盘是安装在设备中心，而把单线引出来围绕中心单线旋转，所以设备旋转力矩要比前一类小得多，转动速度可以大大加快。习惯上把前一类称为低速绞线机，后者称为高速绞线机。绞线机出线速度取决于放线部分。

一、笼式绞线机的放线部分

笼式绞线机的放线部分是一种笼形的结构件，通称绞笼。它由中央空心轴、绞笼大圈、回转圈、放线架等组成。根据需要可分别组成6盘、12盘、18盘、24盘等绞笼。由于每个绞笼可以作任一方向的转动，因而可以绞成各层不同绞向的绞线，也可使各绞笼在同一方向并同步旋转运动，可以绞合更多根数的绞层。绞笼需要旋转，各单线由绞笼中放出，因绞笼大圈直径大，轴承支撑不能解决，故采用支撑轮托起办法。但在空心轴的端部，在不妨碍单线放线的地方还是可以采用一般轴承，这样可以使绞笼稳定旋转。

笼式绞线机的放线架，常见的筐形线架，通称线框。这种放线架比较简单，既能容纳线盘，又对绞笼起结构性作用。

笼式绞线机是可以使单线退扭的，因为在绞笼侧面有一套退扭机构，但如把放线架固定在绞笼的大圈上，绞合出的绞线就是不退扭的，最好采用齿轮退扭。

构成退扭条件，可以采用齿轮连接办法。这种方法比较复杂，但却可以达到完全退扭或不完全退扭的目的，如图3-2所示。图中 Z_1 是固定在放线架轴端的齿轮， Z_3 是固定在空心轴轴承上的齿轮，其间用齿轮 Z_2 连接。由于 Z_3 不作旋转，当 Z_1 和 Z_3 的齿数相同时， Z_1 就经常保持固定的方位，使单线达到退扭。齿轮 Z_2 仅起到“过桥”作用，不影响 Z_1 和 Z_3 的转数关系。齿轮的齿数必须是奇数，否则 Z_1 的转向不对。

为使绞笼上的放线盘在旋转中保持水平，达到完全退扭，在绞笼转数不高时，可以利用放线架和放线盘的重力作

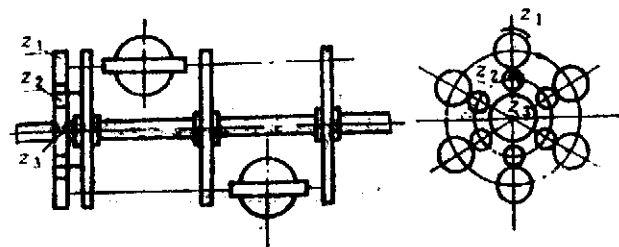


图 3-2 齿轮传动退扭

用，造成放线架的重心在放线架轴线以下，但这种方法不可靠。

退扭机构一般只在绞笼的一端，在一段绞笼中，要使退扭运动可以传递到每个放线架上还要利用中间过渡齿轮，并利用放线架两端固定的齿轮来传递退扭运动。

二、框式及叉式绞线机的放线部分

框式绞线机及叉式绞线机的放线部分与笼式绞线机的绞笼相似，但构不成笼状。框式绞线机的线盘是采用顶尖夹紧，一排固定顶尖及相对应的一排活动顶尖等分的装在空心轴上的两圆盘之间。叉式绞线机的各个放线架紧固在空心轴上。两者放线部分都比较简单，但不能进行退扭。其中叉式绞线机的放线架距中心轴很近，转动惯性小，离心力也小，因而叉式绞线机的速度可以提高很多。

框式、叉式绞线机可以分成若干段，各有不同旋转方向以实现各绞层的不同绞向，也可使各段同方向同步转动，绞合更多根数的绞层。

叉式绞线机因其放线架像叉子一样紧固在空心轴上而得

名，又因其放线架在空心轴上辐射出来，如同星斗，故可称为星式绞线机。

叉式绞线机的放线架有各种不同的固定方法，有垂直于中心轴面上而又等分的放置三个或四个放线架，这种放线架是互相交错地排列。另一种是把各个放线架一字排列在空心轴上，它虽然更换线盘较方便，但占地面积大。

放线盘一字排列的叉式放线部分也是做成6、12、18、24盘等单段，有的用圆筒围在放线架外面，这就是箱式绞线机。各种叉式绞线机的放线架也可做成悬臂式。

三、管式及无管式绞线机的放线部分

(一)管式绞线机放线部分

管式绞线机放线部分的外形是个管筒，一般称为管体或筒体。管式绞线机一般都只有一个管体，放线盘数有6、8、12、18个等。管式绞线机的放线盘和笼式绞线机一样，有200、400、500mm等不同盘径。图3-3是管式绞线机结构简图。

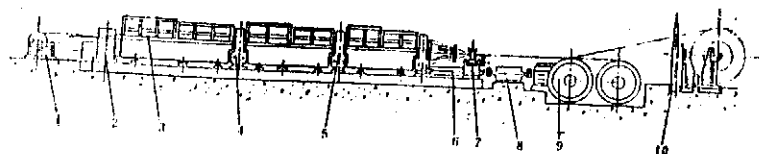


图 3-3 管式绞线机结构简图

- 1—放线架 2—车头箱 3—防护罩 4—托轮 5—制动器
6—传动轴 7—线模座 8—牵引牙箱 9—牵引轮 10—收排线架

管式绞线机与笼式绞线机各有特点：

1. 从生产范围看，笼式绞线机大，放线盘可以放得比较多，一次可以绞成多根数的绞线。管式绞线机最多只能做6+12+18根层，而且需分多次绞合。

2. 从速度上看，笼式绞线机由于放线盘放在中心轴的四周，离心力较大，速度不能太高，一般每分钟只有几十转，最高也只有250转左右。管式绞线机由于放线盘放在中心轴线上，由管体带着单线转动，离心力小，而且分布均匀，转数高，有的可达每分钟数千转。

3. 从占地面积看，笼式绞线机几个放线盘放在一个垂直于主轴的平面上；管式绞线机的放线盘一字排列。两种绞线机在同样数目、同样大小放线盘的情况下，虽然管式绞线机占地长，但宽度小，高度也不大。

4. 从绞线质量看，笼式绞线机的单线直接引向压模，中间所受应力较小。管式绞线机单线是沿管体通过的，受一定的扭转，质量不如笼式绞线机好。图3-4是管式绞线机单线在管体内通过的示意图。

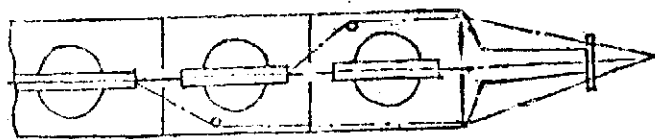


图 3-4 单线通过管绞机示意图

(二)无管式绞线机

管式绞线机管体动态平衡非常重要。为了减轻管体的重量，减小转动惯性，有的放线部分去掉管体而在每个支撑处

加以同步拖动，这种类型的称无管式绞线机，它的转速较管式绞线机高。

无管式绞线机也有不同型式。单线跨过其它线盘时，没有任何支撑的无管式绞线机放线部分见图 3-5。放线部分的

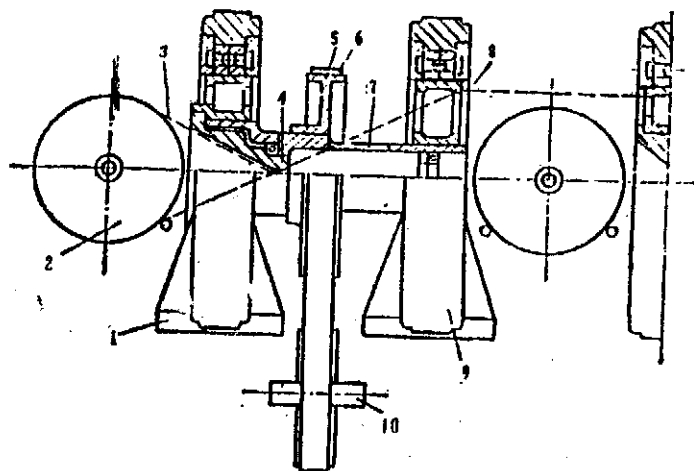


图 3-5 无管式绞线放线部分的段

1—底座 2—放线盘 3—单线 4—穿线孔 5—齿形皮带
6—齿形皮带 7—回转体 8—法兰 9—支架 10—主传动轴

转数由主传动轴传动，并要保证各个传动部分回转体的同步转动，各线盘位于两回转体的中间，单线的穿线与管式绞线机相似。如果把单线从中心孔通过摇杆而不是悬空，则容易控制单线的走向，这样设计的称为跳绳式无管绞线机，如图 3-6 所示。

管式绞线机线盘上下都得从管体窗口放入和取出，无管式绞线机也是如此，但不受管体窗口位置限制，上下线盘要

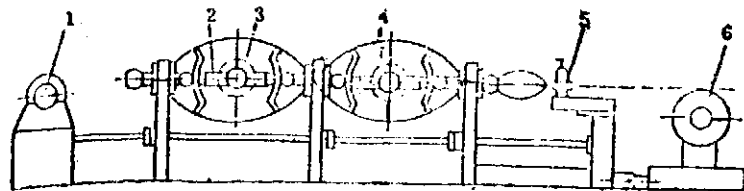


图 3-6 跳绳式无管绞线机

1—中心放线 2—摇篮 3—放线盘 4—摇杆 5—并线模 6—牵引轮

方便得多。管式绞线机从穿线形式上还可区分两种，一种是管内穿线，一种是管外穿线，图 3-7 是管外穿线式管绞机，

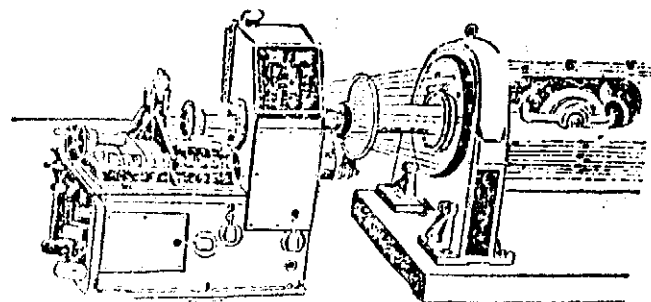


图 3-7 管外穿线式管绞机

它可以缩小管体的尺寸，减小转动惯性，提高管体的转数。

第三节 绞线机的牵引及收排线装置

一、牵引装置

牵引装置的主要作用是绞线机的拖动部分，是使绞线机构成绞合条件之一的直线运动。牵引装置有圆形牵引轮和履

带式牵引装置两种。前者结构简单，在绞线机上用得最普遍，后者在绞线机上的应用很少。牵引轮有以下两种形式

(一)单牵引轮

这是常见的一种形式，如图 3-8 所示。

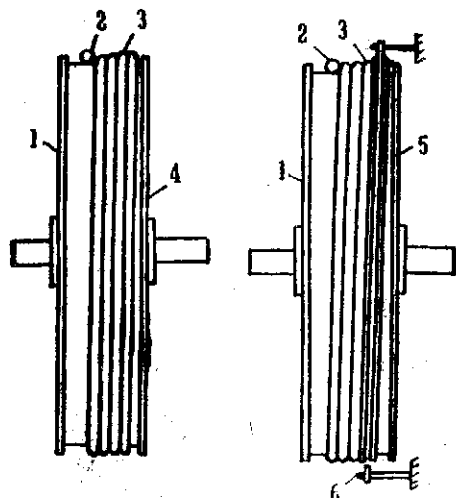


图 3-8 单牵引轮

1-牵引轮 2-绞线 3-引出绞线 4-分线板 5-分线环 6-导向轮

它包括有牵引轮、分线设施及传动部份。一般单牵引轮象皮带轮一样，有的将轮面做成有微小斜度。牵引轮的分线板或分线环是一种拨线设施，使后面绕到轮面上的绞线不先绕在轮面上的重叠。一般牵引轮直径约为绞线的 15~40 倍，当然倍数越大越好。牵引轮外径有 800、1200、1500、2000mm 等多种。单牵引不论是采用分线板或是分线环，迫使绞线在轮面上平移，不可避免的产生绞线与轮面间有摩擦，对于绞线质量、圆整性和绞合性能都不利，鉴于上述

牵引轮的缺点，现在大多采用双牵引轮。

(二)双牵引轮

双牵引轮外径与单牵引轮大多都一样，它一般都是两个轮外径一样大，也有一大一小的。双牵引轮有的两个轮都有动力，有的一个有动力，一个无动力。图 3-9 是双牵引轮示意图。

双牵引轮一般都有 4~8 个槽，这样在一个轮面上的绞线互不挤压，在槽内又有很好的接触。与单牵引轮相比，具有分线可靠，不伤害绞线表面，对绞线圆整度、绞合性能影响极小，但双牵引轮占地面积大，传动也比单牵引轮麻烦。

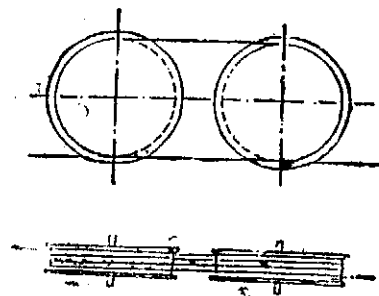


图 3-9 双牵引轮

二、收排线装置

(一)收线装置

绞线机的收线盘比放线盘大得多，直径一般在 400~2000 mm。所以收线架的大小，要适应收线盘的直径。收线盘本身就较重，绕满线后更重，由于装卸比较困难，所以收线架都设计有上下盘的装置，一般都采用机械办法，用螺杆带动支撑螺母使线盘升降，螺杆转动一般都采用专用电机拖动。

(二)排线装置

不同规格绞线外径也不同，要想使绞线平整、有序地绕在收线盘里，使它既不重叠，又不留空隙，保证绞线质量，

充分利用线盘容量，排线就是一个重要问题。

排线装置包括传动系统和排线宽度调节系统。为使收线盘中心轴平行做排线运动，一般由收线架的传动系统带动，经排线宽度调节装置传到排线杆，然后通过排线杆上的导轮将绞线引到收线盘里。

排线装置调节排线的宽度有两种方法：一种是采用螺杆（螺杆转数是分级的）调节，但排线宽度不能完全满足各种绞线外径的要求。另一种是采用光杆排线机构，它的排线宽度是无级的，适用性好。但传动的圆形滑环尺寸必须精确。

第四节 束 线 机

制造绞线或复合线芯，除采用绞合工艺外，还有一些产品，主要是小规格的软线芯和复绞线的股线常采用束合工艺。束合，也称束制，它与绞合工艺基本相同，但使用的束线机与绞线机不同。束线机的主体是收线部分，所以束线机的类型常以收线部分的不同形式而命名。

一、束线机分类

（一）按束线节距划分

有单节距束线机和双节距束线机两种。单节距束线机大多采用收线盘架转动的形式，双节距束线机大多采用浮动收线盘，利用回转体转动造成束线节距。

（二）按束线的头数划分

有单头束线机和多头束线机两种。

（三）按设备布置划分

有立式、卧式两种。

（四）按收线盘直径大小划分

有 200、315、400 型或更大直径收线盘。从目前应用和发展上看，立式和单节距束线机已不多见，因为立式束线机只束较细的单线，设备重心较高，设备基础不稳固，转速也低，但占地面积小。单节距束线机转动惯性很大，转速较低，生产效率要比双节距束线机在同样条件下低一倍，并无推广价值。因此，目前应用的束线机大都采用是单头、双节距、回转体转动的卧式束线设备。图 3-10 是双节距束线机示意图。

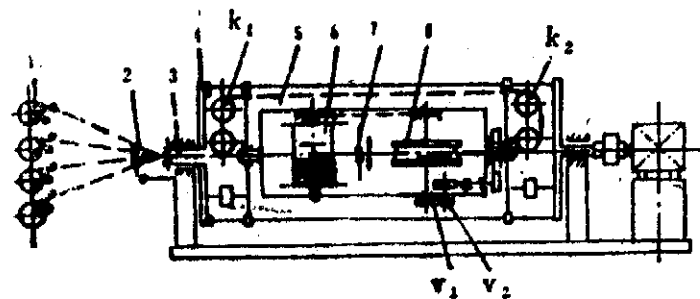


图 3-10 双节距束线机示意图

1—放线盘 2—分线板 3—空心轴 4—摇臂 5—摇盘
6—收线盘 7—排线杆 8—牵引轮

二、双节距束线机

（一）放线部分

单线常采用从放线架上各放线盘直接拉出的办法，放线盘支撑在轴承上，放线盘愈轻，轴承愈灵活，放线就比较容

易。高速束线机的放线，又常采用从放线盘顶部抽出来的办法，即越端式放线法。越端式放线，是线盘静止不动，单线从放线盘顶端放出，单线成螺旋状甩出。为避免单线和线盘的边缘摩擦，可以用滑环机构和拨杆调节。

(二)收线部分

双节距束线机的收线盘在摇篮内有纵向放置和横向放置两种。线盘纵向放置时，束线直接通过牵引轮和排线杆收绕到线盘。束线行程及转折较少，但上下线盘不方便。线盘横向放置时，收线盘中心轴和设备主轴重合或互相平行。好处是上下线盘较为方便，但束线需在排线杆上转折后再绕到收线盘上。

双节距束线机的特点是转动速度快、生产效率高。目前最先进的束线机回转体最高转数可达 3600r/min 每分钟可束制 7200 个节距。

双节距束线机收线部分的主要部件有回转体，牵引及排线、收线等装置。

1. 回转体：以摇篮作为回转体的单节距束线机，因摇篮较重，相对的转数就不能太高。在双节距束线机中，摇篮是浮在机架中，束线的节距是利用杆形回转体产生的，重量轻，旋转惯性小，因此，便可使其转速提高。

常见的双节距束线机的回转体转速每分钟可达 2000~3600 转，其结构如图 3-11。

回转弓式和导线管式回转体都需从两侧传动，而且转速须完全同步，因而传动机构较为复杂。图 3-12 是这类束线机的传动图。

2. 牵引及排线、收线装置：双节距束线机的牵引、排

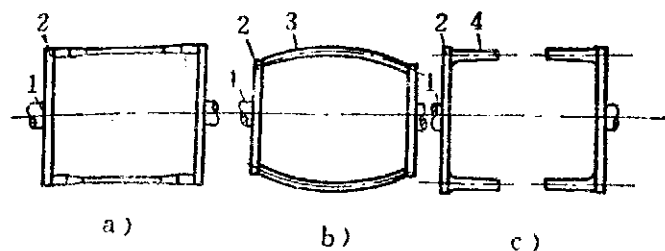


图 3-11 双节距回转体形式

a 摇杆式 b 回转弓式 c 导线管式
1—气轴 2—摇臂 3—回转弓 4—导线管

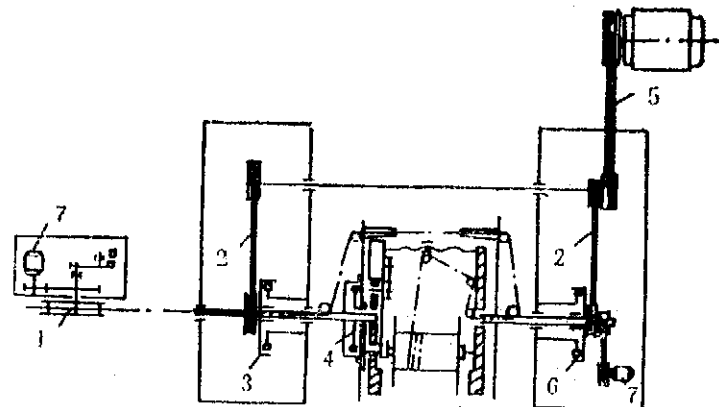


图 3-12 头节距束线机的一种传动方式

1—计米器 2—齿形皮带 3、6—涡流制动器电磁
4—滑动离合器 5—拖动皮带 7—测速电机

线及收线机构，常放在浮动的摇篮里，要求愈紧凑愈好，以便缩小整个收线部分的尺寸，为提高回转体的转速创造条件。

件。

收线盘的支撑，大多采用无轴的顶针式，以利于上下线盘的机械化和自动化。

排线机构和绞线机的方法相同，有螺杆和光杆两种。单向或反正螺纹作排线杆时，需要有变换排线节距的设施。为了保证转速，各部件力求小巧而紧凑。光杆排线在改变节距时不需复杂的传动机构，有利于缩小体积。

束线节距的长度，取决于束线牵引线速与回转体的转速。回转体的转速是固定的，在用机械牵引时，摇篮就必须设置有改变牵引轮转速的变换齿轮，这样摇篮和束线机的体积也将增大，生产效率受到一定影响。牵引装置也有利用测速电机和电磁滑差离合器作为束线节距长度调整系统，不必在摇篮中放置牵引轮及变速装置。

图 3-13 为爪式电磁滑差离合器。

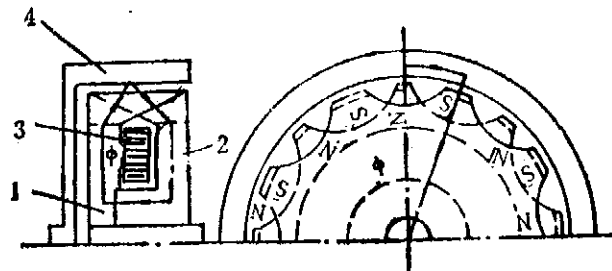


图 3-13 爪式电磁滑差离合器

1、2—左右磁极 3—励磁线圈 4—外电极

采用电磁滑差离合器保持束线节距长度的控制原理如图 3-14 所示。

电磁滑差离合器装在收线盘之前，在计米装置和左侧机

架内都装有测速发电机。束制前先按束线节距要求给以长度信号；在束制过程中，如束线的节距长度出现变化，调整节距的输出信号就反馈到励磁线圈，自动控制束线节距长度不变，可以无级调整束线节距长度。

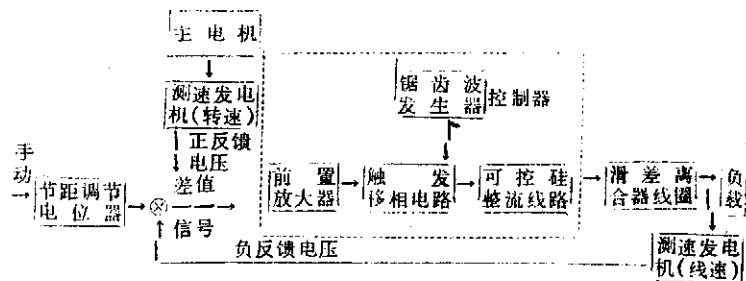


图 3-14 电磁滑差离合器控制原理图

第四章 绞线工艺

第一节 绞线工艺参数及绞合规律

绞合节距、绞入系数、绞合方向、绞合规律等是绞合工艺的主要参数。

一、绞合节距

单线沿绞线轴线旋转一周所前进的距离叫绞合节距，节距与直径之比叫节径比或节距倍数。

以正规同心式绞合为例，绞线节距、外径和一个节距内单线的展开长度之间有如图4-1、4-2所示的关系。

由图4-1 可得出绞线节距计算公式如下：

$$h = L \sin \alpha = \pi D' \operatorname{tg} \alpha$$

$$L = \sqrt{(\pi D')^2 + h^2}$$

式中 h ——绞线节距长度；

L ——一个节距内的单线展开长度；

D' ——节圆外径， $D' = D - d$ ；

D ——绞线外径；

d ——单线外径；

α ——螺旋升角。

由图4-2 中看出，每根单线在绞线中呈螺旋形排列，因此，从绞线的横断面看，每个单线的截面不是正圆，而呈椭圆（一芯的芯线例外），其长轴为 d_1 ，与螺旋升角 α 和单线直径 d 有如下关系：

$$d_1 = \frac{d}{\sin \alpha}$$

图4-1 线芯的扭绞单丝展开图

图4-2 绞线中单线形成的螺旋线

圆形（一芯的芯线例外），其长轴为 d_1 ，与螺旋升角 α 和单线直径 d 有如下关系：

（一）绞线节距的测量

测量绞线节距用长度大于节距的纸绷紧在绞线上，用铅笔沿绞线轴平划过去，可得到一组印痕。印痕的数目应多于

测量层单线根数：在其中之一的中点做一标记，从与它相邻的一个开始编号，当编号数等于测量层的单线根数时，在最后编号的印痕中点也做一标记，测量两个标记中间的距离，这就是该层的绞线节距，见图4-3。

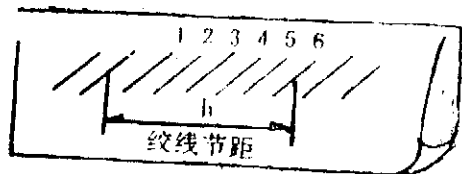


图4-3 1+6组合形式正规同心式绞合节距的测量方法

(二) 绞线节径比

节径比是绞线节距长度与绞线外径的比值，称实用节径比。

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

用绞线的节距和绞线的节圆直径表示，即节距与绞线节径之比，称理论节径比

$$m' = \frac{h}{D'} = \frac{n}{D-d}$$

实用节距比和理论节径比的关系是：

$$m' = m \frac{D}{D-d} = m \frac{\frac{D}{d}}{\frac{D}{d} - 1}$$

从图4-3可以看出，螺旋升角 α 和绞线的节距有关：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\pi(D-d)} = \frac{m'(D-d)}{\pi(D-d)} = \frac{m'}{\pi}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\pi}{m'}$$

$$\text{节径比和升角的关系: } m = \frac{\pi D'}{D} \operatorname{tg} \alpha$$

从上面的分析过程可看出，节径比是绞线的一个重要参数，它的大小同绞线的质量和绞线过程有很重要的关系：

(1) 节径比小，绞线就比较柔软，绞合紧密，生产效率低。由于绞入率增加，材料消耗增大，绞线单位重量也增大。同时，降低了绞线的导电率。因为电流主要是沿单线流通的，特别是当单线表面电阻大时，影响更大。另外，我们已经知道单线在绞线横断面上不是正圆。它的长轴随节距倍数的增大而加大，如果节距比倍数过小，会造成个别单线拱起，破坏绞线的圆整性和稳定性。

(2) 当节径比倍数过大时，制造和使用容易松股，使绞合不紧密，但是避免了节距过小造成的缺点。因此，绞线节径比倍数的确定，要综合考虑绞线的柔软性、生产效率、导电率、结构的规则性和稳定性来确定，绞线的节径比倍数在相应的产品标准中各有规定，内层的节距倍数大于外层。

图4-1中是， L 是一个节距内单线的展开长度。

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\pi^2(D-d)^2 + m'^2(D-d)^2} \\ &= h \sqrt{\frac{\pi^2}{m'^2} + 1} \\ &\approx h \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\pi^2}{m'^2} \right) \end{aligned}$$

$$= h \left(1 + \frac{1}{2} \operatorname{ctg}^2 \alpha \right)$$

即单线的展开长度比节距增加了 $\Delta L = L - h$

$$\Delta L = h \frac{\pi^2}{2m^{1/2}} = h \frac{1}{2} \operatorname{ctg}^2 \alpha$$

$$\text{公式: } m = \frac{h}{D}$$

式中 m ——节径比;

h ——绞线节距长度;

D ——绞线外径。

利用公式可计算绞合线的各绞层的节径比。我国绞线节径比如表4-1、表4-2、表4-3。

表 4-1 铜芯铝绞线节径比

材 料	结 构	节 距 比 (倍)
铜 芯	6 股	13~28
	12 股	10~24
铝 芯	内 层	10~17
	邻 外 层	10~16
	外 层	10~14

绞合节距是由线速度、绞笼转速决定的,若要满足制品节径要求,则绞线机、单节距束线机应符合:

$$h = \frac{v}{n_k} \times 1000(\text{mm})$$

双节距束线机应符合

表 4-2 铝绞线节径比

绞线中单 线根数	节 径 比 (倍)			
	6 股	12 股	18 股	24 股
7	10~14	—	—	—
19	10~16	10~14	—	—
37	10~17	10~16	10~14	—
61	10~17	10~16	10~15	10~14

表 4-3 电气装备电线电缆铜、铝导电线芯节径比

类	一次绞 束线芯	绞 线		
		股 线	内 层	外 层
	节 径 比 不 大 于 (倍)			
1	—	—	—	—
2	—	—	40	20
3	25	30	20	14
4	25	30	20	14

$$h = \frac{v}{2n_k} \times 1000(\text{mm})$$

式中 v ——出线速度(m/min);

n_k ——绞线机放线部分或束线机收线部分的转数(r/min);

牵引装置如为牵引轮时,其线速度公式为:

$$v = \frac{\pi D_a n_a}{1000} (\text{m/min})$$

式中 D_a ——牵引轮直径(mm);

n_a ——牵引轮转速(r/min)。

由此得知线速度固定时, 绞笼转速快, 绞合节距小; 绞笼转速慢, 绞合节距大, 即绞线机牵引速度恒定, 节距与绞笼转速成反比。如果绞笼转速固定时, 绞合节距大, 线速度快; 绞合节距小, 线速度慢, 即绞笼转速不变时, 线速度与绞合节距成正比。如果绞合节距固定时, 要求线速度快, 绞笼转速就必须加快。

(三) 束线节距

利用机械传动的束线机, 构成不同的束线节距长度, 最简单的办法, 就是采用配换齿轮。采用齿轮箱变换不同节距长度, 原理也是相同的。

1. 小型双节距束线机: 100 型及 200 型束线机采用变换齿轮调整束线节距长度时, 其传动系统如图 4-4 所示。

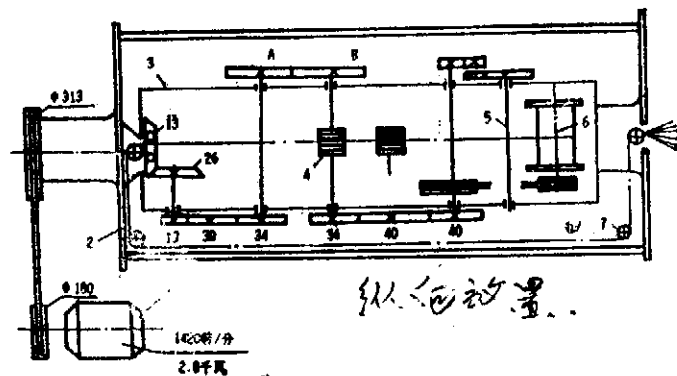


图 4-4 小型双节距束线机的传动系统

1—电机 2—回转头 3—摇篮 4—牵引轮 5—排线杆 6—收线盘 7—联轴器

小型双节距束线机传动系统其电机转速为每分钟 1420 转, 通过速比为 180/313 的一对皮带轮传动束线机的回转体, 回转体又经速比为 13/26、13/34 的固定齿轮及一对节距变换齿轮 A/B, 使直径 80mm 的牵引轮旋转。所以, 该束线机的绞合节距长度计算如下:

第一步计算回转体的转速 n_k

$$n_k = 1420 \times \frac{180}{313} = 816.7 \text{ r/min}$$

第二步计算牵引轮的线速度 v

$$v = \frac{\pi D_a n_a}{1000} \text{ (米/分)}$$

$$\text{因为 } n_2 = 816.7 \times \frac{13}{26} \times \frac{13}{34} \times \frac{A}{B}$$

$$= 156.1 \times \frac{A}{B} \text{ (r/min)}$$

$$\text{所以 } v = \frac{80\pi}{1000} \cdot 156.1 \times \frac{A}{B}$$

$$= 39.2 \times \frac{A}{B} \text{ (m/min)}$$

第三步计算设备的绞合长度 h

双节距束线机的回转体每转一周, 束线就得到两个节距, 束线机的绞合节距长度为:

$$h = \frac{v}{2n_k} \times 1000 \text{ (mm)}$$

$$= \frac{39.2 \times 1000}{2 \times 816.7} \times \frac{A}{B}$$

$$= 24.1 \times \frac{A}{B} \text{ (mm)}$$

该束线机的变换齿轮 A/B 共有二十七种速比，所以可得出相应的二十七种绞合节距长度，如表 4-4。

表 4-4 小型双节距束线机节距表

变换齿轮(齿数)		节距长度 (mm)	变换齿轮(齿数)		节距长度 (mm)
A	B		A	B	
49	23	51.0	35	37	22.8
48	24	48.0	34	38	21.5
47	25	45.1	33	39	20.2
46	26	42.4	32	40	19.2
45	27	40.0	31	41	18.1
44	28	37.7	30	42	17.1
43	29	35.6	29	43	16.2
42	30	33.7	28	44	15.3
41	31	31.7	27	45	14.4
40	32	30.0	26	46	13.6
39	33	28.4	25	47	12.7
38	34	26.9	24	48	12.0
37	35	25.2	23	49	11.3
36	36	24.0			

2. 315 型双节距束线机

315 型双节距束线机的传动系统由该机主传动轴传来的动力，分别传到回转弓及收线部分的变速齿轮箱。变速齿轮箱内可变换成 27 种速度，在箱外的变换齿轮又有 3 种速度变换，因此牵引轮可得 81 种不同的转速，也就是可构成 81 种束线节距长度，如图 4-5。现计算如下：

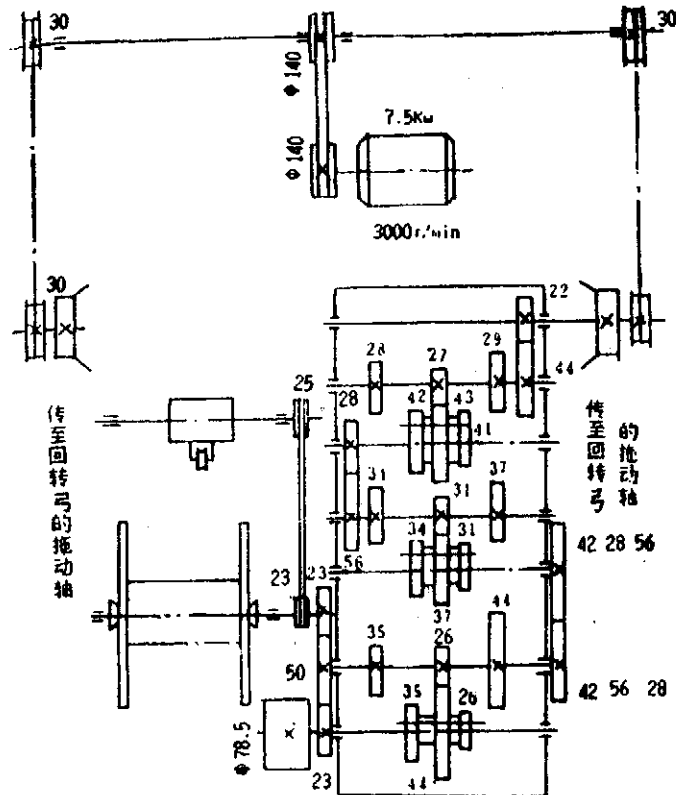


图 4-5 315 型双节距束线机传动系统

第一步计算回转弓的转速 n_k

$$n_k = 3000 \times \frac{140}{140} \times \frac{30}{30} = 3000 \text{ (r/min)}$$

第二步计算牵引轮的线速度 v

$$v = \frac{\pi D_k n_k}{1000} \text{ (m/min)}$$

因为

$$D_2 = 78.5(\text{mm})$$

$$n_2 = n_K i_2 = 3000 i_2 (\text{r/min})$$

式中 i_2 ——变速齿轮的一种传动速比。

$$\text{所以 } v = \frac{78.5\pi}{1000} \times 3000 i_2 = 739.47 i_2 (\text{m/min})$$

第三步计算设备的绞合节距长度 h

$$h = \frac{739.47 i_2}{2 \times 3000} \times 1000 = 123.24 i_2 (\text{mm})$$

由于有 81 种速比, 因此得出相应的 81 种绞合节距长度, 如表 4-5。

表 4-5 315 型双节距束线机节距表

变 换 三 联 齿 轮 齿 轮		不同速比时的节距长度(mm)								
		三 联 齿 轮								
		37/31			34/34			31/37		
		29/41	28/42	27/43	29/41	28/42	27/43	29/41	28/42	27/43
56/28	44/26	89.2	84.0	79.4	74.7	70.5	66.4	62.75	59.2	55.74
	35/35	52.75	49.75	46.8	44.2	41.7	39.3	37.1	35.0	33.0
	26/44	31.2	29.4	27.8	26.1	24.6	23.2	21.95	20.7	19.5
42/42	44/26	44.5	42.0	39.6	37.3	35.2	33.2	31.3	29.6	27.9
	35/35	26.3	24.9	23.4	22.1	20.8	19.6	18.5	17.5	16.5
	26/44	15.6	14.7	13.9	13.1	12.3	11.6	10.93	10.73	9.75
28/56	44/26	22.25	21.0	19.8	18.65	17.6	16.6	15.65	14.8	13.95
	35/35	13.2	12.4	11.7	11.05	10.4	9.84	9.28	8.75	8.26
	26/44	7.8	7.35	6.92	6.55	6.17	5.83	5.5	5.17	4.87

二、绞入系数

绞入系数是指绞线在一个绞合节距内, 单线实际长度与绞线节距长度之比。计算公式是:

$$K = \frac{L}{h}$$

式中 K ——绞入系数;

L ——绞线中每一节距长度的单线展开校直后的长度;

h ——绞线节距长度。

绞线中单线实际长度与绞线长度的关系, 也有采用绞入率来表示的。绞入率是指在一个节距内, 单线实际长度和绞线节距长度的差值与绞线节距长度之比。计算公式是:

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

式中 λ ——绞入率;

L ——单线展开长度;

h ——绞线长度。

升角、绞入率与理论节径比的关系见 表 4-6、表 4-7。

表 4-6 升角 α 、绞入率与理论节径比 m' 的相互关系

项目	扭角 α	理论绞入率 λ	节径比 m'	h/L'
扭角 α	1	$\sin^{-1} \frac{1}{\lambda + 1}$	$\tan^{-1} \frac{m'}{\pi}$	$\sin^{-1} \frac{h}{L}$
绞入率 λ	$\frac{1}{\sin \alpha} - 1$	1	$\frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{m'} \right)^2$	$\frac{L-h}{h}$
节径比 m'	$\pi \tan \alpha$	$\sqrt{\frac{\pi}{2\lambda}}$	1	$\frac{h}{D'}$

表 4-7 开角 α 、绞入率 k 与理论节径比 m' 的数值关系

m'	k	α	m'	k	α	m'	k	α
1	229.8	7°39'	12	3.37	75°20'	23	0.92	82°13'
2	86.2	32°30'	13	2.88	76°36'	24	0.86	83°33'
3	41.8	43°40'	14	2.48	77°22'	25	0.79	84°59'
4	27.5	51°50'	15	2.17	78°11'	26	0.73	85°6'
5	18.1	57°52'	16	1.91	78°54'	27	0.68	85°22'
6	12.9	62°22'	17	1.69	79°32'	28	0.63	85°36'
7	9.60	65°50'	18	1.51	80°6'	29	0.59	85°50'
8	7.44	68°35'	19	1.35	80°36'	30	0.54	86°11'
9	5.92	70°46'	20	1.23	81°4'	35	0.40	86°59'
10	4.82	72°34'	21	1.11	81°30'	40	0.30	86°36'
11	4.04	74°4'	22	1.01	81°52'	50	0.20	86°24'

在绞线计算中，常常采用平均绞入系数，其数值计算公式：

$$K_m = \frac{a_0 K_0 + a_1 K_1 + a_2 K_2 + \dots + a_n K_n}{a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

式中 K_m ——平均绞入系数；

a_0, a_1 ——中心层及其它各层的单线根数；

K_0, K_1 ——中心层及其它各层绞入系数。

计算绞线中单线长度、绞线重量、绞线直流电阻，都必须考虑绞入系数这个因素。

(一) 绞线中单线长度计算

单线长度计算公式是：

$$l = K_m \cdot L (km);$$

式中 l ——单线长度；

K_m ——平均绞入系数；

L ——绞线长度。

(二) 绞线重量的计算

绞线重量的计算公式是：

$$G = S \cdot L \cdot K_m \cdot t (kg/km);$$

式中 G ——绞线重量(kg)；

S ——绞线截面积(mm^2)；

L ——绞线长度(km)；

K_m ——平均绞入系数；

t ——所用金属材料密度(铝 $2.7g/cm^3$ 、钢 $7.8g/cm^3$ 、铜 $8.89g/cm^3$)。

如果绞线结构中有几种金属材料的单线，可以分别计算每种材料单线。

(三) 绞线直流电阻的计算公式是：

$$R_{20} = \rho_{20} K_m \frac{L}{S}$$

式中 R_{20} ——温度为 $20^\circ C$ 时，每公里绞线的直流电阻(钢芯铝绞线只考虑铝线层)；

ρ_{20} —— $20^\circ C$ 时单线导电的电阻系数($\Omega \cdot mm^2/m$)；

K_m ——平均绞入系数；

L ——绞线长度(km)；

S ——导体的总截面积(mm^2)。

三、绞合方向

同心绞合的每一层线的绞合方向相反，其原因是多层线都绞合成圆形，当绞线受到拉力时各层产生的转动扭矩互相抵消，防止各层单线向一个方向转动而松脱。也能使绞线产生转动扭矩的分力，避免绞线在未拉紧时打卷的现象如图 4-6。钢芯铝绞线的各层铝线绕包在钢芯上就像一个螺旋线绕在铁轴外边一样。当电流通过铝线时在钢芯中产生一定数量和方向的磁力线，绞线各层绞向相反，磁力线的方向相反，各层磁力线互相抵消，减少钢芯铝绞线的交流阻抗。



F —外力
 F_1 —沿单线分力
 F_2 —沿单线径向产生的转动扭矩的分力

图 4-6 使绞线产生转动扭矩的分

绞合方向分为右向与左向。把绞线的轴线垂直于胸前，如果单线从右上方斜向左下方时，就是右向，反之为左向。为了便于记忆，可用左手或右手将手掌向上，拇指叉开，余四指并拢，并拢的四指顺向绞线轴向，如果右手拇指的方向与单线的斜向一致，就是右向（Z向），如果左手拇指的方向与单线的斜向一致，就是左向（S向），如图 4-7。

在产品标准中不但规定了绞线的层间绞向相反，而且规定最外层的绞向。钢芯铝绞线及铝绞线最外层绞向为右向。而橡皮塑料电线电缆线芯外层绞向为左向，这是为了使产品统一，便于连接，防止松散。

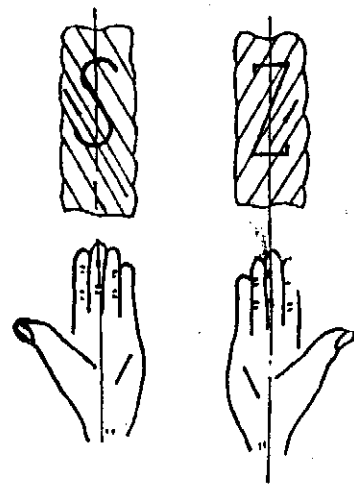


图 4-7 绞线方向的判定

a) 左向(S向)

b) 右向(Z向)

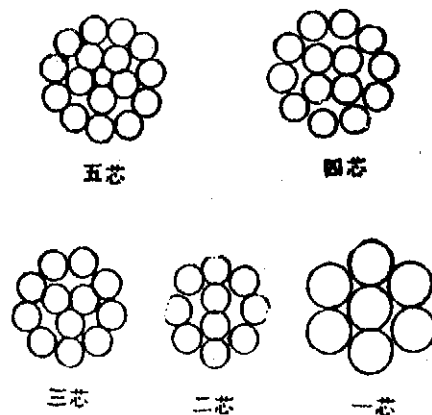


图 4-8 正规同心式绞合型式

绞合线芯一般是由材料和直径相同的单线以同心式制成的。为了使绞线成为圆形，每层单线应紧密相接，而且在中心层单线根数固定的情况下，每层单线的根数也是固定的，并且有一定绞合规律。

如图 4-8 除一芯的以外，其余四种的

外层都比内层(芯线)多六根单线, 那么这个规律是否适合更多层数, 下面从它们之间的几何关系给以近似的证明, 如图 4-9。

图 4-8 中 D'_n 和 D'_{n+1} 分别为通过绞线中第 n 层单线中心和与它相邻的外层单线中心的两个同心圆的直径, 其周长分别为:

$$l_n = \pi D'_n$$

$$l_{n+1} = \pi D'_{n+1}$$

因为 $D_{n+1} = D'_n + 2d$

所以 $l_{n+1} = \pi(D'_n + 2d)$

两周长之差为:

$$\begin{aligned} l_{n+1} - l_n &= \pi(D'_n + 2d) - \pi D'_n \\ &= 2\pi d \\ &= 6.28d \end{aligned}$$

从这里导出, 每层单线根数比与它相邻的内层多 6 根单线(理论上相差 6.28 根, 由于单线的根数只能是整数, 所以两层相差 6 根, 但存在 0.28d 的空隙), 如用数学式表达正规同心式绞合的绞线结构则为:

一芯的: $1 + 6 + 12 + 18 + 24 \dots$

二芯的: $2 + 8 + 14 + 20 + 26 \dots$

三芯的: $3 + 9 + 15 + 21 + 27 \dots$

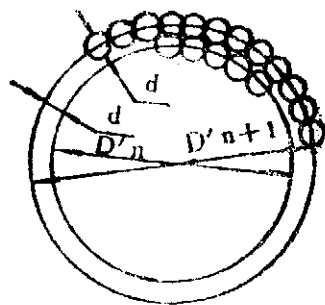


图 4-9 各层单线根数之间的关系

D'_n —— 相邻内层绞线直径

D'_{n+1} —— 相邻外层绞线直径

d —— 单线直径

四芯的: $4 + 10 + 16 + 22 + 28 \dots$

五芯的: $5 + 11 + 17 + 23 + 29 \dots$

从以上的表示方法可以看出, 如果假定一芯时第一层单线根数为 0, 则正规同心式绞合的绞线各层单线根数是一个等差数列, 公差为 6, 因此, 很容易就能利用等差数列前项的和以及通用公式:

按等差数列的通用公式:

$$a_n = a_1 + (n-1)b$$

按等差数列前 n 项的和:

$$A_n = na_1 + \frac{n(n-1)b}{2}$$

式中 a_n —— 第 n 层绞线的单线根数;

a_1 —— 第一层(芯线)的单线根数;

n —— 绞线的层数;

b —— 单线根数层间差($b = 6$);

A_n —— n 层绞线的单线总根数;

计算推导的结果列于表 4-8。

四、绞线外径的计算

绞线的外径是绞线的重要参数之一。绞线的外径就是最外层单线与之相内切的圆的直径。那么绞线外径的大小如何计算呢? 设:

绞线外径为 D

中心层外径为 D_1

单线直径为 d

那么:

$$D_2 = D_1 + 2d = D_1 + (2 - 1)2d$$

$$D_3 = D_1 + 2d + 2d = D_1 + (3 - 1)2d$$

$$D_4 = D_1 + 2d + 2d + 2d = D_1 + (4 - 1)2d$$

⋮

$$D_n = D_1 + 2d + 2d + nd \cdots + (n - 1)2d$$

$$D_n = D_1 + (n - 1)2d \text{ (同心式绞合通式)}$$

可以直观看出:

$$\text{一芯的 } D_1 = d$$

$$\text{则 } D_n = (2n - 1)d$$

$$\text{二芯的 } D_1 = 2d$$

$$\text{则 } D_n = 2nd$$

对于三芯以上的 D_1 , 则可利用求出由各单线圆心的心线组成的正多边形外接圆, 即节圆的直径, 再加上 d 办法求出, 如图4-10。

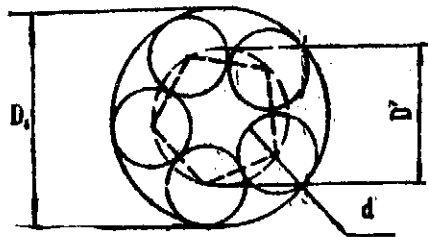


图4-10 三芯以上的外径计算

D_1 —绞线外径 D' —绞线节圆直径 d —单线直径

计算正多边形外接圆直径的公式是:

$$D' = \frac{a}{\sin \frac{180^\circ}{n}}$$

式中, a 为正多边形的边长, 这里 $a = d$ 。

$$D_1 = \frac{a}{\sin \frac{180^\circ}{n}} + d$$

按照这个公式和前面的求 D_n 的通式, 可分别推导出多芯绞线外径和绞线第 n 层外径。各种结构形式的正规同心式绞合的绞线的单线根数、外径计算列于表4-8。

表4-8 正规同心式绞合单线、根数、外径计算

中心层单线根数	1	2	3	4	5
D_1	d	$2d$	$2.154d$	$2.714d$	$3.7d$
节圆直径 D_n	$D_1 + (n-1)2d$				
	$(2n-1)d$	$2nd$	$(2n+0.154)d$	$(2n+0.414)d$	$(2n+0.7)d$
n 层单线总根数 A_n	$3n(n-1)+1$	$3n(n-1)+na1$			
		$n(3n-1)$	$3n^2$	$n(3n+1)$	$n(3n+2)$
第 n 层单线根数 $3n$	$6(n-1)$ $n=1$ 时 不适用	$3n+6(n-1)$			
		$6n-4$	$6n-3$	$6n-2$	$6n-1$

我们把绞线外径与单线直径之比为外径比, 即

$$M = \frac{D_n}{d}$$

绞线外径的测量可以用卡尺或千分尺进行测量。测量

时，一定要在对称的两根单线上测量，并轻微转动绞线，以测量出最大值为准，并应多测几对对称点，取平均值作为绞线外径的测量值，所有测量点应取于同一绞线上。

五、束线外径的计算

束线的外径计算是基于同心层绞线的外径推算出来的。

束线的单线根数规定比较灵活，它不受同心层绞合规律的限制，所以束线的结构计算主要是外径。束线中的所有单线，都是以同向绞合的，因而互相紧密相接。所以束线的外径，一般比同样单线根数直径的同心层绞线的计算外径小一些。束线的平均外径 $D_{束}$ 通常采用以下经验公式计算：

$$D_{束} = DK$$

式中 D ——单线直径及根数与束线相同时的同心层绞线的外径；

K ——调整系数(系经验数据，一般采用表 4-9 的数值)。

表 4-9 束线外径的调整系数

中心层 单线根数	相当于同心层绞线的层次						
	中心层	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	第六层
1	1.0	1.0	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
2	1.0	0.994	0.994	0.994	0.997	0.997	0.997
3	1.0	0.993	0.993	0.993	0.996	0.996	0.996
4	1.0	0.993	0.993	0.993	0.991	0.991	0.991
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

六、绞线的填充系数

绞线截面与同样外径的单线的截面之比，称为绞线的填充系数 η ，即空间的利用率。

$$\eta = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 Z k m}{\frac{\pi}{4} D^2} \times 100\% = \frac{d^2 Z k m}{D^2} \times 100\%$$

它的通式可写成：

$$\eta = \frac{d^2 [1 + 3n(n+1)]}{[(2n+1)d]^2} \times 100\% = \frac{3n^2 + 3n + 1}{4n^2 + 4n + 1} \times 100\%$$

$$= \frac{3}{4} \left(\frac{n^2 + n + 0.33}{n^2 + n + 0.25} \right) \times 100\%$$

从上式可以看出，绞线的填充系数与层数有直接关系，层数越多填充系数越小，极限为 $3/4$ ，即 75% 。把上述公式，用不同层数代入，可得表 4-10。

表 4-10 填充系数与层数

绞线层数 n	中心	1	2	3	4	5	6
各层单线根数 g	1	6	12	18	24	30	36
绞线单线总根数 Z	1	7	19	37	61	91	127
绞线外径 D	d	$3d$	$5d$	$7d$	$9d$	$11d$	$13d$
填充系数 $\eta\%$	100	78	76	75	75	75	75

第二节 一般绞线

一、绞合方式

裸绞线和绞合线芯的绞合方式有退扭和不退扭两种。退扭绞合是指在整个绞合过程中单线(或股线)本身不扭转。不退扭绞合是指绞合过程中,每绞一个节距,单线(或股线)自身要扭转 360° ,即绞合时导线绕中心轴线公转一周时,导体本身也自转一周,如同人在地球上经过一昼夜,地球转一周,人也在空间自转一周。如图4-11。

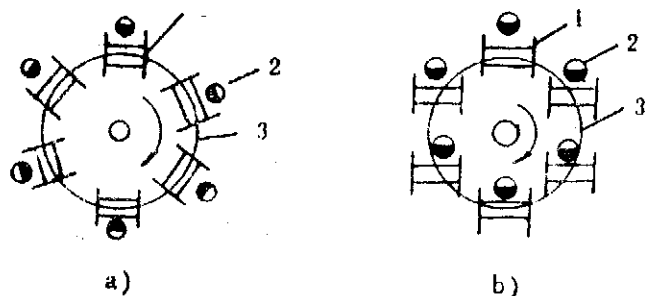


图 4-11 绞合方式

a) 无退扭 b) 有退扭
1—线盘 2—导线 3—框架

无论是何种绞合方式,单股线总要有弯曲变形。弯曲应力的存在使单股线有松散和变直的趋势,尤其是在直径较粗的硬单线绞成的绞线更为严重,直径小和柔软的单线绞(束)

合的线比较轻。不退扭的绝缘线芯有很大的扭转变形,对油浸纸绝缘低中压电力电缆等绝缘性能影响很大。有退扭的绞合单(股)线,在实际生产中节距比为 $10\sim 20$,单线在一个节距内受到 $16^\circ 36'\sim 4^\circ 21'$ 的扭转,退扭时单线在一个节距内受到扭转的圈数为 $1-\sin\alpha$ (α 是单线螺旋线的升角)。有退扭时不同节径比单线在一个节距内受到的扭转值见表4-11。

表 4-11 单线在一个节距内的扭转值

节径比	α 角	有退扭时单线在一个节距内受到的扭转	
		圈数	度标
5	$57^\circ 50'$	0.1532	$55^\circ 12'$
10	$72^\circ 33'$	0.046	$16^\circ 36'$
20	$81^\circ 4'$	0.0121	$4^\circ 21'$
25	$82^\circ 56'$	0.0078	$2^\circ 48'$

从表4-11可以看出,在有退扭绞合且节径比较小时,单线仍受到相当大的扭转。计算表明,当节距倍数小于1.81时,退扭的单线比不退扭时还要大。对于裸电线及导电线芯中的单线来说,退扭只有在节径比较大、单线直径较大和没有经过退火的硬线的条件下才有明显的减少。对于以节径比小,绞合细线有退扭绞合时退扭效果不十分显著。

二、绞线的紧压

紧压绞线是在同心层绞的基础上再用具有一定孔型的压辊或模具紧压制成的。紧压工艺有一次紧压过模和分层紧压

两种。所谓一次紧压就是待绞线的各绞层全部绞好后，一次紧压。一次紧压的压缩量较小，它常用于要求表面光滑及填充系数小的制品，或 70mm^2 以下电缆线芯，如压缩型架空绞线等。绞线经紧压后，材料变硬，电阻有所增加。为不使电阻过大，有些紧压绞线和电缆的紧压绞线芯，也采用一次紧压方法。分层紧压是指每绞一层就进行一次紧压。这种紧压方法压缩量较大，紧压后的绞线，填充系数也较大，但工艺比较复杂，需用多副压辊和模具。

绞线中的单线，经紧压后产生塑性变形和弹性变形，其中塑性变形是主要的。塑性变形的结果，一方面使各单线的断面由圆形变成不规则的多边形，并填充到绞线断面的缝隙中；另一方面使单线的长度有所延伸。紧压的压力愈大，绞线的填充系数相应增大，单线的延伸程度也愈高。单线延伸程度常以延伸系数(单线延伸后的长度与原有长度之比)或伸长率(单线延伸后增加的长度与原有长度之比)表示。伸长率 λ 与填充系数 η 的关系如图4-12所示。

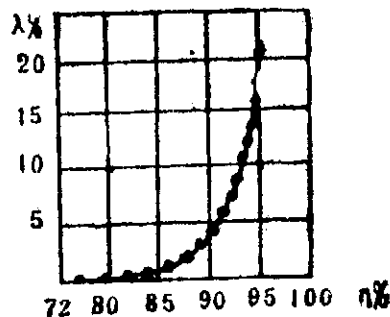


图 4-12 填充系数与伸长率的关系

影响紧压绞线填充系数和单线伸长率的因素很多，包括紧压过程中的压力、速度、压辊及模具表面的光滑程度，以及单线材料的力学性能等。因此，要准确计算出绞线紧压前后的数据是比较困难的。通常，有关紧压的计算都是采用经

验数据和公式，以此进行工艺试验，然后再调整数据，使之达到良好的工艺效果。绞合线芯过模可提高线芯表面光洁度，更主要的是能稳定线芯直径公差及椭圆度，有利于控制电缆外径，节约电缆导体及绝缘材料。

(一)圆形绞线的紧压

圆形裸绞线或绞合线芯紧压时，绞线层数越少，紧压程度越高。紧压绞线的外径与同样规格和普通绞线外径相比，可缩小 $8\% \sim 10\%$ ，其中 7 根及 19 根单线的绞线可缩小 10% 左右，37 根单线的绞线可缩小 9.5% 左右，61 根单线的绞线可缩小 $8\% \sim 9\%$ 。分层紧压时，因为紧压外层的过程中，使内层再次受压，故对绞线内层的紧压程度，一般应注意控制，以便有利于绞线各层间更为紧密。

绞线经紧压后的填充系数，由正规绞合的 75% 提高到 $90\% \sim 96\%$ 。同时单线产生延伸，紧压后的绞线截面比紧压前要小，根据试验，约为紧压前的 84% ，即：

$$S = \frac{F}{0.84} = 1.19F$$

$$F = 0.84S$$

式中 S ——紧压前的绞线截面(mm^2)；

F ——紧压后的绞线截面(mm^2)。

根据上式和紧压过程中的有关因素，推算出的分层紧压圆形绞线的各层单线直径，如表 4-12。

中心层为一根单线，直径与 d_1 相同。

以截面为 120mm^2 的分层紧压绞合线芯为例计算如下：

截面 120mm^2 的绞合线芯结构，一般由 19 根直径为 2.80mm 单线组成，线芯外径为 14mm ，而 19 根单线组成

表 4-12 分层紧压圆形绞线计算表

标称截面 (mm ²)	单线 根数	第一层(6根)①		第二层(12根)		第三层(18根)		第四层(24根)	
		单线直径 d_1 (mm)	第一层外径 D_1 (mm)	单线直径 d_2 (mm)	第二层外径 D_2 (mm)	单线直径 d_3 (mm)	第三层外径 D_3 (mm)	单线直径 d_4 (mm)	第四层外径 D_4 (mm)
25~35	7	$\frac{D_2}{2.45}$	D_1	—	—	—	—	—	—
50~120	19	$\frac{D_2}{3.70}$	$\frac{D_2}{1.48}$	$\frac{D_2}{4.33}$	D_2	—	—	—	—
150~240	37	$\frac{D_3}{4.35}$	$\frac{D_3}{1.50}$	$\frac{D_3}{5.55}$	$\frac{D_3}{1.28}$	$\frac{D_3}{6.30}$	D_3	—	—
300~500	61	$\frac{D_4}{6.25}$	$\frac{D_4}{2.39}$	$\frac{D_4}{6.70}$	$\frac{D_4}{1.53}$	$\frac{D_4}{7.65}$	$\frac{D_4}{1.18}$	$\frac{D_4}{8.20}$	D_4
630及以上	61	$\frac{D_4}{6.43}$	$\frac{D_4}{2.35}$	$\frac{D_4}{6.84}$	$\frac{D_4}{1.53}$	$\frac{D_4}{7.80}$	$\frac{D_4}{1.23}$	$\frac{D_4}{8.77}$	D_4

的同截面紧压线芯外径比绞合线芯应小10%，因此其外径为：

$$b_2 = 14 - 1.4 = 12.6(\text{mm})$$

据上表第一层和第二层所用单线的直径及紧压后第一层的外径分别为：

$$d_1 = 12.6 \div 3.7 = 3.38(\text{mm})$$

$$d_2 = 12.6 \div 4.36 = 2.88(\text{mm})$$

$$D_1 = 12.6 \div 1.48 = 8.45(\text{mm})$$

为了证明外层单线 d_2 采用直径 2.88 mm 是否合适，还可进行如下验算：

设充实绞线第二层的单线直径为 d'_2 ，其值应为：

$$d'_2 = \frac{\pi(D_1 + d_2)}{n_2} = \frac{3.14 \times (8.45 + 2.88)}{12} = 2.96(\text{mm})$$

如绞线的节径比为 20，得知绞入系数 $K = 1.0123$ ，那么直径 2.88 mm 单线在绞线截面上的椭圆长轴为 $2.88 \times 1.0123 = 2.92 \text{ mm}$ ，由于 2.92 mm 小于 d'_2 ，而且两者的值很接近，说明外层采用直径为 2.88 mm 的单线是适合的。

下面将部分压缩型钢芯铝绞线和紧压绞合线芯的结构数据列于表 4-13 和表 4-14，供作参考。

紧压圆形绞线的压制，无论是一次紧压还是分层紧压，一般都采用两副压辊分两道进行，第一道用横式压辊，对绞线进行上下紧压，第二道用立式压辊，对绞线进行左右紧压。两副压辊的孔型如图 4-13。

其主要尺寸为：

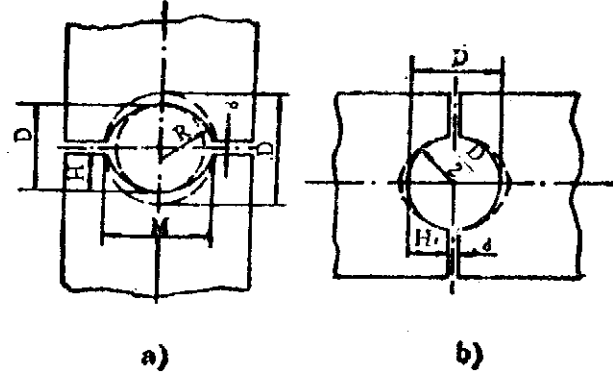
$$M = D_0 + Z_n \Delta + 0.5(\text{mm})$$

表 4-13 压缩型钢芯铝绞线的结构数据

标称截面 (mm ²)	单线根数×直径(mm)		绞线外径	
	普通绞线	压缩绞线	普通绞线	压缩绞线
50	6×3.20(铝)+1×3.20(钢)	6×3.5(铝)+1×3.8(钢)	9.60	8.8
70	6×3.8(铝)+1×3.8(钢)	6×4.1(铝)+1×3.8(钢)	11.40	10.5
95	28×2.07(铝)+7×1.8(钢)	6×4.8(铝)+1×4.5(钢)	13.88	12.2

表 4-14 紧压绞合线芯的结构数据

标称截面 (mm ²)	单线根数	一次紧压	直径(mm)	线芯外径(mm)		
				普通	一次紧压	分层紧压
120	(1+6+12)×2.80	(1+6+12+18)×2.08	(1+6)×3.38+12×2.88	14.00	12.08	12.60
150	(1+6+12)×3.17	(1+6+12+18)×2.28	—	16.35	14.65	—
185	(1+6+12+18)×2.49	(1+6+12+18)×2.52	(1+6)×3.19+12×2.80+18×2.52	17.43	16.20	16.0
240	(1+6+12+18)×2.83	(1+6+12+18)×2.87	(1+6+12)×3.17+18×2.87	19.81	18.50	18.20

图 4-13 紧压圆形绞线的压辊孔型
a)横压辊 b)立压辊

其主要尺寸为:

$$MD_0 + Z_n \Delta + 0.5 (\text{mm})$$

$$H = \frac{(D - 0.2)}{2} (\text{mm})$$

$$R = \frac{m}{2} (\text{mm})$$

式中 M ——横压辊孔型宽度; (mm)
 H ——一个压辊的孔型高度; (mm)
 R ——横压辊孔型曲率半径(mm)
 D_0 ——紧压前的绞线外径; (mm)
 D ——紧压后的绞线外径(mm)
 Z_n ——最外层的单线根数;
 Δ ——最外层的单线正公差(mm)。

(二)圆形的绞线过模

1. 从 50 年代起电线电缆行业在制造导电线芯时, 为了节约导电材料和绝缘材料, 保证电缆线芯的电性能平均发

配导线表面电场, 采用一组或二组垂直放置的紧压轧辊压轮对导电线芯进行上下左右紧压成型, 它是根据有色金属被紧压产生永久变形的原理, 使导电线芯被压缩变形达到要求尺寸。由于线芯被外力压缩产生永久变形, 使线芯间隙减小了10%~16%, 这样就大大地减小了线芯的外形尺寸和缝隙, 节约了大量的导电材料和绝缘材料, 由于采用压辊紧压线芯生产工艺具有这些优点, 所以这种工艺目前仍在电线电缆行业上广泛采用。

2. 压辊生产工艺在生产中存在的问题。

由于多年以来人们一直使用并已经习惯和熟悉了辊压工艺, 但在长期使用压辊生产电缆线芯的过程中, 人们逐渐地发现这种工艺尚存在着许多不足之处:

- (1) 压轮和压轮架的制造加工比较困难且费用很高。
- (2) 压轮用轴承负荷很大易损坏要经常更换而轴承的价格很高费用也很大。
- (3) 压辊压出的线芯直径偏差较大。
- (4) 线芯紧压程度不高造成绝缘材料的浪费也很大。
- (5) 压辊加工的道次多、线芯变形不均匀影响其导电性能, 浪费工时增加成本。
- (6) 安装调试和操作也比较麻烦, 线径在生产中变化较大。
- (7) 压辊加工方法调试引线时产生的废品较多。

3. 圆形模具紧压法在加工电缆线芯上的应用。

由于传统的压辊加工工艺在长期生产实践中产生许多问题, 使圆形紧压过模工艺很快得到应用和发展并在生产中得到推广。

它的原理是根据有色金属可以变形加工, 使每一层多股单线在绞合后通过一端为喇叭口形的不同加工率的圆柱体碳化钨高强度模具, 在绞制中一次完成并线加工、分层过模紧压工艺具有许多明显的优点。

(1) 工艺装置简单, 只用一个或几个碳化钨模具就可以代替一套压轮、压轮架装置, 大大节约了工装费用。

(2) 线芯直径偏差小, f 值好。

(3) 批量线芯直径尺寸变化甚微。

(4) 线芯紧压程度好、各单线间隙小, 可节约大量绝缘、护套材料。

(5) 线芯紧压变形均匀、使线芯电性能受到影响降低到最小程度。

(6) 安装调试方便, 节约因调而造成的导体浪费 (与压辊加工比较)。

(7) 改善了操作环境, 降低了工人的劳动强度。

(8) 工装费用低, 易保管。

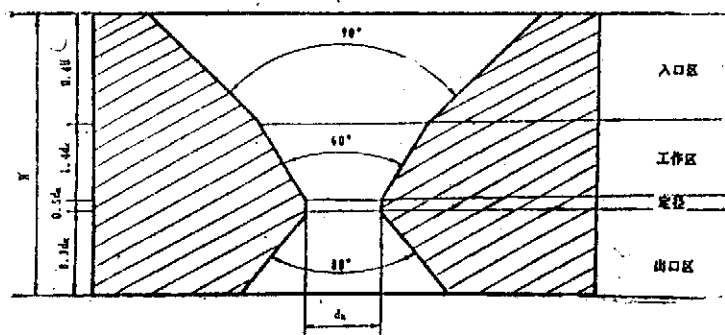


图 4-14 模具技术参数

4. 圆形铜、铝线芯结构尺寸, 与模具的技术参数, 见表4—15、图4—14。

表 4-15 圆形铜、铝线芯结构尺寸

截 面 mm ²	结 构 根数×直径	标称直径 mm		
		进 线	进 线	成 品
25	7×2.26			6.1±0.10
35	7×2.65			7.0±0.10
50	7×3.10			8.3±0.10
70	19×2.26		6.2	10.0±0.10
95	19×2.65		7.2	11.6±0.10
120	19×3.00		8.2	13.0±0.10
120	36×2.16	5.8	9.2	13.0±0.10
150	36×2.42	6.3	10.5	14.6±0.15
185	36×2.68	7.2	11.8	16.2±0.15
240	36×3.05	8.3	13.6	18.4±0.15
300	36×3.40	9.4	15.2	20.6±0.15
400	60×3.01	15.1	21.1	23.8±0.20
500	60×3.36	16.8	23.5	26.6±0.20
630	60×3.80			30.0±0.20

(三) 异形线芯的紧压

紧压异形线芯通常有半圆形线芯和扇形线芯。它们的紧压是在圆单线构成的半圆形和扇形线芯的基础上进行的。采用一次紧压方法可把线芯的填充系数提高到83%~85%;

采用分层紧压方法可提高到88%~92%; 如果线芯中心层采用实心(独根)扇形线再采取分层紧压, 线芯的填充系数则可提高到96%。

(四) 扇形线芯紧压

紧压扇形线芯的绞合与压型是连续进行的。各个单线通过并线模绞合后, 进入压辊成形。

1. 并线模(木压模)孔型尺寸: 并线模的孔型尺寸必须适应扇形线芯的结构。6+12根及7+2+16根的并线模孔型如图4-13所示。

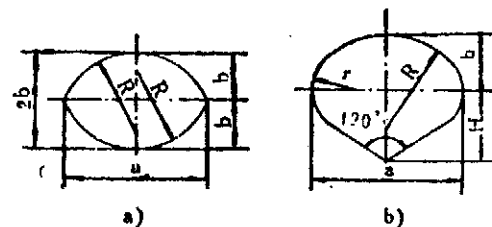


图 4-15 扇形线芯并线模孔型

a) 第一层孔型

b) 第二层孔型

7+2+15+21根的并线模, 绞合7+2+15根时采用图a孔型, 绞合21根时采用图b孔型。它们的具体尺寸, 按公式(见异型绞合线芯的结构计算公式)计算后列于表4-15。

2: 压辊的孔型尺寸: 压辊的孔型尺寸可根据紧压扇形线芯的标称截面计算确定。以三芯电缆用紧压扇形线芯为例, 其压辊孔型如图4-16所示。

各部分尺寸的计算方法如下:

首先确定压辊孔型的截面积 $F_{\text{孔}}$:

表 4-16 扇形线芯并线模的孔型尺寸

芯线截面 (mm ²)	第一层孔型尺寸(mm)			第二层孔型尺寸(mm)				
	a	b	R	a	o	H	R	r
25	8.6	2.8	4.7	—	—	—	—	—
35	10.15	3.35	5.5	—	—	—	—	—
50	12.15	4.9	6.6	—	—	—	—	—
70	14.4	4.7	7.8	—	—	—	—	—
95	17.15	5.8	9.2	—	—	—	—	—
120	19.2	6.1	10.3	—	—	—	—	—
150	15.6	5.25	8.4	19.65	6.0	7.5	12.5	3.15
185	17.25	5.8	9.3	21.9	6.75	8.3	13.8	3.5
240	19.7	6.6	10.6	24.9	8.0	9.5	15.65	4.0

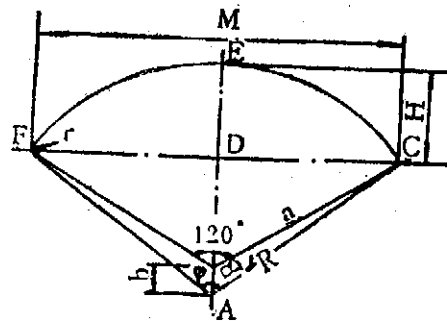


图 4-16 紧压扇形线芯压辊孔型

$$F_{孔} = \frac{0.97F}{\eta} \text{ (mm}^2\text{)},$$

式中 F ——紧压扇形线芯的标称截面(mm²);

0.97——考虑到绞合的单线直径处于负公差时, 对截面的修正系数, 故 0.97 为有效截面;

η ——紧压扇形线芯的填充系数。

然后用截面积 $F_{孔}$ 推算出孔型的各部尺寸, 其中:

$$\text{扇形斜边 } a \approx \sqrt{F_{孔}} \text{ (mm)}$$

扇形底部与弧面圆心的距离 b , 取 1.44mm

$$\text{弧面半径 } R = \sqrt{a^2 + b^2 + ab} \text{ (mm)}$$

$$\text{弓形高度 } H = R - \frac{a}{2} - 1.674 \text{ (mm)}$$

$$\text{扇形宽度 } M = 1.73a - 0.2 \text{ (mm)}$$

在上述计算中, 由于斜边 a 采用近似值, 故还须验算填充系数 η 是否符合要求。验算步骤如下:

先按下式计算出压辊孔型的实际截面 $F'_{孔}$:

$$\begin{aligned} F'_{孔} &= \pi R^2 \frac{\Phi}{360} - \frac{\sqrt{3}}{2} ab \\ &= \pi R^2 \frac{\Phi}{360} - 0.865ab \text{ (mm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{其中: } \Phi &= 2\text{Sin}^{-1} \frac{1\sqrt{3}a}{2} \\ &= 2\text{Sin}^{-1} \left(0.865 \frac{a}{R} \right) \end{aligned}$$

然后按下式验算:

$$\eta' = \frac{0.97F}{F'_{孔}}$$

如果 η' 和公式中的 η 相近, 则说明以上计算出的压辊孔型尺寸是适用的。

以标称截面 120mm² 三芯电缆的紧压扇形线芯为例, 计

算压辊孔型尺寸。

取填充系数 $\eta = 0.84$

$$F_{孔} = 0.97 \times 120 + 0.84 = 138.57 (mm^2)$$

扇形斜边为:

$$a \approx \sqrt{138.57} = 11.76 (mm)$$

取孔型 b 尺寸为 1.44mm

其它尺寸为:

$$R = 12.53mm$$

$$H = 4.98mm$$

$$M = 20.1mm$$

按公式验算得:

$$F'_{孔} = 135.8mm^2$$

$$\Phi = 119^\circ 48'$$

$$\eta' = 0.857$$

由于 η' 值与 η 值(0.84)相近, 所以以上计算出的孔型各部尺寸均可采用。

此外, 按公式计算的 $0.97 \times 120mm^2 = 116.4mm^2$ 面积, 并非紧压前扇形线芯的实际截面。因为在紧压时各个单线存在着延伸, 而标称截面为 $120mm^2$ 紧压扇形线芯的延伸系数是 1.035, 所以线芯紧压前的实际截面应为:

$$F_{实} = 116.4 \times 1.035 = 120.5 (mm^2)$$

根据紧压前扇形线芯的实际截面 $F_{实}$, 可进一步计算出扇形线芯所用圆单线的直径。现在以标称截面为 $120mm^2$ 紧压扇形线芯为例, 已知紧压前它是由 $7 + 2 + 16$ 根圆单线绞成, 其中中心采用 $7 + 2$ 根直径为 d_1 的单线, 外层 16 根单线的直径为 d_2 , 两者有如下关系:

$$d_2 = 0.923d_1$$

设 d_1 截面为 F_1 , d_2 的截面为 F_2 , 则:

$$F_{实} = 9F_1 + 16F_2 = 9F_1 + 16 \times 0.923^2 F_1 (mm^2)$$

$$\text{即: } 120.5 = 9F_1 + 16 \times 0.853F_1 = 22.45F_1 (mm^2)$$

因此得:

$$d_1 = 2.6mm, d_2 = 2.4mm$$

用以上方法计算出的三芯 (120°) 及四芯 (100°), 紧

表 4-17 三芯电缆用紧压扇形线芯 (120°) 压辊尺寸

标称截面 (mm ²)	第一层孔型尺寸(mm)				第二层孔型尺寸(mm)			
	R	M	H	r	R	M	H	r
25	6.35	9.3	1.95	0.8	—	—	—	—
35	7.35	11.0	2.45	1.0	—	—	—	—
50	8.50	13.0	3.0	1.1	—	—	—	—
70	9.85	15.4	3.7	1.3	—	—	—	—
95	11.3	18.0	4.4	1.6	—	—	—	—
120	12.5	20.1	5.0	1.7	—	—	—	—
150	10.4	16.4	3.9	1.4	13.9	22.5	5.65	1.9
185	11.5	18.3	4.5	1.6	15.4	25.1	6.4	2.2
240	13.0	20.9	5.25	1.8	17.4	28.5	7.4	2.5

压扇形线芯的压辊孔型尺寸, 分别列于表 4-17 和表 4-18, 表中的圆角半径 r 值是实用经验数据。

3. 中心层紧压或实心中心的紧压扇形线芯: 上述并线模及压辊孔型尺寸的计算, 都是指线芯中心层不紧压, 也不

表 4-18 四芯电缆用紧压扇形线芯(100°)压模尺寸

标称线面 (mm ²)	第一层孔型尺寸(mm)				第二层孔型尺寸(mm)			
	R	M	H	r	R	M	H	r
25	6.25	8.1	1.95	1.0	—	—	—	—
35	7.35	9.3	2.45	1.3	—	—	—	—
50	8.50	11.2	3.0	1.5	—	—	—	—
70	9.85	13.3	3.7	1.9	—	—	—	—
95	11.3	15.2	4.4	2.3	—	—	—	—
120	12.5	17.1	5.0	2.6	—	—	—	—
150	10.4	14.0	3.9	2.0	13.9	19.3	5.65	2.9
185	11.5	15.7	4.5	2.3	15.4	21.4	6.4	3.3
240	13.0	17.6	5.25	2.7	17.4	24.8	7.4	3.8

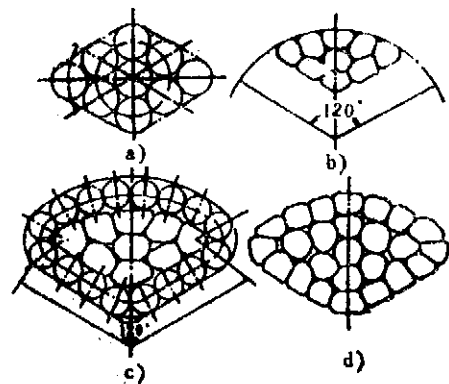


图 4-17 扇形线芯中心层及其外层的紧压

- a) 紧压前的中心线 b) 紧压后的中心线 c) 紧压中心层上绞以外层单线
d) 外层紧压后的制品

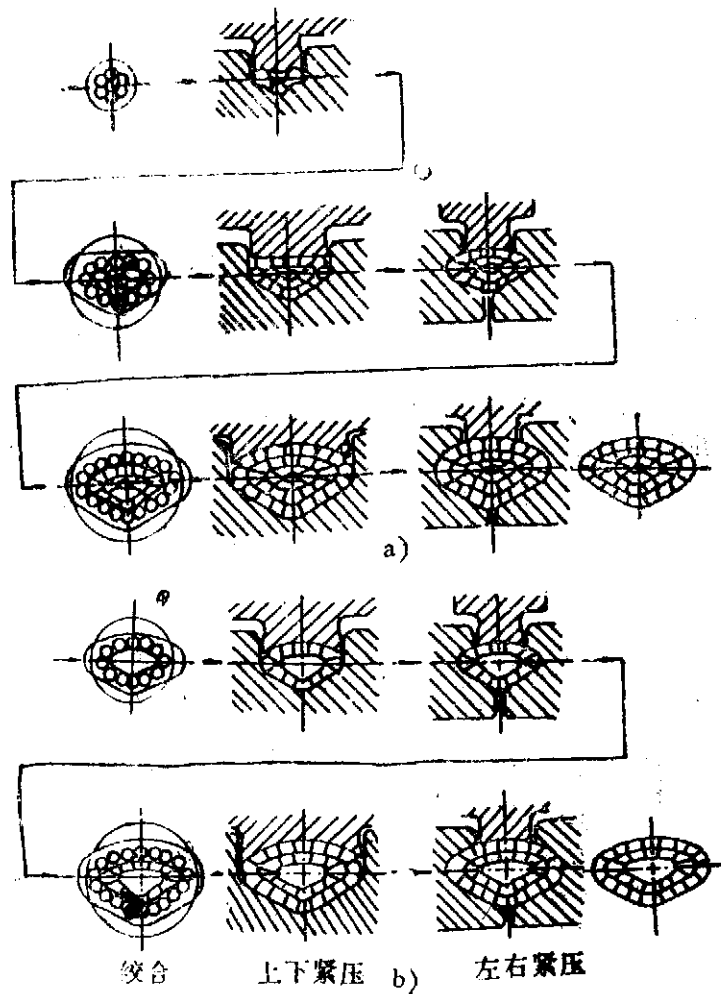


图 4-18 扇形线芯中心层、第一层、第二层及外层紧压过程

- a) 中心为单根线的扇形线芯 b) 中心为实心的扇形线芯

采用实心扇形线时的情况。为了提高紧压扇形线芯的填充系数，还常对截面为 $120 \sim 240 \text{mm}^2$ 扇形线芯的 7+2 根中心层先进行紧压，然后再对第一层进行绞合与紧压，见图 4-17

另有一种扇形线芯的中心层是由 7 根单线构成的，它也大多采用紧压，其填充系数可达 92%。如单根线的中心层以实心扇形型线代替，则紧压扇形线芯的填充系数可达 96%，两种扇形线紧压过程见图 4-18。

(五) 半圆形线芯

两芯电缆用紧压半圆形线芯的绞合与紧压，也是先通过并线模再用压辊压制成型的。

1. 并线模的孔型尺寸：截面为 25—70、95—120 及 150—185 mm^2 半圆形线芯并线模的孔型见图 4-19。

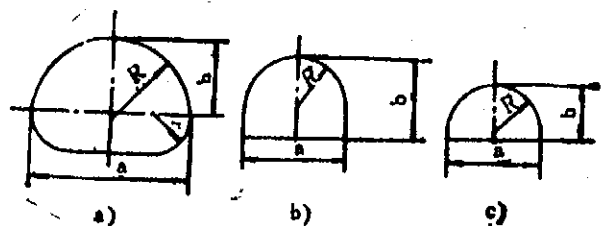


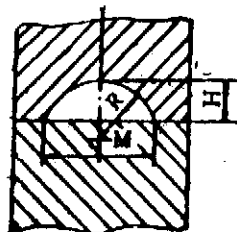
图 4-19 半圆形线芯并线模的孔型

- a) 用于 25—70 mm^2 线芯及 150—185 mm^2 的第一道孔型
- b) 用于 95—120 mm^2 线芯的孔型
- c) 用于 150—185 mm^2 线芯的第二道孔型

图中的尺寸按公式计算后，列于表 4-19 中。

表 4-19 半圆形线芯并线模的孔型尺寸

线芯截面 (mm^2)	第一孔型尺寸 (mm)			第二孔型尺寸 (mm)		
	a	b	R	a	b	R
25	7.80	3.55	3.00	—	—	—
35	9.20	4.20	4.60	—	—	—
50	10.90	5.00	5.50	—	—	—
70	12.95	5.90	6.50	—	—	—
95	14.30	11.40	7.40	—	—	—
120	16.60	12.80	8.30	—	—	—
150	13.60	10.50	6.50	21.40	11.80	10.70
185	15.10	11.60	7.55	23.60	13.00	11.80



2. 压辊的孔型尺寸：半圆形线芯压辊的孔型尺寸如图 4-20。

其计算公式：

$$R = \frac{2t + \sqrt{4t^2 + 2\pi F_{\text{孔}}}}{\pi} \quad (\text{mm})$$

$$H = R - t \quad (\text{mm})$$

$$M = 2\sqrt{R^2 - (R - H)^2} \quad (\text{mm})$$

图 4-20 半圆形线芯 式中 t ——绝缘层厚度 (mm)；
压辊孔型

$F_{\text{孔}}$ ——孔型截面 ($\frac{F}{\eta}$)；

F ——为紧压后线芯截面 (mm^2)；

η ——为填充系数。

根据公式计算，25—185 mm^2 半圆形压辊的孔型尺寸如

表 4-20 半圆形线芯压辊孔型尺寸

线芯截面 (mm ²)	第一孔型尺寸 (mm)			第二孔型尺寸 (mm)		
	R	M	H	R	M	H
25	4.35	9.55	3.8	—	—	—
35	5.65	11.15	4.6	—	—	—
50	6.60	13.10	5.6	—	—	—
70	7.70	15.30	6.7	—	—	—
95	9.20	18.20	8.1	—	—	—
120	10.40	20.60	9.1	—	—	—
160	8.60	17.00	7.3	11.8	23.4	10.5
185	9.50	18.80	8.1	13.1	26.0	11.7

3. 压辊布置：紧压扇形及半圆形线芯的压辊，一般采用图4-21。即：压辊的中心轴处于水平方向。在分层紧压外层时，为了更好地成形，如同圆形绞线紧压那样，常采用两付压辊进行两道紧压。第一道用模式压辊，对外层上下紧压；第二道用立式压辊，对外层左右紧压并成型。考虑到压辊的强度和使被紧压的线芯受力均匀，往往在压辊上方附加一个横辊，如图4-22。

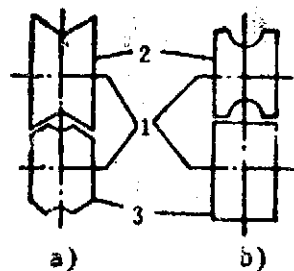


图 4-21 模式压辊

a) 扇形线芯用

b) 半圆形线芯用

1. 压辊轴线 2. 下压辊

3. 上压辊

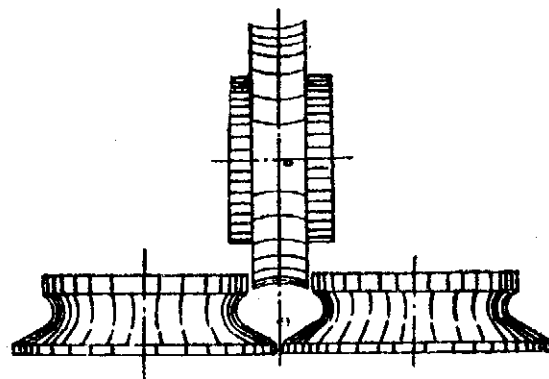


图 4-22 附加横辊的立式压辊

第三节 架空绞线

一、同一单线构成的绞线

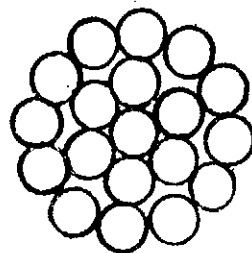


图 4-23 同心层绞的绞线

同一单线构成的绞线是由同一种材料、同一种直径的单线制成。这类绞线大都采用中心为一根，而在其外周一层一层地绞合上多根单线，即称为同心层绞或称正规绞合的结构形式。为使绞线的外周成圆形，每层的单线应紧密的连接，每层的单线根数是固定的，如图4-23所示。

绞线的具体结构如下：

一层绞线	$1 + 6 = 7$
二层绞线	$1 + 6 + 12 = 19$
三层绞线	$1 + 6 + 12 + 18 = 37$
四层绞线	$1 + 6 + 12 + 18 + 24 = 61$

二、有钢线加强的绞线

有钢线加强的绞线在架空绞线中应用很广泛，如钢芯铝（铝合金）绞线。这种绞线也是按同心层绞的规律绞成，但做为钢芯的钢绞线，其单线直径通常小于外层的铝或铝合金单线，也有与外层铝或铝合金单线相同的。为了防止腐蚀，所用钢线是镀锌或镀铝钢线。把钢线作为中心线，抗拉强度大大提高，特别是铝合金绞线用钢线加强后，在力学性能上更有提高，可以加大杆塔距离，具有很大的经济意义。

钢芯铝绞线的铝钢截面比有三种：

- (1) 铝钢截面比为6.0及5.3
- (2) 铝钢截面比为8.0
- (3) 铝钢截面比为4.3及4.4

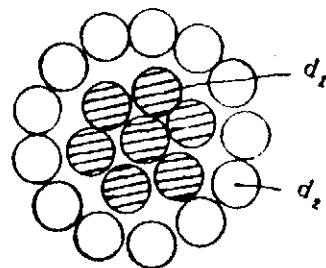


图 4-24 钢芯铝绞线结构

d_1 —钢线 d_2 —铝线

按照绞线截面大小选用钢线和铝线（或铝合金线），钢线有单根和多根绞合的。截面在 70mm^2 及以下的钢芯铝绞线用单根钢线做为钢芯，其它各种规格都是采用多根绞合钢线的钢芯结构，见图 4-24。

这类绞线由于选用的钢线和铝线的直径不尽相同，除用单根钢线为芯的绞线（中心一根钢线，外周为 6 根铝线），与

上述介绍的用同一种单线绞成的同心绞线相同外，用多根钢线为芯的绞线的结构都是按多根钢线组成芯线外径尺寸，换算到铝线的线径，然后再按每层递增 6 根的规律组成。

钢芯直径相当 3 根铝线直径，外层绞铝线为 $9 + 15 = 24$ 根

钢芯直径相当 5 根铝线直径，外层绞铝线为 $11 + 17 =$

28 根

钢芯直径相当 6 根铝线直径，外层绞铝线为 $12 + 18 =$

30 根或 $12 + 18 + 24 = 54$ 根

3 根与 5 根绞线的外径计算可参考图 4-25。

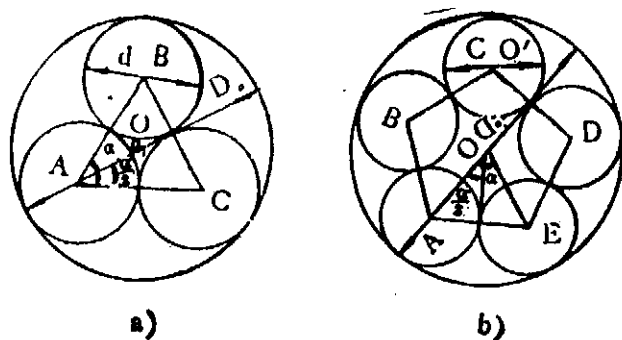


图 4-25 3 根与 5 根绞线外径示意图

a) 三根绞线 b) 五根绞线

$$\text{图中 } D_0 = 2\left(\frac{d}{2} + AC\right)$$

$$AO = AE \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$\frac{\alpha}{2} = 30^\circ \quad \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$AO = \frac{d}{2} \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{3}} = 0.577d$$

$$D_0 = 2\left(\frac{d}{2} + 0.577\right) = 2.154d$$

例如，外层绞24根，直径2.76(mm)铝单线，采用9+15的结构，内层钢线采用7根绞线，同时铝钢截面比定为8.0，求钢线的直径？

用第一层铝线根数减6根层钢芯即：

$9 - 6 = 3$ ，钢芯相当于3根铝线，计算钢绞线外径：

$$D_0 = 2.15d = 2.15 \times 2.76 = 5.93(mm)$$

而7根钢绞线单线直径与绞线直径之比为3，由此可得钢绞线的单线直径为：

$$5.93 \div 3 = 1.98(mm)$$

另一方面，两个截面比应为8.0，已知铝线部分为：

$$\frac{\pi}{4} (2.76)^2 \times 24 = 5.98 \times 24 = 143.58(mm^2)$$

钢线部分应为：

$$143.58 \div 8 = 17.94(mm^2)$$

钢芯由7根绞成，每根单线直径应为：

$$d = \sqrt{(17.94 \div 7) \cdot \frac{4}{\pi}}$$

$$= \sqrt{2.56 \times \frac{4}{\pi}}$$

$$= 1.80mm$$

比较小于1.98mm，但很接近。因此，选用7根结构钢芯，单线直径为1.8mm。

5根绞线外径为：

$$D_0 = 2\left(\frac{d}{2} + AO\right)$$

$$AO = \frac{d}{2} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad \alpha = 72^\circ$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = 0.588$$

$$AO = \frac{d}{2} \cdot \frac{1}{0.588} = 0.85d$$

$$D_0 = 2\left(\frac{d}{2} + 0.85d\right) = 2.7d$$

与前面举例一样，可以计算出11+17=28根，2.50mm的铝线采用7根钢线组成的钢芯，如铝钢截面比定为5.3，其钢芯应由7根2.2mm直径的钢线绞成。

三、其它类型架空绞线

其它类型绞线的结构一般比较特殊，与正规绞合的绞线区别较大，有的还增添了其它组件，有的则采用其它结构形式。

(一) 防腐钢芯铝绞线

镀锌钢线虽然有一定的防腐能力，但防腐性能还不足，天长日久，表面受到腐蚀，影响线路容量，缩短寿命。尤其

在线路环境存在盐、碱、酸性气体的情况下更为严重。

防腐的钢芯铝绞线有下面三种：

1. 轻防腐：在钢芯上涂防腐剂。
2. 中防腐：在钢芯和内层铝线上涂防腐剂。
3. 重防腐：在绞线所有层上都涂有防腐剂。

上述三种防腐形式，轻防腐在线路上采用的较多，其余两种较少。轻防腐与中防腐的防腐剂是在绞线生产时边制造边加以涂敷；重防腐在最外面一层防腐剂的涂敷，一般在施工现场进行。

轻防腐、中防腐及重防腐见图 4-26。

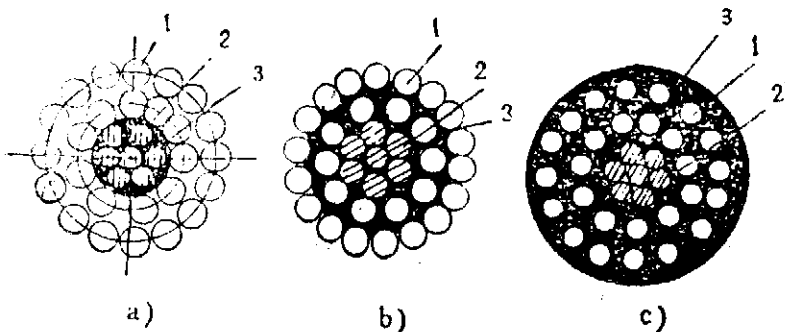


图 4-26 防腐钢芯铝绞线

a) 轻防腐 b) 中防腐 c) 重防腐

1. 铝线 2. 钢线 3. 防腐剂

(二) 压缩型绞线

压缩型绞线和一般的铝绞线、钢芯铝绞线结构相同，只是绞后进行压缩，使绞线的表面平整光滑，因此也称作光体

绞线。图 4-27 为压缩型绞线的紧压前、压缩后的剖面。

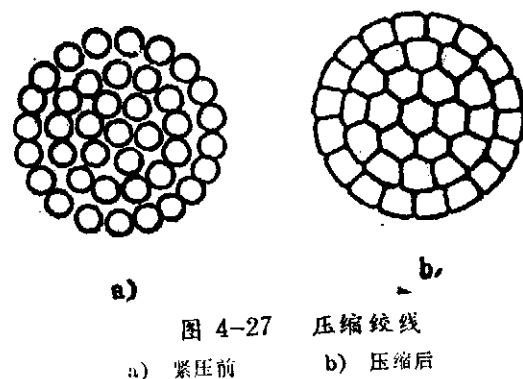


图 4-27 压缩绞线

a) 紧压前

b) 压缩后

(三) 扩径钢芯铝绞线

高电压架空绞线，其外径大小直接与产生电晕有关。电晕就是电线表面产生放电现象。电线外径愈大，电线表面圆弧度也愈大，电晕现象也愈小。因此，高压输电线路需要把绞线外径放大，以减小电晕产生。绞线外径的扩大有很多种方法，现介绍在一般同心层绞结构上，采用龙骨式(疏绕)或复绞的办法，如图 4-28。

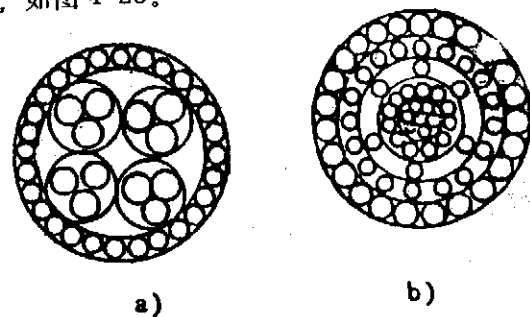


图 4-28 龙骨式或复绞扩径导线

a) 复绞层绞

b) 龙骨式疏绕绞

图a)是一种利用复绞办法作为支撑的扩径绞线,其中心支撑的结构为 4×3 根,外周再绞上30根铝单线。另一种是完全采用复绞的结构,以7根单线先绞成绞线,用以作股线进行绞线。外层再绞上12股7根绞线。整个绞线为 19×7 根的复绞线,7根的填充系数为78%,19根绞线的填充系数为76%,因此 19×7 根复绞线填充系数为 $78\% \times 76\% = 59\%$ 。如果 19×7 根复绞线用同心层绞,其填充系数则为75%,采用这种复绞办法,就使绞线外径扩大27%。

图b)是采用龙骨式疏绕办法绞制而成的截面为 300mm^2 的扩径钢芯铝绞线,它的结构为:

钢绞 $(1 + 6 + 12) \times 22\text{mm}$

铝线第一层 $6 \times 2.59\text{mm}$

第二层 $18 \times 2.59\text{mm}$

第三层 $24 \times 3.04\text{mm}$

在19根钢芯上绞6根铝线,就是龙骨式疏绕的,然后再按规律绞上 $18 + 24$ 根铝线,绞线外径 27.44mm ,相当于截面为 400mm^2 的钢芯铝绞线外径。

(四) 特种绞线

1. 消振绞线及间隙绞线: 架空绞线悬挂在杆塔之间,经受风吹,产生振动,影响使用寿命。因此在高空,尤其是大跨度的架设的绞线常在线路上加防振锤、消振器等装置,这种消振绞线或称自消振或阻尼绞线,在绞线结构上,利用不同层数振动频率和振幅的不同原理,使绞线自身减少振动的作用,即自身抵消振动。

消振绞线结构的特征是在钢线、铝线各层之间造成间隙,在绞线受到风吹振动时,不像一般架空绞线成为一个整

根的振动。消振绞线各层互相分离开,比整根振动小,而且由于各层重量、体积不同,而振幅和频率各不相同,互相抵消一部分振动,如图4-29。

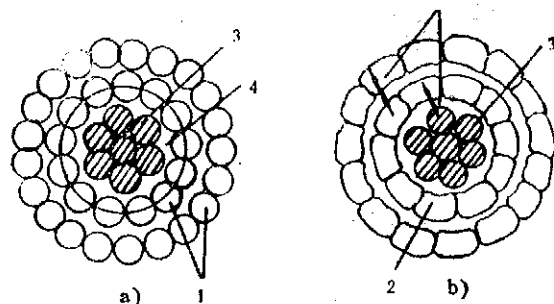


图 4-29 消振绞线示意图

a) 圆单线构成的消振绞线 b) 弓形单线构成的消振绞线

1. 圆铝线 2. 弓形铝线 3. 钢线 4. 间隙

2. 扩径、空心绞线: 前面介绍的几种复绞线,都能在一定限度内扩大绞线外径。要想得到更大的绞线外径,须采用空心绞线。空心扩径绞线与空心型绞线如图4-30。

图a是一种空心扩径绞线,中间以蛇皮管为支撑,外面绞有两层铝线和钢线,其中钢线是为了加强拉断力,导线截面只计算铝线部分。

图b是用型线制成的空心型绞线,型线的外形比较复杂,在绞合之后互相绞合成为固定的空心。这种形式的绞线,中间也有加支撑的结构。

3. 防冰雪绞线: 多冰雪地区的输电线路,会因积雪结冰导致断线或把杆塔拉倒。因此采用有加热法或机械法等除

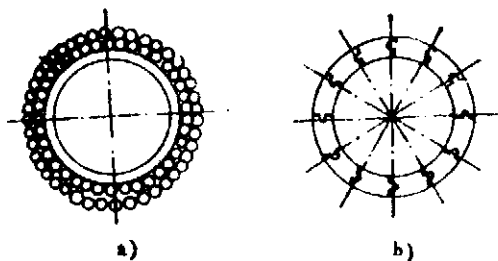
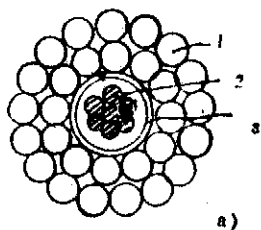


图 4-30 扩径、空心绞线

a) 空心扩径绞线 b) 空心型绞线

去积雪的措施。加热法比机械法简单。



a)

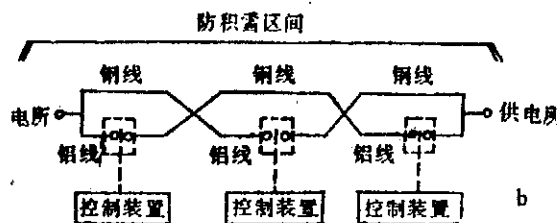


图 4-31 防冰雪绞线示意图

a) 防冰雪绞线结构 b) 线路区间系统
1. 铝线 2. 钢线 3. 交联聚乙烯绝缘层

加热法防冰雪绞线的铝线与钢芯之间用交联聚乙烯塑料进行绝缘,当积冰雪时,则在线路的不同区间,由控制装置切断铝线上的电流,而使电流通过钢芯,由于钢的电阻远远大于铝,所以在电流通过钢芯时,产生大量的热量,对整个绞线起加热作用,使冰雪溶化,如图 4-31。

五、束制

单节距和双节距的束合原理如图 4-32 所示。

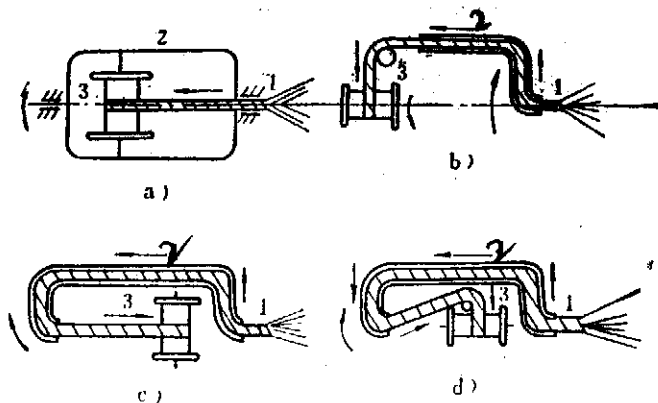


图 4-32 单节距与双节距束合原理图

a) 纵向单节距 b) 横向单节距 c) 纵向双节距 d) 横向双节距
1. 放线 2. 摇篮 3. 收线盘 4. 回转体

图中 a、b 是单节距束线机收线部分的示意图, c、d 是双节距束线机收线部分的示意图, 图 a 为摇篮和收线盘的转动进行束合, 每旋转一周产生一个节距。b、c、d 都是回转体转动、收线盘浮动的结构形式, 摇篮在回转体里边。图 b 中各根单线进入放线部分后, 沿回转体每旋转一周

只在束线上产生一个节距，而图 c、d 的各根单线，是沿回转体和设备中心行走一整圈再进入收线盘，在甲、乙两处束线各产生一个节距，故回转体每旋转一周束线产生两个节距。此外，由图可见，图 a、c 的收线盘是顺着束线机的前方放置的，图 b、d 的收线盘是横放的，二者各有特点。线盘顺放，设备结构比较简单；线盘横放，对上下线盘比较方便，这对收线盘外径较大的束线机尤为适用。

目前采用的卧式双节距束线机，经过不断改进，不仅可以制造裸线的股线和束制线芯，还可以进行较小截面橡皮、塑料及纸绝缘电力电缆线芯的绞合和通讯电缆线芯的对绞、星绞及单位绞合等。摇篮及收线盘都转动的单节距束线机，因转速低，生产效率不高而用的不多，但它在束制单线根数较少的制品时，因制品中单线排列较有规律，并可代替正规绞合的绞线机，效率相对比绞线机高得多，所以仍不失为一种较好的工艺方法。

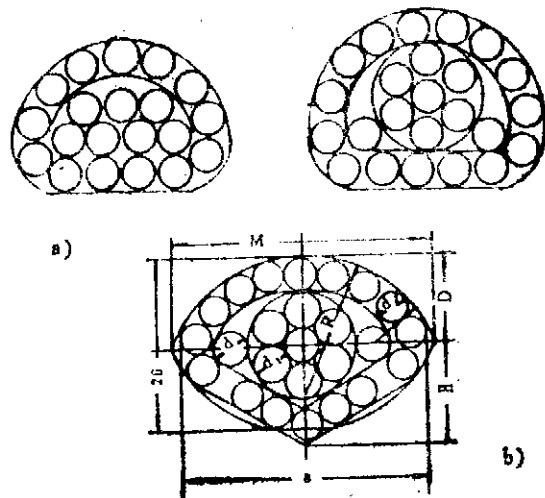


图 4-33 半圆形线芯与扇形线芯结构示意图

a) 半圆形线芯 b) 扇形线芯

表 4-21 三芯电缆的扇形线芯结构基本参数

截面(mm ²)	单线根数与直径 (mm)				扇形高度 (mm)
	芯 线		第 一 层	第 二 层	
	绞 合 的	平 行 的			
25	—	6×1.34	12×1.34	—	4.9
35	—	6×1.59	12×1.59	—	5.8
50	—	6×1.90	12×1.90	—	7.0
70	—	6×2.25	12×2.25	—	8.3
95	7×2.32	2×2.32	16×2.14	—	9.8
120	7×2.62	2×2.62	16×2.40	—	11.2
150	7×2.97	2×2.97	15×2.07	21×2.07	12.8
185	7×2.29	2×2.29	15×2.29	22×2.29	14.2
240	7×2.62	2×2.62	15×2.62	21×2.62	16.4

第四节 异型绞合线芯

一、异型绞合线芯的结构

线芯采用扇形结构，减小电缆的直径，成本比圆成线芯电缆低15%~20%，根据计算，在同类电缆中圆形线芯和扇形线芯的绞合后的绝缘直径比值在1.20~1.25范围内。

目前所有多芯绝缘电缆，大多做成扇形结构（三芯和四芯），也有少许电缆做成半圆形线芯结构（二芯）的，如图 4-33。

扇形线芯和半圆形线芯的结构见表 4-21、4-22、4-23。

表 4-22 四芯电缆的扇形线芯基本参数

标称截面 (mm ²)	单线根数与直径 (mm)				扇形高度 (mm)
	芯 绞 合 的	线 平 行 的	第 一 层	第 二 层	
25	—	6×1.34	12×1.34	—	5.3
35	—	6×1.59	12×1.59	—	6.5
50	—	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
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	13.7
185	7×2.29	2×2.29	15×2.29	21×2.29	15.2

表 4-23 二芯电缆的半圆形线芯结构基本参数

标称截面 (mm ²)	单线根数与直径(mm)				高 度 (mm)
	芯 绞 合 的	线 平 行 的	第 一 层	第 二 层	
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

二、异型绞合线芯的结构计算

异型绞合线芯大多用于油浸纸绝缘和塑料绝缘的电力电

缆。最常见的是三芯和四芯紧压扇形线芯和两芯紧压半圆形线芯三种。

为了构成外形符合要求的扇形或半圆形线芯，它们中心层都有平行单线，以利成形。中心层外的绞层，如用同样直径的圆单线，其根数也是按相邻绞层相差 6 根的规律构成，如果用较细的单线，则按外层节圆周长所能容许的排列根数构成，此时应考虑绞入系数。

(一) 扇形线芯

扇形线芯结构的基本情况见图 4-34。

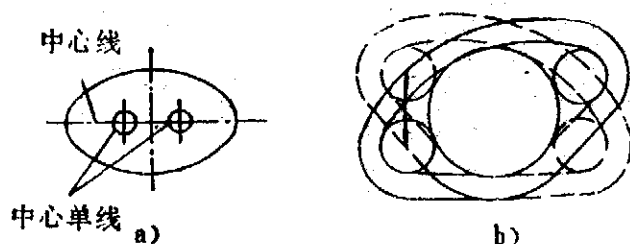


图 4-34 扇形线芯的结构

a) 中心层单线的正确排列 b) 单线沿中心层滑动情况

扇形线芯的结构必须满足以下两个要求：

第一，中心层中心线上的单线应同样排列在扇形的中心线上。如不能保证这个要求，在线芯弯曲时这些单线就会受到拉伸或压缩，造成单线隆起，从而导致扇形线芯的外形改变。

第二，滑移要求，即扇形外周的单线应能在中心层上滑动，中心层中侧边两根单线也能滑动。这是因为包上绝缘后的扇形线芯，绞成电缆线芯时没有退扭，外周各单线力求环

绕中心而滑动之故。如满足不了这个要求，同样会产生单线隆起，破坏扇形线的外形。

电力电缆用扇形线芯的结构，有以下三种：

6 (平行) + 12 根——适用于截面为 $25 \sim 70 \text{ mm}^2$ 的线芯；

7 + 2 (平行) + 16 根——16 根层的单线较细，适用于截面为 $95 \sim 120 \text{ mm}^2$ 的线芯；

7 + 2 (平行) + 15 + 21 根——适用于截面为 $150 \sim 240 \text{ mm}^2$ 的线芯。

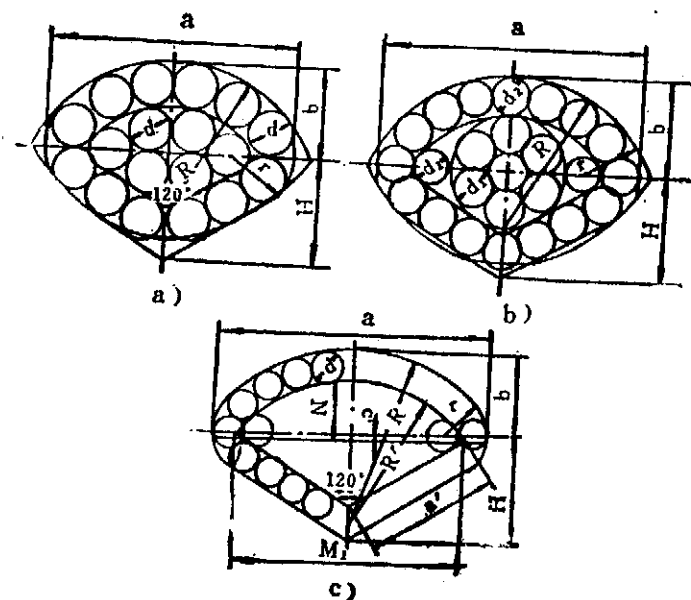


图 4-35 三种扇形线芯紧压前的结构图

a) 6(平行)+12根的结构 b) 7+2(平行)+16根的结构

c) 7+2(平行)+15+21根的结构, a. 扇形宽度 b. 扇形上半部的高度 H. 扇形下半部的高度 R. 曲率半径

这三种扇形线芯紧压前的结构如图 4-35 所示。

图中的结构尺寸，分别按下列公式求得：

1) 6 + 12 根的扇形线芯

$$a = 5.73d$$

$$b = 2.07d$$

$$H = 2.52d$$

$$R = 3.43d$$

$$r = 1.50d$$

式中 d ——单线直径。

2) 7 + 2 + 16 根的扇形线芯

$$a = 5d_1 + 2d_2$$

$$b = 1.5d_1 + d_2$$

$$H = 1.73d_1 + 1.13d_2$$

$$R = 3d_1 + d_2$$

$$r = 0.5d_1 + d_2$$

式中 d_1 ——中心层单线直径；

d_2 ——外层的单线直径。 $d_2 = (0.895 \sim 0.923)d_1$ ，一般采用 $d_2 = 0.923d_1$ 。

3) 7 + 2 + 15 + 21 根的扇形线芯

$$a = M + 1.432d$$

$$b = N + 0.875d$$

$$c = 0.125d$$

$$H = a'/2 + 1.28d$$

$$R = R' + d$$

$$r = 1.5d$$

式中 M 、 N 、 a' 及 R' ——15 根层紧压后的外形尺寸

除上述三种结构外, 有的紧压扇形绞合线芯是采用 $7+12+18$ 根的结构, 并以分层紧压方法制成。还有一种结构是用实心扇形线作为线芯的中心, 再绞合圆单线(见图 4-36)。

实心中心层的扇形线芯, 结构有利于提高扇形线芯的填充系数, 所以应用于铝芯纸绝缘电力电缆是完全可行的。

(二) 半圆形线芯

两芯电力电缆用的半圆形绞合线芯, 结构上与扇形线芯很相似, 但外形是紧压成半圆形。它的结构也有三种, 即:

7(平行)+13根——适用于截面为 $25\sim70\text{mm}^2$ 的线芯;

$7+2$ (平行)+15根——适用于截面为 $95\sim120\text{mm}^2$ 的线芯;

$7+2$ (平行)+15+21根——适用于截面为 $150\sim185\text{mm}^2$ 的线芯;

这三种半圆形线芯紧压前的结构如图 4-37 所示。

图中的结构尺寸, 分别按下列公式求得:

1) 7(平行)+13根的半圆形线芯

$$a = 6d$$

$$b = R - \frac{b}{2\sqrt{3}} + 1.5d = 4.225d$$

$$R = \sqrt{(3d)^2 + \left(\frac{d}{2\sqrt{3}}\right)^2} = 3.014d$$

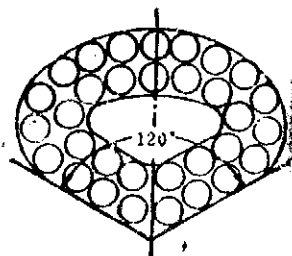
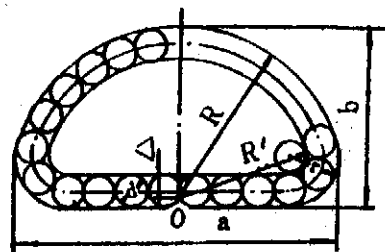
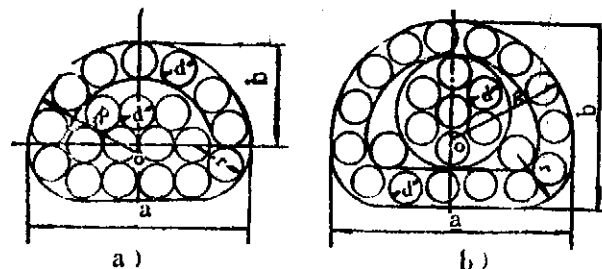


图 4-36 实心中心层的扇形线芯



c)

图 4-37 三种半圆形线芯紧压前的结构

a) 7(平行)+13根的结构 b) 7+2(平行)+15根的结构

c) 7+2(平行)+15+21根的结构

a. 圆形宽度 b. 半圆形高度 c. 曲率半径

$$r = 1.5d$$

式中 d ——单线直径。

2) $7+2$ (平行)+15根的半圆形线芯

$$a = 6.5d$$

$$b = 5d$$

$$R = d\sqrt{3} + 0.5d + d = 3.25d$$

$$r = 1.5d$$

式中 d ——单线直径。

3) $7 + 2$ (平行) + 15 + 21 根的半圆形线芯和扇形线芯一样, 这种结构也是在已经紧压的半圆形线芯上的再绞一层 21 根单线。如果 R' 为 15 根层紧压后的曲率半径, 则:

$$a \approx 2R$$

$$b = R + d - \Delta$$

$$R = R' + d$$

$$r = 1.5d$$

式中 d ——单线直径。

上述扇形、半圆形线芯的结构形式及主要尺寸, 都是指线芯紧压前的半制品情况。实际上, 线芯经过紧压后结构更加紧密, 填充系数大为提高, 紧压线芯的外形尺寸随之减小, 所有单线的截面不再呈圆形。紧压线芯的实际截面积, 由于紧压导致线芯伸长, 可比紧压前有所缩小。因此, 在计算这类线芯时应考虑到单线在紧压过程中的延伸系数, 即应适当加大紧压扇形或紧压半圆形绞合线芯半制品的截面积。在紧压中, 不同截面线芯的延伸系数如下:

25~70mm².....延伸系数1.05

95~120mm².....延伸系数1.035

150~240mm².....延伸系数1.04

第五节 工装模具与量具

一、工装与模具

在绞合设备上的工装主要有: 金属导轮、导辊、导管、

盘具、线嘴子、非金属导轮和导管等。工装主要是保护产品在生产过程中, 不被设备所损伤。所以, 在生产时, 工装零件磨损严重影响产品通过和产品质量时, 必须及时更换调整。

模具: 在绞制设备中, 应具有的模具有木压模 (合并线模)、合金模、钢压模、变形模、变形轮等。木压模在生产绞制产品时, 一般生产一公里更换一次。钢压模生产时应经常保持孔中有润滑油, 有杂物应及时清除。变形轮对各种规格形状的绞线起紧压、成型的作用。根据标称截面与实际截面之比, 即填充系数, 调整压轮的尺寸。按工艺要求上好各道压轮后, 调整各道压轮的紧压力。先调整第一道的紧压力, 然后依次调整其余各道紧压力。最后一道是成型, 达到成型尺寸要求。调整时对各压轮先粗调, 再细调。细调第一道尺寸时, 对其余几道可进行粗调。调整时, 边开车边调整, 然后停车测量尺寸, 直到调整到最后一道压轮的尺寸。如调整后仍不能达到规定尺寸时, 再从第一道开始依次调整。圆形紧压线芯采用合金模, 过模比较方便, 质量好。

二、量具

在绞合生产时, 为保证产品达到工艺要求, 要用一些量具来控制导线偏差。有钢板尺、卡尺、外径千分尺。在这里主要介绍经常使用的 0~0.25mm 外径千分尺。

(一) 外径千分尺的结构

外径千分尺结构如图 4-36

弓形尺架一端固定一个圆柱形平面, 另一端的一个圆柱形平面可以进退, 它是靠微分筒和微动装置策动的。不动杆

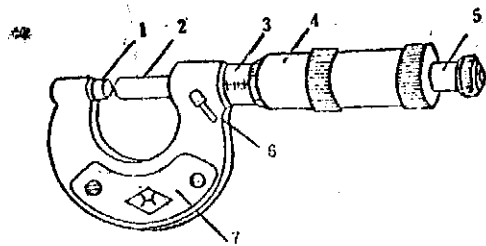


图 4-38 外径千分尺结构

1—固定测杆 2—活动测杆 3—固定套筒 4—微分筒
5—棘轮 6—止动卡钮 7—尺身

为主尺，刻度是主刻度，横线上下每一格是 $1mm$ ，只是上下错开 $0.5mm$ 刻度。微分筒每一小格是 $0.01mm$ ，每旋转两圈是 $1mm$ 。

(二) 外径千分尺的使用

最大量程为 $25mm$ ，使用时，将被测物置于固定与活动圆柱形杆平面之间，转动微分筒与微动装置，直至活动平面接触物件为止。这时旋转微动装置，发出“咔咔咔”三声响为准，先看主刻度数字，后看微分筒数字，把两个数字加起来，即为测物的尺寸。使用外径千分尺，应注意三点：1) 未测物前，要检验一下两圆柱形平面能否对准零位。否则，说明平面内有脏物或失准，应用干净软纸和布擦净。千分尺损坏应及时送检。2) 旋转微分筒，手法要轻，不能猛力旋扭。3) 测物是圆件，应按圆周测量，取其平均值。外径千分尺不准敲打、投掷或弄脏，用后放入盒中。

第五章 废品种类与排除方法

绞线产品的废品，主要有过扭、内层或外层单线断裂、缺股、单线或绞线表面擦伤、单线重叠、单线起皮、脆断、拱起、有夹杂物、线径超差或错规格、绞合方向错、蛇形弯、绞合节距不合格、长度不合格、绞合松股、收排线乱和压伤等。

一、过扭

过扭是指绞合过程中扭绞过度的现象。产生的原因一是绞线在牵引轮上绕的圈数少于 4 圈，摩擦力过小而打滑，造成扭绞过度；二是收线张力松或收线盘不转而放线部分仍在旋转，造成扭绞过度。

排除方法是：如果多根单线在过扭处已产生剧烈变形，损伤严重或断线，这时只能将这一段剪去；如果单线未受损伤，也未折断，可将设备旋转部分与牵引部分分开，将其朝绞合相反方向转动，使过度扭绞的部分退扭回松，再用手把单线弄直，并把松开的单线绕到各自的放线盘上。把设备旋转部分与牵引部分合一，木压模不要过紧，并在压模后牵引轮前用力压线，以保持牵引力不损伤，这时就可以重新进行绞合生产。

二、单线断裂缺股

单线断裂缺股产生的原因，通常是由于放线盘张力太

大,超过单线的拉断力,或单线盘线绕得松乱,出线段被其它线匝压住,或是单线中有夹杂物,造成单线断。

排除方法是调整线盘张力,使之适宜。线盘绕的乱,应重新复绕。有夹杂物断线时,如发生在绞线内层,而断头已在外层下走得很远,则应剪去这段缺股线。如果断线发生在外层没通过牵引轮或在内层未进入外层下面,可用15m长的单线,将断线所在绞层压模取下,与断线在对焊机上把两端接好,清理焊接处之后,用一根较大于使用规格的单线,在焊接处绕上几圈,并把此线圈沿轴向前移动,内层线可用铝杆送过设备空心轴。同时将单线按缺股节距复位,通过分线板并与线盘上单线焊上修好,重新安上木压模,把余线绕到线盘中,继续开车绞合生产,如果外层线断线,而断头已在牵引轮中或已过牵引轮,可把断线原因查清并调整好后,把单线穿过分线板、木压模,按原节距复位并用铝线捆扎几圈。再用长于缺股线的备线与断头在牵引轮外、收线前进行焊接,边开车边按原节距将单线复位,直到不缺股。这时,两单线在同一节距内相遇,虽不缺股,但两线并未焊接。此时可将两根单线,各在一边按原节距圈数在绞线上缠绕,使两单线在一个节距内有足够的长度,这时将绞线弯成U形,用对焊机把两单线焊接住并修好,然后用一牛皮条把铝线按原节距复位,此时可开车生产。

三、单线或绞线表面擦伤

单线或绞线表面擦伤产生的原因,通常是由于分线板或分线板滑块擦伤或单线塑料线嘴已磨漏,使铝线直接与设备件磨损造成的。这种情况可以研磨分线板、滑块,更换塑料

线嘴,保护铝线不与设备件直接磨损。有时木压模中有铝末和杂质,也会造成绞线“一”字形的擦伤,应及时更换木压模,或清除木压模中的铝末、杂质。

四、单线骑马(跳线)

绞线发生骑马的原因,通常是各单线在分线板上穿线位置不对或是木压模孔径太大,或是木压模与分线板距离太远,或是单线弯曲等造成的。排除方法是调整分线板上单线穿线位置和换上适宜的木压模,距离调整合适,一般在200~250mm为适宜。

五、单线起皮

单线表面裂开起皮是铜铝杆材质量不合格,如杆材有杂质、轧制未按工艺操作等,使在拉线时,造成铜铝单线起皮。排除方法可按单线断裂缺股方法修复。

六、单线拱起

绞线中有一根或几根单线拱起,主要原因是放线盘张力过小,单线松弛所造成。多层绞线容易发生这种情况,尤其以绞线作为中心线,其外层再绞一层或几层线时,最容易出现单线拱起现象。故应特别注意前几层的绞合,放线要有足够而均匀的张力,木压模孔径不得大于各层绞合外径,用以保证绞合的紧密性和均匀性,以使绞合时不发生拱起或灯笼状态。稍有一些拱起和灯笼的再制品,除立即按上述办法调整外,可以继续生产下去,但到难以继续绞下去时候,要立即将其剪断。节距过小也易造成局部拱起。当然内层线芯直

径过小也易造成局部拱起。当然内层线芯直径过小也易造成外部单线拱起。

七、单线有夹杂物

在绞合中或绞制成品时，发现单线有夹杂物时，如在表皮可用锉刀、砂布将其修平。如严重可按上述办法，将其剪断重新接头处理。

八、单线线径超差或错规格

在绞合中发现单线超差或单线规格不对，如在外层可将超差或错规格的单线扒掉，换上合格单线，按上述方法进行修复。如在内层，只能把单线换下来，同时将其已生产的产品下盘，再作处置。当然最好在线前，对所用的单线逐盘进行测量检查，不合格的单线不使用，避免类似问题产生。

九、单线脆断

所谓单线脆断，就是单线弯曲次数达不到标准规定。产生的原因主要是在铜铝熔炼、轧制和拉线过程中不符合工艺规定造成的。在绞合中发现单线脆断时，要把线盘立即换下来，并将已绞完的成品、再制品进行检查，直到合格为止。这时可按上述方法将线修复。如在内层发现则只能将其剪掉，然后再处置。

十、绞合方向错误

绞合方向错误的原因，是绞线设备旋转方向错误造成

的。一般常迁的是在绞制半成品时，作中心线用的绞线，由于绞合层不一样，绞合方向也不一样，而操作者在生产时不注意或是分不清，造成绞合方向错误。防止办法是操作者要严格执行产品结构表规定，正确判断绞向。

十一、蛇形弯

绞合产品产生蛇形弯的原因是多根绞合产品时，一根单线张力太大，尤其钢线表现为突出。防止办法是生产时经常检查全部单线张力是否均匀，不均匀时要及时调整。

十二、绞合节距不合格

绞合节距不合格，产生原因是没按工艺规定变换绞线机放线部分转数齿轮或牵引部分速度齿轮。防止办法就是严格执行工艺规定，坚持更换产品时的首件检查制度。

十三、长度不合格

绞合产品有一定的长度规定，长度不合格产生原因有单线断、设备故障及其它原因。防止办法是加强操作者的责任心，提高修线技术水平。

十四、绞合松股

绞合松股产生原因是节距过大、单线张力松、木压模孔径大、木压模与分线板距离太小造成。防止办法是节距符合标准规定，单线要有足够而均匀的张力，保持木压模孔径不大于导线直径，最好一公里更换一次木压模。木压模与分线器最好在 200~250mm 的距离，不包括采用模具过模的圆形

线芯。太大易造成骑马，太小则单线应力没有得到恢复。

十五、排线混乱压伤导线

绞合产品，一般都是成盘生产的。要想一根根，一层层的绞合线有规律的在收线盘上排好线，那么第一层排线是关键。排线混乱造成导线压伤的原因是第一层线排数量过少或过多。防止办法是第一层线一圈靠一圈的排满，最后一圈导线要和收线盘侧板保持 $1/3$ 根线的间隙，再使导线返回第二层，调整好排线齿轮，并经常注意排线情况。