

## 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、韧炼工艺学、绞线工艺学、挤塑工艺学、挤橡连续硫化工艺学、成缆工艺学、漆包线工艺学、绕包线工艺学、编织工艺学等10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,日前再版时,根据每本教材不同情况,作些适当补充及修改。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

一九九三年五月

# 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技术工人教材编审委员会。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。本教材由傅其昌同志主编,张亨兴同志主审。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。

国家机械工业部科技质量监督司

一九八七年三月

# 目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 裸电线种类及用途	(1)
第二节 裸电线的标准和型号	(2)
第二章 线材拉伸及基本原理	(3)
第一节 线材拉伸和原理	(3)
第二节 影响线材拉伸的因素	(13)
第三章 裸电线导体材料和拉制产品	(16)
第一节 铜和高导电铜合金	(16)
第二节 铝和高导电铝合金	(19)
第三节 铜铝拉线产品的标准	(23)
第四节 特殊用途的拉线产品	(33)
第四章 拉线设备	(35)
第一节 拉线机的分类及特性	(35)
第二节 拉线机的传动系统	(41)
第三节 辅助设备	(42)
第四节 连续退火设备	(49)
第五节 焊接机	(52)
第六节 剥皮设备	(53)
第七节 常用拉线设备的调整和维护	(54)
第五章 拉线润滑	(56)
第一节 润滑剂的作用	(56)
第二节 润滑剂的种类和成分	(58)

第三节	拉线润滑的方法	(61)
第四节	润滑剂的配制、使用和化验	(62)
第六章	模具	(65)
第一节	线模的种类和技术要求	(65)
第二节	模具材料的种类和特性	(66)
第三节	模具的结构尺寸	(69)
第四节	模具的寿命	(71)
第五节	模具的检查	(72)
第七章	拉线工艺	(74)
第一节	线材产品的工艺路线	(74)
第二节	拉线工艺种类及特点	(75)
第三节	剥皮工艺	(77)
第四节	初炼工艺	(77)
第五节	线坯及线材焊接	(80)
第六节	拉线配模	(81)
第七节	废品的分析和理	(88)
第八章	新技术、新材料、新设备	(94)

## 第一章 绪 论

### 第一节 裸电线种类及用途

裸电线及电线电缆导体(导电线芯)按形状及结构分为圆单线、型线及绞线三大类。

#### 一、圆单线

圆单线是截面为圆形的单根导线,可以单独使用,也可以绞合成绞线,做为传输电力的架空输电线,也可绞合或束合做为其余各类电线电缆的导电线芯使用。铜、铝圆单线有软、硬之分,铝线还有半硬铝线。硬线抗拉强度较大,适用于架空线以及需要有较大抗拉强度的场合使用。软线及半硬线较柔软,容易弯曲,适用于制造电线电缆线芯。

#### 二、型线

型线是指横截面不是圆形的裸线和导体,常见的形状有矩形(扁线、母线、带材)、梯形、扇形、Z形、弓型、空心矩形、双沟葫芦形及双金属双沟葫芦形等等。

扁线用于电机、变压器中绕制线圈用,母线用作工厂及用电量大的车间的配电线路上的汇流元件。带材用于某些设备连接件经常往复弯曲并要通过大电流的场合。梯形铜排用于电机换向器的整流片用。电车线主要有圆形铜电车线、双沟形铜电车线和双金属压合型钢铝电车线。圆形铜电车线用

于工矿中的滑走式电动吊车及类似的电气设备上。双沟形铜电车线用于城市无轨电车及工矿电动机车上。双金属压合型钢铝电车线用于铁道电力牵引车辆及工矿电力牵引车辆架空输电接触导线。

### 三、绞线

绞线是指由圆单线或型线经绞合或束合等工序而制成的产品或导电线芯(半成品)。绞线同实心导线相比,在弯曲时单根导线作很小的滑动,较为柔软,避免了内侧或外侧存在较大的应力和产生断裂的可能。

## 第二节 裸电线的标准和型号

### 一、裸电线标准及代号

我国的产品标准由汉语拼音字母和数字组成,如GB3955-83。前面的汉语拼音字母表示标准的级别,如国家标准为GB,原机械工业部标准为JB,冶金工业部标准为YB及地方规定的企业标准等。汉语拼音字母后面的数字是标准的编号,破折号后面的数字是标准颁布年份。如GB-3955-83为国家标准编号3955,1983年颁布

### 二、裸电线产品的型号

电线电缆产品型号一般由七项内容组成

类别、用途	导体	绝缘	护层	特征	外护层	派生
-------	----	----	----	----	-----	----

1-5项以汉语拼音字母表示,6-7项以阿拉伯数字表示。裸电线型号汉语拼音字母表示如表1-1。

表 1-1 裸电线产品型号汉语拼音表示意义

类 别 代 号	意 义	特 征 代 号	意 义
G	电车线	B	扁、平形
G	钢(铁)线	D	带形
HL	热处理型铝合金线	G	沟形
L	铝线	J	加强型, 绞合
M	母线	K	空心形, 扩径型
S	电刷线	P	排型
T	铜线	R	软
TY	银铜合金线	S	扇形
		T	梯形
		Y	硬
		Z	编织, 支撑式

产品规格(如截面、线径等),在型号后面用阿拉伯数字表示,如标称截面 $150\text{ mm}^2$ 的加强型钢芯铝绞线表示为LGJJ-150。

## 第二章 线材拉伸及基本原理

### 第一节 线材拉伸和原理

#### 一、线材拉伸

线材拉伸是指线坯通过模孔在一定拉力作用下,发生塑性变形,使截面减小,长度增加的一种压力加工方法。

拉伸过程如图2-1所示。

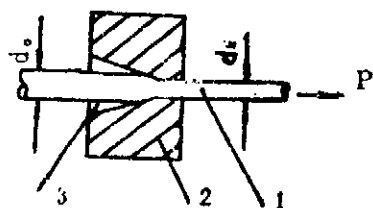


图 2—1 线材拉伸示意图

1—拉伸坯料 2—模子 3—模孔

## 二、拉伸的特点

1. 拉伸的线材有较精确的尺寸，表面光洁，断面形状可以多样。
2. 能拉伸大长度和各种直径的线材。
3. 以冷压力加工为主，拉伸工艺、工具、设备简单，生产效率高。
4. 拉伸耗能较大，变形体受一定限制。

## 三、实现拉伸过程的条件

为实现拉伸过程，拉伸应力应大于变形区中金属的变形抗力，同时小于模孔出口端被拉金属的屈服极限，即：

$$\sigma_K < \sigma_L < \sigma_{SK}$$

式中  $\sigma_K$ ——变形区中金属变形抗力；

$\sigma_L$ ——拉伸应力；

$\sigma_{SK}$ ——被拉伸金属出口端的屈服极限。

由于金属拉伸硬化后的屈服极限  $\sigma_{SK}$  值接近抗拉强度极限  $\sigma_b$ ，故实现拉伸过程的条件可以写成：

$$\sigma_K < \sigma_L < \sigma_b$$

线材拉伸时的塑性变形，主要是通过横断面由大逐渐变小的模孔实现的。所以金属在模孔的变形区中处于复杂的应力状态，如图 2-2 所示。

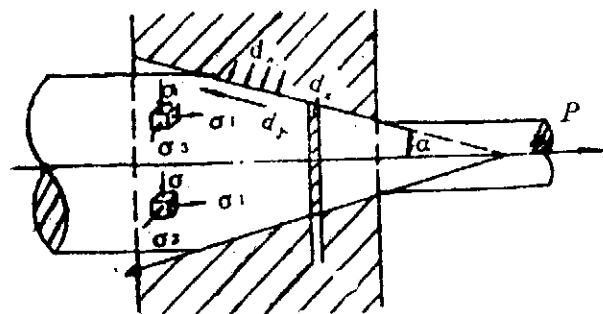


图 2—2 拉伸变形力学图

$P$ —拉伸力  $da$ —反作用力  $dT$ —摩擦  $\sigma_1$ —力主拉应力  $\sigma_{2,3}$ —主压应力

拉伸时，由于正反作用力的作用，被拉金属造成三向应力状态，即一个主拉应力( $\sigma_1$ )及两个主压应力( $\sigma_2, \sigma_3$ )。

拉伸应力  $\sigma_L$  大于变形抗力  $\sigma_K$  才能发生塑性变形。但是，拉伸应力  $\sigma_L$  大于模孔出口端金属屈服极限( $\sigma_{SK}$ )时，就出现拉细或拉断现象。因此  $\sigma_L < \sigma_{SK}$  是实现正常拉伸的一个必要条件。通常以  $\sigma_L$  与  $\sigma_{SK}$  的比值大小表示能否正常拉伸，也即安全系数。

$$K_S = \frac{\sigma_{SK}}{\sigma_L}$$

式中  $K_S$ ——安全系数；

$\sigma_{SK}$ ——模孔出口端金属屈服极限；

$\sigma_L$ ——拉伸应力。

通常用抗拉强度  $\sigma_b$  代替  $\sigma_{sk}$ , 因此安全系数为:

$$K_s = \frac{\sigma_b}{\sigma_L}$$

在实际生产中, 安全系数  $K_s = 1.4 \sim 2.0$ , 如  $K_s < 1.4$ , 则表示拉伸应力过大, 可能出现拉细或拉断现象;  $K_s > 2.0$ , 则表示拉伸应力和伸长率较小, 金属塑性没有充分利用。

随着线径的减小, 线材内部存在的缺陷, 变形程度的加大, 拉伸模角、拉伸速度、金属温度等因素的变化, 对建立正常拉伸过程都有一定影响。因此必须采用相应的安全系数, 才能确保正常拉伸。一般安全系数与线径的关系如表 2-1 所示。

表 2-1 安全系数与线径关系

线材直径(mm)	型线粗线	>1.0	1.0~0.4	0.4~0.1	0.1~0.05	<0.05
安全系数	≥1.4	≥1.4	≥1.5	≥1.6	1.8	≥2.0

#### 四、拉伸原理

拉伸属于压力加工范围。拉伸过程中产生极少金属, 体积变化甚微, 因此认为拉伸前、后金属的体积相等。

$$V_0 = V_K$$

$$\therefore \frac{S_0}{S_K} = \frac{L_K}{L_0} = \frac{d_0^2}{d_K^2}$$

式中  $V_0$ ——拉伸前金属体积;

$V_K$ ——拉伸后金属体积;

$S_0$ ——拉伸前断面面积;

$S_K$ ——拉伸后断面面积;

$L_K$ ——拉伸后线材长度;

$L_0$ ——拉伸前线坯长度。

表示拉伸过程金属变形量的基本参数有:

1. 相对延伸系数, 简称延伸系数, 它是拉伸后与拉伸前线材长度的比值 $\mu$ 。

$$\mu = \frac{L_K}{L_0}$$

2. 压缩率, 是线材拉伸前后断面面积之差与拉伸前断面面积的比值, 一般用百分数表示:

$$\delta = \frac{\delta_0 - \delta_K}{\delta_0} \times 100\%$$

3. 伸长率, 是线材拉伸后与拉伸前的长度之差与拉伸前长度的比值, 一般用百分数表示:

$$\lambda = \frac{L_K - L_0}{L_0} \times 100\%$$

4. 减缩系统, 是线材拉伸后与拉伸前断面面积的比值:

$$\varepsilon = \frac{S_K}{S_0}$$

以上四个拉伸变形指数之间的关系见表 2-2。

#### 五、拉伸过程

(一) 线材的一次拉伸

一次拉伸一般都用于拉粗线。一次拉伸加工率较大, 生产线坯较短, 生产效率低。

(二) 线材的多次拉伸

表 2-2 线材拉伸四个变形指数关系

变形程度	变 形 指 数 值						
指 数	$d_0, d_k$	$S_0, S_k$	$L_0, L_k$	$\mu$	$\delta$	$\lambda$	$\epsilon$
$\mu$	$\frac{d_0^2}{d_k^2}$	$\frac{S_0}{S_k}$	$\frac{L_k}{L_0}$	$\mu$	$\frac{1}{1-\delta}$	$1+\lambda$	$\frac{1}{\epsilon}$
$\delta$	$\frac{d_0^2-d_k^2}{d_0^2}$	$\frac{S_0-S_k}{S_0}$	$\frac{L_k-L_0}{L_0}$	$\frac{\mu-1}{\mu}$	$\delta$	$\frac{\lambda}{1+\lambda}$	$1-\epsilon$
$\lambda$	$\frac{d_0^2-d_k^2}{d_0^2}$	$\frac{S_0-S_k}{S_k}$	$\frac{L_k-L_0}{L_0}$	$\mu-1$	$\frac{\delta}{1-\delta}$	$\lambda$	$\frac{1-\epsilon}{\epsilon}$
$\epsilon$	$\frac{d_k^2}{d_0^2}$	$\frac{S_k}{S_0}$	$\frac{L_0}{L_k}$	$\frac{1}{\mu}$	$1-\delta$	$\frac{1}{1+\lambda}$	$\epsilon$

多次拉伸总加工率大，拉伸速度快，自动化程度高。拉伸道次可根据被拉伸的金属所能允许的总延伸系数、产品最终尺寸以及所要求的机械性能来确定。连续拉伸道次通常为2~25次。

### (三) 滑动连续式多次拉伸

在滑动式连续拉伸机上生产线材时，各中间绞轮均产生滑动，故绞轮上一般绕1~4圈线材。在拉伸过程中绞轮各级转数不能自动调整，只有在停车时才能进行调整，但不能改变各绞轮的速比。

滑动式连续拉伸有两个特点：

第一个特点是除K道(最后一道)外，其余各道都存在滑动。

由于滑动式连续拉线机是靠绞轮上的线材与绞轮之间的滑动摩擦力来牵引线材运动的，所以增加了功率消耗，还会造成绞轮表面磨损，形成沟槽，使线材在绞轮上的轴向移动

发生困难，线与线压叠，甚至断线，也会因线与绞轮的摩擦使线材表面质量下降。看来这个滑动是有害的，但它却带来了难得的好处，因为它能自动调节线材张力，不致中间断线或留有余线。下面分析滑动的必要性。

以K和K-1道为例，如图2-3所示。

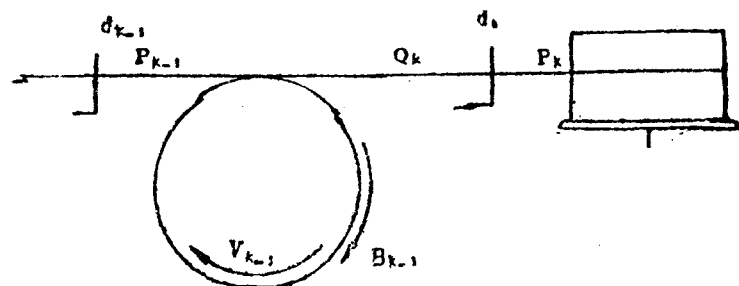


图 2-3 K和K-1道拉线简图

$B_{K-1}$ —最后前一道的线速  $P_K$ —最后一道拉制力

$V_{K-1}$ —最后前一道绞轮的线速度  $d_k$ —最后一道拉制模

$Q_K$ —最后一道反拉力

K道没有滑动，如果K-1道也没有滑动时， $d_K$  由于磨损而增大，假设这时  $d_{K-1}$  没有增大，那么通过  $d_{K-1}$  道模孔线材的秒体积没有变化，而通过  $d_K$  道线材的秒体积增加，则产生供不应求现象，使张力  $Q_K$  急剧增加，从而  $P_K$  也急剧增大造成断线。

如果K道没有滑动，而K-1道上设法使它存在一定滑动时，只要  $Q_K$  稍微有增加，那么在K-1道绞轮上的线材就会箍紧些，使滑动量减少， $B_{K-1}$  增加，自动满足K道需要。反之，如果出现  $d_{K-1}$  增大， $d_K$  没有变化的情况，则  $Q_{K-1}$  就会

减小,使K-1道的滑动量增加,避免了因供过于求而引起积线过多。

滑动还能应付多种情况,如线模的制造误差,线的抖动,拉线机的振动,润滑剂供应不均匀,气流的波动等引起线材张力发生变化的许多情况,都能自动地予以调整。

保证正常滑动的办法是在相邻两绞轮间,如果让拉线后的长度与拉线前的长度之比大于后面和前面的绞轮线速度之比,就会在前面绞轮上产生需要的滑动。相邻两绞轮线速度之比叫做绞轮的速比( $\tau_n$ ):

$$\tau_n = \frac{v_{n-1}}{v_n}$$

根据上面分析可知,只要使  $\frac{\mu_n}{\tau_n} > 1$  即可,我们把  $\frac{\mu_n}{\tau_n}$

叫做相对前滑系数,用  $\tau_n$  表示:

$$\tau_n = \frac{\mu_n}{\tau_n}$$

下面分析三种情况:

当  $\tau_n = 1$  时,  $n-1$  道没有滑动。由于模孔的磨损决不会按同一规律发展,再由于其它因素影响,这种情况几乎维持不住,很快会发生断线。

当  $\tau_n < 1$  时,一开车就断线,不能拉。

当  $\tau_n > 1$  时,在  $n-1$  道绞轮上有滑动,能自动调节张力,保持长时间不断线。那么  $\tau_n$  取多大合适? 设线材的误差为断面面积的  $\pm 2\%$ ,通过近似计算可得:

$$\tau_n = 1 + \frac{1.02S_n - 0.98S_n}{0.98S_n} = 1.0408$$

考虑到极限情况的可能性较小,同时为保证线材质量和减少绞轮磨损,  $\tau_n$  值可取为:

$$\tau_n = 1.015 \sim 1.04$$

这是一般情况,有时  $\tau_n$  值可达 1.10。一般线径越细,  $\tau$  值应较小,成品处的  $\tau_n$  值也应小些。

第二个特点是除第一道外,其余各道次均存在反拉力。拉伸力是靠线材与绞轮间的滑动摩擦产生的。

滑动摩擦力的大小与摩擦系数、绕线圈数和线材对绞轮的箍紧程度有关。绕线圈数和线材对绞轮的箍紧程度决定正压力的大小,而离开绞轮的线材的张力决定线材的箍紧程度。这个张力就是下一道的反拉力。

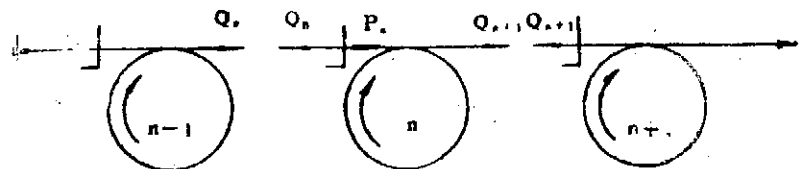


图 2-4 反拉力分析简图

拉伸力  $P_n$ , 反拉力  $Q_n$ , 绕线圈数  $m_n$ , 摩擦系数  $f$  之间的关系可根据柔性物体对圆柱体表面间的摩擦定理来确定。

$$P_n = Q_n e^{2\pi m_n f}$$

式中  $e = 2.718$  自然对数

$e^{2\pi m_n f}$  的值可按表 2-3 确定:

表2-3  $e^{2\alpha\mu}$  值表

$\mu\alpha$	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
1	1.06	1.87	2.57	3.51	4.81
2	1.87	3.51	6.59	12.35	21.14
3	2.57	6.59	19.90	43.38	111.32
4	3.51	12.35	43.38	131.43	535.49
5	4.81	21.14	111.32	535.49	—

由上表可以看出, 绕线圈数的多少对下一道的反拉力影响很大。绕线圈数越少, 下一道的反拉力越大; 绕线圈数越多, 下一道的反拉力越小。当绕线较多时, 滑动对张力变化的反应迟钝, 同时线材在绞轮上轴向移动困难, 容易压叠造成断线。所以, 拉线时要合理确定绞轮上的绕线圈数。

#### (四) 无滑动多次拉伸

无滑动拉伸主要使用无滑动积蓄式拉线机, 如图 2-5 所示。

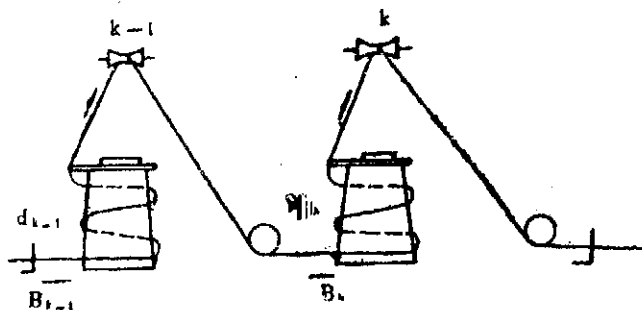


图 2-5 无滑动积蓄式拉线机简图

无滑动拉伸的主要特点是线材与绞轮间没有滑动, 各中间绞轮上线材的圈数可以增减。中间各绞轮起拉线的作用, 又起下一道次的放线架作用。

当  $\tau_K$  储存系数 = 1 时, 拉线过程中,  $K$  道次绞轮上的线材圈数保持不变, 线材不发生扭转。但不能长时间维持不变。

$\tau_K < 1$  时, 拉线过程中,  $K$  道次的线材圈数逐渐减少, 线材发生扭转。

$\tau_K > 1$  时, 拉线过程中,  $K$  道次的线材圈数逐渐增加, 线材同样也发生扭转。

为了保证线材与绞轮间没有滑动, 开始穿模时要使每个中间绞轮上绕有 15 圈以上的线材。

## 第二节 影响线材拉伸的因素

金属线材在拉伸时, 受到四个外力, 即出线端的拉伸力, 模孔变形区对金属线材的正压力, 模孔(变形区和定径区)与线表面之间的摩擦力和线材后端的反拉力, 如图 2-6。



图 2-6 有反拉力的拉线时线材受力情况

拉伸力是指为实现拉伸过程, 克服金属线材在变形区内的变形抗力和金属与模壁间的摩擦力的合力。合适的拉伸力

是制定各道加工率，确定拉伸道次和计算电动机容量的重要依据。拉伸力的大小是实现整个拉伸过程的基本因素之一。

影响拉伸力的因素如下：

1. 铜、铝杆(线)材料。在其它条件相同时，拉铜线比拉铝线的拉伸力大，拉铝线容易断，所以拉铝线时应取较大的安全系数。

2. 材料的抗拉强度。材料的抗拉强度因素很多，如材料的化学成分、压延工艺等，抗拉强度高则拉伸力大。

3. 变形程度。变形程度越大，在模孔中变形段长度越长，因而增加了模孔对线的正压力，摩擦力也随之增加，所以拉伸力也增加。

4. 线材与模孔间的摩擦系数。摩擦系数越大，拉伸力也越大。摩擦系数由线材的材料和模芯材料的光洁度、润滑剂的成分与数量决定。铜杆表面酸洗不彻底，表面有残存的氧化亚铜细粉，也使拉伸力增大。

5. 线模模孔工作区和定径区的尺寸和形状。在线模工作区圆锥角增加，有两个因素影响着力，一方面摩擦表面减少，摩擦力相应减少；另一方面金属在变形区的变形，抗力随圆锥角的增大而增大，使拉伸力变大。

定径区越大，拉伸力也越大。从这个角度看，定径区应尽量短。但考虑模孔要有一定寿命，所以定径区长度不能过小。

6. 线模位置。线模安放不正或模座歪斜也会增加拉伸力，使线径及表面质量达不到标准要求。

7. 各种外来因素。如进线(杆)不直，放线时打结，拉线过程中线的抖动，都会使拉伸力增大，严重时引起断

线，尤其拉小线时更甚。

8. 反拉力增大的因素。反拉力增大则拉伸力增加。如放线架制动力过大，前一道离开绞轮线材的张力增加等会增加后一道的反拉力。

### 第三章 裸电线导体材料 和拉制产品

金属材料可分为黑色金属(铁、钢、锰、铬)等和有色金属(铜、铝、铅、银、锌、镁)等两大类。制造电线电缆所需拉伸金属材料的主要是铜和铝。

#### 第一节 铜和高导电铜合金

##### 一、铜

由于铜的导电率仅次于银，价格比银低，而且具有良好的塑性，易于进行热压或冷压力加工，容易焊接，有中等的抗拉强度，良好的耐腐蚀性，以及熔炼不太困难等优点。

制造电线电缆导体用铜，采用 GB466—82 标准中二号铜的规定，见表 3-1。

表 3-1 二号铜的化学成分 (%)

铜	杂 质 不 大 于										
不小于	铋	锑	砷	铁	镍	铅	锡	硫	氧	锌	磷 总和
99.90	0.0020	0.0020	0.0020	0.0050	0.0020	0.0050	0.0020	0.0050	0.060	0.0350	0.0010 0.10

以二号铜加工为例，说明它的一般物理、机械和工艺性能。

熔点：1083℃

沸点：约2500℃

电阻率：0.017241Ω·mm<sup>2</sup>/m

密度：8.89(20℃时)

抗拉强度：216~235N/mm<sup>2</sup>(软)

363~412N/mm<sup>2</sup>(硬)

伸长率：40%~45%(软)；4%~6%(硬)

铸造温度：1150~1200℃

最低再结晶温度：200~270℃

再结晶退火温度：500~700℃

铜中所含杂质及微量元素将影响导电等各方面的性能，其中以磷、硅、铁、砷影响最大，银、镉、铬、锌影响较小，对铜的加工性能影响不大，但可不同程度提高铜的强度和硬度。因此常用降低导电性能较少的元素来配制高强度、耐磨、耐热的高导电铜合金。铅和铋对铜的导电性能影响不大，但容易造成热压时开裂，铋还会降低室温塑性。

氧含量的增加将显著降低铜的工艺性能和耐腐蚀性，使焊接、镀锡等过程不易进行，拉伸后的线材表面易发毛。含氧铜在还原性气氛中加热，还会产生“氢气病”，造成表面裂开。

电线电缆工业用铜线锭及铜杆标准如下：

##### (一) 铜线锭

1. 铜线锭化学成分必须符合表 3-1 规定。
2. 线锭表面不得有凸起、凹缩及荡边。
3. 线锭底面而和两侧面不应有显而易见的气孔、裂纹、冷隔和夹杂物。

4. 铜线锭的电阻率，经拉线与退火后，取长度为 1m、直径为 2mm 的铜线，在温度 20℃ 时的电阻率不大于 0.017241Ω·mm<sup>2</sup>/m。

表 3-3 高导电铜合金成分、性能和用途

名称	添加元素		导电性能% (以铜为 100%)	抗拉强度 N/mm <sup>2</sup>	特 性	用 途
	元素	含量%				
银铜	Ag	0.03~ 0.1	97	380.24	高导电性, 中强度, 但要用贵金属	梯排、触头
镉铜	Cd	0.7~1.0	80	539~ 695.3	高的导电性、导热性、良好的耐磨性、耐蚀性、加工性良好。	梯 排
铬铜	Cr	0.4~1.0	80~85	411.6~ 599.6	在室温及 400°C 以下均具有较高的强度和硬度, 导电、导热性好, 耐磨, 热处理后性能显著提高, 易焊接, 在大气和淡水中耐蚀, 高温抗氧化性好。	梯排、电焊机电极、双金属刹车盘等要求高强度、高硬度、高导电性和高导热性等耐磨场合。
锆铜	Zr	0.1~ 0.17	85~90	380.24 ~ 489.02	有高的导电性, 能冷热态压力加工, 时效的硬度、强度和耐热性好。	作电阻焊零件及高导电、高强度、耐热电极材料。

## (二) 圆铜杆

1. 圆铜杆的规格用标称直径表示, 允许误差和同一面上测得的最大最小直径之差( $f$ 值)应符合表 3-2 规定。

表 3-2 圆铜杆直径及允许误差

标称直径(mm)	允许误差(mm)	$f$ 值不大于(mm)
7.2	±0.4	0.8
8.0		
9.0		
10.0	±0.5	1.0
11.0		
13.0	±0.6	1.2
15.0	±0.7	1.4
17.0	±0.8	1.6
19.0	±0.9	1.8

2. 拉断伸长率应不小于30%。

3. 20℃时的电阻率应不大于  $0.017241 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

4. 圆铜杆应圆整, 尺寸均匀, 表面不应有褶边、错圆、裂纹、夹杂物、扭结及其它对使用有害的缺陷。

## (三) 高导电铜合金

随着电机电器工业的发展, 有的使用场合要求提高铜线的耐磨性能和具有高温下的强度, 但纯铜已不能满足这些要求, 因而产生和发展了高导电铜合金。

常见高导电铜合金的成分、性能、用途如表 3-3 所列。

## 第二节 铝和高导电铝合金

## 一、铝

铝的蕴藏量极为丰富, 产量仅次于钢铁, 居有色金属的首位, 是制造电线电缆导体的主要原料。

铝具有密度小(约为铜的 1/3.3), 导电、导热性能好(仅次于银、铜、金居第四位), 在空气中有良好的耐腐蚀性, 塑性好, 可进行各种形式的压力加工等优点。

制造电线电缆导体用铝采用 GB1196-75 标准中一号以上铝的规定, 见表 3-4。

表 3-4 铝的化学成分

牌 号	代 号	化 学 成 分					
		铝	杂 质 不 大 于				杂质总和
		不小于	铁	硅	铁+硅	铜	
特二号铝	Al-20	99.7	0.16	0.13	0.26	0.010	0.30
特一号铝	Al-1	99.8	0.25	0.18	0.36	0.010	0.40
一号铝	Al-1	99.5	0.30	0.22	0.45	0.015	0.50

工业用纯铝的物理、力学和工艺性能如下:

熔点: 658.7℃

沸点: 1800℃

密度: 2.703(+20℃)

电阻率: 0.028264  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (硬); 0.0280  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (软)

抗拉强度: 78.4 N/mm<sup>2</sup>(软); 147 N/mm<sup>2</sup>(硬)

伸长率: 30%~40%(软); 5%~10%(硬);

铸造温度: 710~730℃

最低再结晶温度: 150~240℃

再结晶温度: 350~400℃

铝中所含杂质对铝的性能将产生各种影响, 纯铝中的主

要杂质是铁和硅, 其次是铜、镁、锌、锰、钛等。铁和硅是常常存在的有害杂质, 铁在固态铝中又硬又脆, 使铝的耐腐蚀性、导电性、塑性降低。杂质铜在规定的数量(0.01%)内是以固溶体形态存在, 使铝的导电性下降比铁硅还要大, 是极有害的杂质。

电线电缆工业用的铝锭、铝杆技术指标如下:

#### (一) 铝锭

1. 铝锭化学成分必须符合表 3-4 的规定。

2. 铝锭表面应整洁, 无飞边、无夹渣和较严重的气孔。

3. 铝锭的电阻率, 经拉线后取长度 1 m, 截面为 1 mm<sup>2</sup> 的铝线; 在温度 20℃ 时, 电阻率应不大于 0.028264  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (硬); 0.0280  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (软)。

#### (二) 铝杆

1. 尺寸误差。圆铝杆标称直径的误差和圆铝杆垂直于轴线的同一截面上测得的最大和最小直径之差( $f$ 值)应符合表 3-5 规定。

表 3-5 圆铝杆直径及允许误差

标 称 直 径(mm)	允许误差(mm)	$f$ 值不大于(mm)
9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0	±0.5	1.0
12.5 14.0 15.0 16.0	±0.6	1.2
17.0 20.0	±0.7	1.4

2. 力学与电性能。圆铝杆的力学性能及电性能应符合表 3-6 之规定。

表 3-6 圆铝杆力学、电气性能

型 号	抗拉强度 $N/mm^2$	伸长率 % 不小于	电阻率 $\Omega \cdot mm^2/m$ 不大于
L <sub>1</sub>	60~80	25	0.02755
L <sub>2</sub>	80~110	14	0.02785
L <sub>4</sub>	95~130	12	0.02801
L <sub>6</sub>	115~147	8	0.02801

## 3. 外观

①圆铝杆应圆整，尺寸均匀，软硬一致。

②圆铝杆应清洁，不应有裙边、错圆、裂纹、夹杂物、扭结等缺陷及其它对使用有害的缺陷，允许有轻微的机械擦伤、斑疤、麻坑、起皮或飞边等。

## 二、高导电铝合金

铝比铜导电性、耐热性差，强度低，为了扩大铝使用范围，对铝的导电性能影响不大，但能显著提高强度和耐热性能的元素来配制高导电铝合金。

## (一) 铝镁硅合金

铝镁硅合金是一种热处理型铝合金。镁和硅形成化合物，在高温时溶解在铝中的溶解度最大达1.85%。随着温度下降形成常温下不稳定的固溶体，因而可以利用淬火和时效的办法得到高强度。

铝镁硅合金线在  $530 \pm 20^\circ C$ ，45 min 加热后，在水中淬火拉线后再经  $165 \pm 5^\circ C$  5 h 的人工时效处理，其抗拉强度可达  $295 N/mm^2$  以上，延伸率不小于4%，电阻率不大于  $0.0328 \Omega \cdot mm^2/m$ 。

## (二) 铝镁合金

铝镁合金是一种非热处理型铝合金，其加工工艺与一般铝线相同。它的成分中含镁0.5%~1.1%，抗拉强度可达  $206 \sim 245 N/mm^2$ ，伸长率为1.5%~2.0%，电阻率不大于  $0.033 \Omega \cdot mm^2/m$ 。

除以上两种铝合金外，其他还有稀土元素系等。

## 第三节 铜铝拉线产品的标准

由于电线电缆产品的发展和产品质量的不断提高，铜、铝线产品的标准也逐渐向国际标准靠拢。

## 一、电工圆铜线

电工圆铜线国家标准 GB3953-83 规定与国际电工委员

表 3-7 圆铜线型号规格

型 号	名 称	规格范围 (mm)
TR	软圆铜线	0.020~14.00
TY	硬圆铜线	0.020~14.00
TYT	特硬圆铜线	1.50~5.00

表 3-8 圆铜线直径及允许误差

标称直径 (mm)	允 许 误 差 (mm)
0.020~0.025	$\pm 0.002$
0.026~0.125	$\pm 0.003$
0.126~0.400	$\pm 0.004$
0.401~14.00	$\pm 1\%$

表 3-9 圆铜线力学性能

标称直径 (mm)	TR型	TY型		TYT型	
	伸长率%	抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率(%)	抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率(%)
		不	小	于	
0.020~0.100	10	421	—	—	—
0.020~0.300	15	420~419	—	—	—
0.380~0.570	20	418~416	—	—	—
0.600~0.850	25	415~413	—	—	—
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
1.76	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
2.12	25	399	0.7	439	0.7
2.24	25	398	0.8	438	0.8
2.50	25	395	0.8	435	0.8
2.62	25	393	0.9	434	0.9
2.73	25	392	0.9	432	0.9
2.80	25	391	0.9	432	0.9
3.00	25	389	1.0	430	1.0
3.55	30	383	1.1	423	1.1
4.00	30	379	1.2	419	1.2
4.50	30	373	1.3	413	1.3

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

会 IEC28 1925 的规定相一致。它适用于制造电线电缆、机、电器用的圆铜线，型号与规格范围见表 3-7。圆铜线标称直径的允许误差应符合表 3-8 规定。垂直于轴线的断面上测得的最大和最小值之差(μ值)应不超过标称直径的绝对值。圆铜线的力学性能应符合表 3-9 规定。圆铜线的电阻率应符合表 3-10 规定。

表 3-10 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以上
TR	0.017241	0.017241
TY, TYT	0.01796	0.01777

圆铜线表面应光洁，不得有与良好的工业产品不相称的缺陷。

## 二、镀锡圆铜线

镀锡圆铜线按国家标准 GB4910-85 标准制造，适用于制造电线电缆及电器制品用的镀锡软圆铜线。镀锡圆铜线的型号和规格见表 3-11。

表 3-11 镀锡圆铜线型号规格

型 号	名 称	标称直径(mm)
TXR	镀锡软圆铜线	0.05~4.00
TXRH	可焊镀锡软圆铜线	0.20~1.20

镀锡圆铜线标称直径及允许误差应符合表 3-12 规定。

表 3-12 镀锡圆铜线直径及允许误差

标称直径 $d$ (mm)	误差 (mm)
$0.050 < d \leq 0.125$	$+0.006$ $-0.003$
$0.125 < d \leq 0.400$	$+0.010$ $-0.004$
$0.400 < d \leq 4.00$	$+2\%d$ $-1\%d$

镀锡铜线的伸长率应符合表 3-13 规定。

表 3-13 镀锡圆铜线伸长率

标称直径 (mm)	伸长率不小于 (%)
$0.05 < d \leq 0.09$	6
$0.09 < d \leq 0.25$	12
$0.25 < d \leq 0.50$	15
$0.50 < d \leq 2.00$	20
$2.00 < d \leq 4.00$	25

镀锡铜线的电阻率应符合表 3-14 规定。

表 3-14 镀锡圆铜线电阻率

标称直径 (mm)	电阻率不大于 ( $\rho_{20} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	
	TXR	TXRH
$0.05 < d \leq 0.09$	0.01851	0.01851
$0.09 < d \leq 0.25$	0.01892	0.01831
$0.2 < d \leq 0.50$	0.01770	0.01793
$0.50 < d \leq 4.00$	0.01760	0.01775

### 三、铜电力牵引用接触线(电车线)

铜电车线按国家标准 GB12971.2-92 制造, 型号有 CTY 圆形铜电车线和 CT 双沟形铜电车线等。

铜电车线的规格、各部尺寸、允许偏差应符合图 3-1 及表 3-15 表 3-16 表规定。

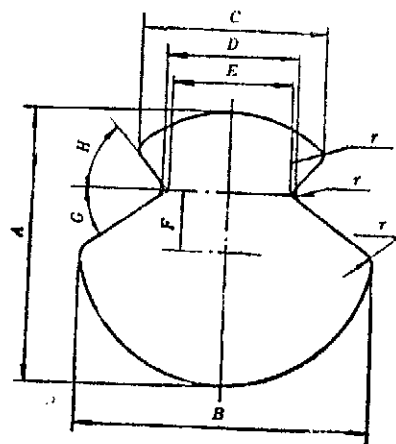


图 3-1 铜电车线尺寸图

表 3-15 圆铜电车线尺寸及允许误差

标称截面 ( $\text{mm}^2$ )	标称直径及误差、(mm)	
	标称直径	误差
50	8.00	$\pm 0.06$
65	9.00	$\pm 0.06$
85	10.50	$\pm 0.06$
100	11.31	$\pm 0.06$
110	12.00	$\pm 0.06$

表 3-16 双沟形铜电车线尺寸及允许误差

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	尺寸及误差 (mm)							G	H
	A (±1%)	B (±2%)	C (±2%)	D (+4% -2%)	E	F	r	误差±2°	
65	9.30	10.19	8.05	5.70	5.32	2.50	0.60	35°	50°
85	10.80	11.76	8.05	5.70	5.32	2.50	0.60	35°	50°
85(T)	11.00	11.00	8.50	6.12	5.70	1.50	0.38	27°	51°
100	11.80	12.81	8.05	5.70	5.32	2.50	0.60	35°	50°
110	12.34	12.34	8.50	6.12	5.70	2.50	0.38	27°	51°
150	14.40	14.40	9.75	7.27	6.85	3.20	0.38	27°	51°

铜电车线表面应光洁,不得有三角口、裂纹、起皮、毛刺及夹杂物等缺陷,但如有局部轻微的斑疤、麻坑、沟槽、机械损伤等仍作为合格品。

铜电车线的抗拉强度、伸长率、弯曲次数、扭转次数均应符合表3-17的规定。

表 3-17 铜电车线抗拉强度、伸长率、弯曲与扭转性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	抗断力 <sup>1)</sup> (N) 不小于	伸长率 <sup>1)</sup> (%) 不小于	扭转 次 不小于	反复弯曲	
				弯曲半径 (mm)	次数 不小于
50	14 880	2.2	9	20	8
65	23 210	2.4	9	20	8
85	30 480	2.6	9	20	8
100	34 500	3.0	9	25	8
110	37 600	3.8	9	25	8
65	24 200	2.5	3	21	8
85	29 750	2.7	3	25	8
85(T)	30 200	2.7	3	25	8
100	34 610	2.9	3	25	8
110	37 740	3.0	3	25	8
150	51 390	3.3	3	30	8

铜电车线制造长度内允许有接头,接头应在最后一道拉制前进行,其数量不得多于5个。接头处的强度应不小于表3-17规定值的95%。

铜电车线的直流电阻,在截面为1平方毫米,长度为1公里,温度为20℃时应不大于17.68欧姆。

#### 四、扁铜线

扁铜线采用GB5584-85标准制造,型号有TBY1、TBY2硬铜扁线和TBR-软铜扁线。

扁铜线的窄边(a边)和宽边(b边)的尺寸及允许误差应符合表3-18规定。

表 3-18 扁铜线窄边 a 和宽边 b 的尺寸误差

标称尺寸a (mm)	偏差± (mm)	标称尺寸b (mm)	偏差± (mm)
a < 3.15	0.03	b ≤ 3.15	0.03
3.15 > a ≤ 6.30	0.05	3.15 < b ≤ 6.3	0.05
6.3 < a ≤ 12.5	0.07	6.30 < b ≤ 12.5	0.07
—	—	12.50 < b ≤ 16.00	0.09

表 3-19 圆角半径尺寸

标称尺寸 a (mm)	圆角半径尺寸 r	
	标 称 (mm)	误 差
a ≤ 1.00	a/2	±25%
1.00 < a ≤ 1.60	0.5 注	
1.60 < a ≤ 2.44	0.65	
2.44 < a ≤ 3.55	0.8	
3.55 < a ≤ 6.00	1.00	±25%
6.00 < a ≤ 7.10	1.20	

注:宽边大于4.75mm的扁线,其中半径可以是①半圆;②0.80mm,

表 3-22 弯曲直径尺寸

标 称 尺 寸	弯 曲 直 径(mm)	
	TBY1 TBY2	TBR
0.80~4.00	2	2
4.25~8.00	4	4
8.50~16.00	—	8

## 五、电工圆铝线

电工圆铝线按 GB3954-84 电工圆铝杆和 GB3955-84 电工圆铝线标准制造, 型号规格见表 3-23。

表 3-23 电工圆铝线型号规格

型 号	状 态 代 号	直径范围(mm)	名 称
LR	0	0.30~10.00	软圆铝线
LY <sub>4</sub>	H <sub>4</sub>	0.30~6.00	H <sub>4</sub> 状态硬圆铝线
LY <sub>6</sub>	H <sub>6</sub>	0.30~10.00	H <sub>6</sub> 状态硬圆铝线
LY <sub>8</sub>	H <sub>8</sub>	0.30~5.00	H <sub>8</sub> 状态硬圆铝线
LY <sub>9</sub>	H <sub>9</sub>	1.25~5.00	H <sub>9</sub> 状态硬圆铝线

表 3-24 圆铝线标称直径误差

标称直径(d)	误 差
0.300~0.900	±0.013
0.910~2.490	±0.025
2.500及以上	±1% d

扁铜线应有圆角, 圆角的半径应符合表 3-19 规定。  
扁铜线在温度为 20 时的电阻率  $\rho_{20}$  应符合表 3-20 规定。

表 3-20 扁铜线电阻率 (20℃)

型 号	电阻率不大于( $\rho_{20} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数( $\alpha_{20} 1/^{\circ}\text{C}$ )
TBY <sub>1</sub>	0.01777	0.00381
TBY <sub>2</sub>	0.01777	0.00381
TBR	0.017241	0.00393

扁铜线的力学性能应符合表 3-21 规定。

表 3-21 扁铜线的力学性能

标称尺寸 (mm)	抗拉强度不小于(N/mm <sup>2</sup> )			伸 长 率 (%)		
	TBR	TBY <sub>1</sub>	TBY <sub>2</sub>	TBR	TBY <sub>1</sub>	TBY <sub>2</sub>
0.80 ≤ a ≤ 2.00	275	275~373	373	30.0	1.5	0.4
2.00 < a ≤ 4.00	255	255~333	333	34.0	2.0	0.7
4.00 < a ≤ 6.00	245	245~304	304	36.0	3.0	1.7
6.00 < a ≤ 7.10	245	245~275	275	36.0	3.0	1.7

硬扁铜线用 b 边弯曲 90°, 表面不出现裂纹, 弯曲圆柱的直径根据 a 边尺寸选定, 应符合表 3-22 规定。

软扁铜线用 a 边弯曲 90°, 表面不出现裂纹, 弯曲圆柱的直径根据 b 边尺寸选定, 应符合表 3-22 规定。

扁铜线的表面应光洁, 不得有三角口、毛刺、裂纹、折叠及夹杂物, 允许有轻微的斑疤、麻坑、划道、机械损伤和氧化变色。

圆铝线的力学性能应符合表 3-25 规定。

表 3-25 圆铝线力学性能

型 号	直 径 (mm)	抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )		断裂伸长率 不小于 (%)
		最 小	最 大	
LR	0.30~1.00	—	98	15
	1.01~10.00	—	98	20
LY <sub>4</sub>	0.30~6.00	95	125	—
LY <sub>6</sub>	0.30~6.00	125	165	—
	6.01~10.00	125	165	3
LY <sub>8</sub>	0.30~5.00	160	205	—
LY <sub>9</sub>	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	—	—

圆铝线标称直径的误差应符合表 3-24 规定。垂直于轴线的同一截面上测得的最大和最小直径之差( $f$ 值)应不超过标称直径误差的绝对值。

圆铝线的电性能应符合表 3-26 规定。

表 3-26 圆铝线电性能

型 号	电阻率( $\rho_2$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 不大于)
LR	0.0280
LY <sub>4</sub>	0.028264
LY <sub>6</sub>	
LY <sub>8</sub>	
LY <sub>9</sub>	

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。

## 第四节 特殊用途的拉线产品

### 一、铝绞线及钢芯铝绞线

用于架空电力线路用的有铝绞线 LJ, 钢芯铝绞线 LGJ 及防腐钢芯铝绞线 LGJF, 采用国家标准 1179-83。其圆铝线应符合 GB 3955-82《圆铝线》中 H9 状态的 LY9 型硬圆铝线规定。镀锌钢丝应符合 3428-82《钢芯铝绞线用镀锌钢丝》的规定。

## 二. 钢铝电力牵引用接触线(电车线)

本产品适用于电气铁道及工矿企业有轨或无轨电力牵引车辆架空输电接触导线用。型号有 CGLN 和 CGLW 生产所用型钢应用高耐候结构钢, 其机械性能要求抗拉强度不小于 540MPa, 伸长率不小于 5%,

型钢应用 GB1196—75 铝锭中的特一号铝制造。其机械性能要求抗拉强度不小于 103MPa, 延伸率不小于 6%。外观表面应光洁, 不得有凹陷、疤痕、裂纹、缩孔及较深的沟槽等, 但一些轻微的缺陷经修整后, 其尺寸不超过所规定的偏差范围时, 可认为合格。

钢铝电车线的直流电阻、物理性能及制造长度按表 3-27 规定。

表 3-27 钢铝电车线技术要求

型 号	直流电阻不大于 $\Omega/\text{km}+20^{\circ}\text{C}$	综合拉断力 不小于 N	钢铝结合力 不小于 N	180°反复扭转 (正反各一转)
CGLN250	0.149	54000	4900	—
CGLN195	0.198	39220	3900	—
CGLW215	0.184	49330	2450	不开裂
CGLW173	0.230	34320	1960	不开裂

## 第四章 拉 线 设 备

### 第一节 拉线机的分类及特性

#### 一、拉线机的分类

拉线机的分类方法很多, 根据拉伸线材的模子, 可分为单模拉线机和多模拉线机; 根据工作特性, 可分为滑动式拉线机和非滑动式拉线机; 根据拉线机鼓轮的构造形状, 可分为塔形鼓轮拉线机、锥形鼓轮拉线机及圆柱形鼓轮拉线机; 按拉线时润滑情况, 又可分为喷射式拉线机和浸入式拉线机; 按拉制线径的大小, 可分为大、中、小、细、微拉线机。在生产中习惯上常以单模拉线机、多模拉线机来分。多模拉线机包括滑动式拉线机及非滑动式拉线机。

目前我国拉线机系列(草案)见表 4-1。

表 4-1 国产拉线机系列(草案)

级 好	最大进线 直 径 (mm)	出线直径 范 围 (mm)	模 数 (只)	主电机 功率 (kW)	出线速度 (m/s)	绞 轮 直 径 (mm)
大拉机	8.0	4.0~1.2	13	185	6.6~16.5	400
中拉机	3.0	1.2~0.4	17	55	15~25	280
小拉机	1.6	0.4~0.12	17	22	15~25	200
细拉机	0.8	0.15~0.07	17	4	15~25	150
微拉机	0.12	0.05~0.02	20	1.1	15~20	69
拉剥皮机	12.00	10.0~4.0	2	40	0.72~1.94	650

目前我国线缆行业尚有使用苏制和仿苏拉线机，见表4-2。

表 4-2 苏联拉线机系列

级别	代 号	进线直径 (mm)	出线直径 (mm)	模数	拉线速度 (m/s)
重拉	I	20~12	16~10	5	0.2~0.5
	II	12~10	9.99~4.5	9	0.5~2.0
粗拉	II	7.2	4.49~2.65	5	2.0~7.0
	II	7.2	2.65~1.50	9	7.0~15
	II	7.2	1.49~1.00	13	12~25
中拉	III	3.47~1.40	0.89~0.4	12	12~25
细拉	IV	1.85~1.0	0.39~0.20	19	20~40
	V	0.95~0.50	0.19~0.1	19	12~25
最细拉	VI	0.36~0.20	0.08~0.05	19	12~25
	VII	0.14~0.10	0.04~0.03	19	10~20
	XII	0.06~0.03	0.02~0.01	19	3~6

## 二、拉线机种类及特点

### (一) 单模拉线机

线材从拉线机进线到出线，只通过一只模子的称单模拉线机。这种拉线机通常采用锥形鼓轮。单模拉线机分两类：

#### 1. 卧式单模拉线机

拉线鼓轮是卧式放置。鼓轮既是拉制动力来源，又起储线作用，其型式如图 4-1 所示。

#### 2. 立式单模拉线机

拉线机有垂直放置的锥形鼓轮，配备有起吊线圈的吊线架(卸料装置)，其型式如图 4-2 所示。

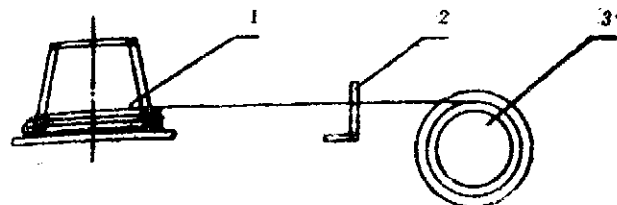


图 4-1 卧式单模拉线机示意图

1—放线架 2—线模 3—卧式鼓轮



图 4-2 立式单模拉线机示意图

1—放线架 2—线模 3—立式鼓轮

以上两种型式的拉线机，其拉线鼓轮起牵引和收线作用，因而线材表面质量常受一定影响。为改善这种情况，有一种带收线装置单模拉线机，它在鼓轮后面加一个收线装置，如图 4-3 所示。

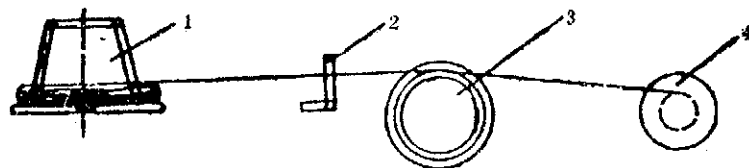


图 4-3 带收线装置的单模拉线机示意图

1—放线装置 2—线模 3—鼓轮 4—收线装置

单模拉线机虽然结构简单，容易制造和改装，但拉伸速度慢，占地面积较大，劳动强度大，生产效率低。目前一般

用于粗拉大直径短尺寸的圆线、型线及棒材和拉伸速度慢的高强度合金线，以及退火工序相当多，甚至拉一次即应退火的低塑性、加工率不大的线材。

## (二) 多模拉线机

由于单模拉线机的生产率低，所以在现代化车间里多采用多模拉线机。其特点是总加工率大，拉伸速度高，自动化程度高。

多模拉线机是线材通过几个规格逐渐减小尺寸的模子和其后的拉线鼓轮，而实现拉伸的拉线机。拉伸的道数可根据被拉伸的材料所能允许的总伸长系数、最终尺寸以及所要求的制品的机械性能来确定。

多模拉线机可以分为滑动式连续拉线机及非滑动式连续拉线机或非滑动式非连续拉线机两类。

### 1. 滑动式连续拉线机

滑动式连续拉线机是拉线鼓轮圆周速度 $B$ 大于线材拉伸速度 $V$ ，并以此而产生的摩擦力，曳引线材拉过模子的多模拉线机。

这种拉线机按鼓轮的位置和形状划分有圆柱形鼓轮的拉线机和塔形鼓轮的拉线机。

#### (1) 圆柱形鼓轮拉线机

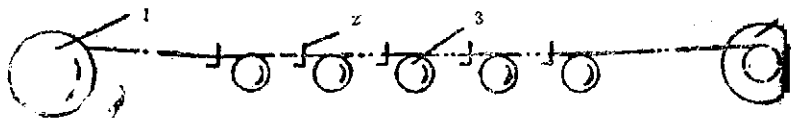


图 4-4 滑动式拉线机示意图

1—放线盘 2—线模 3—绞轮 4—收线盘

这种拉线机多数是卧式的，特点是各个拉线鼓轮的直径相等，且呈直线排列，主要拖动形式为一个电动机带动各拉线鼓轮，如图 4-4 所示。

它的优点是穿模方便，停车后可以测量各道次的线材尺寸，以便控制拉伸过程。其缺点是拉线机的机身较长，因此模子数一般不多于 9 个。为了克服这个缺点，现有将鼓轮排列成二层的拉线机，对大型拉线机还有层套式结构的拉线鼓轮，即一根轴上有 2~3 只圆形拉线鼓轮。

#### (2) 卧式塔形鼓轮拉线机

卧式塔形鼓轮拉线机如图 4-5。

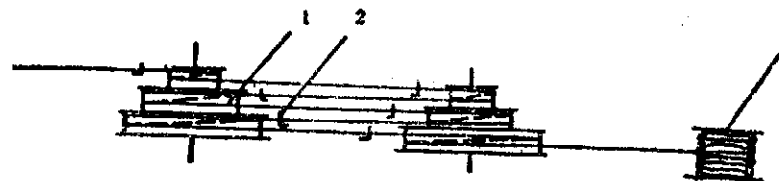


图 4-5 塔形鼓轮拉线机示意图

1—塔形鼓轮 2—线模 3—收线装置

这种拉线机是滑动式拉线机中应用最广的拉线机。塔形鼓轮结构，按其塔级多少，可分为二级拉线鼓轮和多级拉线鼓轮，目前国内外中小拉线机大多采用这种形式的鼓轮。

滑动式拉线机优点是总的延伸系数高，加工率大；拉伸速度高，产量大；易于实现自动化、机械化；线材与鼓轮间存在着滑动等。

滑动式拉线机的缺点是在拉线过程中，为了克服线材所产生的摩擦力，要消耗很多功；由于线材在鼓轮上滑动，对

鼓轮表面磨损很大；拉线过程中对配模要求严，模具孔径稍有差异，就可能断线，所以限制了这种拉线机的应用范围。根据以上特点，滑动式多模拉线机主要适用于拉伸圆断面线材和拉力较大、表面耐磨的、低强度金属及其合金的线材，即塑性好，总加工率较大和高速度变形的金属线材。

## 2. 非滑动式连续拉线机

非滑动式连续拉线机是线材与鼓轮之间没有相对滑动的多模拉线机。在进行非滑动多模拉伸时，线材一次拉伸后，绕在拉线鼓轮上，中间鼓轮起着双重作用，既起着拉伸鼓轮的作用，又起着使线材自动地离开鼓轮到下一个模子去的放线作用。

非滑动式拉线机一般分为储存式非滑动拉线机及反拉力非滑动式拉线机。

### (1) 储存式(积蓄式)非滑动拉线机

这种拉线机被拉线材和拉线鼓轮之间不产生滑动现象，线材除了在鼓轮上绕一定圈数外，还需在鼓轮上储存更多的一些线圈，以防止由于延伸系数和鼓轮转速可能发生变化，引起各鼓轮间秒体积的不等，造成活套张力的变化。这种拉线机有5、6、8、10模拉线机，但较多的是8、10模拉线机。

储存式拉线机的特点：

①拉伸时，线材将可能受扭转，所以不能拉异形线材。

②由于拉线行程复杂，不能高速拉伸，一般速度是不大于12 m/s。

③由于拉伸因素难于考虑周全，常会发生张力和活套紧张，不适用于细线拉伸。

④由于鼓轮与线材之间无滑动，鼓轮和线材表面都不易磨损，适于抗张力不大、抗磨性差的金属线材的控制，如铝线和铝合金线。

⑤结构简单，容易制造，投资少。

⑥线材在每个中间鼓轮上都有储存，当中间某个鼓轮停止转动时，其它鼓轮仍可在较短时间内照常工作。

### (2) 反拉力非滑动式拉线机

这种型式的拉线机，线材与拉度鼓轮之间无滑动。为了使拉伸时鼓轮与拉线的速度相等，采用了自动调整装置，不允许任何一个中间鼓轮上有线材的积累和减少。

反拉力拉线机有两种形式：

①连续活套式非滑动拉线机：其主要特点是在拉伸过程中鼓轮速度可借张力辊自动调整，并且借一平衡杆的弹簧来建立反拉力；每个鼓轮均由单独电机带动，并且转数可以自动调节。

②连续直线式非滑动拉线机：这种拉线机没有更多的线材绕在（6~10圈）鼓轮上，可减少线材和鼓轮之间相对滑动。

反拉力非滑动拉线机，主要适用拉制高强度线材，如钢线。拉制铜铝线材一般不采用。

## 第二节 拉线机的传动系统

### 一、单模拉线机

单模拉线机结构简单，只要有电动机、减速装置和拉线鼓轮，便可装配一台简易的拉线机，如图4-6。

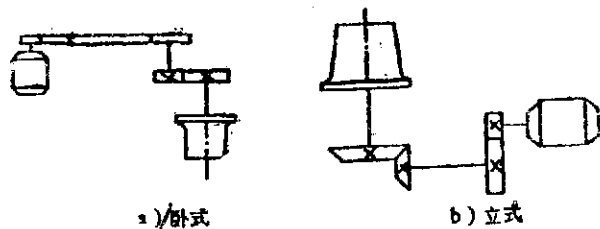


图 4-6 单模拉线机传动示意图

## 二、多模拉线机

多模拉线机型号较多，现介绍几种：

1. CMB-1-5模拉线机，见图 4-7。
2. 751-18 模拉线机，见图 4-8。
3. 8018拉线机，见图 4-9。

## 第三节 辅助设备

### 一、放线装置

拉线机放线装置，常用的有如下几种，如图 4-10 所示。

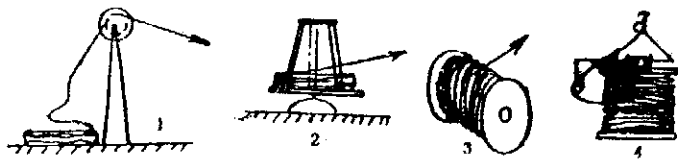
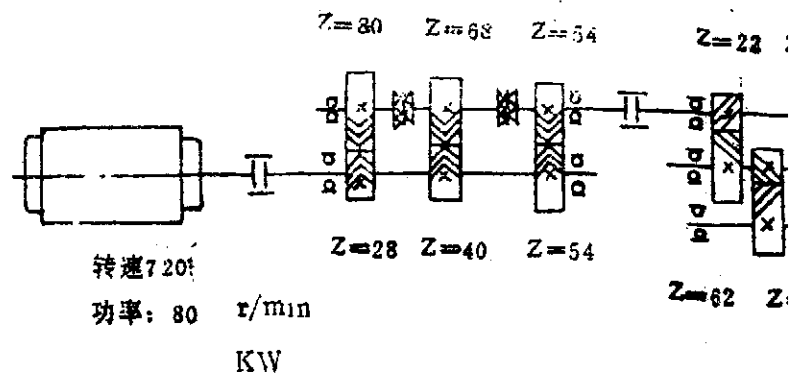


图 4-10 拉线机放线装置

1—成圈放线 2—线架放线 3—线盘放线 4—越端放线



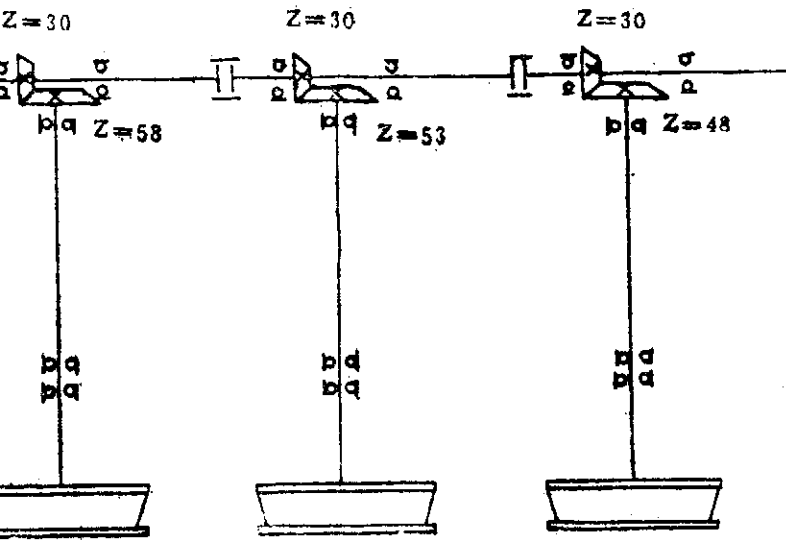


图4-7 CMB-1-5 模拉线机传动系统示意图。

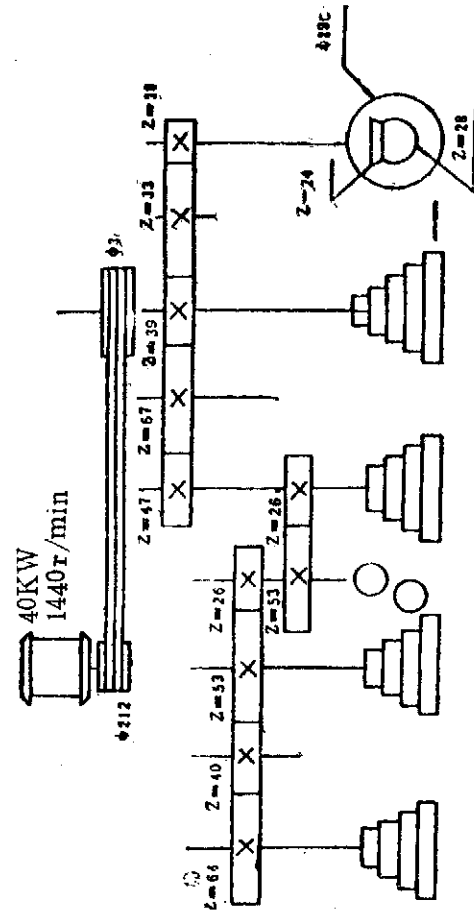


图 4-8 751-18 模拉线机传动系统示意图

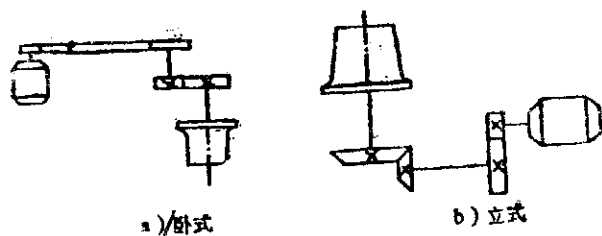


图 4-6 单模拉线机传动示意图

## 二、多模拉线机

多模拉线机型号较多，现介绍几种：

1. CMB-1-5模拉线机，见图 4-7。
2. 751-18模拉线机，见图 4-8。
3. 8018拉线机，见图 4-9。

## 第三节 辅助设备

### 一、放线装置

拉线机放线装置，常用的有如下几种，如图 4-10 所示。

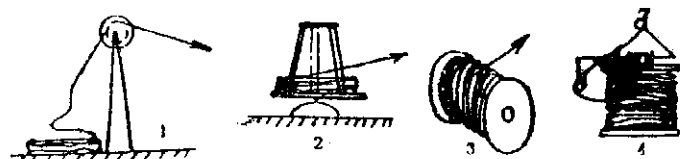


图 4-10 拉线机放线装置

1—成圈放线 2—线架放线 3—线盘放线 4—越端放线

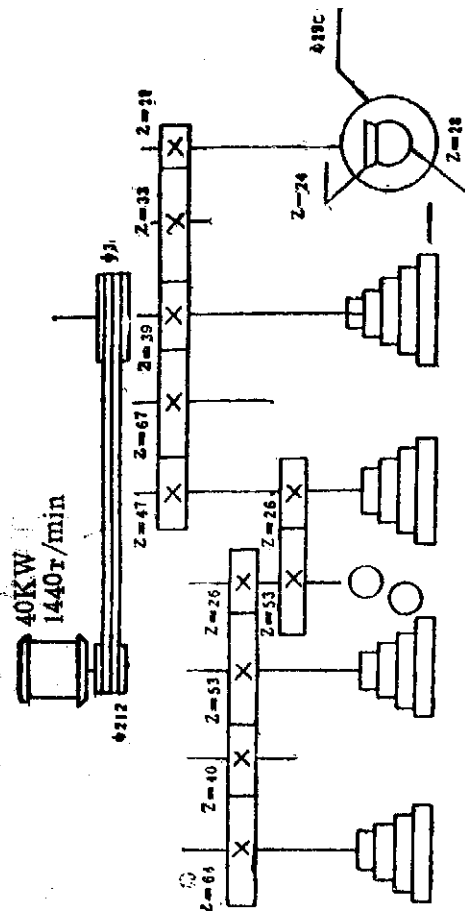


图 4-8 751-18 模拉线机传动系统示意图

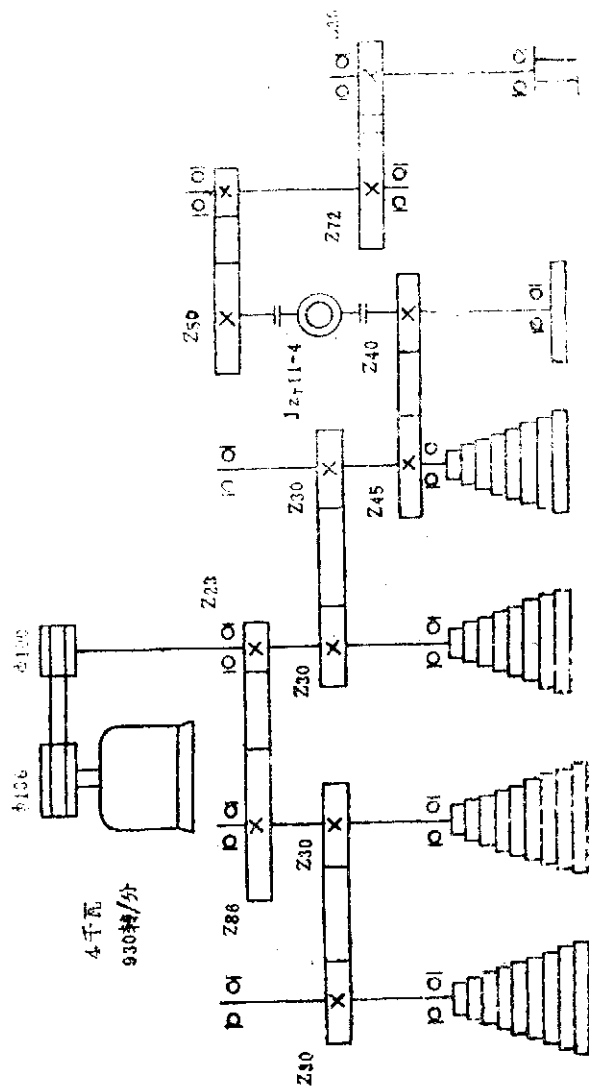


图 4-9 8018 拉线机传动系统图

1. 成圈放线。这种放线方式，每放出一圈线，线材就受一次扭转，因此不适用于型线。放线架高度一般在2~2.5米。线缆行业的大拉机广泛采用成圈放线。

2. 线架放线。将成圈的线（坯）放在特制的线架上，靠拉线时的拉力使线架转动放线。在高速拉线时，为防止拉线机停机时由于惯性转动而造成线圈松落乱线或扭结，可加装制动装置。用扁坯拉制扁线的拉线机一般采用此放线装置。

3. 线盘放线。将拉伸的线材缠绕在线盘上放线。它可以避免因运输等原因使线材紊乱造成放线困难。这种放线方式也存在惯性转动造成乱线，为此可采取在放线盘轴上加装张力控制装置。

4. 越端放线。将特制的曲柄放在平放线盘的孔上，靠线运动来带动曲柄旋转放线。这种放线方式，线材所受张力较小，停机时惯性也较小，适用于细线放线。

## 二、收排线装置

（一）成圈收线。成圈收线形式一般有三种：

1. 绞轮收线。将控制的线材直接收绕在拉线机绞轮上，用专用的吊线钩取下，捆扎而成。

2. 叠绕式成圈收线。将拉伸后的线材卷绕在特制的收线盘上，待线满后可脱卸盘盖，取下成圈线材捆扎而成。这种装置一般适用于大、中规格的铜、铝扁线。

3. 立式连续自动收线。经拉伸后的线材通过收线的回转导轮将线材绕在圆形筒上，然后连续自动落至专用的收线架上。这种收线装置容量大，可装约1000公斤线材，适合工序间周转，避免在运输过程中造成乱线。

## (二) 成盘收线。

将拉制的线材收绕在线盘上。它有单盘间歇式和双盘连续式两种。单盘式收线是每一盘绕满后都要停机换空盘。双盘收线当一只盘绕满后，线材自动绕到另一个空盘上，自动切断线材，并卸下满盘换上空盘，因此换盘不需停机，提高了生产效率。

## (三) 排线装置。

为了使线材在线盘上收绕整齐，要有排线装置，拉线机最常用的有：

### 1. 凸轮排线。结构示意如图 4-11 所示。

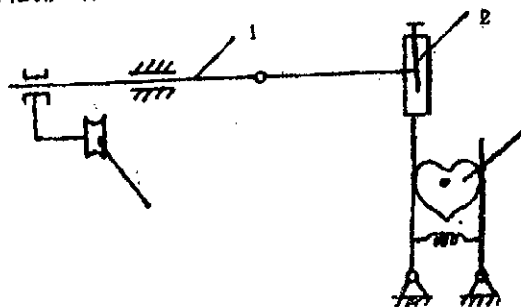


图 4-11 凸轮排线示意图

1—导向杆 2—调节螺杆 3—排线凸轮 4—排线导轮

调节螺杆可改变排线宽度；调整凸轮转速可改变排线节距的大小；调节排线轮在导向杆的位置可改变排线的位置。

### 2. 皮带排线。结构示意如图 4-12 所示。

皮带排线的工作过程是电动机通过皮带轮带动皮带运转，由于电磁铁的吸力作用，夹紧元件夹紧在皮带一侧，皮带就带动排线导轮移动，当到达限位开关限定位置后，电磁铁释放，另一电磁铁工作，夹紧元件又夹紧在皮带的另一

侧，于是排线导轮又以相反方向移动。这样反复运动完成排线。排线宽度可调节限位开关，排线节距可调节皮带速度来实现。

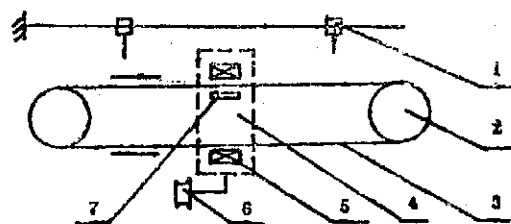


图 4-12 皮带排线示意图

1—限位开关 2—皮带轮 3—排线皮带

4—支架 5—电磁铁 6—排线导轮 7—夹紧元件

### 3. 光杆排线。结构示意如图 4-13 所示。

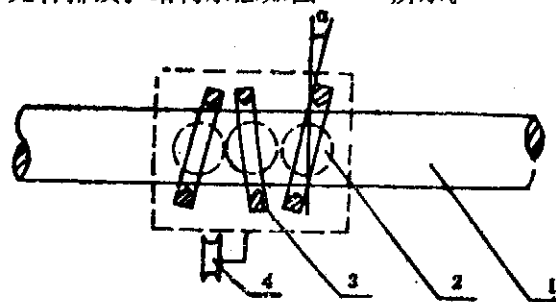


图 4-13 光杆排线示意图

1—排线光杆 2—齿轮 3—转环 4—排线导轮

光杆排线工作过程是在光杆上套有三个转环，中间一个接触在光杆的一侧，另两个对称地接触在光杆的两侧，转环的端面与光杆轴的垂直面有一个夹角 $\alpha$ ，这时光杆转动，由于转环与光杆之间存在摩擦力，转环也随光杆一起转动；又

由于转环与光杆形成 $\alpha$ 角,相当于一个螺旋线的三段,将会产生向左或右的分力,使整个排线机构在光杆上向左或向右移动,达到排线的目的。三个转环靠三个等齿数的齿轮联动,当转环上的转向器触到定位档板时,三个转环同时反向,转过 $2\alpha$ 角,使整个排线机构反向移动,达到换向目的,如需调节排线节距只要调整 $\alpha$ 角度即可。

### 三、压头穿模机

为使大截面线材穿过较小的模孔,需采用专用压头穿模机。

压头机主要有两个偏心孔型的轧辊组成,当轧辊转动时,孔型由大变小,再由小变大,往复在进行180度角的周期性运动。当孔型最大时将线材推进,随辊孔型的变化,线材截面均匀变化减小,并被轧辊向外推出。为防止产生飞边影响穿模,在操作时每轧一次将线材转动90度角。

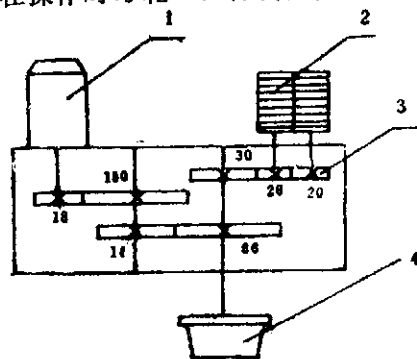


图 4-14 轧头穿模机传动示意图

1—电动机 2—轧头轧辊 3—齿轮 4—拉头鼓轮

穿模机类似一个单模拉线机,鼓轮与转轴间有一个锥度,

起离合作用,将线材从模孔中拉出所需的长度。

压头穿模机的传动系统示意如图 4—14 所示。

## 第四节 连续退火设备

### 一、连续退火设备概况

我国目前线缆行业线材退火设备,普遍采用电炉退火、真空炉退火等设备,各工序均单独进行。生产效率低,占用场地大,线材退火后易发生粘线等质量问题。

近年,许多线缆企业从国外引进了拉线连续退火新设备,大大提高了生产效率和产品质量,能大量节约能源。

### 二、接触式电阻连续退火设备

接触式电阻退火是一种快速连续电加热退火的方法,它将拉伸后已硬化的铜线材,经过导电的接触轮,利用线材本身所具有的电阻,使电流直接通过线材发热来加热线材,达到退火的目的。接触式电阻退火拉线机速度很高,通电的时间很短,但退火后的线材,其延伸率和导电率都很好。用这种方式退火的线材,比罐式退火炉、钟罩式退火炉具有降低电能消耗,可节约电能30%~50%;退火均匀,质量提高,不易发生退火不均匀、粘线等现象;可以省掉单独退火一道工序,提高生产率,缩短生产周期;减少线材搬运,节省生产占地面积;减轻工人劳动强度,改善劳动条件等优点,克服了成盘退火的质量内外不均匀性。

连续退火应注意以下基本条件:

1. 线材的张力应适当,太大则线径拉细,过小则线

抖动较大,易产生火花。

2. 线材在接触导轮上不允许抖动,以免产生火花,烧坏接触表面和线材。

3. 恒定的退火电压和电流,以免退火后线材延伸率不均匀。

目前国外连续退火使用范围很广,已在直径 $0.05\sim 4.5$ 线材上使用。

### 三、连续退火设备结构

#### (一) 小型连续退火装置

小型连续退火装置常常设计成“三角形”系统,分为预热段、退火段和再热段。在机械上和电气上都构成三角形,即由两个驱动接触导轮,通过所需的电流,另外再用一个带双槽短路导轮来构成“三角形”,如图4-15。三角形退火距离很短,避免了线材的抖动,保证接触导轮不烧出斑痕。

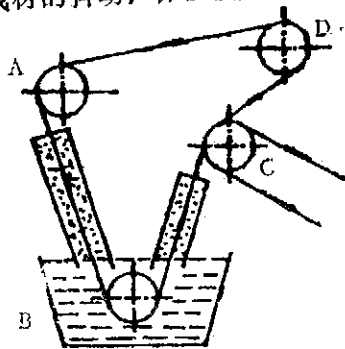


图4-15 三角形退火装置示意图

C→A为预热段 A→B为退火段 B→C为再热段

退火段将线材加热到退火温度。实际上加热并非整个退

火段,而是靠近接触轮的一小段,使线材加热到再结晶温度以上。线材退火后立即用冷水冷却。冷却水中可加入一定的拉线剂,这样可减少后面导轮的磨损。线材由冷却装置出来后,用毛毡或压缩空气吹干,并经再热段使水分蒸发(较粗线材往往利用其本身余热蒸发)。

#### (二) 大型连续退火设备

大型连续退火设备的退火导线直径为 $1.2\sim 4.6\text{mm}$ 。通电接触轮直径一般为 $400\sim 500\text{mm}$ 左右。电流是通过电刷传到接触轮,要求电刷的电压降很小。退火装置接触轮的驱动应与主机保持同步,否则无法进行工作。

大型连续退火装置一般有两段式和三段式。

两段式由预热段和退火段组成,如图4-16所示。三段式由预热段、退火段和再热段组成,如图4-15和图4-17所示。另一种三段式由两个预热段和一个再热段组成,如图4-18所示。

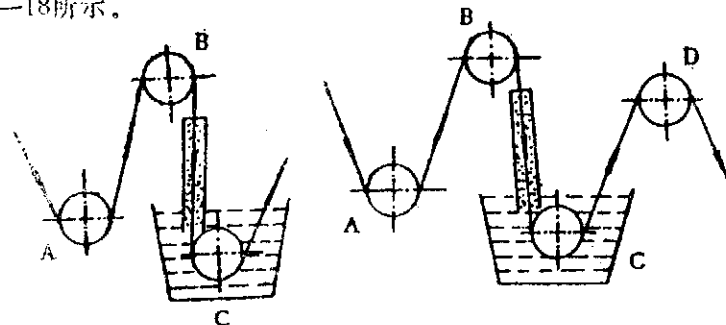


图4-16 二段式退火示意图 图4-17 三段式退火示意图

A→B为预热段 B→C为退火段 A→B为预热段 B→C为退火段 C→D为再热段

三段式退火装置的电源由三个单相变压器组成,电压在 $25\sim 65\text{V}$ 之间,退火电源的功率约 $140\sim 200\text{kV}\cdot\text{A}$ 。退火装

置的退火电压，要随线材的退火速度改变而改变，而常以速度反馈和张力反馈进行同步自动控制。

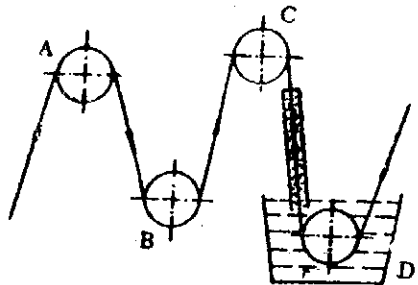


图 4-18 两段预热式退火示意图

A→B 第一段预热 B→C 第二段预热 C→D 退火段

## 第五节 焊 接 机

拉线过程中使用对焊机对线坯或断线进行接头。焊接时，在焊接区内施加压力，并通以强大的焊接电流，利用电流通过焊件所产生的电阻热，加热焊接区。当加热到适当的温度之后，断开电流，焊接区继续在压力作用下冷却，便形成牢固的焊接接头，这种焊接叫做电阻焊，又称接触焊。

电阻焊过程的主要特点，是在加热和加压的共同作用下形成焊接接头的。加热的热源是电阻热，加压使焊接区产生塑性变形。

电阻焊具有接头可靠，效率高，消耗低，机械化和自动化程度高，劳动条件好等优点。图 4-19 是电阻对焊原理。

电阻对焊接头的焊接区必须加热到适当而均匀的温度，产生足够的塑性变形，尽可能减少接口中的氧化夹杂物。

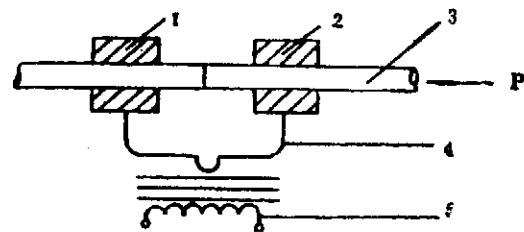


图 4-19 电阻对焊原理图

1—固定夹头 2—活动夹头 3—焊件  
4—一次级绕组 5—初级绕组 6—顶锻压力

## 第六节 剥 皮 设 备

目前线缆行业大多数采用热轧铜杆，而热轧铜杆表面有一层氧化皮（氧化铜、氧化亚铜）及由于热轧过程而造成的表面缺陷，影响线材的表面质量。为保证拉制后线材表面质量

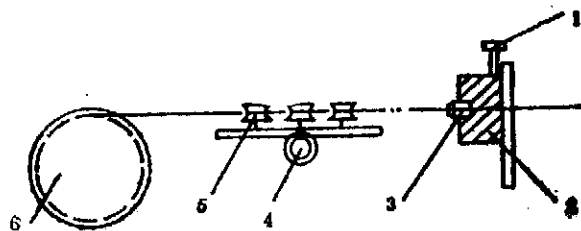


图 4-20 圆剥皮机示意图

1—上下调整手柄 2—模座 3—圆剥皮模  
4—左右调整手柄 5—导卫校直装置 6—回转导轨

及提高线材、型材的表面质量及弯扭性能, 根据导电线芯工艺要求, 有的线材要采取剥皮。

根据所拉制线材的不同, 一般有圆剥皮及平面剥皮两种。圆剥皮是用于拉制圆铜线及部分中、小规格的扁铜线。平面剥皮是用于拉制大规格扁线。

圆剥皮的剥皮机示意如图 4-20 所示。

平面剥皮机构示意如图 4-21 所示。

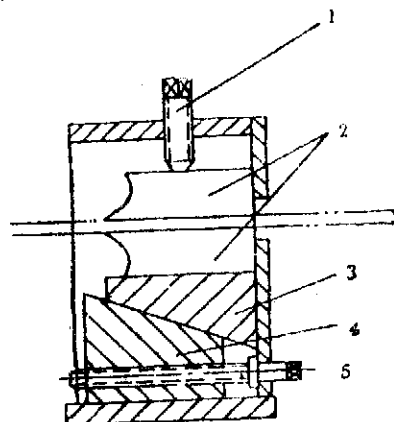


图 4-21 平面剥皮机示意图

1—刨刀压紧螺栓 2—平面刨刀 3—斜面上滑块  
4—斜面下滑块 5—升降调节螺栓

## 第七节 常用拉线设备的调整和维护

### 一、常用拉线设备的调整

1. 调整设备的易松动部分。经常对设备运转过程易造成机件易松动部件加以紧固, 以免影响设备正常运转及拉制

产品的质量。

2. 调整速度排档。根据拉线产品的材料、截面、规格等因素, 按工艺要求调整速度。

3. 调整拉线鼓轮。如塔形拉线鼓轮, 每只鼓轮圈的外径根据速比、延伸系数加以调整。

4. 调整模座。经常检查模座中心位置, 避免影响拉线的正常进行。

5. 调整各种导轮。

6. 调整收线装置。根据拉线产品的线径, 调整排线节距; 根据主机的出线速度, 调节收线速度; 调节张力装置, 张力松紧适度。

### 二、拉线设备的维护保养

1. 设备开车前检查各传动部位有无杂物, 防护罩是否完整无缺, 齿轮箱油量是否在油标位置。

2. 开车前要按定人、定时、定点、定质、定量加润滑油, 油孔、油杯保持清洁畅通。

3. 坚持做到设备维护四项要求(清洁、整齐、润滑、安全)和三好四会(用好、管好、修好; 会保养、会使用、会检查、会排除故障), 发现不正常现象立即停机。

4. 发生设备事故做到三不放过, 即不查清事故原因不放过, 当事人和群众不受教育不放过, 没有防范措施不放过。

## 第五章 拉线润滑

### 第一节 润滑剂的作用

在金属拉伸过程中，由于线材和模壁发生摩擦，产生急剧的摩擦热，使被拉伸金属有可能与拉线模孔壁发生粘着现象，从而破坏了拉伸过程，造成拉伸力猛烈增加，轻则使线材表面起槽，线径缩小，重则使线材拉断。为此必须在被拉伸金属和模孔间注入必要的冷却润滑液，避免此类现象发生。

#### 一、润滑剂的作用

润滑剂在拉伸过程中的作用有三个方面。

1. 润滑作用。在变形金属和模孔间，保持一层润滑膜，避免模具与金属直接接触及粘结，减少摩擦，使金属沿受力方向均匀变形，并可增加金属的变形程度，减少能量消耗和加工道数，延长模具使用寿命。

2. 冷却作用。使用适当的冷却润滑液，可以使由于变形产生的热量迅速传导，降低金属线材与模孔的温度，防止线材温度过高发生氧化变色现象。降低被拉金属与模孔间的摩擦系数，提高拉线速度和消除粘结现象。

3. 清洗作用。金属在拉伸过程中，不断产生细微的金属粉尘，润滑液有不断冲洗模孔，消除金属粉尘的作用。

#### 二、润滑剂对拉线的影响

润滑剂影响拉线的因素有三个方面。

1. 浓度。润滑效果与润滑剂的浓度有密切关系。润滑剂浓度大，金属线材与模壁的摩擦系数小，相应的摩擦力也减小，拉伸力也随之下降。反之，则摩擦力增大，所需拉伸力也上升。

控制各种线径金属线材，应根据工艺要求配制各种相应的润滑剂浓度。浓度大，润滑剂的粘度也随之上升，冲洗模孔的作用将减小，拉伸中产生的金属屑不易被润滑剂冲洗带走，造成线材表面起槽等质量问题；浓度过大，金属屑将悬浮在润滑剂中，不易沉淀，将影响润滑效果及拉伸后线材表面质量。

2. 温度。润滑剂的温度对拉伸有较大影响。温度过高，拉伸金属线材时所产生的热量不易带走，使金属线材及模具的温度升高，线材容易氧化变色，降低模具的使用寿命，也会影响油脂润滑膜的强度，润滑效果下降。温度过低，粘度上升，不利于拉伸。

3. 清洁度。润滑剂应保持洁净，如在润滑剂中混入酸类物质，会造成润滑剂的分层，失去润滑效果，不利于拉伸过程进行。含碱量增加，拉伸后的金属线材表面残留的润滑剂对金属线材有腐蚀的危害，影响产品使用寿命。润滑剂中杂质增加，会影响润滑系统的畅通，造成润滑剂供应量不足，影响润滑冷却效果。

(续)

## 第二节 润滑剂的种类和成分

### 一、常用润滑剂的种类、成分

常用的润滑剂有固态润滑剂、半固态润滑脂、液态矿物

表 5-1 常用润滑剂性能及应用范围

组成状态	常用成分(%)	优点	缺点	应用范围
乳 液 状	肥皂+机油+水 2.0+0+98 1.3+4.0+94.7 1.0+3.0+96	比较经济, 使用方便, 冷却性好	润滑性能较差, 不超过 70°C 使用	主要用于紫铜拉伸
	肥皂+植物油+水 1.5+2.5+96 1.5+4.5+94			
	三乙醇胺+肥皂+水+ 油酸+煤油 4.5+4+40+7.5+44	比较经济, 制品表面光滑	专门配制	紫、黄、青铜及 镍合金的拉伸
液体油状	植物油或机油等液体矿物油	中等润滑和冷却性能	较脏	在滑动式拉线机拉伸锡磷青铜
半液体状	石墨+硫磺+机油 10+10+80	润滑性能好	冷却差, 脏	镍及镍合金 铍青铜拉伸
	洗衣粉+水胶 +石墨乳胶+水 2+3+35+60	加工率大, 表面光滑	脏	热电偶线
	38~62 号汽缸油, 可加入表面活性物质	润滑性能好	冷却差, 脏	铝线拉伸

组成状态	常用成分	优点	缺点	应用范围
固态蜡状	蜂蜡中加入 10% 猪油或 5%~10% 菜油	具有最小的摩擦系数	稀 贵	贵金属拉伸
固态粉状	肥皂粉	便宜	冷却差	镍及镍合金拉伸
	肥皂粉加 3%~5% 二硫化钼	效果好, 用期长	容易出道子	铜镍合金拉伸

润滑油、动植物油、乳化液润滑剂等。常用润滑剂的成分, 应用范围如表 5-1 所示。

### 二、拉线用润滑剂的质量要求

#### (一) 拉线用润滑剂应具备的性质

1. 粘附性好, 能有效地粘附在加工金属的表面。
2. 能承受高压, 热稳定性好。
3. 没有腐蚀性。
4. 加工之后易除去。
5. 没有刺激性的气味, 对人体健康无害。
6. 作为润滑冷却液使用时, 冷却效果好。
7. 资源丰富, 保证供应。

对不同的加工状态, 以上各点要求各有侧重, 如在高压条件下, 润滑剂的粘附性及耐压耐热性特别重要。

#### (二) 润滑剂的质量要求

1. WD-1 合成润滑剂质量应符合表 5-2 要求。
2. 营口产拔丝剂质量要求应符合表 5-3 规定。

表 5-2 WD-1 合成润滑剂质量指标

序 号	项 目	质 量 指 标
1	外 观 (15~35°C)	棕褐色均匀流体
2	水 分 % 不大于	2
3	运动粘度 (50°C) $\text{m}^2/\text{s}$	$4 \times 10^{-5} \sim 7 \times 10^{-5}$
4	凝 固 点 不高于	-5°C
5	腐蚀 (铝棒) $55 \pm 2^\circ\text{C}$ 4 h	合 格
6	5% 乳化液 PH 值	7~3

表 5-3 营口产拔丝剂质量指标

序 号	项 目	质 量 指 标
1	外 观	褐色半流体均匀油膏
2	乳化液 PH 值	7~9
3	乳化液安定性 (15%~35°C), (24 小时) 皂和油 不大于 %	1
4	乳化液腐蚀试验 ( $55^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 全浸) 黄铜片 (b)	4

### 3. 磺化蓖麻油(太古油)

(1) 磺化蓖麻油的油脂含量  $>40\%$ , 碱含量  $<4 \text{ mg NaOH}/100\text{g}$ 。

(2) 应具有良好的水溶性, 能以任何比例与水混合成乳化液, 不得有分层现象产生。

(3) 应为棕红色、半透明稠状液体。

(4) 油内不允许有任何数量的残碱存在, 但允许有不大于  $4 \text{ mg}/100 \text{ g}$  的碱量存在。

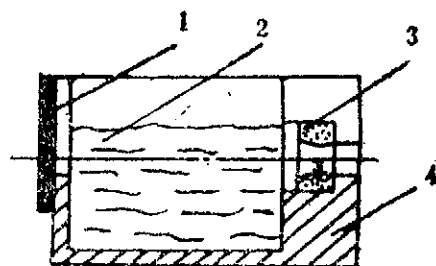
(5) 油内不允许有任何固体物质或其它悬浮物混入。

## 第三节 拉线润滑的方法

拉线润滑的方法有很多种, 常见的有三种。

### 一、单个模槽分散润滑

主要用于一次拉线机或无滑动的积蓄式多次拉线机。润滑剂可用固态粉状、半固态膏状或液体的。



1—密封垫 2—润滑剂 3—线模 4—模槽

图 5-1 模槽结构示意图

为了冷却线模和润滑剂, 模槽壁做成空心的, 通入冷却水, 将拉线时产生的热量带走。这种润滑方式, 是靠线材经过润滑剂时, 润滑剂附着在线材表面, 随线材运动将润滑剂带入模孔, 达到润滑目的。由于模槽是敞开的, 容易弄脏设备和场地, 但可直接观察润滑剂的润滑情况, 便于调整。

### 二、浸入式润滑

浸入式润滑采用乳液状和液体油状的润滑剂, 适用于

动式连续拉线机。润滑剂是盛注在拉线机专设的槽内。绞轮、线段和线模浸入润滑剂中。这种方式不要求有复杂的系统，却能保证线模、线材、绞轮连续润滑和冷却，作用可靠。但是由于润滑剂不停的运动，使拉线生成的金属屑没有沉淀的可能，并不断被带进线模和绞轮上，影响模具和绞轮寿命。另外由于润滑剂槽内体积有限，温升较快，影响润滑质量，但可在其中装置冷却水管，以利散热。

### 三、循环式润滑系统

在滑动式连续拉线机上拉线，希望润滑剂有固定的成分和保持一定的温度，而循环式润滑系统可以满足这一要求。这种系统可以单台设备使用，也可以数台设备集中使用。这种系统由润滑剂贮存池(箱)、泵、进出水管路、冷却和加热装置、沉淀或过滤装置等几部分组成。循环使用或润滑须及时补充润滑剂，并定期进行成分检验分析。对贮存池底的金屑屑和其它沉淀物要定期清理，保证润滑剂的清洁度。

## 第四节 润滑剂的配制、使用和化验

### 一、乳液润滑剂的配制和使用

乳液润滑剂可在不低于17℃的常温下进行配制。先在乳液槽中注入约50%的水，然后在继续加水的同时，按比例加入合成拔丝剂进行乳化。润滑剂的使用温度在25~55℃。

### 二、润滑剂的化验

(一) 含碱量的测定。称取润滑剂试样10g，置于250

ml 高型烧杯中，加蒸馏水100ml，用玻璃棒搅匀。用酚酞作指示剂，并用微量滴定管以0.1当量浓度的盐酸，滴定到红色消失为止。

公式，

$$\text{含碱量(mg/100g)} = \frac{V \times N \times 40}{G} \times 100$$

式中  $V$ ——所消耗的0.1N HCl的体积(ml)；

$N$ ——滴定用HCl的当量浓度；

40——NaOH的克当量。

### (二) 油脂量测定

以20ml稀硫酸(1:1)置于100ml量筒中，再缓缓加入20ml润滑剂试样，盖紧后用力摇匀，静置，待油脂和酸分层清晰后，计算含脂量。

公式，

$$\text{含油脂量(\%)} = \frac{\text{油脂体积(ml)}}{\text{试样体积(ml)}} \times 100$$

### (三) 水溶性测定

注10ml润滑剂试样于150ml玻璃量筒中，加蒸馏水至150ml处，用玻璃棒搅拌均匀后，静置24h，观察量筒内溶液是否分层，并以不分层为合格。

### (四) 乳化液的PH值测定

称取试样5g(精度0.1g)，置于具塞量筒中，然后加自来水至100ml标线处，盖紧后摇匀1min，用PH4~10广范试纸一条，浸入5%的乳化液中，半秒钟后取出，与标准色版比较，即得pH值。

### (五) 乳化液的腐蚀试验

将金属片浸在一定温度下的乳化液中，按规定的浸入时间浸完后，以金属片颜色变化来评定乳化液对金属的腐蚀性能。

1. 钢、铝试片按一、二、三、四级评定(一级光亮，三级失光，三级轻锈，四级重锈)，一、二级为合格。

2. 铜试片按一、二、三、四级评定(一级光亮，二级轻微均匀变色，三级中变色，四级重变色)，一、二级为合格。

## 第六章 模 具

### 第一节 线模的种类和技术要求

拉线的主要工模具是线模，线模的工作部分是模孔，拉线时线材通过模孔受力而变形。

#### 一、线模的种类和应用

##### (一) 按材质分类：

1. 硬质合金模用于大量生产使用。
2. 钻石模用于生产细线。
3. 聚晶模用于拉制中、小拉机的中间模。
4. 钢模用于生产量少，拉大截面的型线。

##### (二) 按线材形状分类：

1. 圆线模用于生产圆单线。
2. 型线模用于生产型线。

##### (三) 按结构分类：

1. 整体模用于生产圆线和型线。
2. 组合模用于生产型线。
3. 辊压模主要用于生产型线，也开始用于大直径圆线的中间道次。

#### 二、线模的技术要求

##### (一) 钻石模

1. 模孔各区域应光滑, 不允许有棱角, 各区的中心线应重合, 并与钻石的端面垂直, 模孔内无裂纹。

2. 定径区直径大于 0.20 mm 的模具, 出线口处必须有明显的安全角。

3. 进口润滑区呈暗光泽的光滑表面。

4. 工作区、定径区及安全角处呈亮光泽的光滑表面。

5. 出线口呈细麻砂的表面。

6. 钻石应紧密牢固地镶嵌在模套内, 模孔的中心线与模套中心线重合, 并垂直于模套的端面。

## (二) 硬质合金模

1. 模孔各区内不允许有裂开、裂纹、砂眼和凹形存在。模孔内各区的连接部分应成圆弧形, 不得有尖角存在。

2. 模孔内的工作区、定径区在修磨后应抛光, 其表面粗糙度值不低于  $Ra0.1\mu\text{m}$ , 润滑区和出口区的表面粗糙度值光洁度不低于  $Ra0.8\mu\text{m}$ 。

3. 模孔内不应有影响使用性能的有害缺陷和可见缺陷。

## 第二节 模具材料的种类和特性

模具材料可分为天然钻石、人造钻石、硬质合金和钢材等。

### 一、天然钻石

天然钻石又称天然金刚石, 是化学成分极纯的透明体, 具有最大的硬度与耐磨性, 但价格昂贵。天然钻石非常脆, 密度为 3.15~3.35。钻石重量一般在 0.02~0.12 g。

天然钻石有各种不同的色彩, 以稍带黑色的硬度最高, 其次为黄色, 再次为白色。线缆生产用的钻石以选用中间硬度较为有利。

### 二、人造钻石

人造钻石又称人造金刚石, 是近年发展起来的, 人造钻石与天然钻石一样, 具有高硬度和耐磨性。它是石墨为原料, 镍合金为触媒, 在高温(2000℃)和高压(5万大气压以上)的条件下制成的。人造钻石(聚晶)拉线模的材料是采用经过精选的优质人造金刚石微粒加上硅、钛等结合剂在高温、高压条件下制成, 属于多晶体。它的硬度有的已超过天然钻石。

### 三、硬质合金模

硬质合金是钨钴合金。这些合金是由碳化钨和钴组成, 碳化钨是整个合金的基体, 主要起坚硬耐磨作用。钴是粘结金属, 是合金韧性的来源, 改变成分的比例, 合金的性能将起变化。随着含钴量的增加, 合金的密度、硬度、抗压强度、弹性模数、导热性和电阻率均降低, 而韧性和抗弯强度升高。随着碳化钨含量的增加, 其性能变化与含钴量增加时相反。

硬质合金模具有优异的性能。

1. 耐磨性好。能长期使用, 保证加工线材的尺寸准确。

2. 粘附性小。拉制线材金属不易粘附在模孔表面, 提高线模寿命。

3. 抛光性好。能加工出表面光洁度高的模孔。

4. 摩擦系数小。可降低能量消耗，减少拉线时的不均匀变形。

5. 抗腐蚀性高。硬质合金模对各种润滑剂适应性广，尤其是当润滑剂酸、碱性高时或采用酸溶液做为润滑剂时更为优越。

模芯用的硬质合金的性能如表 6-1 所示。

表 6-1 模芯用硬质合金性能

牌 号	硬度HRA 不低于(N/mm <sup>2</sup> )	抗弯强度 不低于(N/mm <sup>2</sup> )	密 度(g/cm <sup>3</sup> )
YG3X	896.7	1078	15.0~15.3
YG6	877.1	1421	14.8~15.0
YG8	872.2	1470	14.5~14.9
YG8N	877.1	1470	14.5~14.9
YG15	852.6	2058	13.9~14.2

#### 四、钢模

钢模修制较容易，价格低，但硬度和耐磨性较差，寿命低。

钢模用材料是碳素工具钢和合金工具钢两种。

1. 碳素工具钢。碳素工具钢按质量又分为优质碳素工具钢和高级优质碳素工具钢。碳素工具钢的含碳量在 0.65%~1.35% 之间。高级优质碳素钢的含硫、磷量较低，锰、硅含量范围也较窄。碳素工具钢淬火后的硬度，随含碳量的增加虽有提高，但差别很小，一般硬度在 60~65HRC 之间。随着含碳量的提高，钢的耐磨性提高，塑性和韧性下降。在

退火状态下易于切削加工。碳素工具钢的缺点是淬透性低，热硬性(指高温下保持高硬度、耐磨性的能力)差，工作温度在 200℃ 以上时不能保持高硬度和耐磨性。

2. 合金工具钢。合金工具钢是在钢中加入某些元素，改善钢的性能。合金工具钢制造的线模耐磨性好，淬火变形小。如铬 12 合金钢含碳量高达 1.45%~2.3%，含铬量也高达 11%~13%，具有淬透性好，淬火变形小，耐磨性好等优点。

### 第三节 模具的结构尺寸

拉伸模具的模孔结构有四个部分组成：入口润滑区、工作区(变形区)、定径区和出口区，见图 6-1。入口润滑区带有圆弧，便于线材进入工作区；工作区是金属拉伸时产生塑性变形，线材截面压缩减小；定径区是保证线材尺寸与形状精确和均一，延长模具使用寿命，出口区是出线端，防止停车时线材出现竹节形刮伤和定径区出口处崩裂。

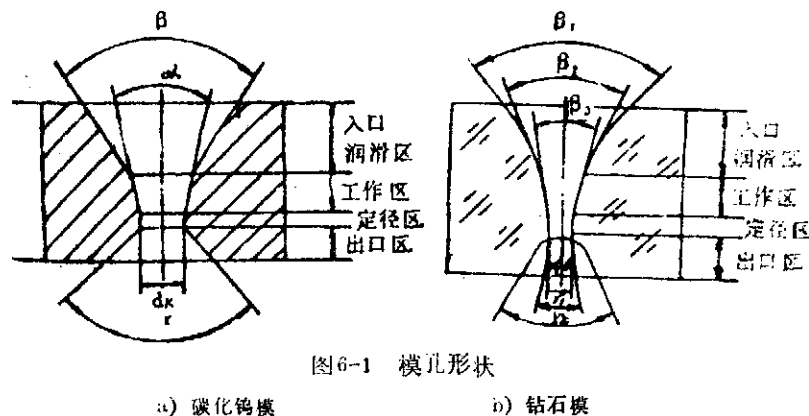


图 6-1 模孔形状

a) 碳化钨模

b) 钻石模

两种线模模孔结构尺寸见表6-2。

表 6-2 模孔结构尺寸

模 孔 区 域			碳 化 钨 模	钻 石 模
润 滑 区	长 度		$0.25H$ (或不少于工作区长度)	$\frac{2}{3}H-h$
	角 度		锥角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$	$\beta_1=90^{\circ}$ $\beta_2=60^{\circ}$ $\beta_3=35^{\circ}$
工 作 区	长 度		$1\sim 1.4dk$	$1.0dk$
	角 度 (锥角)	铜 铝 钢	$16^{\circ}\sim 18^{\circ}$ $20^{\circ}\sim 24^{\circ}$ $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$	$16^{\circ}$ $24^{\circ}$ $10^{\circ}$
定 径 区	长	铜 $dk<1.0$ $dk=1.0\sim 2.0$ $dk=2.0\sim 3.0$ $dk>3.0$	$1dk$ $(0.75\sim 1.0)dk$ $(0.60\sim 0.75)dk$ $(0.50\sim 0.60)dk$	$0.4dk$
	度	铝 $dk=1.0\sim 2.0$ $dk=2.0\sim 5.0$ $dk>3.0$	$(0.60\sim 0.75)dk$ $(0.50\sim 0.60)dk$ $(0.4\sim 0.5)dk$	$0.3dk$
形 状 及 尺 寸			圆筒形 $d=dk$	圆筒形 $d=dk$
出 口 区	形 状 及 角 度		倒 锥 形 锥角 $60^{\circ}$ 左右	小倒锥 $r_1=45^{\circ}$ 半球面部分: 半径 $r=0.2mm$ 大倒锥 $r_2=70^{\circ}$
	长 度		$0.2\sim 0.5dk$	小锥长: $0.1dk$ 大锥长: $\frac{H}{3}$ 一定 径区长

注:  $H$ —模坯高度

$dk$ —出线直径

## 第四节 模具的寿命

线模在使用过程中,模孔受到不可避免的磨损,首先是在变形区与线材直径接触处形成凹环,并逐渐向定径区内扩展和加深,凹环边缘被磨损得比较尖薄,当经不起拉线时的压力和拉力时模孔会崩裂。

影响线模使用寿命是多种因素综合作用的结果。如制模材料的质量,模孔形状和尺寸,模孔的抛光质量,特别是工作区和定径区抛光质量;道次变形程度及被拉伸金属线材的质量;润滑剂的质量及加添润滑剂的方式和冷却效果;反拉力的存在和大小及拉线速度等。

需要简略计算线模需要量时,可采用平均寿命来进行计

表 6-3 拉铜线时的线模平均使用寿命

制模材料		拉线直径 $d$ (mm)	平 均 使 用 寿 命	
			(km)	(kg)
钢	不镀铬	15.00~10.0	1	$7d^2$
		15.00~10.0	4	$23d^3$
	硬质合金	16.00~10.0	50	$350d^2$
		9.90~1.0 0.99~0.70 0.69~0.40	143 100 71	$1000d^2$ $700d^2$ $500d^2$
钻 石	0.4g	1.59~1.00	5100	$4000d^2$
	0.2g	0.99~0.40	7200	$5000d^2$
	0.1g	0.38~0.20	8090	$8000d^2$
	0.05g	0.19~0.10	10000	$7000d^2$
	0.032g	0.09~0.03	11400	$8000d^2$

算, 如表 6-3。

确定线模寿命, 最有实际意义的是以它能拉出合格线材的数量。因为模孔磨大, 产生道子, 线材与模孔粘结, 线模虽然没有完全崩溃, 但已不能继续使用。

## 第五节 模具的检查

检查模具主要是检查模孔的表面光洁度、模孔形状和尺寸等。

### 一、表面质量检查

1. 钻石模。定径区直径 $\leq 0.12\text{mm}$ 的模孔, 用100倍带光源的生物显微镜检查模孔的表面粗糙度及各区域的连接质量。定径区直径大于  $0.12\text{mm}$ 的模孔用 30 倍带光源的体视显微镜检查模孔的光洁度及各区域连接质量。

2. 碳化钨模。模孔内部用 10 倍放大镜检查其光洁度及各区域连接质量。

### 二、形状和尺寸检查

1. 模孔尺寸。截取经线模拉伸的线段, 测量线材的尺寸, 此尺寸即为模孔尺寸。线段的压缩率为 $10\% \sim 15\%$ 。模孔形状可通过投影仪投影与标准图纸比较。

2. 定径区长度。将线材以一定的压缩率拉过模孔, 在出口处的线材上涂以少量使线材变色的药剂, 然后反向拉出, 测量未变色的平直部分的线材长度为定径区长度。

3. 工作区长度。可浇铸铅、蜡等模型测量工作区长

度。

4. 工作区角度。可用样板粗略测量, 也可将浇铸的模型进行投影放大测量。

5. 润滑区。采用测量工作区的同样方法测量。

6. 各区连接情况。用放大镜或显微镜直接观察或观察浇铸模型。

整个模孔形状、尺寸的检查, 都可采用把浇铸的模孔模型进行光学投影放大, 和标准图纸进行比较, 这样比较准确可靠。

# 第七章 拉线工艺

## 第一节 线材产品的工艺路线

常用的线材生产工艺路线如图7—1所示。

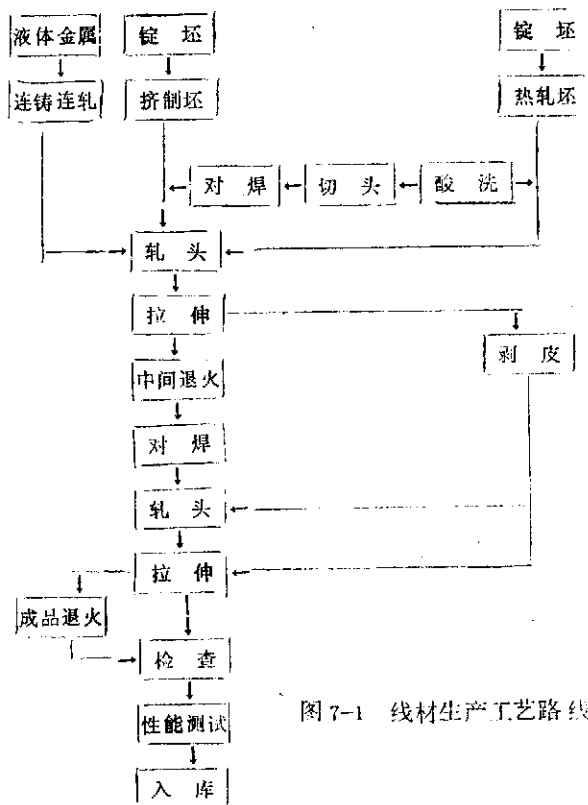


图7—1 线材生产工艺路线

线材生产工艺路线是指从线坯到成品入库所经过的工序先后次序。生产工艺路线是根据设备条件和产品技术条件来制定的，并从提高产品质量和产量的角度综合考虑。

## 第二节 拉线工艺种类及特点

拉线生产都要按照一定的标准规范进行，对于不同的产品和半制品，有不同的标准。一般产成品，按相应的国标或部标生产，半制品大都按企标和工序中间控制标准生产。生产工艺是根据产品标准、金属材料种类等条件来制订的。

工艺是指各种原材料、半成品成为产品的方法和过程。拉线工艺一般有圆线、扁线、异形线加工工艺等三种。

### 一、圆线工艺

电线电缆行业圆线的生产量大大超过其它截面形状线材的生产量。圆线中，主要是铜、铝圆线的生产。

铜、铝圆线生产的工艺特点是：①圆线的规格较少，拉伸过程中四周是均匀变形，从线坯到成品出线只是线径由大变，不发生截面形状的改变，工艺比较简单；②可采用较高的拉伸速度；③可采用带扭转的放线形式。

### 二、扁线工艺

大型电机及变压器等设备所用的电磁线多为扁线。扁线有铜、铝之分。

扁线生产的工艺特点是：①工艺较圆线复杂，规格较多，拉伸过程从线坯到成品不仅有尺寸的变化，还有截面形

状的变化；②每道的变形量不能太大，因扁线在拉伸变形过程中，四周变形不均匀；③不能采用较高的拉伸速度；④用扁坯时，放线装置不能采用带扭转的形式。

### 三、异形线工艺

电气化铁道、工矿企业的电力牵引车，城市无轨电车等架空接触线，一般采用双沟形导线，特殊要求的电缆采用弓型、Z型、扇形等导线。这些产品大多用铜材，也有部分产品采用钢材和铝材。

异形线生产的工艺特点是：①工艺复杂，一般采用拉、轧、挤等工艺；②道次加工率不能太大，因拉伸过程四周变形很不均匀，容易造成表面质量不佳现象③；拉伸速度不能过大，因局部变形量大的部位容易裂开。

在制订拉线工艺时，每道压缩率的确定，要根据金属性质、设备条件、工艺条件和模具质量等条件进行选择。

1. 在设备能力和金属塑性许可的情况下，尽量采用较大的加工率，减少退火次数，缩短生产周期。

2. 由于导线接头焊缝强度低于线材本体的强度，焊接线坯第一道压缩率应小些，以免断头。

3. 对同一金属，大规格线材压缩率应控制在下限，小规格线材控制在上限。单次拉制道次压缩率大，多次拉制压缩率小。

4. 一般塑性好的金属加工率大，反之则小；软态压缩率大，反之则小。

5. 如果用压缩率来控制成品机械性能，应按材质性能规定确定加工率。

## 第三节 剥皮工艺

热态轧制的线坯表面有氧化皮、起皮、麻坑等缺陷，难以保证拉伸线材的表面质量。对特殊要求的线材在拉伸前，用剥皮模将线坯表面剥去一层。为确保剥皮过程顺利进行及剥皮质量，在剥皮前必须经过一道压缩率约30%的拉伸，使线材外形圆整、挺直，抗拉强度提高。然后再经过可调整的导卫装置，进入剥皮模，表面剥皮量必须四周均匀。

由于被剥皮金属性质不同，剥皮模刃口形状、材质均有所区别，如金属材质软，刃口要锐利；材质硬，就要钝一些。

不同金属的线材，每次剥皮量也不同，每次金属剥皮量推荐值如表7-1所示。

表7-1 每次金属剥皮量

名 称	紫 铜	黄 铜	青 铜	铜镍合金	镍、镍合金	铅、铋
每次剥皮量 (mm)	0.3~0.5	0.3~0.5	0.2~0.4	0.2~0.4	0.1~0.2	0.2~0.5

## 第四节 韧 炼 工 艺

韧炼又称退火、软化。线材韧炼工艺是根据金属线材的特性和退火后的要求不同而不相同。在线缆工业应用的线材主要是铜和铝，按它的性能分别采用不同的韧炼工艺和设备。

## 一、线材初炼的目的

铜、铝线材在拉制过程中,受到冷加工变形,使线材变硬、变脆,强度与硬度增加,而塑性降低,给线材继续拉制或作为导电线芯造成困难。为了恢复塑性,消除硬化,保持良好的电气性能和力学性能,因此需要将线材在一定温度下,把金属或合金加以热处理(初炼),使线材符合标准要求。

## 二、金属初炼的基本原理

金属经过冷加工塑性变形后,因其内部晶粒碎化,晶格畸变和存在残余内应力,因而不稳定的,它有向稳定状态变化的自发趋向。但在室温下,原子的扩散能力很弱,变化过程很难进行。将冷变形的金属进行加热,使原子的动能增加,促使其发生变化。金属初炼有如下三个阶段。

1. 回复阶段。当加热温度不高时(低于最低再结晶温度),原子扩散能力尚低,虽有微小扩散,但不能引起组织的变化。由于原子有了微小的扩散,能使晶格畸变程度大为减轻,从而使内应力大大下降,导电性显著提高,但机械性能变化不大,这个阶段称回复阶段,也叫去应力初炼。

2. 再结晶阶段。继续加热至较高温度时,将形成一些晶格方位与变形晶粒不同,内部缺陷较少的等轴小晶粒,并不断向周围变形组织中扩展长大,直到冷变形组织完全消失为止,这个过程称为金属的再结晶。

冷变形经过金属再结晶,由于冷变形而产生的晶格畸变等缺陷及内应力完全消除,因而强度下降,导电率增加,塑

性和韧性大大提高,冷加工硬化状态完全消除。

3. 晶粒长大阶段。刚完成再结晶阶段时,一般都能得到细小而均匀的新晶粒。如温度继续升高,或保温时间过分延长,新的晶粒还要互相吞并而长大,使晶粒变粗,机械性能相应恶化,这个过程称为聚集再结晶,这种粗晶粒金属的强度和塑性均下降,所以过高的加热温度和过长的保温时间均能引起“过烧”或“过热”。以上三阶段如图7—2所示。

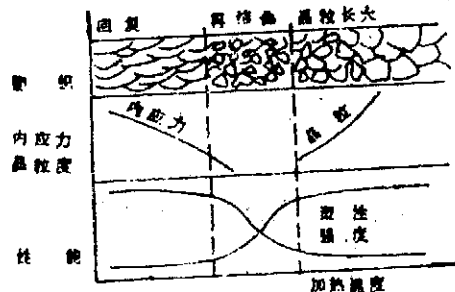


图 7-2 冷变形金属加热时组织和机械性能的变化

## 三、初炼工艺

铜、铝线的初炼可分为间歇式和连续式两大类。目前常见间歇式有罐式炉、钟罩式炉、热风循环炉；连续式有气体保护炉和水封炉等。

1. 罐式退火炉。工艺流程是装料→抽真空→充气→加热保温→出炉冷却→出料。加热温度及加热时间见表7—2。

2. 水封软化炉。为使铜线初炼时不氧化,在刚开始生产时的第一、二班内,进行预热,并通入水蒸汽,排除炉

膛内空气, 创造无氧环境。出口水封槽的水温应在  $60^{\circ}\text{C}$  左右。铜线在炉膛内行进时间约四十分钟。线径及温度如表 7-3 所示。

表 7-2 罐式炉温度及加热时间

型 式	线 径 (mm)	温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	时 间 (H)
成 盘 铜 线	1.0 以下	$500 \pm 10$	4~4.5
	1.01 及以上	$500 \pm 10$	4.5~5.5
圆 铜 线	1.0~2.0	$500 \pm 10$	4.5~5
	2.1~3.28	$500 \pm 10$	5~5.5
	3.29~5.0	$500 \pm 10$	5.5~6
	5.01 以上	$500 \pm 10$	6

表 7-3 水封软化炉线径及温度

线 径 (mm)	温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	线 径 (mm)	温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
0.1~0.12	345~360	0.45~0.58	560~570
0.13~0.20	380~390	0.59~0.74	570~580
0.21~0.29	440~450	0.75~1.00	590~600
0.30~0.38	460~470	1.01~1.19	630~640
0.39~0.44	490~500	1.20 及以上	660~690

注: 由于各厂炉子结构、功率、装炉量及绝热情况等不同, 所选用的温度、时间也不相同。表 7-2 和表 7-3 所列数据仅供参考

## 第五节 线坯及线材焊接

为了连续拉伸线材, 需将若干线坯进行焊接。线坯焊接

一般采用电阻对焊法。焊接前应剪去线坯的两个端头, 将一端分别夹进对焊机的两个夹头里, 并使两线端接触。然后接通焊接电流, 使焊接加热到足够温度, 并给予顶锻挤压力。切断电流后, 焊缝冷却, 两端线材即被焊牢。

焊接电流的大小, 应按线材直径大小进行调整, 保证焊接区有足够的温度。电流过大, 焊接区温度高, 线材易引起“过烧”、“过热”现象, 降低焊区的机械性能; 电流过小, 温度不足, 焊接不上。焊接时间要适当, 时间过长, 也会引起“过烧”、“过热”现象; 时间过短, 焊接温度不够, 挤压力小, 氧化杂质未被全部挤出, 影响焊接质量。顶锻力大小, 可调节弹簧或手工推力。焊接后残留在线材表面上的金属熔渣, 用钳子剪去, 用锉刀打光, 使焊缝平整。

焊接拉伸过的线材时, 由于焊接处受热产生再结晶, 其机械性能与焊接处两侧的线材差异较大, 须将这部分线材在对焊机两夹头间通电加热, 使线材机械性能缓慢变化过渡, 避免焊缝处拉断。

## 第六节 拉 线 配 模

配模是指每道拉伸前后尺寸的确定, 即选择每道拉伸线模的尺寸。配模对连续多模拉线设备极为重要。

合理的配模能充分利用金属的塑性, 采用最少的拉伸道数, 提高生产效率, 缩短生产周期; 减少拉断、拉细现象, 保证足够的安全系数; 拉伸后的线材能够达到要求的尺寸和形状, 良好的表面质量, 合格的机械、电气性能。

## 一、圆单线的拉伸配模

一般情况下，各道次延伸系数按表7-4选取。

表 7-4 道次延伸系数的选择

线 径 (mm)	各道次延伸系数范围	
	铜	铝
>1.0	1.30~1.55	1.20~1.50
0.1~1.0	1.20~1.35	1.10~1.20
0.01~0.1	1.10~1.25	—

各道次延伸系数的分布规律一般是第一道低一些。这是因为线坯的接头强度较低，线材弯曲不直，表面粗糙，粗细不均等因素的影响，所以安全系数要大些。一般铜、铝棒第一道拉伸时的延伸系数可在1.40~1.60之间，用拉伸过的半制品作线坯时，第一道延伸系数可在1.30~1.40之间。第二、三道延伸系数可取高一些，因经第一道拉伸后，各种影响安全系数的因素大大下降，同时金属的变形硬化程度也很小，这时可充分利用金属的塑性。在以后各道次中，延伸系数逐道递减，这是因为随着变形硬化程度的增加和线径的减小，金属塑性下降，其内部缺陷和外界条件对安全系数的影响也逐渐增加。

拉伸配模计算步骤：

1. 确定拉伸道次  $K$ 。拉伸道次计算有平均延伸系数和顺次递减延伸系数两种。

1. 道次延伸系数相同的拉伸道次计算：

$$K = \frac{\lg \mu_s}{\lg \bar{\mu}}$$

式中  $K$ ——拉伸道次；

$\lg \mu_s$ ——总延伸系数；

$\lg \bar{\mu}$ ——平均延伸系数。

2. 道次延伸系数顺次递减的拉伸道次计算：

$$K = \frac{\lg \mu_s}{c' - \beta \lg \mu_s}$$

式中  $c'$ 、 $\beta$ ——与被拉伸线材直径有关的系数。

(二) 根据拉线机各绞轮速比计算总速比  $\Sigma Y$

$$\Sigma Y = \frac{V_K}{V_1} = r_1 \cdot r_2 \cdots r_{K-1} \cdot r_K$$

式中  $\Sigma Y$ ——总速比；

$V_K$ ——第  $K$  道绞轮圆周上线速；

$V_1$ ——第 1 道绞轮圆周上线速；

$r_1 \cdots r_K$ ——相邻两绞轮的速比。

(三) 计算总的相对前滑系数  $\Sigma \tau$ ：

$$\Sigma \tau = \frac{\mu_s / \mu_1}{\Sigma Y}$$

(四) 计算平均前滑系数  $\bar{\tau}$

$$\bar{\tau} = k - 1 \sqrt{\Sigma \tau}$$

根据  $\bar{\tau}$  值的大小，按照各道延伸系数分配原则分配  $\tau_1 \rightarrow \tau_K$  的值，并计算出  $\mu_1 \rightarrow \mu_K$  的值。

分配结果应满足：

$$\tau_1 \rightarrow \tau_K \text{ 的乘积} = \Sigma \tau$$

$$\mu_1 \rightarrow \mu_K \text{ 的乘积} = \mu_s$$

(五) 根据  $\mu_1 \rightarrow \mu_n$  的值, 从成品直径开始, 逐道往前计算各道次线径的大小:

$$d_{n-1} = d_n \sqrt{\mu_n}$$

以上配模计算结果, 进行尾数调整, 上机试用, 如拉线过程正常, 质量合格, 则可定为正式生产工艺。

### (五) 配模计算举例

有一直径为 7.2mm 的热轧铜线坯, 在 10.244m/s 拉线速度的Ⅱ级 9 模滑动式拉线机上控制直径为 1.6mm 的导线, 试计算调模。

1. 根据成品线径和线坯尺寸, 计算总伸长率:

$$\mu_s = d_0^2 / d_k^2 = 7.2^2 / 1.6^2 = 20.25$$

2. 计算拉伸道次  $K$ :

$$K = \frac{\lg \mu_s}{c' - \beta \lg \mu_s} = \frac{\lg 20.25}{0.20 - 0.03 \lg 20.25} = 8.125$$

$c'$  取 0.20  $\beta$  值取 0.03

3. 计算速比:

Ⅱ级 9 模有三级速度, 现取二级速度:

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
速 度 (m/s)	1.82	2.271	2.833	3.538	4.447	5.543	6.925	8.633	10.244

$$r_1 = v_2 / v_1 = 2.271 / 1.82 = 1.248$$

$$r_2 = v_3 / v_2 = 2.833 / 2.271 = 1.247$$

其余各级均按此计算。

$$\text{总速比 } \Sigma Y = v_k / v_1 = 10.244 / 1.82 = 5.63$$

4. 计算总的相对前滑系数

$$\tau_s = \frac{\mu_s / \mu_1}{Y_s} = \frac{20.25 / 1.5}{5.63} = 2.398$$

5. 计算平均前滑系数

$$\tau = \sqrt[9]{\tau_s} = \sqrt[9]{2.398} = 1.115$$

对各道相对前滑系数进行合理分配:

$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$\tau_5$	$\tau_6$	$\tau_7$	$\tau_8$	$\tau_9$
1.15	1.12	1.12	1.115	1.115	1.1	1.1	1.1

6. 计算各道伸长率

根据  $\mu_n = r_n \cdot \tau_n$  计算结果如下:

$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	$\mu_5$	$\mu_6$	$\mu_7$	$\mu_8$	$\mu_9$
1.50	1.44	1.40	1.40	1.39	1.39	1.37	1.37	1.30

7. 计算各道线径

根据  $d_{n-1} = d_n \cdot \sqrt{\mu_n}$  计算各道线径如下:

$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$d_9$
7.20	5.78	4.82	4.08	3.45	2.92	2.48	2.12	1.82	1.6

## 二、扁线的拉伸配模

制造扁线有三种方案。一是用圆线坯经过数道拉制而成; 二是用圆线坯经过一道或数道冷轧扁后, 再经过二道或数道拉制而成, 三是用扁坯经过数道拉制而成。

扁线生产一般在滑动式拉线机上进行拉制或在轧扁机轧制后再拉制。

扁线配模是确定拉伸或轧制的道次和道次尺寸。

(一) 扁线拉伸配模

扁线拉伸时各道次的尺寸，也是按各道次的变形程度来确定。配模可根据标准的等比数列来进行，如：0.80、0.86、0.93、1.00、1.08、1.16、1.25、1.35、1.45、1.56、1.68、1.81、1.95、2.10、2.26、2.44、2.63、2.83、3.05、3.28、3.53、3.80、4.10、4.40、4.70、5.10、5.50、5.90、6.40、6.90、7.40、8.00、8.60、9.30、10.00、11.60、12.50、13.50、14.50。它们的公比为1.08。配模时，一般扁线宽度小于5.10的配模尺寸在此数列里变化，宽度大于5.10的配模，为保证成品线材的表面质量，一般出线模后的一只道数模，可另选择不在公比数列里的尺寸。

如果逐级变化，如 $3.8 \times 4.4 \rightarrow 3.53 \times 4.4 \rightarrow 3.28 \times 4.4 \rightarrow 3.05 \times 4.4$ 这时道次的延伸系数等于公比1.08，即 $\mu = 1.08$ 。如果变化二级，如 $3.8 \times 4.4 \rightarrow 3.28 \times 4.4 \rightarrow 2.83 \times 4.4 \rightarrow 2.44 \times 4.4$ ，这时道次的延伸系数等于公比的平方，即 $\mu = 1.08^2 = 1.17$ 。如果变化三级，即 $3.8 \times 4.4 \rightarrow 3.05 \times 4.4 \rightarrow 2.44 \times 4.4 \rightarrow 1.9 \times 4.4$ ，这时道次的延伸系数等于公比的立方，即 $\mu = 1.08^3 = 1.26$ ，依次类推。

配模时根据要求的道次变形程度，决定在宽度和厚度上的变化级数。因为用的圆线坯料。考虑到厚度方向上的变化应大于宽度方向上的变化，所以在厚度方向的级数变化应大于宽度方向的级数变化。当宽厚比接近1的时候，转入圆线坯，从而确定出圆线坯的尺寸，把这些数据组成的套模上机试用，并在实际中修正完善。如拉制 $1.25 \times 3.8$ 扁线，已确定道次的延伸系数为1.20~1.30之间。这时 $\mu = 1.08^3$ ，即可在厚度和宽度方向共增加三级。具体配模是 $1.25 \times 3.28 \rightarrow 1.45 \times 3.53 \rightarrow 1.68 \times 3.8 \rightarrow 2.1 \times 3.8 \rightarrow 2.63 \times 3.8 \rightarrow \phi 3.8$ 。

宽度较大的扁线，其成品模后的道数模可选特殊尺寸配合，保证拉制成品表面中间不产生皱缩纹。如拉制 $3.53 \times 10.8$ 扁线，其配模是 $3.53 \times 10.8 \rightarrow 4.1 \times 11.2 \rightarrow 4.7 \times 11.6 \rightarrow 5.1 \times 12.5 \rightarrow 5.9 \times 13.5$ ，坯料用 $6.5 \times 15$ 的扁坯。

## (二) 轧制扁线的轧制道次及尺寸的确定

这种计算方法适用于由圆线坯经一道轧扁后再经一道轧制的方法生产扁线。轧制的扁线坯的尺寸应当满足最后成品的质量要求和已确定的最后道次变形程度，最后道次的变形程度参照前边扁线的拉伸配模。当最后拉制前扁线坯的尺寸确定以后，按下式计算轧扁前圆线坯直径。

$$D = a + \left( \frac{1}{1.5} \sim \frac{1}{1.8} \right) (b - a)$$

式中  $D$ ——轧扁前圆线坯直径；

$a$ ——轧扁后扁线的厚度；

$b$ ——轧扁后扁线的宽度。

$$\text{系数变化范围为} \left( \frac{1}{1.5} \sim \frac{1}{1.8} \right)$$

由于轧辊表面光洁度、轧辊直径、轧扁量、材料硬度之差别等多种因素的影响，都会导致宽展量的大小发生变化，因而 $\left( \frac{1}{1.5} \sim \frac{1}{1.8} \right)$ 这个系数的进取，应根据实际情况进行调整。

上面举出的扁线配模方法，对不同设备和生产情况应有所不同，须结合生产实际，采用适合本厂生产的特点方法。在生产第一根扁线前，一定要通过实验，总结经验，才能投产。

## 第七节 废品的分析和处理

在生产过程中由于多种原因,会产生一些废品,但是如果能事先加以预防,采取严格的质量管理,建立健全质量保证体系,可以减少和杜绝废品的产生。根据以往经验,列出以下常见废品的类型、产生原因和解决办法。

### 一、断线

产生原因	解决办法
1. 接头不牢	调整对焊机的电流、顶端压力、通电时间,提高焊接质量
2. 线材有夹杂物	加强投产坏料的验收
3. 配模不合理	通过工艺验证,对配模进行调整,消除变形程度过大和过小的现象
4. 模孔形状不正确或不光滑	严格按标准修制线模,工作区变形角不可过大或过小,定径区不可过长,抛光后模孔光洁度要达到要求
5. 反拉力过大	放线张力不可过大,绞轮上绕线圈数要进行调整
6. 绞轮上压线	调整绞轮绕线圈数;调换修正沟槽较深的绞轮;将表面毛糙的绞轮进行抛光
7. 酸洗不净	调整酸液温度、浓度;加强冲洗和中和

产生原因	解决办法
8. 线坯质量不好 (折边、飞边等)	不合格线坯不流入下工序,加强中间检查
9. 铝杆潮湿	防止铝杆受潮,潮湿铝杆暂不投产。定期化验润滑剂的含脂量,如低于标准要求及时补充;定期测试润滑液温度,保证在要求的温度范围内,保证管路畅通,使拉伸有足够的润滑剂
10. 润滑不良	

### 二、尺寸形状不正确

产生原因	解决办法
1. 线模磨损	经常测量线径,发现接近公差极限及时更换线模
2. 安全系数过小,线材拉细	降低拉伸应力,改善润滑效果,改进线模质量,调整配模,调节收线张力等
3. 用错线模	穿模时要测量线材线径。
4. 线材受到刮伤 擦伤等	穿线要正确,工作时勤检查,发现有造成伤害线材的地方,要进行检修。
5. 线模偏斜,即模孔中心线与拉线中心线不正	上模时注意摆正,如有妨碍因素应检修

产生原因	解决办法
5. 线模尺寸形状超差	换新模, 并将不合格模回修。

### 三、表面质量不合格

#### (一) 擦伤、碰伤、刮伤

产生原因	解决办法
1. 锥形绞轮上有跳线现象	将绞轮表面修光, 角度检修正确
2. 绞轮上有沟槽	拆下加工修理
3. 收排线时线材擦收线盘盘边	调整排线宽度, 校平线盘盘边
4. 设备上有伤害线材的部位	绞轮接口不平, 绞轮窗口有锐边, 排线导轮转动不灵活等, 应及时检修
5. 线盘互相碰伤	线盘要“T”字形存放。运输时线盘间要用衬垫隔开
6. 地面不平	整修地坪, 铺胶垫, 钢板等
7. 收线过满	生产时坚守岗位, 集中精力, 防止收线过满

#### (二) 起皮、麻坑、三角口、毛刺

产生原因	解决办法
1. 杆材有飞边、夹杂、缩孔、折边等	加强检验, 不合格品不流入拉线工序
2. 酸洗质量差	按工艺操作, 中和完全。冲洗干净。认真修模, 抛光, 严格检查, 不合格线模不上机使用
3. 模孔不光滑、变形, 定径区有裂纹、砂眼等缺陷, 交接处连接不圆滑。	
4. 润滑不良	提高润滑效果
5. 绞轮不光滑, 滑动率过大	磨光绞轮表面, 调整配模

#### (三) 波纹、蛇形

产生原因	解决办法
1. 配模不当	调整配模, 成品模变形程度不可过小
2. 拉线机严重振动	检修设备, 排除振动
3. 线抖动厉害	调节收线张力, 使收线速度稳定均匀
4. 模孔形状不合适	定径区长度要符合要求, 不可过短, 甚至没有
5. 润滑供应不均匀, 不清洁	保持润滑剂供应均匀, 将润滑剂进行过滤

#### (四) 线材有道子

产生原因	解决办法
1. 线材有刮伤	检查与线材轴向摩擦部位, 如导轮、排线杆等是否光滑
2. 润滑液温度过高	加强冷却, 严重者采用强制冷却手段
3. 润滑剂含碱量高, 含脂量低, 不清洁	保持润滑剂的清洁, 定期化验, 保持成分稳定
4. 模孔不光滑, 有裂纹、砂眼	加强线模修理和管理工工作。不合格线模不上机使用
5. 模孔润滑区被堵塞	对润滑剂进行过滤, 清除润滑剂中的悬浮物、金属屑等

#### (五) 氧化、水渍、油污

产生原因	解决办法
1. 润滑不足, 润滑剂温度过高	供给足够的润滑剂, 加强冷却
2. 润滑剂飞溅	堵塞飞溅处, 出线处用棉纱条或毛毡擦线
3. 堆线场地不清洁, 手套油污沾线材	坚持文明生产, 保持工作场地整洁

#### 四、收排线满、偏、乱、紧、松

产生原因	解决办法
1. 排线调整不当	按收线盘规格, 调整排线宽度和排线位置
2. 收线张力不当	调整收线张力和收线速度
3. 排线机构有故障	细心观察, 如桃形轮固定不牢, 滑块磨损松动, 杠杆轴销磨损晃动等应及时排除故障
4. 收线盘不规整	平整线盘, 无法修理时应报废
5. 收线过满	加强质量意识教育

#### 五、性能不合格

产生原因	解决办法
1. 抗拉强度、伸长率、弯曲等机械性能不合格	总变形程度小, 原材料不合格, 变形不均匀等原因均会引起机械性能不合格, 应选用合格原材料, 增加总变形程度, 控制拉制过程中的温升等条件
2. 电阻率不合格	主要是原材料不合格, 其次是制炼工艺不当造成

## 第八章 新技术、新材料、新设备

随着科学技术的发展，线缆工业的拉线设备、线材坯料有新发展。

### 一、线坯

原来铜、铝线坯多为热轧线锭。铜锭加热后采用单根轧制，故表面质量、线坯产量受到限制。目前国外大多采用新型的线坯生产设备及工艺，国内也已开始引进，并投入生产。新型线坯生产有上引法、连铸连轧法和浸涂法等。这些生产方法的共同特点是：线坯表面质量大大优于热轧铜线坯，线坯无氧化铜及氧化亚铜生成，故表面呈光亮状态，拉伸前不需要酸洗；铜线坯的含氧量低于热轧铜杆，机械性能优于热轧铜杆；线坯长度可根据需要制造，故一般成圈容量在 1000kg 以上，有的可达 5000kg，给线材高速拉伸创造了条件；线坯利用率高，线坯表面质量好，在拉伸过程中无需剥皮，损耗减少。

### 二、新设备

拉线设备国外已采用高速拉伸，多工序连续生产，单机多头出线，双盘连续收线等设备。我国部分电线电缆厂已引进以上新设备。

#### （一）高速拉伸

大拉机的最高拉伸速度可达 31.5 m/s，中拉机可达 50

米/秒，小拉机可达 50~60 m/s，细拉机最高可达 63m/s。

#### （二）多工序连续拉线机

目前有拉线连续韧炼拉线机，这类设备生产效率高，占用场地小，能量消耗少，韧炼质量稳定等优点。

#### （三）多头拉线机

多头拉线机特别适合拉制中、小规格线材，如尼霍夫公司生产的 MZE121 型拉线机，最多可同时拉 10 根线，并可连续韧炼，以及与束线机联合使用，生产效率高，成本低。