

常用符号表

A ——导线截面	Q ——单位体积热容量
A_0 ——近端串音衰减	R ——导线电阻
A_t ——远端串音衰减	Re ——雷诺数
A_{12} ——远端串音防卫度	R_{in} ——绝缘电阻
A_s ——屏蔽衰减	R_T ——热阻
A_f ——反射衰减	r_c ——导线半径
a ——需油率	r_i ——绝缘半径
a ——强度损失系数	S ——导线中心轴间距离
b ——油流阻力系数	S ——屏蔽系数
C ——电容	S_f ——防护作用系数
C ——单位重量热容量	T ——周期
d ——导线直径	t ——短路时间
D_i ——绝缘外径	U ——工作电压、计算电压
D_e ——电缆外径	U_e ——线电压
D_s ——护套内径	u_ϕ ——相电压
E ——电场强度	U_i ——冲击试验电压
E_{av} ——平均工频击穿场强	V ——体积
E_τ ——切向电场强度	W ——功率
E_y ——弹性系数	X ——电抗
e ——体膨胀系数	Y_s ——集肤效应系数
f ——频率	Y_p ——邻近效应系数
G ——单位长度重量	α ——电阻温度系数
G ——绝缘电导	α ——线胀系数
H ——磁场强度	α ——衰减常数
h ——表面散热系数	β ——相移常数
h ——节距长度	γ ——比重
I ——长期允许工作电流(载流量)	Δ_i ——绝缘厚度
I_{sc} ——短路电流	δ ——损耗角
I_{ab} —— a 、 b 相间短路电流	$\operatorname{tg} \delta$ ——介质损耗角正切
J ——经济电流密度	$\operatorname{tg} \delta$ ——磁损耗角正切
J_s ——日照强度	$\Delta \operatorname{tg} \delta$ ——损耗角正切的增值
K ——电容耦合	σ_b ——抗拉强度
K ——涡流系数	σ_z ——波阻抗偏差的均方根值
K ——铝钢截面比	E ——表面辐射散热系数
K_1 ——抗拉强度老化系数	θ ——导线工作温度
K_2 ——伸长率老化系数	θ_a ——环境温度
L ——电感	$\Delta \theta_c$ ——导线温升
L ——距离、长度	ϵ ——介电常数
m ——导线绞合层数	ϵ ——蠕变应变
n ——绞合导线根数	$\cos \varphi$ ——功率因素
n ——电线电缆芯数	λ ——绞入系数
n ——安全系数	λ ——电磁波波长
P ——绝缘电阻的电场系数	ρ_v ——体积电阻系数
P ——压力	ρ_T ——热阻系数
ΔP ——压力降	v ——传播速度
P_B ——拉断力	μ ——导磁率
p ——反射系数	μ ——粘度
p ——绞线节距比	

第1章 架空导线

输配电或通信线路中架空敷设用的裸导线，称为架空导线。架空导线与电缆相比，具有结构简单、制造方便、造价便宜、施工容易和便于检修等优点；但占地面和空间较多，对建筑物和树木须有足够的安全间距。

对架空导线的主要性能要求如下：

a. 电性能 要求导线的电阻系数小，以减少线路的电压降和电能损耗。当线路电压为 110 kV 及以上时，应考虑电晕损耗和对外界电磁波的干扰。

b. 机械性能 导线应有足够的机械强度，以承受线路上导线的自重以及风压、冰雪和风激振动等因素引起的各种动、静负荷。电车线还需具有良好的耐磨性。

c. 耐腐蚀性能 导线应具有一定的耐大气腐蚀和电化腐蚀的能力，以适应不同使用环境的需要。

架空导线按其结构可分为裸单线、普通绞线、组

合绞线、特种导线和电车线等五类。常用的品种有铝绞线、钢芯铝绞线、铝合金绞线和钢铝电车线等。还有满足某些特殊要求的品种，如用于大跨越的高强度钢芯铝包钢绞线、可降低导线表面电场强度的扩径导线和减少导线疲劳断股的自阻尼导线等。架空导线的导体一般用铝，仅在特殊场合下允许用铜。

随着电力建设的迅速发展，架空输电线路正向超高压、大容量和远距离方向发展，相应地研制了高强度、高导电、耐热和耐腐蚀的铝合金，以及其他复合导体等新材料和新结构，提高了架空导线的技术性能和使用寿命。

1 裸单线

裸单线用于小容量配电线路和通信明线，主要品种有铝包钢线、铜包钢线、镀锌低碳钢线和硬铜圆单线几种，其型号、规格、用途列于表 26.1-1。铝和铝合金单线因强度较低，不允许架空使用。

表 26.1-1 裸单线的品种、规格和用途

品 种	型 号	线径范围 mm	标 准	用 途
铝 包 钢 线	GL GGL	3.7~4.4	企业标准	用于通信明线和小容量配电线路
铜 包 钢 线	GTA	1.2~6.0	企业标准	用于通信明线
镀锌低碳钢线	--	4.0~6.0	GB346-64	用于农用配电线路及通信明线
硬 铜 圆 单 线	TY	3.0~6.0	JB647-77	除特殊情况外，不采用

表 26.1-2 铝包钢及铜包钢单线代表规格的主要技术参数

产品及型号	线径 mm	镀锌钢线直径 mm	最小包层厚度 mm	线 径 偏 差 mm	抗拉强度 kgf/mm ² (不小于)	伸长率% (不小于)	电阻系数① (Ω·mm ² /m)20°C
GL 型铝包钢 线	4.0	2.8	0.30	±0.08	58.8	1.5	0.0501
	4.0	3.0	0.25	±0.08	66.8	1.5	0.0560
	4.0	3.2	0.20	±0.08	76.4	1.5	0.0643
GGL型高强度铝包钢线	3.7	3.0	0.20	±0.08	88.3		0.0663
	4.0	3.2	0.20	±0.08	99.5		0.0643
	4.4	3.2	0.30	±0.08	82.3		0.0530
GT 型 铜 包 钢 线	1.6		0.08	±0.06	75	1.0	0.0522
	2.0		0.10	±0.06	75	1.0	0.0515
	2.5		0.12	±0.06	75	1.0	0.0510
	3.0		0.15	±0.06	75	1.0	0.0502
	4.0		0.20	±0.08	75	1.1	0.0502

① 表中提供的电阻系数均为直流电阻系数，下同。

1.1 铝包钢线和铜包钢线

铝包钢单线强度高、耐腐蚀好、高频电阻小、宜用于架空通信明线及小容量配电线路。根据钢芯强度的不同,分为一般型和高强度型两种,其代表规格的主要技术参数列于表 26.1-2。成品铝包钢线不允许焊接。

铜包钢单线的高频电阻优于铝包钢线而与铜单线相近,适用于高频通信线路,其代表规格的主要技术参数见表 26.1-2。

1.2 镀锌低碳钢线

镀锌低碳钢线仅用于农用配电线路和农用通信

明线,电力线用的钢线直径应不小于 3mm。其主要技术参数见表 26.1-3。

1.3 硬铜圆单线

硬铜圆单线仅在特殊场合作为架空导线用。用于配电线路时,导线直径应不小于 3.2mm。其主要技术参数见表 26.1-4。

2 普通绞线

普通绞线一般是由直径相同的同一种导电金属单线按一定规则绞制而成,其主要品种、型号、规格和用途列于表 26.1-5。

表 26.1-3 镀锌低碳钢线的主要技术参数

线 径 mm	线 径 偏 差 mm	抗 拉 强 度 kgf/mm ²	伸 长 率 % (不小于)	电 阻 系 数 Ω·mm ² /m (20°C)	
				普 通 的	含 铜 的
1.5~2.0	±0.06	37~55	10	0.132	0.146
2.5~3.0	±0.06	37~50		0.132	0.146
4.0~6.0	±0.08	37~50		0.132	0.146

表 26.1-4 硬铜圆单线的主要技术参数

线 径 mm	线 径 偏 差 mm	抗 拉 强 度 kgf/mm ²	伸 长 率 % (不小于)	电 阻 系 数 Ω·mm ² /m(20°C)
3.01~3.50	±0.03	39	1.2	0.01790
3.51~4.00	±0.04	39	1.2	0.01790
4.01~4.50	±0.04	38	1.5	0.01790
4.51~5.00	±0.05	38	1.5	0.01790
5.01~6.00	±0.05	37	1.5	0.01790

表 26.1-5 普通绞线的品种、规格和用途

品 种	型 号	截面范围 mm ²	标 准	用 途
铝 绞 线	LJ	10~600	GB1179-74	用于档距较小的一般配电线路
铝合金绞线 热处理型 非热处理型	HLJ HL ₂ J	10~600	企业标准	用于一般输配电线路
铝 包 钢 绞 线	GLJ	70~600	企业标准	用于重冰区或大跨越导线、通信避雷线
镀 锌 钢 绞 线	—	2~260	GB1200-75	用于农用架空线或避雷线
硬 铜 绞 线	TJ	10~400	企业标准	除特殊情况外,不采用

普通绞线采用同心式正规绞合结构，每一层的单线根数均有规定(参见第3章1.1)。绞线中各相邻层的绞向应相反，规定最外层为右向绞合。每一层的绞合节距比（即每层绞合节距长度与该层外径之比）规定如表26.1-6，相邻层的外层节距比要小于内层。

表 26.1-6 架空导线绞合节距比

线 材	层 次	绞 合 节 距 比	
		规 定 值	推 荐 值
钢 芯	第 1 层	16~28	24
	第 2 层	14~24	20
导电金属线	单 层	10~14	12.5
	两层	第 1 层	11~17
		外 层	10~13
	多层	第 1 层	11~17
		第 2 层	11~17
		第 3 层	11~17
		外 层	10~13

注：表中钢芯仅用于组合绞线，导电金属线的规定适用于普通绞线和组合绞线。

2.1 铝绞线

铝绞线的机械强度较小，常用于受力不大、档距较小的一般配电线路。图26.1-1是铝绞线部分规格的截面图。

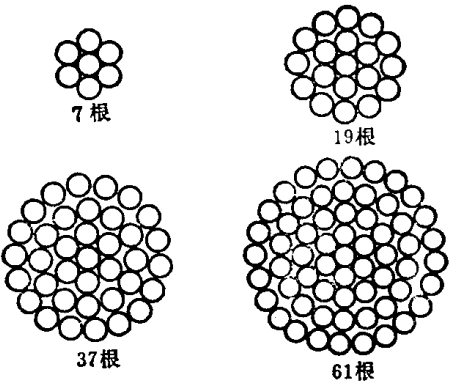


图 26.1-1 铝绞线部分规格截面图

铝绞线的结构和主要技术参数列于表26.1-7。

2.2 铝合金绞线

架空导线用铝合金，主要有热处理型和非热处理型两种(参见第9篇导电金属)。两者的电性能相

表 26.1-7 铝绞线结构和主要技术参数

标称 截面 mm ²	导线结构 根数/直径 (mm)	实 际 铝截面 mm ²	导线 直径 mm	直流电阻 Ω/km (20°C)	拉断力 kgf	弹性系数 kgf/mm ²	线胀系 数1/°C (×10 ⁻⁶)	单位 重量 kg/km	载 流 量① A			制造长度 m (不小于)
									70°C	80°C	90°C	
10	3/2.07	10.1	4.46	2.896	163	6000	23.0	27.6	64	76	86	4500
16	7/1.70	15.9	5.10	1.847	257	6000	23.0	43.5	83	98	111	4500
25	7/2.12	24.7	6.36	1.188	400	6000	23.0	67.6	109	129	147	4000
35	7/2.50	34.4	7.50	0.854	555	6000	23.0	94.0	133	159	180	4000
50	7/3.00	49.5	9.00	0.593	750	6000	23.0	135	166	200	227	3500
70	7/3.55	69.3	10.65	0.424	990	6000	23.0	190	204	246	280	2500
95	19/2.50	93.3	12.50	0.317	1510	5700	23.0	257	244	296	338	2000
95(1)②	7/4.14	94.2	12.42	0.311	1340	6000	23.0	258	246	298	341	2000
120	19/2.80	117.0	14.00	0.253	1780	5700	23.0	323	280	340	390	1500
150	19/3.15	148.1	15.75	0.200	2250	5700	23.0	409	323	395	454	1250
185	19/3.50	182.8	17.50	0.162	2780	5700	23.0	504	366	450	518	1000
240	19/3.98	236.4	19.90	0.125	3370	5700	23.0	652	427	528	610	1000
300	37/3.20	297.6	22.40	0.0996	4520	5700	23.0	822	490	610	707	1000
400	37/3.70	397.8	25.90	0.0745	5670	5700	23.0	1099	583	732	851	800
500	37/4.14	498.1	28.98	0.0595	7100	5700	23.0	1376	667	842	982	600
600	61/3.55	603.8	31.95	0.0491	8150	5500	23.0	1669	747	949	1110	500

① 载流量按本章公式(26.1-18)计算，计算条件为：环境温度40°C，风速0.5 m/s，日照强度1000 W/m²，辐射及吸热系数0.9。以下各表均同。
② 某些规格，一种截面有二种导线绞合结构。以下各表均同。

表 26.1-8 铝合金绞线的技术参数

标称截面 mm ²	导线结构 根数/直径 (mm)	拉 断 力 kgf		直 流 电 阻 Ω/km (20°C)	载 流 量 A		
		热 处 理 型 HLJ	非热处理型 HL ₂ J		70°C	80°C	90°C
10	3/2.07	288	245	3.27	61	72	81
16	7/1.70	453	385	2.09	79	93	106
25	7/2.12	704	598	1.34	103	123	139
35	7/2.50	980	830	0.966	126	151	172
50	7/3.00	1410	1100	0.671	158	190	216
70	7/3.55	1980	1480	0.480	193	234	267
95	19/2.50	2660	2260	0.359	231	281	322
95(1)	7/4.14	2690	2020	0.352	233	283	325
120	19/2.80	3330	2610	0.286	265	324	372
150	19/3.15	4220	3300	0.226	306	375	432
185	19/3.50	5210	4080	0.183	347	428	494
240	19/3.98	6740	5050	0.141	405	502	581
300	37/3.20	8480	6640	0.113	465	580	673
400	37/3.70	11300	8500	0.0843	554	695	809
500	37/4.14	14200	10600	0.0673	633	800	935
600	61/3.55	17300	12900	0.0555	709	902	1060

近, 20°C时的直流电阻系数均不大于0.0328 Ω·mm²/m。热处理型的抗拉强度较大(见表26.1-22), 但成本较高。

铝合金绞线的结构、弹性系数和单位重量均与铝绞线相同, 但强度较大, 可用于一般输配电线路。表26.1-8列出了它们的主要技术参数。

2.3 铝包钢绞线

铝包钢绞线比截面相当的铝绞线或铝合金绞线的抗拉强度高得多, 适用于大跨越的输配电线路。根据需要使用, 绞线可用7~161根或更多根的铝包钢单线绞制。下面列出一个代表产品的技术参数, 以供参考。

产品型号规格 GLJ-167/297
结 构 37/4.0(铝包钢单线直径4.0mm,
铝层厚0.4mm)
铝 截 面 167.5 mm²
钢 截 面 297.6 mm²
拉 断 力 40700 kgf
弹性系数 13900 kgf/mm²
线胀系数 1.33×10⁻⁶ 1/°C
载 流 量 表面无防腐涂料: 615 A

表面有防腐涂料: 675 A
(载流量计算条件同表26.1-7注, 但风速为0.6 m/s)。

2.4 镀锌钢绞线

镀锌钢绞线可用作农用架空导线或避雷线, 常用截面范围为25~120 mm², 也采用同心式正规绞合。其主要技术参数见表26.1-9。

2.5 硬铜绞线

硬铜绞线的电阻系数比铝或铝合金绞线低, 机械强度也较高, 但导线自重大。为了节约用铜, 除特殊情况外, 不采用。硬铜绞线的主要技术参数见表26.1-10。

3 组合绞线

组合绞线由两种单线, 即导电金属单线和高强度金属单线组合绞制而成, 如钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线、钢芯铝包钢绞线等。由于其机械强度比导电截面相同的普通绞线高, 因此可减小弧垂或增大杆塔间距、降低线路造价, 广泛用于各种输配电线路。表26.1-11列出了组合绞线的品种、规格和用途。

表 26-1-9 镀锌钢绞线的主要技术参数

镀锌钢绞线 规格	结 构 根数/直径	钢 截 面 mm ²	绞 线 直 径 mm	拉 断 力 kg f					参 考 载流量	单位重量 kg/km
				钢 线 抗 拉 强 度 kgf/mm ²						
	(mm)			mm ²	mm	110	125	140	155	
GJ-25	7/2.2	23.6	6.6	2630	2990	3350	3710	4070	70	228
GJ-35	7/2.6	37.2	7.8	3680	4180	4680	5180	5680	80	318
GJ-50	7/3.0	49.5	9.0	4900	5560	6230	6900	7570	90	424
GJ-70	19/2.2	72.2	11.0	7150	8120	9100	10000	11000	120	615
GJ-95	19/2.5	93.2	12.5	9230	10500	11700	13000	14200	150	795
GJ-120	19/2.8	116.9	14.0	11600	13100	14700	16300	17900	175	995

表 26-1-10 硬铜绞线的主要技术参数

标称截面 mm ²	结 构 根数/直径 (mm)	铜 截 面 mm ²	导线直径 mm	直流电阻 Ω/km (20°C)	拉 断 力 kg f	单位重量 kg/km	制造长度 m
10	7/1.33	9.73	3.99	1.87	358	88	5000
16	7/1.68	15.5	5.04	1.20	570	140	4000
25	7/2.11	24.5	6.33	0.740	882	221	3000
35	7/2.49	34.5	7.47	0.540	1240	311	2500
50	7/2.97	48.5	8.91	0.390	1745	439	2000
70	19/2.14	68.3	10.70	0.280	2450	618	1500
95	19/2.49	92.5	12.45	0.200	3330	837	1200
120	19/2.80	117	14.00	0.158	4210	1058	1000
150	19/3.15	148	15.75	0.123	5180	1338	800
185	37/2.49	180	17.43	0.103	6480	1627	800
240	37/2.84	234	19.88	0.0780	8430	2120	800
300	37/3.15	288	22.05	0.0620	10100	2608	600
400	37/3.66	389	25.62	0.0470	13650	3521	600

表 26-1-11 组合绞线的品种、规格和用途

品 种	型 号	截面范围① mm ²	标 准	用 途
钢芯铝绞线 普通型 轻型 加强型	LGJ LGJQ LGJJ	10~400 150~700 150~400	GB1179-74	用于输配电线路
钢芯铝合金绞线 热处理型 非热处理型 加强型热处理型 加强型非热处理型	HLGJ HL ₂ GJ HLGJJ HL ₂ GJJ	100~400 100~400 150~400 150~400	根据技术协议	用于重冰区或大跨越输电线路等
钢芯铝包钢绞线	GLGJ	120~400	企 业 标 准	用于较大的大跨越或重冰区输电线路
钢-铝包钢绞线	GGLJ	70~120	企 业 标 准	用于大跨越输电线路或通信避雷线
防腐钢芯铝绞线 轻防腐 中防腐 重防腐	LGJF ₁ LGJF ₂ LGJF ₃	25~400	企 业 标 准	用于周围有腐蚀环境的输配电线路，轻、中、重表示耐腐蚀的能力大小
钢芯软铝绞线	LRGJ	120~700	根据技术协议	可用于传输容量较大的输配电线路

① 组合绞线的截面指导电截面，钢芯不计在内；但铝包钢单线的导电截面包括铝和钢。

表 20.1-12 钢芯铝绞线的结构及主要技术参数

型号 类型	标称 截面 mm ²	结构尺寸 根数/直径(mm)		截面 mm ²		铝钢 截面 比	直径 mm		直流 电阻 Ω/km (20°C)	拉 断力 kgf	弹 性 系 数 kgf/mm ²	线胀系数 1/°C (×10 ⁻⁶)	单 位 重 量 kg/km	载流量 A			制 造 长 度 m (不小于)
		铝	钢	铝	钢		导线	钢芯						70°C	80°C	90°C	
LGJ 普通型	10	6/1.50	1/1.5	10.6	1.77	6.0	4.50	1.5	2.774	367	7800	19.1	42.9	65	77	87	1500
	16	6/1.80	1/1.8	15.3	2.54	6.0	5.40	1.8	1.926	530	7800	19.1	61.7	82	97	109	1500
	25	6/2.20	1/2.2	22.8	3.80	6.0	6.60	2.2	1.289	790	7800	19.1	92.2	104	123	139	1500
	35	6/2.80	1/2.8	37.0	6.16	6.0	8.40	2.8	0.796	1190	7800	19.1	149	138	164	183	1000
	50	6/3.20	1/3.2	48.3	8.04	6.0	9.60	3.2	0.609	1550	7800	19.1	195	161	190	212	1000
	70	6/3.80	1/3.8	68.0	11.3	6.0	11.40	3.8	0.432	2130	7800	19.1	275	194	228	255	1000
	95	28/2.07	7/1.8	94.2	17.8	5.3	13.68	5.4	0.315	3490	8000	18.8	401	248	302	345	1500
	120	7/4.14	7/1.8	94.2	17.8	5.3	13.68	5.4	0.312	3310	8000	18.8	398	230	272	304	1500
	150	28/2.30	7/2.0	116.3	22.0	5.3	15.20	6.0	0.255	4310	8000	18.8	495	281	344	394	1500
	185	7/4.60	7/2.0	116.3	22.0	5.3	15.20	6.0	0.253	4090	8000	18.8	492	256	303	340	1500
LGJQ 轻型	150	28/2.53	7/2.2	140.8	26.6	5.3	16.72	6.6	0.211	5080	8000	18.8	598	315	387	444	1500
	185	28/2.88	7/2.5	182.4	34.4	5.3	19.02	7.5	0.163	6570	8000	18.8	774	368	453	522	1500
	240	28/3.22	7/2.8	228.0	43.1	5.3	21.28	8.4	0.130	7860	8000	18.8	969	420	520	600	1500
	300	28/3.80	19/2.0	317.5	59.7	5.3	25.20	10.0	0.0935	11100	8000	18.8	1348	511	638	740	1000
	400	28/4.17	19/2.2	382.4	72.2	5.3	27.68	11.0	0.0778	13400	8000	18.8	1626	570	715	832	1000
	150	24/2.76	7/1.8	143.6	17.8	8.0	16.44	5.4	0.207	4150	7400	19.8	537	318	389	447	1500
	185	24/3.06	7/2.0	176.5	22.0	8.0	18.24	6.0	0.168	5110	7400	19.8	661	359	442	509	1500
	240	24/3.67	7/2.4	253.9	31.7	8.0	21.88	7.2	0.117	7120	7400	19.8	951	446	553	638	1500
	300	54/2.65	7/2.6	297.8	37.2	8.0	23.70	7.8	0.0997	8630	7400	19.8	1116	485	602	695	1000
	300(1)	24/3.98	7/2.6	298.6	37.2	8.0	23.72	7.8	0.0994	8360	7400	19.8	1117	491	610	707	1000
LGJJ 加强型	400	54/3.06	7/3.0	397.1	49.5	8.0	27.36	9.0	0.0748	11100	7400	19.8	1487	573	716	829	1000
	400(1)	24/4.60	7/3.0	398.9	49.5	8.0	27.40	9.0	0.0744	10700	7400	19.8	1491	582	729	847	1000
	500	54/3.36	19/2.0	478.8	59.7	8.0	30.16	10.0	0.0620	13900	7400	19.8	1795	639	802	929	1000
	600	54/3.70	19/2.2	530.6	72.2	8.0	33.20	11.0	0.0511	16200	7400	19.8	2175	714	900	1040	1000
	700	54/4.04	19/2.4	692.2	86.0	8.0	36.24	12.0	0.0429	19400	7400	19.8	2592	790	995	1155	1000
	150	30/2.50	7/2.5	147.3	34.4	4.3	17.50	7.5	0.202	6170	8370	18.2	677	326	400	460	1500
	185	30/2.80	7/2.8	184.7	43.1	4.3	19.60	8.4	0.161	7200	8370	18.2	850	373	460	530	1500
	240	30/3.20	7/3.20	241.3	56.3	4.3	22.40	9.6	0.123	9410	8370	18.2	1110	437	542	626	1500
	300	30/3.67	19/2.2	317.4	72.2	4.4	25.68	11.0	0.0937	12500	8330	18.3	1446	513	640	743	1000
	400	30/4.17	19/2.5	409.7	93.3	4.4	29.18	12.5	0.0726	16100	8330	18.3	1868	596	750	873	1000

组合绞线的结构,通常是内部为加强钢芯(单根钢单线或多根钢线绞合),外面再绞上一层或数层导电金属单线。导电金属单线直径相同时,仍按正规绞合方式每层递增6根,绞合节距比见表26.1-6。

组合绞线中,导电金属单线和钢单线的直径比,一般按下式计算:

$$\frac{d_d}{d_g} = \frac{3+6m}{n_1-3} \quad (26.1-1)$$

式中 d_d ——导电金属单线直径 mm

d_g ——钢单线直径 mm

m ——钢芯单线的层数

n_1 ——第一层导电金属单线的根数

若需进一步提高导线的强度,可制成混绞线,如4根铝线与3根钢线的混绞等。

组合绞线由于两种接触金属的标准电位不同,在大气中易引起腐蚀,为此钢单线均需镀锌或镀铝。此外可在导线表面或分层涂上耐大气和电化腐蚀的防腐剂,用于各种有腐蚀气氛的场合,延长导线的使用寿命。

组合导线结构的标志方法是标出导电金属线和钢线的根数。如由24根铝线和7根钢线构成的钢芯铝绞线,标志为24/7。

3.1 钢芯铝绞线

钢芯铝绞线是常用的一种组合绞线,按其强度的大小,分为普通、轻型和加强型三种。图26.1-2是其部分规格的截面图。

三种钢芯铝绞线结构的差别,主要用铝钢截面

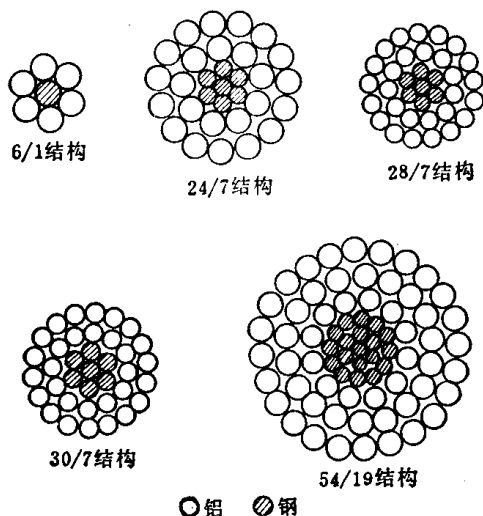


图 26.1-2 钢芯铝绞线截面图

比(即导线中铝截面与钢截面的比值)来表示。铝钢截面比愈小,导线的强度愈大,如轻型结构的铝钢截面比为8.0,普通型为5.3~6.0,加强型为4.3~4.4。按GB1179-74的规定,钢芯铝绞线的截面系列、结构尺寸和主要技术参数列于表26.1-12。

3.2 钢芯铝合金绞线

钢芯铝合金绞线的截面系列、结构、弹性系数、线胀系数及单位重量与钢芯铝绞线相同。钢芯铝合金绞线电阻稍大,载流量约小5%,但强度较高,超载能力较大,适合于重冰区或大跨越输电线路等使用。其主要技术参数列于表26.1-13。

3.3 钢芯铝包钢绞线

将铝包钢单线作为导电金属线与钢单线组合成钢芯铝包钢绞线,其强度比钢芯铝绞线大,因此可用于跨度很大、输电容量大的线路。其绞合方式与钢芯铝绞线相同,两种单线的直径比也按公式(26.1-1)计算。

为了更进一步提高此种导线的强度,可采用如下方法:

(1) 采用抗拉强度为160~180 kgf/mm²的高强度镀锌钢线或镀铝钢线作钢芯;

(2) 采用上述高强度钢线作为铝包钢单线的芯子,使铝包钢单线的强度提高。

钢芯铝包钢绞线一般均涂以防腐剂,延长使用寿命。

3.4 钢-铝包钢混绞线

钢-铝包钢混绞线由铝包钢单线及直径相同的镀锌或镀铝钢线混合绞制而成,使加强型钢线的铝钢截面比增加,因此比导线外径相同的铝包钢绞线强度更高,适用于大跨越输电线路和兼作载波通信的避雷线。图26.1-3是一种规格(用4根直径为3.8 mm的铝包钢线和3根直径为3.8 mm的钢线)的截面图。图中所示产品的主要技术参数如下: 铝

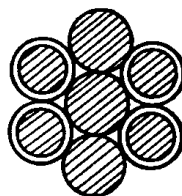


图 26.1-3 钢-铝包钢混绞线(GGLJ型)

表 26-1-13 钢芯铝合金绞线的主要技术参数

型 号	标称截面	结 构 尺 寸 根数/直径 (mm)		拉 断 力 kg f		直流电阻 Ω/km (20°C)	载 流 量 A		
		铝 合 金	钢	热处理型	非热处理型		70°C	80°C	90°C
普通型	10	6/1.50	1/1.5	500	480	3.137	62	73	83
	16	6/1.80	1/1.8	720	650	2.178	78	92	104
	25	6/2.20	1/2.2	1070	980	1.458	100	117	132
	35	6/2.80	1/2.8	1680	1450	0.900	131	156	176
	50	6/3.20	1/3.2	2200	1900	0.689	153	181	203
	70	6/3.80	1/3.8	3100	2610	0.489	185	218	245
	HLGJ 95	28/2.07	7/1.8	4650	4250	0.356	235	287	329
	HL ₂ GJ 95(1)	7/4.14	7/1.8	4650	3980	0.353	220	260	292
	120	28/2.30	7/2.0	5740	5240	0.288	267	327	375
	120(1)	7/4.60	7/2.0	5740	4920	0.286	245	290	326
	150	28/0.53	7/2.2	6960	6080	0.239	310	368	423
	185	28/2.88	7/2.5	9000	7860	0.184	350	431	497
	240	28/3.22	7/2.8	10900	9480	0.147	400	495	572
	300	28/3.80	19/2.0	15700	13400	0.106	486	607	705
加强型	400	28/4.17	19/2.2	18800	16200	0.088	542	680	792
	HLGJJ 150	30/2.50	7/2.5	8000	7350	0.228	309	380	438
	HL ₂ GJJ 185	30/2.80	7/2.8	9670	8520	0.182	354	437	505
	240	30/3.20	7/3.2	12600	11100	0.139	415	515	596
	300	30/3.67	19/2.2	17000	14800	0.106	487	610	708
	400	30/4.17	19/2.5	22000	19100	0.082	566	713	831

截面 17.1 mm²; 钢截面 62.3 mm²; 拉断力 8760 kgf; 弹性系数 15400 kg f/mm²; 线胀系数 13.3×10⁻⁶ 1/°C, 直流电阻 1.06 Ω/km。

由于镀锌钢线与铝包钢线的接触面较大, 易引起腐蚀, 因此以采用镀锌铝线混合绞制较好。

3.5 防腐钢芯铝绞线

3.5.1 钢芯铝绞线受腐蚀的形式

铝的表面有致密的氧化膜, 在一般环境中有很好的耐蚀性。铝的纯度愈高, 耐蚀性愈好。铝中含有的杂质铁、硅和铜, 特别是铜对耐蚀性有显著影响。钢芯铝绞线采用的镀锌钢线, 同样在一般环境中有一定的耐蚀性。

钢芯铝绞线用于沿海地区或有腐蚀气氛的工业区时, 则会产生腐蚀而使寿命降低。其受腐蚀的形式如下。

(1) 在沿海地区, 内层由于铝和镀锌钢线的接

触而产生电化腐蚀, 首先蚀去镀锌层, 同时锌层也会因导线振动引起股线间摩擦而破裂, 使铝与钢直接接触。铝、钢接触后会继续使腐蚀扩展。

导线的外表面和各层单线间, 由于水气中含有的盐分和氧化膜的化学反应, 以及微电池的作用而产生“孔蚀”。

(2) 在工业区, 导线外层铝的表面会附着许多工业污秽(如尘埃、煤粉、金属粉、金属氧化物等), 并吸附水和二氧化硫等, 构成电化腐蚀的电解质, 导致“孔蚀”的产生。因此在工业区, 以外层腐蚀为主, 但内部也会缓慢产生铝、镀锌钢线的接触腐蚀。

(3) 如果是沿海工业区, 上述两种腐蚀形式的产生是迭加的, 因此腐蚀更为严重。

3.5.2 防腐措施

为了提高导线在腐蚀环境中的使用寿命, 必须采取防腐措施, 生产防腐型架空导线。除钢芯铝绞线外, 铝绞线等其他绞线也可制成防腐型。

防腐的措施主要有两类。

一类是涂抹防腐剂，按耐腐蚀要求的不同分为三种结构。

轻防腐：钢芯各层及钢芯表面涂防腐剂。

中防腐：除导线表面外，内部各层单线(包括钢芯)均涂以防腐剂。

重防腐：导线中各层和外表面均涂以防腐剂，其中导线外表面一般由施工部门在现场涂防腐剂。有时为了减少现场施工困难，或考虑防腐剂老化问题，也可采用纯度更高的铝线作外层铝线。

另一类防腐措施是采用铝包钢线或镀铝钢线作为加强钢芯，外层绞上铝线，使单线表面没有异种金属接触。

3.6 钢芯软铝绞线

钢芯软铝绞线采用充分韧炼的软铝线与钢芯绞制，结构与钢芯铝绞线相同。其特点是在运行过程中，全部机械负荷由钢芯承担。

由于绞线中的铝线实际上是不受力的，在相同的档距下，此种绞线的弧垂较小，铝线的疲劳断股可能性小，蠕变也主要是钢芯的蠕变而使绞线总的蠕变较小，自阻尼能力也较好。此外由于铝线业已软化，温升可以提高，假如放宽电能损耗的限度，导线的载流量可增加较多。但钢芯软铝绞线的拉断力较低，钢芯使用应力较高，绞线中的软铝线易被擦伤和磨伤，在制造与安装过程中，应加强防护措施，在运行过程中，也应加以防护。

4 特种导线

除上述几类品种外，还有一些满足特殊使用要求而采用的特殊结构导线，如防电晕的扩径导线、高

强度的大跨越导线和自阻尼导线等，称为特殊导线，其品种、规格和用途见表 26.1-14。

4.1 扩径导线

输电线路上架空导线的表面电场强度大于一定的数值，会使导线周围的空气局部游离(称为电晕)而消耗电能，并干扰外界的电磁波。空气游离的起始电场强度除了气候条件外，取决于导线的工作电压和导线的外径。在超高压输电线路路上，为了减少电晕损耗和对电磁波的干扰，对导线外径的最小值有相应的要求，因此需采用扩大导线外径的扩径导线。也可采用几根导线并成一相的分裂导线。

常用的扩径导线有两种：扩径钢芯铝绞线和扩径空芯导线。

扩径钢芯铝绞线用于多风暴、冰雪的山区或高海拔地区的高压输电线路路上，在这些地区，如采用分裂导线容易造成碰线事故。图 26.1-4 是扩径钢芯铝绞线一种规格的结构，其主要技术参数见表 26.1-15。

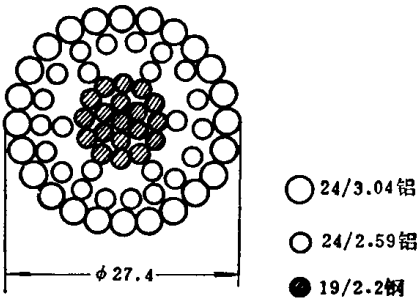


图 26.1-4 LGJK-300 扩径钢芯铝绞线

扩径空芯导线主要用于输变电站，其特点是在同样的导电截面时，扩径的效果大得多，因此起始电晕电压更高；单位重量也较轻，可减小导线在受力状

表 26.1-14 特种导线的品种、规格和用途

品 种	型 号	截面范围① mm ²	标 准	用 途
扩径导线 扩径钢芯铝绞线 铝钢扩径空心导线	LGJK LGKK	240~700 400~1400	企 业 标 准	用于高压或高海拔输电线路 用于高压或高海拔变电站
高强度重防腐钢芯铝包钢绞线	GLGJF ₃	120~400	企 业 标 准	用于大跨越输电线路
自阻尼钢芯铝绞线		120~400	根据技术协议	用于大档距，要求耐疲劳的输配电线路
防冰雪导线		50~400	根据技术协议	用于重冰区的输配电线路

① 同表 26.1-11 的注。

态下的水平拉力,为采用轻型构架和节约变电站面积创造了条件。扩径空芯导线与分裂导线相比,可节约导线与导线、导线与设备之间连接用的金具,并简化安装工程。图 26.1-5 是扩径空芯导线一种规格的结构,其主要技术参数亦见表 26.1-15。

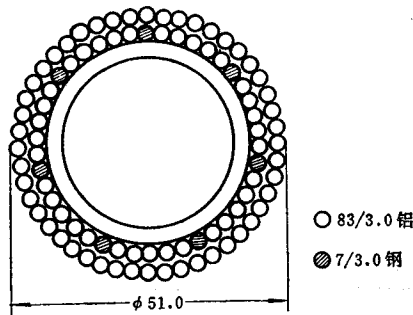


图 26.1-5 LGKK-600 铝钢扩径空芯导线

表 26.1-15 扩径导线的结构和主要技术参数

项 目	LGJK-300 扩径钢芯 铝 绞 线	LGKK-600 铝 钢 扩 径 空 芯 导 线
结 构 第 1 层	6/2.59 铝	35/3.00 铝+ 7/3.0 钢
第 2 层	18/2.59 铝	48/3.00 铝
第 3 层	24/3.04 铝	
钢 芯	19/2.2 钢	φ39 mm 金属软管支撑
截 面 mm ² 铝	301	587
钢	72	49.5
总	373	636
外 径 mm	27.4	51.0
拉断力 kg f	14300	15200
弹性系数 kg f/mm ²	8650	7300
线胀系数 1/°C	18.1×10 ⁻⁶	19.9×10 ⁻⁶
直流电阻 (20°C) Ω/km	0.100	0.0506
载流量(环境温度 40°C 风速 0.5 m/s) A		
导线温度 70°C	500	786
导线温度 80°C	630	1027
导线温度 90°C	730	1216
单位重量 kg/km	1420	2690

4.2 高强度重防腐钢芯铝包钢绞线

横越江河峡谷的大跨越导线,要求很高的强度,以减少弧垂和降低杆塔高度;并应加强防腐,以延长使用寿命,因此应采用高强度重防腐铝包钢绞线。图

26.1-6 是用于跨距 1900 m 以上的大跨越导线的结构,表 26.1-16 列出其主要技术参数。

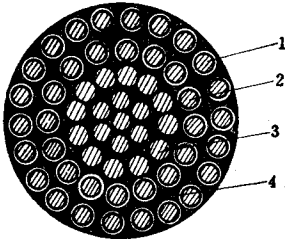


图 26.1-6 GLGJF₃-140/420 高强度
重防腐钢芯铝包钢绞线

1—22/3.7 铝包钢线 2—16/3.7 铝包钢线
3—19/3.2 钢线 4—防腐剂

表 26.1-16 高强度重防腐钢芯铝包钢绞线
GLGJF₃-140/420 结构及主要技术参数

项 目	参 数
结 构	第 1 层 第 2 层 钢 芯
截 面 mm ²	16/3.70 铝包钢线 22/3.70 铝包钢线 19/3.2 钢
铝	140
钢	421
总	561
外 径 mm	30.8
拉 断 力 kg f	60000
弹性系数 kg f/mm ²	13900
线胀系数 1/°C	12.7×10 ⁻⁶
直流电阻 (20°C) Ω/k m	0.137
载流量(导线温度 80°C,环 境温度 40°C,风速 0.6 m/s)	
A	605
单位重量 kg/k m	3910

4.3 自阻尼导线

自阻尼导线的结构特点是在钢芯与导电金属层之间留有一定的空隙,使导线在受力状态下振动时,由于钢芯和导电金属线的固有振动频率不同而能相互干扰,达到阻尼减振的作用。为了留有间隙,一般与钢芯相邻的里层导电金属单线应制成拱形,外层可用圆单线。也可两层导电金属单线均用拱形线,两层之间也留有间隙,如图 26.1-7 所示。

自阻尼导线的最大使用拉力,可达拉断力的 60%,因此在弧垂相同的情况下,与钢芯铝绞线相比,可加大档距、减少杆塔。但自阻尼导线工艺要求高、造价高、需用特殊的金具。

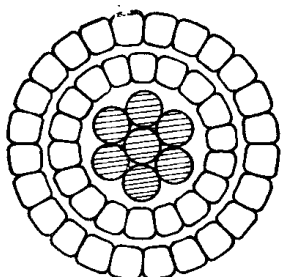


图 26.1-7 自阻尼导线

4.4 防冰雪导线

重冰雪地区的输电线路，导线会因严重覆冰积雪而引起断线以及倒杆事故。在覆冰严重情况下，虽可采用机械方法刮冰，或短时通以很大的电流来融化覆冰，但操作麻烦、不安全或需停电进行，因此发展了能自己融化覆冰的防冰雪导线。

防冰雪导线的结构如图 26.1-8 所示，在钢芯与铝线之间有一耐热绝缘层。

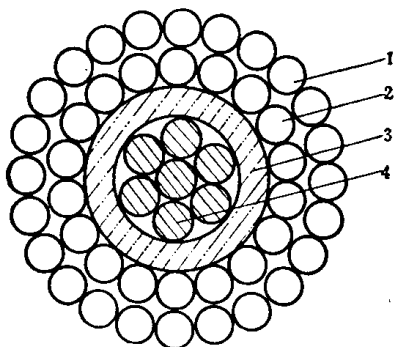


图 26.1-8 防冰雪导线

1—24 根铝线 2—18 根铝线
3—耐热绝缘层 4—钢芯

防冰雪导线使用时，须将线路分成区间，安装温度检测元件和自动控制系统。在正常气温下，铝和

钢两部分都通过线路电流。当气温在零度上下波动 ($+2\sim-2^{\circ}\text{C}$) 时，积雪会先融化再结冰，易于形成严重覆冰。此时温度检测元件对自动开关输出信号而使铝线部分停电，线路电流全部通过钢芯，钢芯短时过热而融化覆冰。随后温度检测元件又输出信号，通过自动控制系统而恢复正常供电，保证了导线在不覆冰状态下工作。防冰雪导线还有其他结构（例如改变导线的截面形状或在导线上涂以特殊的涂料等），正在研究之中。

5 电车线

电气化铁道、工矿电机车、城市交通用电车以及起重行车用的滑接馈电线，统称电车线。电车线的性能要求，除了一定的导电性和抗拉强度外，还要求耐磨性好，线胀系数小，有足够的抗挠性，以免弧垂过大。还应具有防止大气和工矿、坑道中尘埃、淋水等引起腐蚀的能力。电车线的品种、规格和用途见表 26.1-17。

5.1 钢铝电车线

钢铝电车线系双沟型，由铝、钢两部分压合而成。铝截面起导电作用，钢主要是增加强度并与集电器的导电滑板滑接。铝钢截面比约为 2.2，使其线胀系数与铜电车线相近。由于钢铝电车线耐磨性较好，工矿企业和城市交通用电车馈电线路已广泛采用。

常用的钢铝电车线有两种规格：GLCB 型用于城市无轨电车，其截面图见图 26.1-9，结构和主要技术参数见表 26.1-20；GLCA 型用于工矿电机车和电气化铁道，其截面图见图 26.1-10，结构和主要技术参数见表 26.1-20。

表 26.1-17 电车线的品种、规格和用途

品 种	型 号	截面范围① mm^2	标 准	用 途
钢铝电车线	无轨电车用	GLCB	企业标准	无轨电车的馈电线路用
	电机车用	GLCA		
铝合金电车线	HLC	130~200	企业标准	电机车的馈电线路用
铜电车线	双沟形	TCG	JB650~65	除特殊情况外，不采用
	圆 形	TCY		
		30~65	JB650~65	仅用于原有线路的检修和部分起重行车

① 钢铝电车线截面指铝截面。

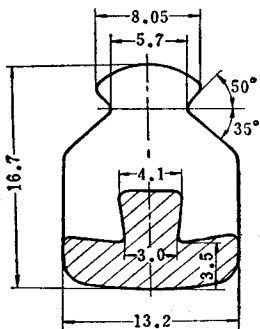


图 26.1-9 GLCB 型钢铝电车线

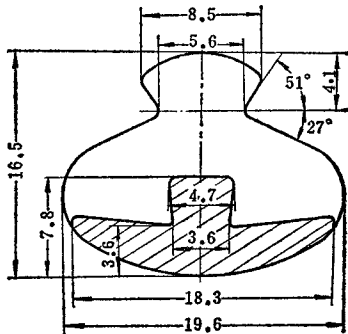


图 26.1-10 GLCA 型钢铝电车线

为了提高钢铝电车线的防腐性,宜在铝、钢接缝处涂以防腐剂。同时,在运行过程中,尤其在安装后开始使用时,宜在滑接面上涂以石墨粉和机油的混合物作为防腐润滑剂,借以保护和润滑接触面,减少电火花的产生和导线、滑板的磨损。

5.2 铝合金电车线

铝合金电车线也制成双沟型。有130、170和200 mm²三个规格,导电能力分别相当于65、85和100 mm²的双沟型铜电线,适用于采用碳滑板集电器的

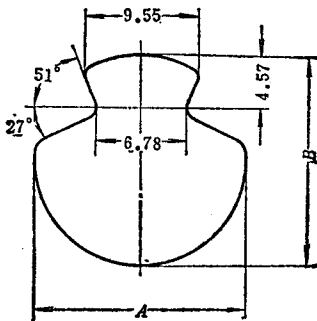


图 26.1-11 HLC 型铝合金电车线

工矿和城市电车线路。图 26.1-11 是铝合金电车线的截面形状,表 26.1-18 是其规格和主要尺寸。

铝合金电车线的主要技术参数见表 26.1-20。

表 26.1-18 铝合金电车线的规格和主要尺寸

标称截面 mm ²	A mm	B mm
130	13.9	13.16
170	15.5	15.27
200	16.7	16.70

5.3 铜电车线

铜电车线有两种截面类型:圆型(TCY)和双沟型(TCG)。除隧道、坑道等严重腐蚀的场合及其他特殊情况,或部分维修原有线路时采用外,一般不采用。图 26.1-12 是双沟型铜电车线的截面图。表 26.1-19 是两种铜电车线的规格和主要尺寸。

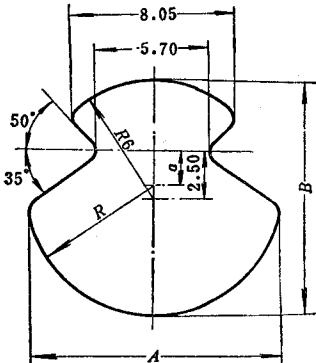


图 26.1-12 双沟型铜电车线

表 26.1-19 铜电车线的规格和主要尺寸

标称截面 mm ²	TCY 型直径 mm	TCG 型 尺寸 mm			
		A	B	a	R
30	6.20				
40	7.10				
50	8.00				
65	9.10	10.19	9.30	0.50	5.30
85		11.76	10.80	1.30	6.00
100		12.81	10.80	1.80	6.50

表 26.1-20 几种双沟型电车线的主要技术参数

项 目	单 位	钢 铝 电 车 线		铝 合 金 电 车 线			铜 电 车 线		
		GLCB 119/54	GLCA 148/67	HLC- 130	HLC- 170	HLC- 200	TCG-65	TCG-85	TCG-100
标称截面	铜	mm ²					65	85	100
	铝	mm ²	119	148					
	钢	mm ²	54	67					
	铝合金	mm ²			130	170	200		
	总	mm ²	173	215	130	170	200	65	85
拉 断 力	kg f	3010	4000	2600	3230	3600	2470	3060	3500
弹 性 系 数	kg f/mm ²	10000	10000	6700	6700	6700	12600	12600	12600
线 胀 系 数	1/°C(×10 ⁻⁶)	17.0	17.0	23.0	23.0	23.0	17.0	17.0	17.0
直 流 电 阻 (20°C)	Ω/k m	0.230	0.184	0.269	0.206	0.175	0.275	0.210	0.179
载 流 量	A	400	470	325	425	500	325	425	500
耐 磨 性		优	优	可	可	可	良	良	良
单 位 重 量	kg/k m	744	925	350	460	540	580	760	890
制造长度(不小于)	m	550	550	500	400	300	850	650	500

表 26.1-20 列出了双沟型铜电车线的主要技术参数。

6 架空导线主要技术参数的计算

架空导线的拉断力、弹性系数、线胀系数和载流量等技术参数,是正确选用导线品种规格、设计输配电线路的主要依据。

6.1 拉断力

架空导线在拉力增加的情况下,首次出现任一单线断裂时的拉力,称为拉断力。其试验方法规定如下:将长度不小于5m的试样在拉力试验机上以不大于20 mm/min的速度拉伸,直至出现任一单线的断裂,在断裂前记录的最大拉力即为拉断力。

6.1.1 普通绞线拉断力的计算

普通绞线拉断力 P_B 的计算式如下
$$P_B = a\sigma_b A \text{ kg f} \quad (26.1-2)$$

式中 A ——导线的总截面积 mm²
 a ——强度损失系数,见表 26.1-21
 σ_b ——单线的抗拉强度 (kg f/mm²), 见表 26.1-22

6.1.2 组合绞线拉断力的计算

组合绞线在受拉力并逐渐增大的情况下,当不

表 26.1-21 普通绞线的强度损失系数 a

绞 线 品 种		强度损失系数
铝 绞 线	37 根 及 以 下	0.95
	37 根 以 上	0.90
铝 合 金 绞 线		0.95
铝 包 钢 绞 线 硬 铜 绞 线 镀 锌 钢 绞 线		0.90

表 26.1-22 金属单线的抗拉强度 σ_b
kg f/mm²

单线直径 mm	硬 铝 线	铝 合 金 线		硬 铜 线	镀 锌 钢 线
		热处理型 HL	非热处理型 HL ₂		
1.5	18	30	28.0	41	130
1.51~2.00	17	30	25.5	41	130
2.01~2.50	17	30	25.5	40	130
2.51~2.60	16	30	23.5	40	130
2.61~3.00	16	30	23.5	40	120
3.01~3.50	16	30	23.5	39	120
3.51~4.00	15	30	22.5	39	120
4.01~5.00	15	30	22.5	38	120

注: 铝包钢单线的抗拉强度,参见表 26.1-2。

同金属单线的应变相同时,总是伸长率较小的单线先被拉断。例如钢芯铝绞线伸长约1%时,铝线就可能先产生断股。

组合绞线的拉断力 P_B 可按下式计算:

$$P_B = 0.95 \sigma_a A_a + 0.85 \sigma_g A_g \quad \text{kgf} \quad (26.1-3)$$

式中 A_a ——导电金属单线的总截面 mm^2

A_g ——加强用金属单线(如钢线)的总截面 mm^2

σ_a, σ_g ——对应于 A_a, A_g 的二种金属单线的抗拉强度(kgf/mm^2), 见表 26.1-22

系数 0.95 和 0.85 为实验数据

钢芯铝包钢绞线也可按(26.1-3)式计算,但 σ_a 值应采用铝包钢单线的抗拉强度。

6.2 弹性系数

在比例极限以下,金属的应力与应变成正比,其比例常数称为弹性系数。

6.2.1 弹性系数的计算

普通绞线的弹性系数可按式(26.1-4)计算。有钢芯加强的组合绞线、铝包钢单线和铝钢电车线可按式(26.1-5)计算。

$$E_y = C \cdot E_a \quad \text{kgf/mm}^2 \quad (26.1-4)$$

$$E_y = \beta \frac{E_g + K E_a}{1 + K} \quad \text{kgf/mm}^2 \quad (26.1-5)$$

式中 E_y ——绞线的运行弹性系数(简称弹性系数) kgf/mm^2

C ——系数,见表 26.1-23

E_a ——导电金属单线的弹性系数(kgf/mm^2), 见表 26.1-24

E_g ——钢单线的弹性系数(kgf/mm^2), 见表 26.1-24

β ——系数,组合绞线 β 值为 0.9, 铝包钢线和铝钢电车线 β 值为 1

K ——导电金属与钢截面的比值

表 26.1-23 普通绞线的系数 C

单 线	7 根	19~37 根	61 根
铝及铝合金	0.9	0.85	0.82
铝包钢线		0.90	

表 26.1-24 各种单线的弹性系数

单 线	弹性系数 kgf/mm^2
铝 及 铝 合 金 线	6700
钢 线	20500
铜 线	13000
铝包钢线 mm	3.7/3.0 15800
	4.0/2.8 13500
(线的外径/钢线直径)	4.0/3.0 14500
	4.0/3.2 15500
	4.4/3.2 14000

6.2.2 弹性系数测定

弹性系数测定的试验方法是:将长度不小于5m(标距为3m)的试样在试验机上承受拉力,施加拉力的范围为试样拉断力的15%到45%。在此范围内一般进行5个负荷循环(加载后再卸载称为一个负荷循环),并逐次记录拉力和相应的伸长,作出各个负荷循环下的拉力-伸长曲线。架空导线是绞制的结构,它经过每次负荷循环都产生一定的塑性伸长,随着负荷循环次数的增加,相应的塑性伸长逐渐减小,拉力-伸长曲线也渐趋平行,此时求得的弹性系数作为线路设计上常用的运行弹性系数。

图 26.1-13 为 LGJ-300 钢芯铝绞线的拉力-伸长曲线,Obc 段为起始的拉力-伸长曲线,线段 bc 近似一直线。od 段为卸载时的拉力-伸长曲线。od 曲线上直线部分的延伸线与横坐标的交点为 d', Od' 即表示经过一个负荷循环后导线的塑性伸长。依次进行 5 次负荷循环。

ef 曲线为第 5 次负荷时的拉力-伸长曲线,第 3、4 次负荷时的拉力-伸长曲线与曲线 ef 接近平行。ef 曲线上直线部分的斜率 E_y 即为运行弹性系数,即

$$E_y = \frac{\Delta P}{\Delta L} \cdot \frac{L}{A} \quad (26.1-6)$$

式中 A ——导线总截面 mm^2

L ——试样标距长度 mm

ΔP ——ef 曲线上直线部分的拉力增量 kgf

ΔL ——对应于 ΔP 的导线伸长 mm

图 26.1-13 中 ef 曲线上部的 fg 线段,表示当负荷超过 45% 的拉断力时的试验曲线。

钢芯铝绞线的弹性系数随铝、钢截面比的增大而减小,试验表明,当铝钢截面比在 4~8 的范围内,弹性系数的计算值与实测值比较接近。

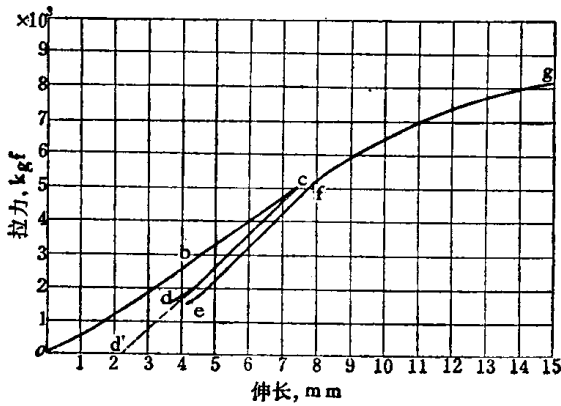


图 26.1-13 LGJ-300 钢芯铝绞线的拉力-伸长曲线

6.3 线胀系数

单位长度的架空导线在温度升高 1°C 时的伸长量称为线胀系数。是计算架空导线受力状态和弧垂的重要参数。

普通绞线的线胀系数一般与单线的相同。组合绞线的线胀系数，以及铝包钢单线、铝钢电车线的线胀系数可按式(26.1-7)计算。

$$\alpha = \frac{\alpha_g E_g + K \alpha_d E_d}{E_g + K E_d} \quad 1/^{\circ}\text{C} \quad (26.1-7)$$

式中 α ——组合绞线的线胀系数 $1/^{\circ}\text{C}$

α_g, α_d ——分别为钢、导电金属单线的线胀系数($1/^{\circ}\text{C}$)，见表 26.1-25

E_g, E_d ——分别为钢、导电金属单线的弹性系数(kgf/mm^2)，见表 26.1-24

K ——导电金属与钢截面比

表 26.1-25 各种单线的线胀系数

单	线	线胀系数 $1/^{\circ}\text{C}$ ($\times 10^{-6}$)
铝 及 铝 合 金 线		23.0
钢	线	11.5
铜	线	17.0
铝包钢线 mm (线的外径/钢线直径)	3.7/3.0	13.2
	4.0/2.8	14.4
	4.0/3.0	13.8
	4.0/3.2	13.3
	4.4/3.2	14.1

6.4 单位重量

架空导线的单位重量通常以每公里或每米长度

的重量来表示。

6.4.1 导线的绞入系数

对于各种绞线，导线的实际截面与各层的绞合节距有关，因此首先应计算导线的绞入系数。绞入系数是绞线中一个节距长度内单线的展开长度与其节距长度之比，第 i 层单线的绞入系数 λ_i 可按下式计算。

$$\lambda_i = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{\left(p_i \frac{D_i}{D_i - d}\right)^2}} \quad (26.1-8)$$

式中 p_i ——绞线中第 i 层的节距比，见表 26.1-6

D_i ——绞线中第 i 层的外径 mm

d ——单线直径 mm

整个导线的平均绞入系数 λ_m ，应分别求出各层的绞入系数后按式(26.1-9)计算。

$$\lambda_m = \frac{n_1 \lambda_1 + n_2 \lambda_2 + \dots + n_i \lambda_i}{n_1 + n_2 + \dots + n_i} \quad (26.1-9)$$

式中 $n_1, n_2, \dots, n_i$ ——为导线中每一层的单线根数

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ ——为导线中每一层单线的绞入系数

按表 26.1-6 推荐的节距比，计算出普通绞线和组合绞线的平均绞入系数 λ_m ，分别列入表 26.1-26 和表 26.1-27。

表 26.1-26 普通绞线的平均绞入系数

单线根数	λ_m	单线根数	λ_m
3①	1.0091	37	1.0220
7	1.0120	61	1.0245
19	1.0205		

① 节距比为 12.5。

表 26.1-27 组合绞线的平均绞入系数

导电金属线根数/钢线根数	导电金属线 λ_{ms}	钢 线 λ_{mg}
6/1	1.0140	1.0000
7/7	1.0154	1.0038
24/7	1.0235	1.0038
28/7	1.0247	1.0038
28/19	1.0247	1.0062
30/7	1.0251	1.0038
30/19	1.0251	1.0062
54/7	1.0245	1.0038
54/19	1.0245	1.0062

6.4.2 导线的单位重量

a. 普通绞线 每公里普通绞线单位重量计算公式如下:

$$G = A \lambda_m \gamma \quad \text{kg/km} \quad (26.1-10)$$

式中 A ——总截面 mm^2

λ_m ——平均绞入系数, 见表 26.1-26

γ ——单线的密度(g/cm^3), 见表 26.1-28

表 26.1-28 金属单线材料的密度

金属单线	密度 g/cm^3	铝包钢线 规格① mm	密度 g/cm^3
铝	2.703	3.7/3.0	6.05
铝合金	2.703	4.0/2.8	5.20
铜	8.89	4.0/3.0	5.57
钢	7.80	4.0/3.2	5.97
		4.4/3.2	5.39

① 铝包钢线规格表示铝包钢线外径/钢线直径。

b. 组合绞线 每公里组合绞线单位重量计算公式如下:

$$G = A_d \cdot \lambda_{md} \cdot \gamma_d + A_g \cdot \lambda_{mg} \cdot \gamma_g \quad \text{kg/km} \quad (26.1-11)$$

式中 A_d, A_g ——导电金属线、钢线的总截面 mm^2

$\lambda_{md}, \lambda_{mg}$ ——导电金属线、钢芯线的平均绞入系数

γ_d, γ_g ——导电金属线、钢线的密度(g/cm^3), 见表 26.1-28

6.5 架空导线交直流电阻

6.5.1 直流电阻的计算

每米架空导线在 $t^\circ\text{C}$ 时的直流电阻 R_t 可按下式计算:

$$R_t = \frac{\rho_{20} \cdot \lambda_m}{A} [1 + \alpha_{20}(t - 20)] \quad \Omega/\text{m} \quad (26.1-12)$$

式中 A ——导电金属线总截面 mm^2

λ_m ——平均绞入系数, 普通绞线见表 26.1-26, 组合绞线假设钢芯不负载电流, 采用表 26.1-27 中的 λ_{md}

ρ_{20} ——导电金属线在 20°C 时的电阻系数 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), 见表 26.1-29

α_{20} ——导电金属线在 20°C 时的电阻温度系

数($1/^\circ\text{C}$), 见表 26.1-29

t ——导线的温度 $^\circ\text{C}$

表 26.1-29 导电金属线电阻系数和电阻温度系数

线	材	$\rho_{20} \quad \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	$\alpha_{20} \quad 1/^\circ\text{C}$
硬	铝	0.0290	0.00403
软	铝	0.0283	0.00410
铝	合 金	0.0328	0.00360
3.7~4.0	铝包钢线	见表 26.1-2	0.00422
硬	铜	0.0179	0.00385

铝包钢单线的导电截面包括铝和钢, 其直流电阻按铝、钢并联电阻来计算。取 20°C 时铝的电阻系数为 $0.029 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 钢为 $0.20 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 可得下列简化计算式。

$$R_{20} = \frac{37}{D^2 - 0.855d^2} \quad \Omega/\text{km} \quad (26.1-13)$$

式中 D ——铝包钢线外径 mm

d ——钢线直径 mm

6.5.2 交流电阻计算

架空导线的交流电阻, 由其直流电阻及其在交流电流作用下的电阻增大部分所组成。普通绞线在交流下的电阻增大部分, 由集肤效应和邻近效应所引起。有钢芯的组合绞线, 在交流下的电阻增大部分除了集肤、邻近效应外, 还有钢芯的磁滞损耗和涡流损耗所引起的部分。

a. 集肤效应和邻近效应增大的电阻 当架空导线之间距离 S 与导线外径 D 之比大于 5 时, 邻近效应很小, 一般可忽略不计。

在工频交流的情况下, 集肤效应使电阻增加 0.2~1% 左右, 也可近似地按下式计算:

$$\Delta R_1 = Y_s R_t \quad \Omega/\text{m} \quad (26.1-14)$$

式中 R_t ——导线直流电阻(Ω/m), 见式(26.1-13)

Y_s ——集肤效应系数, 约为 0.002~0.01。导线截面为 400mm^2 及以下时, Y_s 取 0.0025; 导线截面大于 400mm^2 时, Y_s 取 0.01

b. 磁滞损耗和涡流损耗增大的电阻 由于钢线的磁滞损耗和涡流损耗增大的电阻 ΔR_2 按下式计算: