

航空导管加工

國防工業出版社

航空导管加工

《航空导管加工》编写组 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地总结了国内有关航空导管加工的生产经验和科研成果，并编译一些国外的先进技术。全书共分六章，介绍了导管加工前准备、导管弯曲、管子端头加工、航空导管焊接、航空导管表面处理以及导管的检验、试验、清洗与包封。

本书可供从事这方面工作的科技人员、工人以及中等和高等航空院校师生参考。对航空设计人员，以及其它工业如造船、汽车、化工、电子、农机、轻工等部门的工作人员亦有一定的参考价值。

航空导管加工

《航空导管加工》编写组 编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可登记证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 11¹/₁₆ 283 千字

1979年8月第一版 1979年8月第一次印刷 印数：0,001—5,400册

统一书号：15034·1793 定价：1.40元

前 言

航空导管加工工艺自有飞机以来就已经有了。但是，它的飞速发展还是近二十年的事。

导管在整个飞机生产中占有重要的地位。飞机上任何一根导管出了故障，都会造成不同程度的事故，甚至会导致机毁人亡。因此，我们可以把飞机上的导管形象地比作像人体的血管那样重要。

近来，由于航空技术的飞速发展，航空导管在材料、结构、联接形式和加工方法等方面都有了新的变化，随之出现了一门加工薄壁（超薄壁）而曲率半径小的导管的新工艺——薄壁导管加工工艺。

以往有关导管加工的生产经验和先进技术未得到应有的总结和推广，因而也没有一本比较完整地介绍航空导管加工的书籍。为了填补这一空白，做到有系统地、全面地介绍以航空薄壁导管加工为主的生产工艺，我们编写了这本书。

本书的内容是按照一般导管加工工艺过程的先后次序进行叙述的。它包括管材的下料、管子的弯曲、端头加工、焊接、表面处理、检验、试验与清洗等六章，并将其中问题较多、对质量影响较大的管子弯曲和端头加工作为重点介绍。

本书除了在理论上对管子弯曲和端头加工进行分析外，还介绍了一些质量较好、效率较高的新工艺方法，例如，使用三氯乙烯和复合净洗剂洗涤管子毛料、半自动切管机、薄壁小曲率半径的铝合金、不锈钢和钛合金圆管的一些特殊弯曲方法、矩形管弯曲、无扩口端头加工、端头异形冲切、薄壁导管的氩弧焊、细长管的表面处理、导管的液压、气密、脉冲载荷和喷流试验、超声等无损探伤、纤维光学检查管子内腔等。目前对管子弯曲，在实

现了弯管机械化的基础上,又开始使用程控弯管机和数控弯管机,它将使生产面貌产生深刻的变化,本书对此也作了简要叙述。

当前,我国人民在英明领袖华主席领导下抓纲治国,大干快上,努力实现“四个现代化”。随着形势的发展,我国航空工业将会有一个新的飞跃,航空导管加工这门工艺也必将取得较快的进展。我们希望本书的编写和出版,能够在国防生产和社会主义建设中起到它应有的作用。

由于编者政治水平、业务水平有限,搜集资料还不够全面,缺点错误在所难免,恳切地希望所有从事这方面工作的工人、干部和技术人员对本书多提出宝贵的意见。

参加本书编写的主要人员有:刘渭贤、林兆荣、朱光伟、吴志衡、夏梁汉、陈登聚、窦久鹏、陆景行、苏克昌、刘克祥、林长青、刘承志、王小周等。本书由南京航院林兆荣主编。黄国华、濮杏娣参加全书描图工作。

最后,我们在此对向本书提供资料的各有关单位和人员深表谢意。

《航空导管加工》编写组

目 录

主要符号	1
第一章 导管加工前准备	3
第一节 材料牌号、成分、品种、性能	3
第二节 管材管理	14
第三节 除油	15
第四节 下料	23
第五节 去毛刺	36
第二章 导管弯曲	39
第一节 管子弯曲的基本理论	40
第二节 导管的取样	57
第三节 弯管工具	61
第四节 弯管填充料及润滑剂	82
第五节 弯管主要设备	86
第六节 拔弯法	103
第七节 其它弯管法	122
第八节 弯管校形	139
第九节 管子热弯	143
第十节 管子热处理	155
第十一节 矩形管弯曲	159
第三章 管子端头加工	180
第一节 管子扩口	181
第二节 无扩口端头加工和滚挤式导管接头工艺	194
第三节 管端波纹成形	208
第四节 缩径(缩口)法	222
第五节 扩径法	238
第六节 其它端头加工	243
第四章 航空导管焊接	255

第一节	焊前准备	257
第二节	钎焊	266
第三节	熔焊	275
第四节	焊接缺陷的检查、缺陷产生的原因与排除的方法	284
第五章	航空导管的表面处理	288
第一节	铝合金导管的表面处理	288
第二节	碳钢导管的表面处理	300
第三节	铜导管的表面处理	308
第四节	航空导管的涂漆	311
第五节	航空导管的绝热	317
第六章	导管的检验、试验、清洗与包封	320
第一节	导管的检验	320
第二节	导管的试验与清洗	329
第三节	导管的端头包装与封存	347

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 LF2	圆 管	退火的(M)	YB611-66
L4, L6 LF2, LF21	圆 管	半冷作硬化(Y ₂)	YB611-66
	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, 细划纹, 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20A，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 20A碳钢管材化学成分

牌 号	化 学 成 分 (%)						
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
20A	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 20A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} (%)
20A	退 火	4~38	≥40	≥20

4. 主要技术要求

1) 20A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

20A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1Cr18Ni9Ti，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
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 (%)							杂质总和
	Ti	Al	Mn	V	Sn	Cu	Fe	
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	$12 (L = 5.65\sqrt{F_0})$