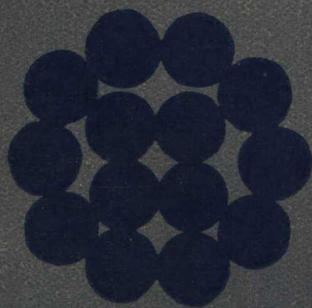




电缆电线和软线的 结构计算

欣 盖 尔 著

机械工业出版社

前 言

在我国(苏联)現代的电纜文献中,有許多电纜理論和电气計算方面的著作,但是在这些著作中,还没有書籍有系統地叙述电纜产品及其各个構成部分的几何尺寸和重量的計算方法。

本書就是企圖把这方面已有的材料加以系統化。

照例,設計師在設計电纜产品时,一般采用現成的原始資料。例如,綫芯截面面积,絕緣層的厚度等。这些数据都已列在相应的标准和技术条件中。在特殊情况下,在电气計算中还可能碰到这些主要的参数,所以在本書中完全没有涉及到上述的計算,尤其是这些計算在現有的文献中叙述得非常清楚。

为了便于設計師的工作,本書中列出了許多参考圖表。

本書可作电纜产品設計師和电纜工業的工程师和技术員的指南,也可作为高等学校和中等專業学校学生的参考書。

本書对使用电纜产品的工業部門中工作的工程技术人员也同样是很有用处的。

为了希望了解电纜理論及其电气計算的讀者,本書还附录了参考文献的索引。

電纜、電綫和軟綫的結構計算

欣 蓋 尔 著

汪 景 璣 譯



機械工業出版社

內 容 簡 介

本書講述了各種型式的電纜、電綫和軟綫的各個構成部分的計算方法，和必要公式的推導，並且提供了許多參考表和曲綫。

本書可供電纜產品設計師和電纜工業的工程技術人員參考之用。此外，本書還可作為高等和中等專業學校電工專業學生的教學參考書。

苏联 А. Ф. Шенгер 著 ‘Расчет конструкций кабелей, проводов и шнуров’ (Госэнергоиздат 1950 年第一版)

*

*

*

NO. 1545

1957 年 10 月第一版 1958 年 5 月第一版第二次印刷
850×1168 $1/32$ 字數 114 千字 印張 $1\frac{1}{2}$ 1,801—3,800 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版。

北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第 008 號

統一書號 15033·710
定 價 (10) 0.85 元

目 次

緒論	5
第一章 未絕緣綫芯的絞合	7
1 正規同心式絞合	7
2 正規股綫式絞合	14
3 軟綫綫芯絞合或束絞	14
4 扇形綫芯的絞合	14
(一)單綫直徑的確定	17
(二)制造并綫模所用綫芯尺寸的計算	17
1)截面為 25~70 公厘 ² 的綫芯(17)——2)截面為 95~120 公厘 ² 的綫芯(20)——3)截面為 150~240 公厘 ² 的綫芯(21)	
(三)壓輪形狀的計算	24
5 半圓形綫芯的絞合	28
(一)單綫直徑的確定	30
(二)制造并綫模所用綫芯尺寸的計算	30
1)截面為 25~70 公厘 ² 的綫芯(30)——2)截面為 95~120 公厘 ² 的綫芯(31)——3)截面為 150~185 公厘 ² 的綫芯(32)	
(三)壓輪形狀的計算	33
6 扁絲繞包綫芯的絞合	35
7 緊壓束綫的絞合	35
8 絞合節距、絞入率和綫芯重量	37
第二章 絕緣綫芯的成纜	42
1 圓形綫芯的多芯電纜和電纜	42
2 市內電話電纜、型號 TPK 的電纜和局用電纜	44
3 紙捻絕緣電纜	46
1)對綫組絞合(46)——2)星形綫組的絞合(47)——3)雙對綫組的絞合(48)——4)四星綫組的絞合(48)——5)六綫組的絞合(49)——6)屏蔽綫組和加強綫組(50)——7)單獨綫組的成纜(51)	
4 纖維絕緣的弱電電纜和軟綫	54
5 紙絕緣電力電纜	55
6 填充	56
1)空間面積的確定(56)——2)紙繩填充(61)——3)電纜麻(黃麻)填	

充(61)——4)棉紗填充(62)

第三章 包帶	62
1 主要的数学关系	62
2 帶条重量的确定	66
第四章 紗包	68
1 关于支数的概念	68
2 繞包的主要数学关系	70
3 紗綫耗用量的确定	74
第五章 紙捻絕緣	76
第六章 橡皮絕緣	77
第七章 編織	81
1 編織的主要数学关系	81
2 編織層重量的計算	84
第八章 絕緣剂	87
第九章 但尔他-石棉絕緣	88
第十章 漆包綫	89
第十一章 鉛包層	90
第十二章 保护層	91
1 鋼帶鍍裝	92
2 鋼絲鍍裝	93
3 電纜麻(黃麻), 瀝青混合物和白堊粉重量的确定	95
第十三章 綫盤容量的計算	97
附录 参考圖表	100
附表 1 直徑为 0.03~10.00 公厘的銅綫重量和截面	100
附表 2 鉛包層的重量(公斤/公里)与鉛包前電纜直徑(d)的关系	110
附表 3 圓形鍍裝綫的根数及重量与裝鍍前的電纜直徑(d)的关系	132
附表 4 弓形鍍裝綫的根数及重量与裝鍍前的電纜直徑(d)的关系	134
附表 5 電纜麻(黃麻)繞包層的重量(公斤/公里)与繞包前直徑(d)的关系	135
附表 6 鍍裝鋼帶的重量(公斤/公里)与鋼帶上的平均直徑(d)的关系	140
附表 7 絞入率和繞包角与理論絞合系数的关系	142

緒 論

電纜產品的結構計算，通常是根據預先規定的構成部分來進行的。這種計算包括產品幾何尺寸的確定，和每一構成部分材料重量的計算。

製造電纜產品的工藝過程不管其型式和用途怎樣，都可以分為下列幾個主要的工序：

- | | |
|-------------|--------|
| 1) 導電綫芯的絞合； | 5) 編織； |
| 2) 絕緣綫芯的成纜； | 6) 浸漬； |
| 3) 包帶； | 7) 壓鉛； |
| 4) 紗包； | 8) 裝鎧。 |

在大多數的電纜產品製造時，上述工序被重複地應用着；例如，由單綫絞合成導電綫芯這一工序，不論在油浸紙絕緣電力電纜中，或者在橡皮絕緣的電纜和電綫中都被應用着；「包帶」這一工序在通訊電纜、電力電纜和橡皮絕緣電纜中等都被應用着。

根據上面所說的，電纜產品的結構計算分為許多每一構成部分的個別計算；然而大多數的構成部分的計算不管其產品型式如何，在方法上是相同的。例如：橡皮絕緣布綫用電綫的編織計算方法與纖維絕緣軟綫編織的計算方法並無任何不同之處，等。

任何材料的重量 G 可按下式計算：

$$G = q l \gamma,$$

式中 q —— 材料的截面面積(公厘²)；

l —— 長度，等如一公里；

γ —— 比重(公斤/公寸³)。

確定公式的因次 q 以公厘²計， l —— 以 10^6 公厘計， γ —— 以 $\frac{\text{公斤}}{10^2 \times 10^2 \times 10^2 \text{ 公厘}} \text{ 計}$ 。

材料的重量用連乘積表示：

公厘² × 10⁶ 公厘 × $\frac{\text{公斤}}{10^2 \times 10^2 \times 10^2 \text{ 公厘}}$ 即：公厘² × 公斤。

因之，如果横截面面积以公厘²表示，而比重以每一立方公寸的重多少公斤表示，那么一公里长产品的材料重量(公斤)就等于截面面积(公厘²)与比重的乘积。

第一章 未絕緣綫芯的絞合

在電纜制造中絞合是主要的工藝過程之一。在綫芯中的單綫或在電纜中的綫芯之所以必須絞合，是由于下列原因：如果綫芯中的單綫和電纜中的綫芯沒有絞合，那么在電纜或綫芯彎曲時綫芯中心綫上面的單綫就將會延長，而綫芯中心綫下面的單綫就將縮短。在以后綫芯或電纜拉直時，就會引起個別單綫凸出。單綫絞合後就可消除這種現象，因為在這種情況下，在一個節距的長度內每根單綫的位置是在中心綫上面和中心綫下面變換着的，當彎曲時，單綫僅僅沿着中心綫移動。這樣由于減小了單綫對其他單綫的摩擦，單綫的絞合也增大了電纜的可撓性。

應用在電纜制造中的主要絞合規則有下列幾種：

1. 用同一直徑的單綫或綫芯的正規同心式絞合。此時單綫或綫芯排成正規同心式的幾層絞向不同的絞層。
2. 正規股綫式絞合，此時將單綫或綫芯絞成單獨的股綫（束綫），然後再把它按正規同心式的絞合規則絞合起來。
3. 軟綫綫芯的絞合或束絞，此時單綫不分絞層并以同一方向絞合。
4. 扇形綫芯或半圓形綫芯的絞合，此時將專門選好的單綫根數用并綫模使綫芯成為扇形和半圓形的形狀。
5. 由扁絲繞包綫絞合成的綫芯。
6. 緊壓束綫的絞合，當在絞合時用軋壓方法使綫芯成為扁形。

1 正規同心式絞合

在電纜制造中，用同一直徑的綫芯或單綫絞合時，採用五種正規同心式絞合的型式。這些絞合型式的截面圖如圖 1 所示。

下邊我們來研究上述五種型式中任何一種正規同心式絞合的

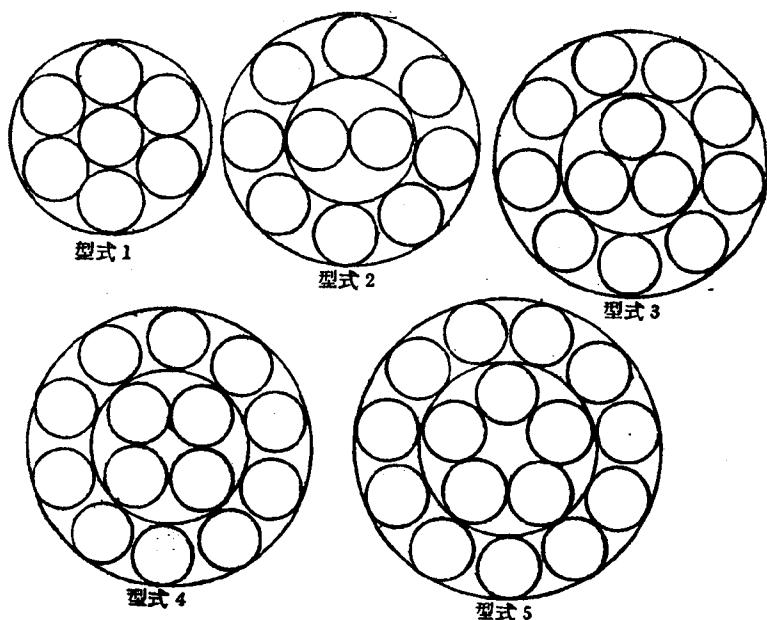


圖1 正規同心式絞合的型式。

基本几何关系。

从圖2可以确定从綫芯中心經過組成 n 層和 $n+1$ 層的單綫中心所形成的圓周直徑 D'_{cp} 和 D''_{cp} 。

$$D'_{cp} = D_1 - d,$$

$$D''_{cp} = D_1 + d,$$

式中 D_1 ——沿 n 層單綫周圍的圓周直徑；

d ——組成絞層的單綫直徑。

圓 D'_{cp} 和 D''_{cp} 的圓周長度 L' 和 L'' 等于：

$$L' = \pi(D_1 - d),$$

$$L'' = \pi(D_1 + d),$$

因而，圓周長度 L' 与 L'' 之差，可由下式求出：

$$L'' - L' = \pi(D_1 + d) - \pi(D_1 - d),$$

或

$$L'' - L' = 6.28 d.$$

(1)

从这里可以导出,在 $n+1$ 層中包含的單綫,較上一層(n 層)多6.28根。但因为在絞層中仅可以放入整数的單綫,所以由此就可得出,每一層的單綫根数增加6根。

这个基本原则适用于一切型的正规同心式的絞合,但型式1的第二層例外,因它的第一層可作为是中央的單綫。在这种情况下,第二層的單綫数增加五根。

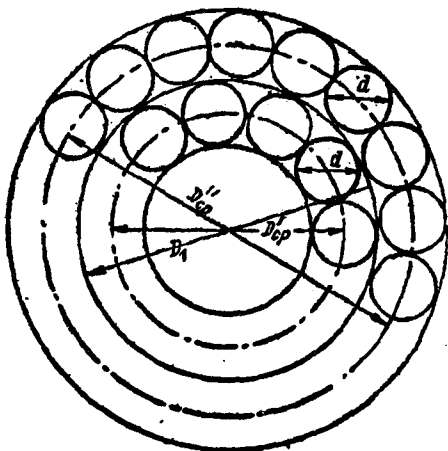


圖2 按正规同心式絞合所絞成的綫芯断面示意图。

下边我們来确定每一种型的綫芯的外徑 D_n 。从圖1看到,任何型的二層綫芯的外徑等于中心層的直徑加 $2d$ 。不难証明,在每包复下一層时,綫芯的直徑均要增加 $2d$ 。这样,絞層数为 n 时所絞成的綫芯直徑,等于:

$$D_n = D_n + (n-1)2d, \quad (2)$$

式中 D_n ——絞層数为 n 时的綫芯直徑;

D_n ——中心層(第一層)的直徑。

型式1的中心層直徑等于單綫直徑,即:

$$D_n = d,$$

因而,对于型式1的公式(2)采用下列型式:

$$D_n = d + (n-1)2d,$$

或

$$D_n = (2n-1)d. \quad (3)$$

若按型式2絞合,則

$$D_n = 2d;$$

把这个数值代入公式(2)中,得:

$$D_n = 2d + (n-1)2d,$$

或 $D_n = 2nd$ 。 (4)

从圖3求得型式3的中心層直徑 D_n 等于:

$$D_n = 2 \left(\frac{d}{2} + Ab \right)。$$

从直角三角形 Abc 知 $Ab = Ac \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}}$, 又因为 $Ac = \frac{d}{2}$, 則可写成 $Ab = \frac{d}{2} \times \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}}$ 。又从正三角形

ABC 知, 角 α 等于 60° ,

因而 $\frac{\alpha}{2} = 30^\circ$ 。

將 $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ 的

数值代入得:

$$Ab = \frac{d}{2} \times \frac{2}{\sqrt{3}} = 0.577d。$$

由此可得中心層[⊙]的

直徑 D_n 等于: $D_n = 2 \left(\frac{d}{2} \right.$

$\left. + 0.577d \right)$, 或化簡后得

$$D_n = 2.154d。$$

將 D_n 的数值代入公式 (2) 中, 可得到按型式3絞合成的綫芯外徑 D_n 等于:

$$D_n = (2n + 0.154)d。 \quad (5)$$

从圖4知型式4的綫芯的中心層直徑等于:

$$D_n = d + AC。$$

从直角三角形 ADC 求得:

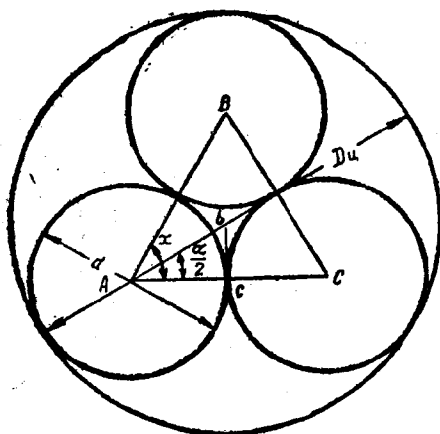


圖3 型式3的中心層截面圖。

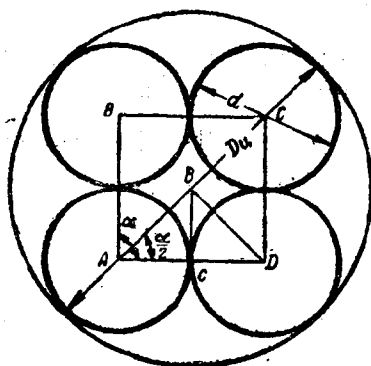


圖4 型式4的中心層截面圖。

$$(AC)^2 = (AD)^2 + (DC)^2 = 2d^2,$$

这里

$$AC = d\sqrt{2},$$

因而

$$D_n = d + d\sqrt{2} = (1 + \sqrt{2})d = 2.414d_0$$

把 D_n 的数值代入公式

(2) 中, 得:

$$D_n = (2n + 0.414)d_0. \quad (6)$$

类似于型式 3 和型式 4 的方法, 从圖 5 中可以知道型式 5 的中心層直徑

$$D_n = 2\left(\frac{d}{2} + Ab\right).$$

从三角形 Abc 知

$$Ab = Ac \times \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{d}{2} \times \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

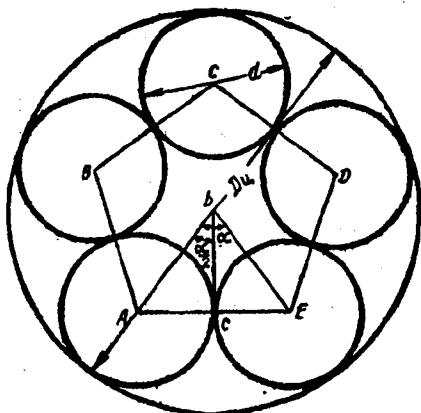


圖 5 型式 5 的中心層截面圖。

$$\text{角 } \alpha = \frac{360^\circ}{5} = 72^\circ \text{ 而 } \frac{\alpha}{2} = 36^\circ.$$

代入 $\sin 36^\circ = 0.588$ 的值, 得:

$$Ab = \frac{d}{2} \times \frac{1}{0.588} = 0.85d,$$

和

$$D_n = 2\left(\frac{d}{2} + 0.85d\right).$$

去括号后得到:

$$D_n = 2.7d_0.$$

將 D_n 的数值代入公式 (2) 中, 得到按型式 5 絞合而成的綫芯外徑等于:

$$D_n = (2n + 0.70)d_0. \quad (7)$$

由充填系数 K , 可以判断絞合的經濟性。

組成綫芯的單綫截面面积的总和与从綫芯中心繞最外層單綫

● 原書誤為 $\frac{d}{2} \times 0.588$ 。——譯者

表 1 按正規同心式絞成的纜芯結構

型式 1	層數(n)	1	2	3	4	5	6	7
	絞層中的單纜數	1	6	12	18	24	30	36
	纜芯中的單纜數	1	7	19	37	61	91	127
	外徑 D_H	d	$3d$	$5d$	$7d$	$9d$	$11d$	$13d$
	充填係數 K_g	1.00	0.78	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75
型式 2	層數(n)	1	2	3	4	5	6	7
	絞層中的單纜數	2	8	14	20	26	32	38
	纜芯中的單纜數	2	10	24	44	70	102	140
	外徑 D_H	$2d$	$4d$	$6d$	$8d$	$10d$	$12d$	$14d$
	充填係數 K_g	0.50	0.62	0.67	0.69	0.70	0.71	0.72
型式 3	層數(n)	1	2	3	4	5	6	7
	絞層中的單纜數	3	9	15	21	27	33	39
	纜芯中的單纜數	3	12	27	48	75	108	147
	外徑 D_H	$2.154d$	$4.154d$	$6.154d$	$8.154d$	$10.154d$	$12.154d$	$14.154d$
	充填係數 K_g	0.64	0.69	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74
型式 4	層數(n)	1	2	3	4	5	6	7
	絞層中的單纜數	4	10	16	22	28	34	40
	纜芯中的單纜數	4	14	30	52	80	114	154
	外徑 D_H	$2.414d$	$4.414d$	$6.414d$	$8.414d$	$10.414d$	$12.414d$	$14.414d$
	充填係數 K_g	0.60	0.72	0.73	0.74	0.74	0.74	0.75
型式 5	層數(n)	1	2	3	4	5	6	7
	絞層中的單纜數	5	11	17	23	29	35	41
	纜芯中的單纜數	5	16	33	56	85	120	161
	外徑 D_H	$2.7d$	$4.7d$	$6.7d$	$8.7d$	$10.7d$	$12.7d$	$14.7d$
	充填係數 K_g	0.69	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74	0.75

表2 按正規同心式絞成的綫芯直徑

綫芯中 單綫數	絞合規則	外徑 D_n	綫芯中 單綫數	絞合規則	外徑 D_n
2	2	$2d$	36	6+12+18	$7d$
3	3	$2.154d$	37	1+ 6+12+18	$7d$
4	4	$2.414d$	38①	1+ 7+12+18	$7.3d$
5	5	$2.70d$	38	2+ 6+12+18	$8d$
6	6	$3d$	39①	1+ 7+13+18	$7.3d$
7	1+6	$3d$	39	2+ 7+12+18	$8d$
8①	1+7	$3.3d$	40①	1+ 7+13+19	$7.3d$
9②	1+8	$3.7d$	40	2+ 7+12+19	$8d$
10	2+8	$4d$	41	2+ 7+13+19	$8d$
11	3+8	$4.154d$	42	2+ 8+13+19	$8d$
12	3+9	$4.154d$	43	2+ 8+14+19	$8d$
13	4+9	$4.414d$	44	2+ 8+14+20	$8d$
14	4+10	$4.414d$	45	3+ 8+14+20	$8.154d$
15	5+10	$4.70d$	46	3+ 9+14+20	$8.154d$
16	5+11	$4.70d$	47	3+ 9+15+20	$8.154d$
17	0+6+11	$5d$	48	3+ 9+15+21	$8.154d$
18	0+6+12	$5d$	49	4+ 9+15+21	$8.414d$
19	1+6+12	$5d$	50	4+10+15+21	$8.414d$
20	1+6+13	$5.154d$	51	4+10+16+21	$8.414d$
21①	1+7+13	$5.3d$	52	4+10+16+22	$8.414d$
22②	1+8+13	$5.7d$	53	5+10+16+22	$8.7d$
23	2+8+13	$6d$	54	5+11+16+22	$8.7d$
24	2+8+14	$6d$	55	5+11+17+22	$8.7d$
25	3+8+14	$6.154d$	56	5+11+17+23	$8.7d$
26	3+9+14	$6.154d$	57	6+11+17+23	$9d$
27	3+9+15	$6.154d$	58	6+12+17+23	$9d$
28	4+9+15	$6.414d$	59	6+12+18+23	$9d$
29	4+9+16	$6.414d$	60	6+12+18+24	$9d$
30	4+10+16	$6.414d$	61	1+6+12+18+24	$9d$
31	5+10+16	$6.7d$	62	2+6+12+18+24	$10d$
32	5+11+16	$6.7d$	63①	1+7+13+18+24	$9.3d$
33	5+11+17	$6.7d$	63	2+7+12+18+24	$10d$
34	6+11+17	$7.0d$	64	2+7+13+18+24	$10d$
35	6+12+17	$7.0d$	91	1+6+12+18+21+30	$11d$
			127	1+6+12+18+24+30+36	$13d$

① 用直徑為 $1.3d$ 的單綫做中心。② 用直徑為 $1.7d$ 的單綫做中心。

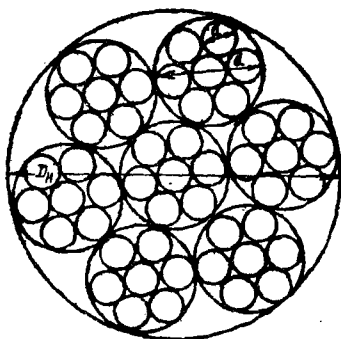
所画的圓的面积之比称为充填系数。

$$K_s = \frac{\sum \frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (8)$$

在表 1 中列出了按正規同心式絞成的綫芯的特征。在表 2 中列出了單綫根数为 2 到 127 根的綫芯的外徑。

2 正規股綫式絞合

正規同心式絞合所導出的所有公式，完全适用于 正 規 股 綫 式絞合(圖 6)。然而在这种情况下，可把單股的股綫看做單綫。若确定按正規股綫式絞合所絞成的綫芯的外徑，必須預先确定單股綫的直徑，再將所得的数值代入正規同心式絞合所導出的相适应的公式中。



3 軟綫綫芯絞合或束絞

利用由正規同心式絞合所導出的公式来确定束絞綫芯的直徑可以得到足够的正确性。

圖 6 正規股綫式絞合的圖形。

4 扇形綫芯的絞合

最近几年来，苏联的電纜工厂已开始制造紧压扇形綫芯的油浸紙絕緣電力電纜。扇形綫芯的紧压乃是在絞合时將其通过压輪而达到的。在綫芯进入压輪之前先通过特殊的并綫模使其具有扇形的形状。

● 原書誤为 $K_s = \frac{\sum \frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\pi D^2 n}{4}}$ 。——譯者

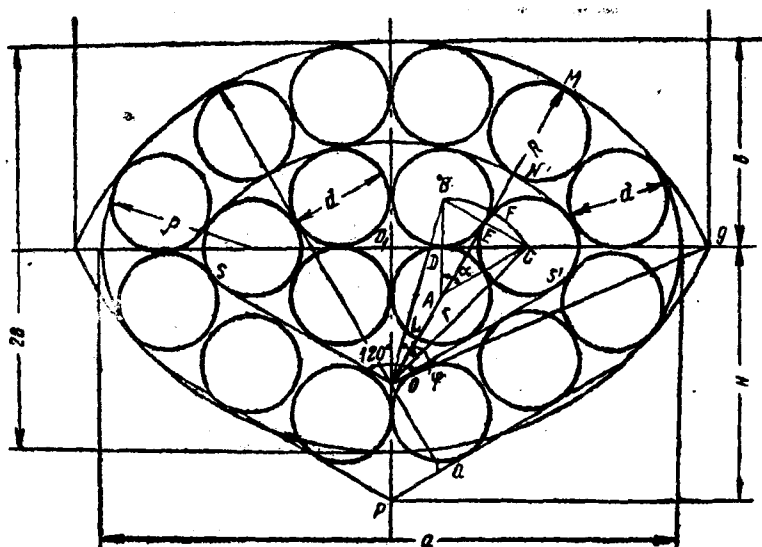


圖 7 截面为25~70公厘²的扇形纜芯。

紧压扇形纜芯与同样截面的普通的扇形纜芯比較，則有較小的尺寸，因而可大大地节省紙、鉛和其他的材料。

下边我們談一下工程師德沃利雅謙科(В. И. Дворяченко)所提出的对紧压的扇形纜芯的一些計算方法。

紧压扇形纜芯适用于截面从25到240公厘²的纜芯。在圖7、8和9上画出的是紧压前的扇形纜芯。截面从25到70公厘²的纜芯是由18根單纜制成，如圖7所示。中間有6根平行的縱向單纜，在它們上边再絞以一層12根相同直徑的單纜。

在圖8上画出了截面为95和120公厘²纜芯的單纜排列。从圖上可以看到，纜芯的中央是預先絞合成的7根單纜和放在它兩側的兩根縱向的單纜。在外面再复以一層直徑相同的15根單纜。

从圖9可以看到，截面为150~240公厘²的纜芯結構与截面为95和120公厘²纜芯的不同之处就是有附加的一層21根單纜。