



电线电缆技术丛书

圆单线生产

哈尔滨电缆厂 编

机械工业出版社

前 言

电线电缆工业是国民经济的重要组成部分之一。电线电缆产品广泛用于电力输配、电信、电工仪表以及日用电器等各方面，在我国社会主义建设中具有重大意义。

随着我国工农业的不断发展，对电线电缆生产提出了越来越高的要求。为了适应生产发展的需要，由上海电缆研究所组织编写了电线电缆技术丛书。

这套丛书按电线电缆的产品类别及生产工艺、组织有关单位陆续编写，将分册出版。

本丛书在总结我国生产实践的基础上，参考国外的先进经验，按电线电缆的不同产品分别写成。在文字上力求深入浅出，通俗易懂；在内容上以介绍电线电缆生产工艺为主，对产品的结构和性能、生产设备及产品质量的检查和试验等也加以概括地叙述。本丛书的主要读者对象是从事电线电缆生产的工人，也可供技术人员和有关院校的师生参考。

本丛书在编审过程中，得到有关单位和同志们的有力支持和帮助，对此谨致谢意。由于我们缺乏编写经验，加之水平所限，书中定有不足以至错误之处，切望读者批评指正。

本分册由哈尔滨电缆厂沈恩熾、李莹执笔编写，上海电缆研究所~~多~~校。

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一章 圆单线的基本知识	3
--------------	---

一、圆单线的型号、规格及用途	3
----------------	---

二、圆单线用的杆材	3
-----------	---

三、圆单线的技术要求	5
------------	---

四、圆单线的生产过程	15
------------	----

第二章 酸洗	17
--------	----

一、酸洗的作用和原理	17
------------	----

二、酸洗工艺	19
--------	----

三、酸洗设备	20
--------	----

四、废酸洗液的利用	22
-----------	----

第三章 拉线	26
--------	----

一、拉线的基本原理	26
-----------	----

二、拉线配模	56
--------	----

三、拉线设备	64
--------	----

四、润滑和冷却	83
---------	----

五、拉线模	91
-------	----

第四章 热处理	100
---------	-----

一、热处理的作用和原理	100
-------------	-----

二、线材的光亮退火	103
-----------	-----

三、不同程度硬铝线的退火	104
--------------	-----

四、分批退火工艺及设备	106
-------------	-----

五、成盘和成圈线材的连续退火工艺及设备.....	111
六、批量半连续退火工艺和设备.....	114
七、拉线连续退火工艺和设备.....	116
八、铝合金的热处理工艺及设备.....	126
第五章 镀覆.....	132
一、导线镀覆的种类和作用.....	132
二、热镀锡的工艺和设备.....	132
三、铜线镀银.....	135
第六章 双金属线的生产.....	138
一、概述.....	138
二、铝包钢线的制造.....	141
三、铜包钢线的制造.....	146
四、铜包铝线.....	150
五、银包铜线.....	153
第七章 国外制线新工艺、新技术的应用和 发展.....	156
一、几种主要的制线新工艺和新设备.....	156
二、与拉线连续的生产流水线.....	164
三、镀锡新工艺.....	167
第八章 圆单线的检查与测试.....	172
一、外观及尺寸检查.....	172
二、抗拉强度和拉断伸长率试验方法.....	173
三、电阻率试验方法.....	174
四、重量检查.....	177
五、卷绕试验.....	177
六、拉线时产生的废品种类及其原因.....	178

绪 论

金属导体是电线电缆结构中最主要的组成部分。随着我国电线电缆工业的飞速发展，金属导体的年消耗量（折合铜导体计算）已达数十万吨。其中绝大部分都要先拉制成圆单线，并按要求进行不同程度的退火后方可直接使用或进行下一步的加工。有些电线电缆产品要求采用双金属导体，如镀锡、镀银铜线、铜包钢线、铝包钢线、铜包铝线等等，它们除了都有各自的独特加工方法以外，也都需要经过拉线和退火工序。因此，拉线和退火就成为电线电缆生产中最主要的工种之一，也是设备数量和操作工人数量最多的工序之一。

我国圆单线的生产技术随着导体产量的发展也获得了迅速的发展和提高。到七十年代我国自行设计制造的拉线机已初步形成系列，在技术性能上亦已接近国外先进水平。近年来，国产陶瓷拉线鼓轮和人造聚晶钻石模等都已普遍推广应用，拉线连续退火已先后在大拉机和中拉机上实现。小拉连续退火、电解镀锡、挤压法制线、收线的恒张力控制和大容量收放线等先进技术和新工艺亦都已积极开始研制。铜包钢和铝包钢线等双金属线亦都已大量生产，等等。但是，与国外的圆单线生产技术相比，目前仍存在较大差距。例如，国外拉线机的速度和效率仍比我国高得多，滑动式拉线机的滑动损耗已降低至接近无滑动的程度；大容量静盘收线技术的运用又大大提高了拉线机的功效；拉线和其它工序如拉线-漆包、拉线-挤塑、拉线-束绞等工序的连续生产线不断出现，

多根拉线技术获得迅速发展；电子控制技术的发展和电子计算机的普遍运用使许多连续生产线的自动化程度进一步提高，并正向实现无人操作迈进；拉线连续退火的普遍采用、拉线润滑液和人造钻石模等质量的不断改进以及滑动损耗的降低，使圆单线生产的能耗大大降低，等等。因此，摆在我们面前的任务非常艰巨。为了振兴中华和发展我国的电缆工业，我们必须积极努力，迎头赶超。

第一章 圆单线的基本知识

圆单线是各种电线电缆产品中的基本组成部分，无论以裸单线、裸绞线或者绝缘电线电缆导电线芯的形式应用，都是电线电缆产品的导电部分。它一般都用金属作为材料，个别电线电缆产品也有用非金属来导电的。圆单线的种类通常是按照金属类别、组合形式以及金属状态来划分的。

圆单线应满足下列基本条件：具有良好的导电性能；有足够的机械强度；在冷、热状态下有很好的压力加工性能；有一定的防止大气腐蚀的能力；有良好的焊接性能；有充分的供应来源，价格合理。

圆单线常用的材料主要是铜、铝和铝合金。为了满足除导电性能以外的某些要求如提高抗张强度、防腐、可焊性及节约较贵金属等不同条件，还需采用一些由两种不同金属制成的“双金属线”以供使用。

一、圆单线的型号、规格及用途

圆单线包括特硬、硬、软铜单线，软圆铝线及H4、H6、H8、H9等状态的硬圆铝线，热处理型及非热处理型铝合金线以及铝包钢线、铜包钢线、铜包铝线和镀锡软铜线等。

圆单线的型号、规格及用途见表1-1。

二、圆单线用的杆材

1. 铜杆

拉制圆铜线用的铜杆应符合有关电工圆铜杆标准的规

表1-1 圆单线的型号、线径范围及用途

产品名称	标准号	产品型号	线径范围 (mm)	主要用途
特硬圆铜线	GB × × × — 82	TYT	1.50~5.00	用于架空输电线
硬圆铜线		TY	0.020 ~ 14.00	用于高、低压电力 输送、配电架空线及 电话通讯等
软圆铜线		TR	0.020 ~ 14.00	用于塑料电线、橡 皮线、通讯电缆等的 线芯及漆包线
镀锡软圆铜线	JB1070—81	TRX	0.03~4.00	用于橡皮绝缘电线 电缆的线芯，裸电刷线 和屏蔽等
软圆铝线	GB × × × — 82	LR	0.30~ 10.00	用于各类绝缘电线 电缆及电器设备用线 的线芯
H4状态硬圆 铝线		LY4	0.30~ 6.00	用于布电线的线芯， 重力线的线芯
H6状态硬圆 铝线		LY6	0.30~ 10.00	供各类强度要求较 高的绝缘电线电缆及 电器设备制品用
H8状态硬圆 铝线		LY8	0.30~ 5.00	
H9状态硬圆 铝线		LY9	1.25~5.00	供制造架空铝绞线 和架空钢芯铝绞线用
热处理型铝 镁硅合金单 线	企业标准 (天津电线厂、 武汉电线厂)	HL	1.33~4.24	架空输送电力或传 输电信并制造绞线
非热处理型铝 镁硅合金单线		HL2	1.33~4.24	
铝包铜线	企业标准 (湘潭电缆厂)	GL	2.8~4.4	用于配电线、载波 避雷线、通信线及制 造大跨越架空绞线
铜包铜线	企业标准 (湘潭电缆厂)	GTA	1.20~6.00	用于大跨越架空线 及遥控、讯号电缆等 的线芯
银包铜线		GTB	1.20~6.00	用于石油探测电缆、 汽车电缆等的线芯
铜包铝线			0.08~0.45	航空工业用耐高温电 刷线和安装线的线芯
				用于高频电子和通 信线路，汽车蓄电池 连接线，电焊机线等

定。其中最主要的是：拉断伸长率应不小于30%，20℃时的电阻率应不大于 $0.017241\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ 。

铜杆规格的选择应根据要求的成品线径、性能和拉伸工艺及设备条件来决定。圆铜杆的常用外径是 $\phi 7.2\sim 10.0\text{mm}$ 。通常以成圈形式供应。圈重约85kg。国外用连铸连轧法生产的铜杆圈重一般可达5t或5t以上。

2. 铝杆和铝合金杆

拉制圆铝线和铝合金线用的铝杆或铝合金杆应分别符合电工圆铝杆及其它有关标准的规定。

铝杆和铝合金杆型号和规格的选择，应根据成品线径、性能和所用拉伸工艺及设备条件来决定。通常用于拉制圆线用的铝杆和铝合金杆的外径为 $9.0\sim 11.0\text{mm}$ ，目前也都是成圈供应，圈重一般仅数十千克。由连铸连轧法生产的圈重可达0.6~1t左右。

3. 其它材料

铝包钢线用的钢线应符合YB257-64《钢芯铝绞线用镀锌钢丝》标准的规定，但其镀锌层用的锌应符合GB470-64标准中一号锌的要求。

铜包钢线用的钢芯材料牌号目前为钢15Mn。

三、圆单线的技术要求

1. 圆铜单线

凡是制造电线电缆及电机电器用的圆铜单线，应符合有关电工圆铜线标准的规定。

1) 圆铜线的名称、型号、标称直径范围如表1-2所示。

2) 圆铜线应采用符合有关电工铜杆标准的热轧铜杆制

表1-2 圆铜线标称直径范围

名 称	型 号	直径范围(mm)
软圆铜线	TR	0.02~14.00
硬圆铜线	TY	0.02~14.00
特硬圆铜线	TYT	1.5~5.00

造，或按产品要求用剥皮铜杆、光亮铜杆或低氧和无氧铜杆制造。

3) 圆铜线标称直径的允许偏差应符合表1-3的规定。圆铜线在同一截面上的不圆度应不超过标称直径允许偏差的绝对值。

表1-3 圆铜线标称直径的允许偏差

标称直径 d (mm)	允许偏差(mm)
0.020~0.025	± 0.002
0.028~0.125	± 0.003
0.126~0.400	± 0.004
0.401~14.00	$\pm 1\% d$ ①

① 计算时标称直径为0.401~1.00mm时保留三位小数；大于1.0mm者保留两位小数，均按《标准化工作导则编写标准的一般规定》附录C的规则修约。

4) 圆铜线的电阻率应符合表1-4的规定。

表1-4 圆铜线的电阻率

型 号	电阻率 $\rho_{20}(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$ ，不大于	
	$\phi 2.00\text{mm}$ 以下	$\phi 2.00\text{mm}$ 及以上
TR	0.017241	0.017241
TY TYT	0.01798	0.01777

计算时, 20℃时的铜线物理参数应取下列数值

密度:	8.89g/cm ³
线膨胀系数:	0.000017/°C
电阻温度系数:	
TR型	0.00393/°C
TY、TYT型	标称直径2.00mm及以上
	0.00381/°C
	标称直径2.00mm以下
	0.00377/°C

5) 圆铜线的机械性能应符合表1-5的规定。

表1-5 圆铜线的机械性能

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	2	3	4	5	6
0.020	10	421	—	—	—
0.100	10	421	—	—	—
0.200	15	420	—	—	—
0.290	15	419	—	—	—
0.300	15	419	—	—	—
0.380	20	418	—	—	—
0.480	20	417	—	—	—
0.570	20	416	—	—	—
0.660	25	415	—	—	—
0.750	25	414	—	—	—
0.850	25	413	—	—	—
0.940	25	412	0.5	—	—
1.03	25	411	0.5	—	—
1.12	25	410	0.5	—	—
1.22	25	409	0.5	—	—

(续)

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	2	3	4	5	6
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
1.90	25	401	0.7	441	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
2.73	25	392	0.9	432	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
3.56	30	383	1.1	423	1.1
3.75	30	381	1.1	421	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

(续)

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	干		
1	2	3	4	5	6
5.00	30	368	1.4	408	1.4
5.30	30	365	1.5	—	—
5.60	30	361	1.6	—	—
6.00	30	357	1.7	—	—
6.30	30	354	1.8	—	—
6.70	30	349	1.8	—	—
7.10	30	345	1.9	—	—
7.50	30	341	2.0	—	—
8.00	30	335	2.2	—	—
8.50	35	330	2.3	—	—
9.00	35	325	2.4	—	—
9.50	35	319	2.5	—	—
10.00	35	314	2.6	—	—
10.60	35	307	2.8	—	—
11.20	35	301	2.9	—	—
11.80	35	294	3.1	—	—
12.50	35	287	3.2	—	—
13.20	35	279	3.4	—	—
14.00	35	271	3.6	—	—

6) 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。

2. 圆铝单线

凡制造电线电缆及电机电器用的圆铝单线应符合有关电工圆铝线标准的规定。

1) 圆铝线的名称、型号、标称直径范围如表 1 - 6 所示。

表1-6 圆铝线的标称直径范围

名 称	型 号	直径范围 (mm)
软圆铝线	LY	0.30~10.00
H4状态硬圆铝线	LY4	0.30~6.00
H6状态硬圆铝线	LY6	0.30~10.00
H8状态硬圆铝线	LY8	0.30~5.00
H9状态硬圆铝线	LY9	1.25~5.00

2) 圆铝线应当用符合有关电工圆铝杆标准规定的圆铝杆制造。

3) 圆铝线标称直径的允许偏差应符合表1-7的规定。圆铝线在同一截面上的不圆度应不超过标称直径允许偏差的绝对值。

表1-7 圆铝线标称直径的允许偏差

标称直径 d (mm)	允许偏差 (mm)
0.300~0.900	± 0.013
0.910~2.49	± 0.025
2.50及以上	$\pm 1\% d$ ①

① 计算时保留两位小数。

4) 圆铝线的电阻率应符合表1-8的规定。

表1-8 圆铝线的电阻率

型 号	电阻率 $\rho_{20} (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$, 不大于
LR	0.0280
LY4, LY6 LY8, LY9	0.028246

计算时, 20°C时的物理数据应取下列的值:

密度	2.703kg/dm ³
线膨胀系数	0.000023/°C
电阻温度系数: LR型	0.0407/°C
其余型号	0.00403/°C

5) 圆铝线的机械性能应符合表1-9的规定。

表1-9 圆铝线的机械性能

型号	直径 (mm)	抗拉强度 (N/mm ²)		断裂伸长率 (%)
		最 小	最 大	不小于
LR	0.30~1.00	—	98	13
	1.01~10.00	—	98	20
LY4	0.30~6.00	95	125	—
LY6	0.30~6.00	125	165	—
	6.01~10.00	125	165	3
LY8	0.30~5.00	160	205	—
LY9	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	—	—
	3.26~3.5	164	—	—
	3.51~3.75	162	—	—
	3.76~4.25	160	—	—
	4.26~5.00	159	—	—

注: 1N/mm² = 0.102kgf/mm²

6) 圆铝线表面应光洁, 不得有与良好工艺产品不相称的任何缺陷。

3. 漆包线用圆铜线

在新修订的电工圆铜线标准 (代替 JB647-77) 中 将 不 规定线径的具体规格, 而只规定规格的范围, 因此它不再能作为圆铜漆包线用线径规格的依据。在新的圆铜漆包线标准制订前, 漆包线用的圆铜线目前仍按 JB647-77 《圆铜线》标准执行。

4. 漆包线用圆铝线

新修订的电工圆铝线标准 (代替 JB648-77) 中 也 不 再 能作为圆铝漆包线用线径规格的依据, 故在新的圆铝漆包线标准制订前, 其所用圆铝线仍按 JB648-77 《圆 铝线》标准执行。

5. 铝合金线

凡是制造电力电缆或通信架空电线用的热处理型铝镁硅合金单线和制造绝缘电线电缆的导电线芯用的非热处理型铝镁合金线应符合下列规定:

1) 规格范围见表1-10。

表1-10 铝合金单线的规格及允许偏差

单线直径 (mm)	允许偏差 (mm)
1.33~2.00	± 0.03
2.01~3.00	± 0.04
3.01~4.24	± 0.05

2) 机械性能见表1-11。

表1-11 铝合金单线的机械性能

单线直径 (mm)	抗拉强度 不小于① (kgf/mm ²)		伸长率 不小于 (%)		弯曲半径 (mm)		弯曲次数 (不少于)	
	HL	HL2	HL	HL2	HL	HL2	HL	HL2
1.33~1.60	30	28	4	2	5	5	6	—
1.51~2.50	30	25.5	4	2	5	5	5	—
2.51~4.24	30	23	4	2	10	10	5	—

① $1\text{ kgf/mm}^2 = 9.8\text{ MPa}$ 。

注：经弯曲试验后，应不断裂

3) 电阻率见表1-12。

表1-12 铝合金单线的电阻率

型 号	电阻率 20℃时不大于 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	电阻温度系数 α_{20} (1/°C)
HL HL2	0.0328	0.0036

6. 铝包钢单线

铝包钢单线的技术要求目前由企业标准或生产企业和用户双方的协议加以规定。表1-13是曾经生产过的许多种铝包钢线中的若干典型规格及性能数据。

成品铝包钢单线通常不允许有焊接。

7. 铜包钢单线

铜包钢单线的技术要求目前也是由企业标准或生产企业和用户双方的协议加以规定。

目前生产的铜包钢单线分 GTA 和 GTB 两种型号，两者的区别主要是铜层的厚度不同。它们的规格和技术要求如下：