

航空导管加工

435304

国防工业出版社

主 要 符 号

- D_0 ——管子外径
 d_0 ——管子内径
 $r_{\text{平均}}$ ——管子平均半径
 $d_{\text{平均}}$ ——管子平均直径
 $R_{\text{内}}$ ——弯管内侧半径
 $R_{\text{外}}$ ——弯管外侧半径
 R ——弯管任意处半径
 ρ ——加载时中性层弯曲半径
 $\bar{\rho}$ ——加载时中性层相对弯曲半径
 ρ' ——卸载后中性层残留弯曲半径
 $\bar{\rho}'$ ——卸载后中性层相对残留弯曲半径
 S_0 ——管材壁厚
 S_{min} ——管子最小壁厚
 S_{max} ——管子最大壁厚
 θ ——管子弯曲后两个弯曲半径所成的角度
 α ——管子某一半径与 x 轴所成的角度
 σ ——应力
 δ ——应变
 σ_{ρ} ——径向应力
 σ_{θ} ——切向应力
 σ_z ——横向应力
 δ_{ρ} ——径向应变
 δ_{θ} ——切向应变
 δ_z ——横向应变
 $\Delta\theta$ ——弹性回跳角

E ——弹性模量

F ——应变刚模量

$M_{\text{外}}$ ——外弯矩

$M_{\text{内}}$ ——内弯矩

p ——单位压力

P ——所施加的载荷

σ_b ——抗拉极限强度

σ_s ——屈服极限

μ ——摩擦系数

K_0 ——最后的扩口（或缩口）系数

第一章 导管加工前准备

棒料毛坯经过挤压、轧制和拉拔等过程形成了各种直径的导管，再经过校直、切断、去毛刺和油封包装制成合格的管料。这样的管料是不是都能用于航空导管呢？大家知道，航空上的导管不仅要求强度高，而且要求重量轻，因此航空导管一般都采用薄壁导管。同时根据不同的工作条件选择不同的管材，如燃油系统的导管常用铝合金管材；靠近发动机的导管采用碳钢管材；液压系统的导管常用不锈钢和碳钢管材；氧气系统常用铜管材；发动机上的导管常用不锈钢和碳钢管材等等。因此必须首先了解管材的牌号、成分、品种和性能。

导管加工前的准备是否完善直接影响以后的成形和质量。导管加工前通常要求对管料进行除油、下料和去毛刺等工作，在准备工作中还须有表面腐蚀或退火工序，可安排在除油后或下料后进行。关于腐蚀和退火的内容分别在第五章和第二章介绍，本章着重介绍除油、下料和去毛刺工艺。

第一节 材料牌号、成分、品种、性能

我国航空导管的材料有铝及铝合金、铜及铜合金、碳钢、不锈钢、钛及钛合金等。现将常用的分述如下。

一、铝及铝合金管材

1. 牌号、品种规格、供应状态及技术条件代号

表1-1 铝及铝合金管材的牌号、品种规格、
供应状态及技术条件代号

牌 号	品 种	供应状态及代号	技术条件代号
L4, L6 LF2, LF21	圆 管	退火的(M)	YB611-66
LF2	圆 管	半冷作硬化(Y ₂)	YB611-66
L4, L6 LF2, LF21	圆 管	冷作硬化(Y)	YB611-66

拉制圆管的尺寸及其允许偏差应符合表 1-2 要求。

表1-2 拉制圆管外径及壁厚尺寸偏差

(毫米)

公称外径尺寸偏差		壁厚尺寸公差	
公 称 外 径	允 许 偏 差	公 称 外 径	壁 厚 与 公 差
6~20	-0.15	6~25	0.5±0.05
22~30	-0.20	6~60	1±1.0
32~50	-0.25	7~75	1.5±0.14
52~80	-0.35	8~95	2±0.18
85~120	-0.50	12~115	2.5±0.20

2. 化学成分

表1-3 铝及铝合金管材化学成分

牌 号	主 要 成 分 (%)			
	Mg	Mn	Al	杂质总和
L4	—	—	99.3	0.7
L6	—	—	98.8	1.2
LF2	2.0~2.8	或Cr0.15~0.4	余量	0.8
LF21	—	1.0~1.6	余量	1.75

3. 机械性能

表1-4 铝及铝合金管材机械性能

合金牌号	供应状态 & 代号	管材尺寸(毫米)		抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (公斤/毫米 ²)	伸 长 率 δ (%)
		外 径	壁 厚	不 小 于		
L4, L6	退火的(M)	所有尺寸		≤ 12	—	20
L4, L6	冷作硬化(Y)	所有尺寸	≤ 2.0	11	—	4
			2.5~5.0	10	—	5
LF21	退火的(M)	所有尺寸		< 14	—	—
	冷作硬化(Y)			14	—	—
LF2	退火的(M)	所有尺寸		17~23	—	—
	半冷作硬化 (Y ₂)			21	—	—
	冷作硬化(Y)	< 50	≤ 5.0	23	—	—
		≥ 50		22	—	—

4. 主要技术要求

- 1) 管材的内外表面应光滑清洁（无硝酸盐痕）、无裂纹、气泡、起皮、外来夹杂物、腐蚀斑点、粗糙拉道、分层、折迭。
- 2) 管材的内部组织不得有过烧，不应有粗大晶粒。
- 3) 管材表面上允许有下列缺陷，但其面积不大于导管表面积 的 0.5%。

（1）不深的纵向划伤及横向划伤，其划伤深度应符合表1-5 的规定。

表1-5 不深的纵向划伤及横向划伤规定

(毫米)

项 目	导 管 外 径 D_0	
	$D_0 \leq 20$	$D_0 > 20$
横向划伤深度	≤ 0.02	≤ 0.03
纵向划伤深度	≤ 0.03	≤ 0.03

(2) 个别小缺陷: 压坑、压伤、擦伤、石墨油印, 其缺陷深度不得超过直径负偏差。做导管的管材不允许有斑疤和内表面擦伤。

(3) 氧化色, 不粗的黑白斑点以及不影响管壁厚度的 矫直 环线和螺旋线。

5. 主要特征和用途

工业纯铝——比重小、塑性高、强度低、具有良好的抗蚀性和焊接性, 常用于不受力而具有某种特性的结构元件, 如电线保护导管。

防锈铝——不能热处理强化, 只能用冷加工来强化它, 强度低, 塑性高, 压力加工性良好, 有良好的抗蚀性和焊接性, 常用于航空燃油、滑油导管。

二、铜及铜合金管材

1. 牌号、名称、供应状态及技术条件代号

表1-6 铜及铜合金管材的牌号、名称、供应状态及技术条件代号

牌 号	名 称	供应状态及代号		技术条件代号
T3	三号纯铜	软(M)	硬(Y)	YB447-70
T4	四号纯铜	软(M)	硬(Y)	YB447-70
H96	96黄铜	软(M)	硬(Y)	YB447-70
H62	62黄铜	软(M)	半硬(Y ₂)	YB448-71

2. 化学成分

表1-7 铜管材化学成分

牌 号	主 要 成 分 (%)	
	Zn	Cu
T3	—	99.7
T4	—	99.5
H96	余量	95~97
H62	余量	60.5~63.5

3. 机械性能

表1-8 铜管材机械性能

牌 号	供应状态	抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)	伸长率 δ (%)
		不 小 于	
T3, T4, H96	软(M)	21	—
	硬(Y)	30	35
H62	软(M)	30	38
	半硬(Y ₂)	34	30

4. 主要技术要求

1) 管材内外表面应光滑、清洁, 不应有针孔、裂缝、环状痕迹、起皮、气泡、粗拉道、夹杂和绿锈。

管材不应有分层、允许有轻微的局部的、不使管材外径和壁厚超出允许偏差的划伤、凹坑、压入物和斑点等缺陷。

轻微的校直和车削痕迹, 细划痕, 氧化色和轻微的局部的水迹不作为报废的依据。

2) 在压力下工作的管材, 应进行液压试验。

3) 管材椭圆度和壁厚不均不应超出外径及壁厚允许的偏差。

5. 主要特征和用途

T3, T4——具有良好的塑性, 但强度低, 焊接和钎焊性能好, 在室温和大气条件下以及在海水中均具有抗蚀性。用于管嘴, 滑油及燃油导管, 也有用于制作氧气系统导管的。

H96——具有优良塑性, 易于焊接, 在大气和淡水中具有高的抗蚀性。用来制造冷凝管或散热管等。

H62——具有良好的机械性能, 容易钎焊和焊接, 抗蚀性良好, 但有“季裂”的倾向, 常用来制造导管、管嘴等。

三、碳 钢 管

1. 牌号、名称及技术条件代号

常用碳钢做导管的材料牌号为20 A，是薄壁无缝钢管，应符合YB681-71 技术条件的规定。

2. 化学成分

表1-9 20 A 碳钢管材化学成分

牌 号	化 学 成 分 (%)						
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
20 A	0.17~ 0.24	0.17~ 0.37	0.35~ 0.65	≤0.03	≤0.035	≤0.30	≤0.30

3. 机械性能

表1-10 20 A 碳钢管材机械性能

牌 号	供应状态	外径尺寸 (毫米)	机 械 性 能	
			抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)	伸长率 δ_{10} (%)
20 A	退 火	4~38	≥40	≥20

4. 主要技术要求

1) 20 A 钢管内外表面允许有不影响表面检查的氧化色和轻微的矫直痕迹，以及深度不超过 0.05 毫米的局部擦伤和个别压痕、个别小麻点存在。但清理后其深度不得大于外径和壁厚的负偏差范围，其它缺陷不允许存在。

2) 进行液压试验，允许压力的数值取抗拉强度 σ_b 的 40%。

5. 主要特征和用途

20 A 导管冷变形塑性高，焊接性良好，但气焊时在厚度小、外形要求严格或形状复杂的零件上易发生裂纹，在航空上专供制造燃油管、滑油系统或液压、冷气系统导管。

四、不 锈 钢 管

1. 牌号、名称及技术条件代号

常用不锈钢做导管的材料牌号为 1 Cr18Ni 9 Ti，是薄壁无

缝钢管，应符合YB678-71 技术条件的规定。

2. 化学成分

表1-11 不锈钢管材化学成分

牌 号	化 学 成 分 (%)							
	C	Si	S	P	Cr	Ni	Ti	Mn
1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤0.80	≤0.025	≤0.035	17~19	8~11	5 (C% 0.02~0.8)	≤?

3. 机械性能

表1-12 不锈钢管材机械性能

牌 号	试 样 状 态	机 械 性 能	
		抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)	伸长率 δ_5 (%)
1Cr18Ni9Ti	热处理(固溶处理)	≥56	≥40

4. 主要技术要求

1) 不锈钢管内外表面允许有轻微的矫直痕迹和深度不超过0.05毫米的局部擦伤及个别的压痕存在(但清理后其深度不得大于外径和壁厚负偏差范围)，其它缺陷均不允许存在。

2) 钢管经B法晶间腐蚀性能试验，其结果应符合YB44-64的规定。

3) 进行液压试验，允许压力的数值取抗拉强度 σ_b 的40%。

5. 主要特征和用途

1Cr18Ni9Ti属含钛的18-8型奥氏体不锈钢。由于含钛使碳化物稳定，防止它们从固溶体中沿晶界析出，而使钢具有抗晶界腐蚀能力和较高耐蚀性。淬火状态下有很高的塑性。焊接性良好。在800~900℃以下的空气及航空燃料燃烧产物的气氛中，具有稳定的抗氧化性。在900℃以下连续工作性能稳定。在800℃以下频繁交变条件下继续工作性能也稳定。

这种类型的钢一般强度不高，屈服强度低，而且不能通过热处理强化，一般用于热气管道、航空发动机排气管和支管，也适用于制造液压导管等。

五、钛及钛合金管材

1. 牌号、名称及技术条件代号

表1-13 钛及钛合金管材的牌号、名称及技术条件代号

牌 号	名 称	技术条件代号
TA2	工业纯钛	YB767-70
TA3	工业纯钛	YB767-70
TC1	钛 合 金	YB767-70
TC10	钛 合 金	YB767-70

2. 化学成分

表1-14 钛及钛合金管材化学成分

牌 号	主 要 成 分 (%)							
	Ti	Al	Mn	V	Sn	Cu	Fe	杂质总和
TA2	基 99.37	—	—	—	—	—	—	0.63
TA3	基 99.37	—	—	—	—	—	—	0.63
TC1	基	1.0~2.5	0.8~2.0	—	—	—	—	0.86
TC10	基	5.5~6.5	—	5.5~6.5	1.5~2.5	0.35~ 1.0	0.35~ 1.0	0.50

3. 机械性能

管材经退火后其室温机械性能应符合表1-15要求。

表1-15 钛及钛合金管材机械性能

牌 号	试 验 状 态	抗 拉 强 度 σ_b (公斤/毫米 ²)	伸 长 率 δ (%) 不小于($L = 11.3\sqrt{F_0}$)
TA2	经退火	$\geq 45\sim 60$	20
TA3	经退火	$\geq 55\sim 70$	15
TC1	经退火	≥ 60	15
TC10	经退火	≥ 105	$12(L = 5.65\sqrt{F_0})$

4. 主要技术要求

1) 管材内外表面应光滑、清洁, 不应有针孔、裂缝、夹杂和过腐蚀等缺陷。允许有轻微的局部的不超出外径或壁厚允许偏差的划伤、凹坑、凸点等缺陷。轻微的矫直痕迹、细划道及经酸洗后的不同颜色不作为报废的依据。

2) 管材的椭圆度及壁厚不均匀, 不应超出外径和壁厚的允许偏差。

3) 管材进行液压试验。其压力按下列公式计算

$$P = \frac{200S_0P_1}{d_0} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)}$$

式中 P ——液体压力 (公斤/厘米²);

S_0 ——管壁最薄处的壁厚 (毫米);

P_1 ——相当于 40% 抗拉极限强度 (公斤/毫米²);

d_0 ——管材的内径 (毫米)。

5. 主要特征和用途

钛及钛合金主要特点是强度高、比重小、有优良的抗腐蚀性和足够的抗热性、低温韧性, 所以可代替不锈钢导管。

根据退火状态的组织可将钛及钛合金分为三种类型: 即 α 相钛合金 (用符号 TA 表示)、 β 相钛合金 (用符号 TB 表示) 和 ($\alpha + \beta$) 相钛合金 (用符号 TC 表示)。目前航空导管用的有工业纯钛 (TA2, TA3) 和钛合金 (TC1, TC10) 等四种。在常温下工业纯钛为 α 相、钛合金为 $\alpha + \beta$ 相。

TA2、TA3——冲压性优良, 焊接性良好, 焊接接头强度可达基本金属强度的 90%。易于锯和砂轮切割。机加工性能良好。抗蚀性很好, 用于 350°C 以下工作的导管。

TC1——冲压性与焊接性均良好。机加工性能与 TA2、TA3 相同。抗蚀性良好。用于 400°C 以下工作的导管。

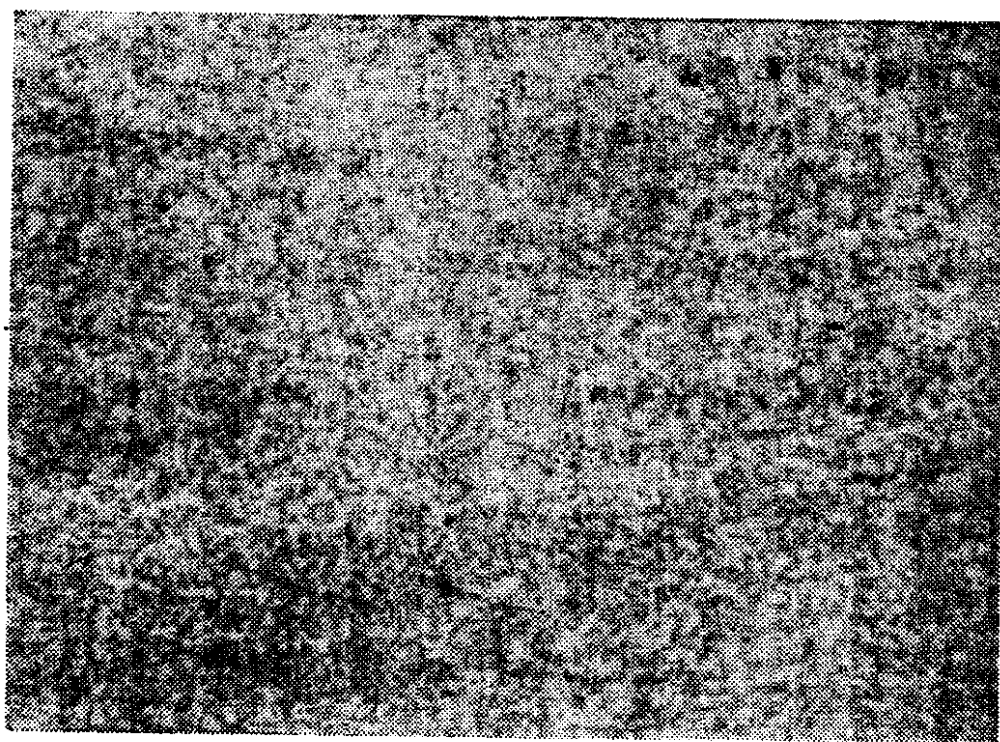
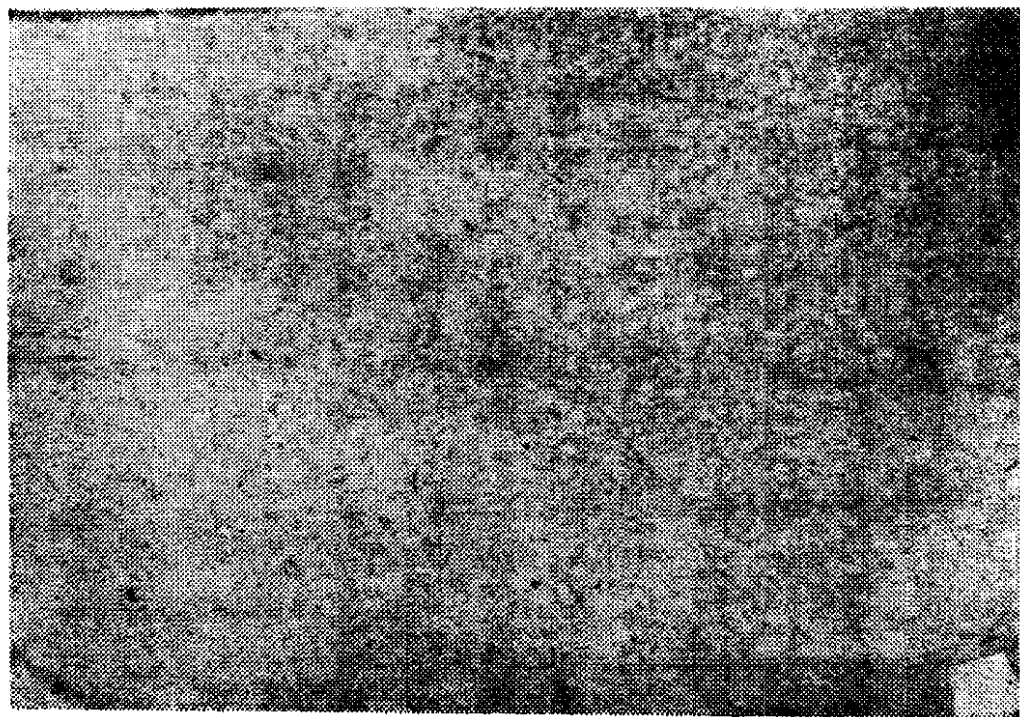
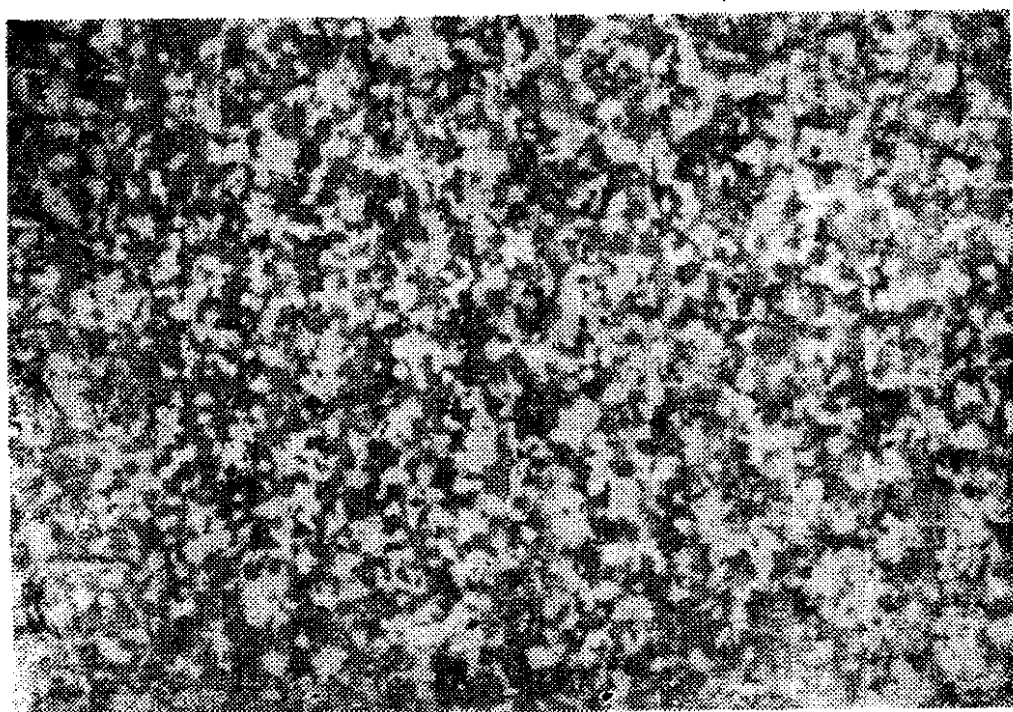
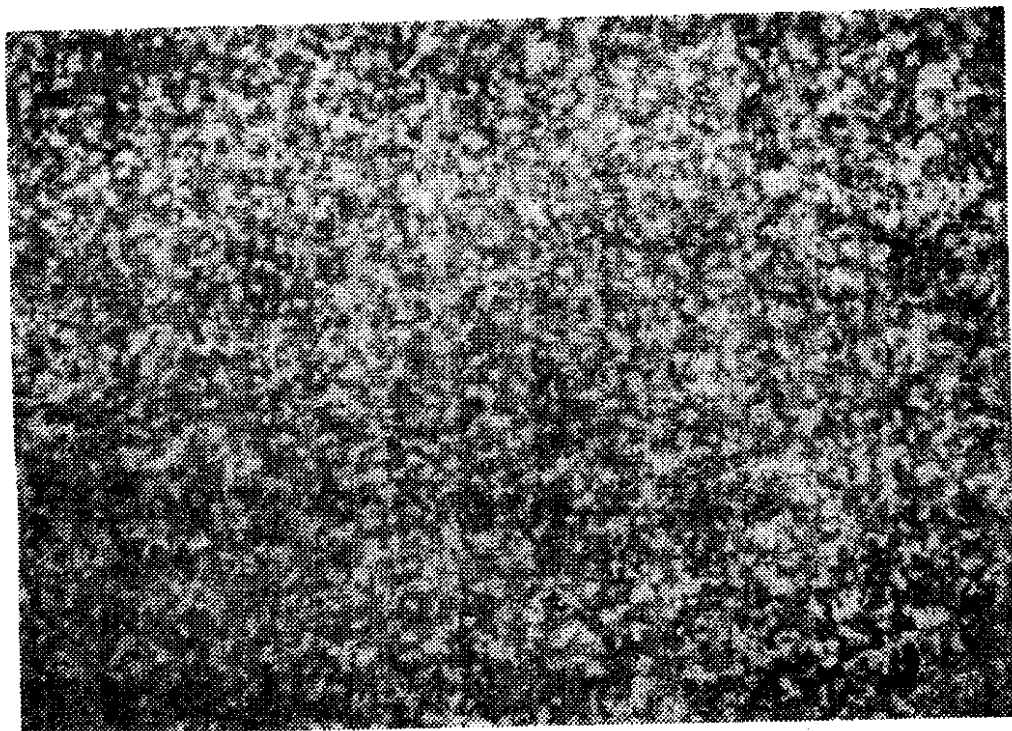


图1-1 一、二、三、四级晶



粒度金相照片(放大)

TC10——冲压性差。焊接性好。机加工性能一般，需用硬质刀具、大的走刀量、慢速、充分冷却。抗蚀性高。热稳定性较好，可用于450℃下长期工作的导管。

第二节 管 材 管 理

管材的管理是一项重要而细致的工作。忽视管理工作将会造成极大的损失和浪费。材料的管理工作主要包括炉号、批号要分清，并作好记录，当发现问题时便于查找。

从管材制造厂来的管料一般都是经过质量检查的，但有的项目不一定都做全。因此在生产发料前应根据航空用管料的要求，做一些必要的复检工作，如金相试验、扩口试验、不锈钢管外表面做磨光试验等。

航空用的管料有导管与结构管之分。由于绝大部分导管属于薄壁导管，因此对导管的要求比较严格，主要有以下几个方面的区别：

1. 精度等级

导管要求为一级，结构管要求可低些。

2. 晶粒度等级

导管要求为二级以上，三级的不能使用。一、二、三级晶粒度等级区别见图 1-1 所示。

3. 尺寸公差

导管外径取负差，这主要是考虑导管与平管嘴的配合，否则平管嘴就装不上。

结构管外径是取正差。

4. 管料内表面要求

导管内表面要均质，要求内表面光滑、无道痕、擦伤等等缺陷。

结构管的要求可适当降低。

第三节 除 油

一、除油的要求

为了防止导管的锈蚀，航空工业中使用的管料在内外表面都是油封着的，因此在加工导管之前首先要除油，除油的质量应符合表面处理对它的要求。常见的管料长度为2~6米，对细而长的管料内表面除油是比较困难的，因而有的是除油后进行下料工序，也有的是先下料再进行除油。

按化学性质，油脂可以分为两大类：皂化类与不皂化类。如在碱的作用下便分解了，生成一种能溶于水的脂肪酸盐——肥皂及甘油，这类油脂称皂化油脂。若在碱的作用下这类油脂不起化学分解作用的，称为不皂化油脂。

不论是皂化类和不皂化类油脂，实际上皆不溶于水，因此必须在一定成分的溶液中用化学处理方法，将油脂从金属表面上除去。

在有机溶剂中除油是皂化油脂和不皂化油脂的普通溶解过程。此时所用的溶剂是煤油、汽油、甲苯、三氯乙烯、四氯化碳等。一般来说，它们能很好地溶解油脂而无腐蚀金属的作用。

对除油溶剂的性质希望具备如下的条件：

- 1) 脱脂的能力强；
- 2) 对被除油金属无腐蚀作用；
- 3) 本身不会燃烧；
- 4) 无毒或毒性小；
- 5) 比热、潜热要小；
- 6) 沸点较低（希望在100℃以下）；
- 7) 蒸汽密度要比空气大，液相比重大；
- 8) 低粘度时，表面张力要小；
- 9) 被溶解的油脂能简单地分离出来；
- 10) 稳定，不易分解和挥发；
- 11) 价格要便宜。

这些性质是所希望的，也是理想的。实际上在工业用除油溶剂中是不可能完全具备上述条件的，但是第一、二条必须具备。

还有，除油后管材上面的标志要用脱漆剂洗掉。

二、汽油除油

1. 汽油加温除油

用蒸汽加热汽油至 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，将汽油从导管一端冲洗，在另一端流出。当流出汽油的颜色为本色时，即认为除油符合要求。三米以上的长导管须两端冲洗。除油后内壁用无水份的压缩空气吹干，导管两端口应无油污及异物。使用汽油加温的目的主要是加速油脂熔化和溶解。这种方法对导管外壁的除油稍差。

2. 热水-汽油除油

先用温度为 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的热水冲洗片刻，经过热水冲洗，导管内外表面的油脂层熔化减薄了，然后在汽油槽中除油，除油后用无水份的压缩空气吹干。使用这种方法可以节约汽油，除油速度比较快。

三、三氯乙烯和四氯化碳除油

三氯乙烯和四氯化碳是具有代表性的工业用有机溶剂，它们的某些物理化学性质如图 1-2 和表 1-16 所示。

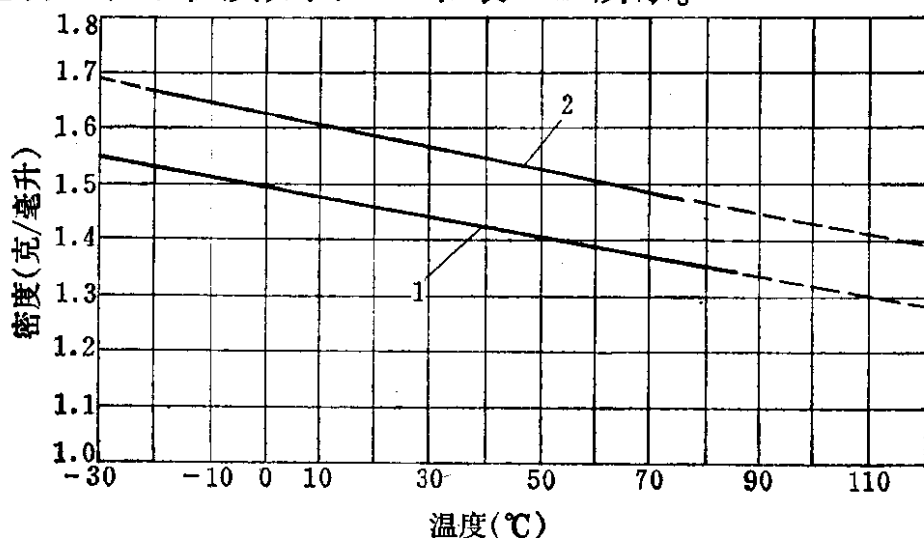


图1-2 三氯乙烯、四氯化碳液体密度与温度的关系

1—三氯乙烯；2—四氯化碳。