

管道工程**设计**施工 及**维修**实用技术大全

(8)

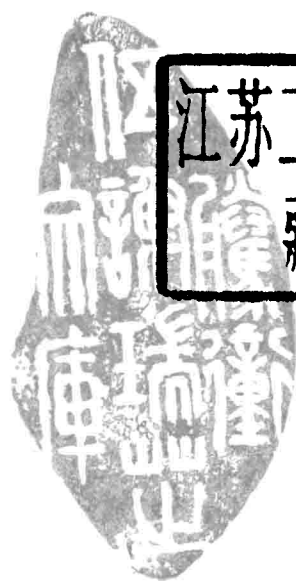
柳金海 编

中国建材工业出版社

管道工程设计施工及 维修实用技术大全

(8)

柳金海 编



江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建材工业出版社

第 60 章 钛及钛合金管道安装

第 1 节 简 述

一、钛及钛合金的特性

(1) 钛在常温下具有较高的强度，机械加工性能与不锈钢基本相似。在高速切削中由于钛及钛合金具有较高的接触压力和低的导热率，使钛及钛合金在机械加工中产生严重的表面硬化，致使加工的刀具发热，同时易与其他材料咬损和咬合，使刀具容易钝口，给加工带来困难，但在低速切削中，缓慢地加大进刀量，按照操作原则用润滑剂冷却，钛及钛合金的机械加工能获得满意的结果。

(2) 钛冷加工中有显著的回弹特点，室温下回弹性能是不锈钢的 2~3 倍，因而钛不宜进行深拉拔加工。管子冷弯应处理好回弹角度问题。

(3) 钛是化学活泼性非常强的元素，在高温时（600℃以上）极易和氧、氮、氢及碳元素相作用，使钛的性能发生显著的脆化。氢在 400℃时就能溶解于钛，生成氢化钛，当缓慢冷却时，氢化钛呈片状析出，使材料韧性急剧下降。氮在 600℃以上与钛生成性能很脆的氮化钛，使材料塑性大为降低。氧在 700℃以上与钛生成白色鳞状的二氧化钛，800℃以上表面的氧化膜很容易在钛中熔解，并且扩散到金属组织内部，形成 0.01~0.08mm 的中间脆性层，加热时间越长，钛被污染得越厉害，因此钛及钛合金管子配件加工不能采用热加工的办法，如果一定要进行热加工时，亦应严格控制加热温度，一般不能超过 400℃，加热设备最好用电炉，在真空炉或惰性气体保护下进行，如采用煤气燃烧炉、燃油炉加热时，炉中应无水蒸汽而略带氧化性，决不允许有还原性或吸热性。

二、钛及钛合金的分类

钛是一种非磁性材料，它具有重量轻（密度： α 为钛为 4.51g/cm³， β 钛为 4.31g/cm³）、强度高、高低温性能良好，耐蚀性强等特点。

钛具有两种晶体结构，在 885℃时发生同素异形变化 α 相 $\longleftrightarrow$ β 相。885℃以下是密集六方晶格，885℃以上是 β 钛为体心立方晶格。在高温停留时间长，晶粒很容易长大，当在快速冷却时，容易生成不稳定的针状组织 α 相，或称“钛马氏体”，这种不稳定的针状组织对钛的机械性能有不良影响，硬度增高，塑性降低。钛加入合金元素可改善钛的加工性能和机械性能，常用形成钛合金的元素有铝、钒、钼、铬、铁、锡、锰及铜等。加入不同合金元素后，使钛合金的相变温度及结晶组织都相应发生变化，并且使钛合金的强度、塑性以及抗氧化性等性能也有差异。钛合金按其室温时结晶组织不同可分为以下几种。

(1) α 钛合金 这类钛合金中主要是加入铝、锡等元素，耐热强度高，抗氧化能力强，可焊性良好。

(2) β 钛合金 这类钛合金主要加入钼、钒、锰、铬等元素，热处理后，强度较高，塑性也较好，而且具有良好的加工性。但耐热性较差，比重大，成本低，可焊性差。

(3) $\alpha+\beta$ 钛合金 在钛合金中主要加入铝、锡、钼、锰、铬等元素，这类钛合金可通过热处理强化，加工性能良好，但高温强度低于 α 钛合金，可焊性最差，焊接结构中很少采用。

三、钛及钛合金的化学成分与性能

用于冷轧（冷拔）法生产的钛及钛合金无缝管。可应用管材的牌号包括：TA1、TA2、TC1、TC10。管材呈冷轧状态（Y）、退火状态（M）供应。钛及钛合金管材的化学成分应符合 GB 3620—83《钛及钛合金牌号和化学成分》的规定，见表 60.1-1。管材的物理、机械、耐蚀及室温力学性能见表 60.1-2～表 60.1-5。

钛及钛合金的牌号和化学成分（GB3620—83）表 60.1-1

组别	牌 号	化 学 成 分 组	主 要 成 分（%）		
			钛	铝	其 它
工业纯钛	TAD	磺法钛	基		
	TA1	工业纯钛（杂质极微）	基		
	TA2	工业纯钛（杂质微）	基		
	TA3	工业纯钛（杂质微）	基		
α 型钛合金	TA4	Ti—3Al	基	2.0~3.3	
	TA5	Ti—4Al—0.005B	基	3.3~4.7	B: 0.005
	TA6	Ti—5Al	基	4.0~5.5	
	TA7	Ti—5Al—2.5Sn	基	4.0~6.0	锡: 2.0~3.0
	TA8	Ti—5Al—2.5Sn—3Cl—1.5Zr	基	4.5~5.5	锡: 2.0~3.0, 铜: 2.5~3.2, 锆: 1.0~1.5
β 型钛合金	TB2	Ti—5MO—5V—3Cr—3Al	基	2.5~3.5	铬: 7.5~8.5, 钼: 4.7~5.7, 钒: 4.7~5.7
$\alpha+\beta$ 型钛合金	TC1	Ti—2Al—1.5Mn	基	1.0~2.5	锰: 0.7~2.0
	TC2	Ti—3Al—1.5Mn	基	3.5~5.0	锰: 0.8~2.0
	TC3	Ti—5Al—4V	基	4.5~6.0	钒: 3.5~4.5
	TC4	Ti—6Al—4V	基	5.5~6.8	钒: 3.5~4.5
	TC6	Ti—6Al—1.5Cr—2.5Mo—0.5Fe—0.3Si	基	5.5~7.0	铬: 0.8~2.3, 钼: 2.0~3.0, 铁: 0.2~0.7, 硅: 0.15~0.40
	TC7	Ti—6Al—0.6Cr—0.4Fe—0.4Si—0.01B	基	5.0~6.5	铬: 0.4~0.9, 铁: 0.25~0.60, 硅: 0.25~0.60, 硼: 0.01
	TC9	Ti—6.5Al—3.5Mo—2.5Sn—0.3Si	基	5.8~6.8	钼: 2.8~3.8, 锡: 1.8~2.8, 硅: 0.2~0.4
	TC10	Ti—6Al—6V—2Sn—0.5Cu—0.5Fe	基	5.5~6.5	锡: 1.5~2.5, 钒: 5.5~6.5, 铜: 0.35~1.0, 铁: 0.35~1.0

钛 的 物 理 性 能

表 60-1-2

密 度 (g/cm ³)	熔 点 (℃)	导热系数 [W/(m·K)]	线膨胀系数 (K ⁻¹)	弹性模数 E (N/mm ²)	磁 性	结 晶 构 造	
						885℃以下	885℃以上
4.54	1725±10	16.74	8.3×10 ⁻⁶	103005~107910	无磁性	α 钛密排 六方晶格	β 钛体心 立方晶格

常用钛及钛合金产品的室温机械性能

表 60-1-3

代 号	半成品种类	尺寸 (mm)	材料状态	$\sigma_b \geq$ (N/mm ²)	$\delta_5 \geq$ (%)
TA1	板 材	厚度 0.2~2 2.1~10	退 火	343~490	40 30
	管 材	外径 3~110	退 火	343~490	23 (δ_{10})
TA2	板 材	厚度 0.3~1 1.1~2 2.1~10	退 火	441~588	35 30 25
	管 材	外径 3~110	退 火	441~588	18 (δ_{10})
TA3	板 材	厚度 0.3~1	退 火	539~687	30
		1.1~2			25
		2.1~10			20
TA5	板 材	厚度 0.5~1	退 火	687	20
		1.1~2			15
		2.1~10			12
TA7	板 材	厚度 0.8~1.5	退 火	736~932	20
		1.6~2			15
		2.1~10			12
TB2	板 材	厚度 1~3.5	淬 火	≤981	20
			淬火+时效	1324	8
TC1	板 材	厚度 0.5~1 1.1~2 2.1~10	退 火	588~736	25 25 20
	管 材	外径 3~110	退 火	588	12 (δ_{10})
TC7	板 材	厚度 1~2	退 火	932	10
		2.1~10			8
TC10	板 材	厚度 1~2 2.1~10	退 火	1059	10 8
	管 材	外径 3~110	退 火	1030	12

钛在各种介质中的耐蚀性

表 60.1-4

腐 蚀 液			腐 蚀 液			腐 蚀 液		
耐蚀度			耐蚀度			耐蚀度		
盐 酸	稀 (常)	✓	氯化二锡	稀 (常)	✓	硫酸铵	稀 (常)	✓
	浓 (常)	×		浓 (常)	✓		浓 (常)	✓
	稀 (沸)	×		稀 (100℃)	✓	硫酸钠	稀 (常)	✓
	浓 (沸)	×		浓 (100℃)	✓		浓 (常)	✓
氯化二铁	稀 (常)	✓	氯化铝	稀 (常)	✓	硫酸铜	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (常)	✓		浓 (常)	✓
	稀 (沸)	✓		稀 (100℃)	×	硫酸铝	稀 (常)	✓
	浓 (沸)	✓		浓 (100℃)	✓		浓 (常)	✓
氯化锌	稀 (常)	✓	硫酸铜	稀 (常)	✓	铬 酸	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (常)	✓		浓 (常)	✓
	稀 (沸)	✓		稀 (沸)	✓	重铬酸	稀 (常)	✓
	浓 (沸)	✓		浓 (沸)	✓		浓 (常)	✓
氯化二汞	稀 (常)	✓	硫 代硫酸钠	稀 (常)	✓	过锰酸钾	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (常)	✓		稀 (常)	✓
	稀 (100℃)	✓	硝 酸	浓 (常)	✓	碳酸钠	稀 (常)	✓
	浓 (100℃)	✓		稀 (100℃)	✓		浓 (常)	✓
氢化铵	稀 (常)	✓	氯化钙	稀 (常)	✓	碳酸铵	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (常)	✓		浓 (常)	✓
	稀 (100℃)	✓		稀 (100℃)	✓	磷 酸	稀 (常)	✓
	浓 (100℃)	✓		浓 (100℃)	✓		浓 (常)	△
硫酸铝	稀 (常)	✓	氯化钡	稀 (常)	✓	氢氟酸	稀 (常)	×
	浓 (常)	✓		浓 (常)	✓		稀 (常)	×
硫酸锌	稀 (常)	✓		稀 (100℃)	✓	双氧水	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (100℃)	✓		浓 (常)	✓
硫酸钠	稀 (常)	✓	氯化锰	稀 (常)	✓	过氯酸	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (常)	✓		浓 (常)	✓
硫酸铁	稀 (常)	✓		稀 (100℃)	✓	磷酸铵	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (100℃)	✓		浓 (常)	✓
硫酸铵	稀 (常)	✓	氢化镍	稀 (常)	✓	苛性钠	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (常)	✓		浓 (常)	✓
	稀 (沸)	✓		稀 (100℃)	✓		稀 (沸)	✓
	浓 (沸)	✓		浓 (100℃)	✓		浓 (沸)	✓
氯化二铜	稀 (常)	✓	硫酸	稀 (常)	✓	氨 水	稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		浓 (常)	×		浓 (常)	✓
	稀 (沸)	✓		稀 (沸)	×	氢氧化钠	稀 (常)	✓
	浓 (沸)	✓		浓 (沸)	×		浓 (常)	✓
氯化钠	稀 (常)	✓	王水 (盐 1:3 (常) 酸: 硝酸) 3:1 (常)	稀 (常)	✓		稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		稀 (沸)	×		浓 (常)	✓
	稀 (沸)	✓		浓 (沸)	×		稀 (常)	✓
	浓 (沸)	✓		浓 (沸)	×		浓 (常)	✓
氯化镁	稀 (常)	✓		稀 (常)	✓		稀 (常)	✓
	浓 (常)	✓		稀 (沸)	×		浓 (常)	✓
	稀 (沸)	✓		浓 (沸)	×		稀 (常)	✓
	浓 (沸)	✓		浓 (沸)	×		浓 (常)	✓

续表

腐 蚀 液		耐蚀度	腐 蚀 液		耐蚀度	腐 蚀 液		耐蚀度
天然海水	(常)	✓	乳 酸	稀 (常)	✓	阿 尼 林 盐	稀 (常)	✓
蓝 墨 水	(常)	✓		浓 (常)	✓			稀 (100℃)
照像显像液	(常)	✓		稀 (沸)	✓	单 宁 酸	稀 (常)	✓
照像定影液	(常)	✓		浓 (沸)	✓			稀 (100℃)
漂 白 粉	(常)	✓	草 酸	稀 (常)	✓	苦 酸	稀 (常)	✓
二氧化硫	(常)	✓		稀 (沸)	×			浓 (常)
饱和水			蚁 酸	稀 (常)	✓	三氢醋酸	浓 (100℃)	×
硫化氢	(70℃)	✓		浓 (常)	✓		硬 脂 酸	浓 (100℃)
饱 和 水				稀 (100℃)	✓	四氯化碳		(20℃)
二氧化硫	(常)	✓		浓 (100℃)	×		哥 罗 仿	(20℃)
(湿气饱和)			柠 檬 酸	稀 (常)	✓	三氯代乙 烯		(20℃)
氯 (饱和水)	(常)	✓		浓 (常)	✓		酪 酸	浓 (100℃)
氯(湿气饱和)	(75℃)	✓		稀 (100℃)	✓	甲 醛		(20℃)
氯 (干燥)	(30℃)	×		浓 (100℃)	✓		乙 醛	浓 (沸)
醋 酸	稀 (常)	✓	酒 石 酸	稀 (常)	✓			
	浓 (常)	✓		浓 (常)	✓			
	稀 (沸)	✓		稀 (100℃)	✓			
	浓 (沸)	✓		浓 (100℃)	✓			

注：1. 代号：稀—较稀的，浓—较浓的，常—常温，沸—沸腾状态，✓—耐蚀性良好（浸蚀率：5密耳/年以下），△—耐蚀性中等（浸蚀率：5~50密耳/年），×—耐蚀性不良（浸蚀率：50密耳/年），（1密耳=0.001英寸）。

2. 资料摘自冶金部有色金属研究院编的《钛的耐蚀性及其在化工部门的应用》。

力 学 性 能 表 60.1-5

牌 号	状 态	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_{10} (%)
TA1	退 火	350~50	≥ 23
TA2	退 火	450~600	≥ 18
TC1	退 火	≥ 600	≥ 12
TC10	退 火	≥ 1050	≥ 12 (δ_5)

注：①用户要求并在合同中注明时，可提供屈服强度的实测数据。

②冷轧状态（Y）管材不作室温力学性能检验。

四、材料、管件及阀门的检验

1. 管材

（1）管材必须有制造厂的出厂合格证和质量证明书（包括牌号、炉号、规格、化学成份、力学性能及供货状态等）。

（2）管材应按设计要求核对其材质和规格。

管材的化学成份、力学性能应符合表 60.1-6 的规定。

常用钛管化学成分、力学性能 表 60.1-6

合金 牌号	化学成 分组	化 学 成 分 (%)							状态	室温力学性能	
		主要 成份	杂 质 (不大于)							抗拉强度 δ_b MPa (kgf/mm ²)	伸长率 δ_{10} (%)
			钛	铁	硅	碳	氮	氢			
TA1	工业纯钛	基	0.15	0.10	0.05	0.03	0.015	0.15	退火	3.4~4.9 (35~50)	≥23
TA2	工业纯钛	基	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015	0.20	退火	4.4~6.0 (45~60)	≥18

（3）管材应逐根进行外径及壁厚测量（可在两端进行），其外径、壁厚和长度允许偏差应符合表 60.1-7 的规定。钛管道规格见表 60.1-8。

管材的规格、外径和壁厚允许偏差(mm)

表 60.1-7

外 径	外径允许 偏 差	壁 厚 及 允 许 偏 差													
		0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
3,3.5,4,4.5,5	±0.13	±0.03	±0.04	±0.06	±0.08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.5,6,7,8,9,10	±0.15	—	±0.04	±0.06	±0.08	±0.10	±0.12	±0.15	—	—	—	—	—	—	—
11,12,14	±0.20	—	±0.04	±0.06	±0.08	±0.10	±0.12	±0.15	±0.20	±0.25	—	—	—	—	—
16,18,20	±0.25	—	—	±0.06	±0.08	±0.10	±0.12	±0.15	±0.20	±0.25	±0.30	—	—	—	—
22,25,28,30	±0.25	—	—	—	±0.08	±0.10	±0.12	±0.15	±0.20	±0.25	±0.30	±0.35	—	—	—
35,40	±0.30	—	—	—	—	±0.10	±0.12	±0.15	±0.20	±0.25	±0.30	±0.35	±0.40	—	—
45,50	±0.35	—	—	—	—	—	±0.12	±0.15	±0.20	±0.25	±0.30	±0.35	±0.40	—	—
55,60	±0.40	—	—	—	—	—	±0.12	±0.15	±0.20	±0.25	±0.30	±0.35	±0.40	±0.50	—
70,80	±0.45	—	—	—	—	—	—	±0.15	±0.20	±0.25	±0.30	±0.35	±0.40	±0.50	±0.55
90,100	±0.50	—	—	—	—	—	—	—	±0.20	±0.25	±0.30	±0.35	±0.40	±0.50	±0.55
110	±0.55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	±0.30	±0.35	±0.40	±0.50	±0.55

注:①经供需双方协议,可供其它规格的管材,其外径和壁厚允许偏差分别按相邻的较大的规格执行。

②外径小于15mm的管材,不定尺长度通常为500~4000mm;外径大于15mm的管材,不定尺长度通常为500~6000mm。定尺或倍尺长度应在不定尺长度范围内,长度允许偏差为 $\begin{smallmatrix} +15 \\ 0 \end{smallmatrix}$ mm。倍尺长度应加入截断时的切口量,每个切口量为5mm。

钛 管 规 格

表 60. 1-8

公称 直径 (mm)	外径 (mm)	管 壁 厚 度 (mm)									
		1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12
		重 量 (kg/m)									
3	10.5	0.136	0.193								
6	13.9	0.183	0.263								
10	17.3	0.232	0.338								
15	21.7	0.295	0.432								
20	27.2	0.374	0.550								
25	34.0	0.471	0.695	0.719							
32	42.7	0.595	0.881	0.913							
40	48.6	0.679	1.008	1.161	1.951						
50	60.5	0.849	1.262	1.329	2.460						
65	76.3		1.598	1.669	3.136						
80	89.1		1.874	2.119	3.685	4.855					
90	101.6			2.484	4.210	5.568					
100	114.3			2.841	4.761	6.290	7.791	9.263	12.123		
125	130.8			3.200	5.850	7.744	9.608	11.444	15.031		
150	165.2			3.929	6.937	9.192	11.419	13.617	17.928	22.125	26.207
200	216.3				9.122	12.106	15.061	17.988	23.756	29.409	34.949
250	267.4					15.020	18.703	22.358	25.598	86.694	43.691
300	318.5					17.934	22.346	26.729	35.420	43.979	52.432

(4) 管材端部应切平整,在长度不超过允许偏差的条件下,切斜允许偏差应符合表 60. 1-9 的要求。

(5) 管材弯曲度允许偏差应符合表 60. 1-10 的要求。

切斜允许偏差 (mm)

表 60. 1-9

外 径	切斜不大于
3~30	2
>30~60	3
>60~110	4

弯曲度允许偏差

表 60. 1-10

外径 (mm)	弯曲度 (mm/m) 不大于
3~30	3
>30~110	4

(6) 管材的内外表面应光滑、清洁无针孔、裂纹、折叠和过腐蚀等缺陷。

(7) 管材表面的局部缺陷应予清除,清除后外径或壁厚不得超出规定的负偏差值。

(8) 经检验合格的管材, 应按规格尺寸分别放置在垫木上, 严禁与钢材混堆和直接接触或碰伤。

2. 焊材

(1) 焊接材料的选用应符合下列规定:

1) 焊材的化学成份和力学性能应与母材相当;

2) 若焊件要求有较高塑性时, 应采用纯度比母材高的焊丝。

(2) 选用的焊丝应有出厂合格证和质量证明书。焊丝表面应洁净、无氧化色, 不应有裂纹、起皮、斑疤和夹杂等缺陷。其化学成分应符合表 60.1-7 的有关规定

(3) 钨极宜采用钨钨极或钍钨极。

(4) 氩气纯度不应低于 99.99%, 含水量不应大于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(5) 氩气输送管应采用塑料软管, 不宜用橡胶软管或其它吸湿性材料。

3. 管件

(1) 弯头、异径管、三通、法兰、焊环、盲板、垫片等必须有制造厂出厂合格证和质量证明书, 并应按设计要求核对其材质、规格和型号。

(2) 法兰、焊环及盲板的密封面应平整光洁, 不得有毛刺和径向沟痕。

(3) 螺栓及螺母的螺纹应完整, 无伤痕、毛刺等缺陷。螺栓与螺母应配合良好, 无松动或卡涩现象。

(4) 管道密封垫片的质量应符合下列要求:

1) 金属垫片的加工尺寸、精度、表面粗糙度及硬度应符合设计要求。表面应无裂纹、毛刺、径向划痕及锈斑等缺陷;

2) 非金属垫片应质地柔韧, 无老化变质及分层现象, 其表面不应有折损、皱纹等缺陷;

3) 包金属及缠绕式垫片不应有径向划痕、松散及翘曲等缺陷。

4. 阀门

(1) 阀门应具有制造厂的出厂合格证, 并应逐个按设计文件要求进行强度和严密性试验。

(2) 阀门的强度试验, 若设计无要求时应按下列规定进行:

1) 阀门的试验压力为其公称压力的 1.5 倍;

2) 试验时稳压时间不少于 5min, 以壳体、填料无渗漏为合格。

(3) 阀门的严密性试验, 应按其公称压力进行, 试验时稳压时间 1~2min, 以阀芯或阀瓣密封面无渗漏为合格。

严密性试验不合格的阀门, 应解体检查修理, 并应重新试验。

(4) 试验合格的阀门应排净内部积水, 封闭出入口, 并应保护好所有密封面。

(5) 阀门的传动装置和操作机构应进行清洗检查, 要求动作灵活可靠, 无卡涩现象。

(6) 安全阀在安装前, 应按设计规定进行调试。

当设计无规定时, 其开启压力为工作压力的 1.05~1.15 倍, 回座压力应大于工作压力的 0.9 倍。调压时压力应稳定, 每个安全阀启闭试验不应少于三次。调试后进行铅封并填写安全阀调整试验记录。(格式见表 60.1-11)

(7) 安全阀调试介质规定如下:

1) 工作介质为气体或易燃、易爆、有毒液体时, 用空气或氮气调试;

2) 工作介质为上述液体以外的其它液体时, 可用水调试。

安全阀调整试验记录

表 60. 1-11

工程名称			分部分项 工程名称								
管线号	型 号	规 格	设 计				试 验				备注
			介质	压力 (MPa)	调试 倍数	开启 压力 (MPa)	介质	启跳 压力 (MPa)	启跳 次数	回座 压力 (MPa)	
建设单位代表： 年 月 日						施工技术负责人： 质量检查员： 施工班（组）长： 年 月 日					

第2节 管道加工及安装

一、管子切割及坡口加工

- (1) 管子的堆放和加工应有专用场所，场内应保持清洁。
- (2) 管子切割前应做好材质标记的移植工作，应用油漆或记号笔做标记，严禁使用钢印。
- (3) 管子加工工具必须专用，并保持清洁。
- (4) 管子切割和坡口加工宜用机械方法，但切割表面不得过热变色，当采用氧—乙炔焰或等离子弧方法切割时，必须用机械方法除去污染层。

(5) 管子切口及坡口质量应符合下列要求：

- 1) 表面应平整，不得有裂纹、重皮，并应清除毛刺、凸凹、缩口、熔渣及氧化物等；
- 2) 切口平面最大倾斜度偏差为管子直径的1%，且不得超过3mm。

二、弯管制作

- (1) 弯管的弯曲半径应为管子外径的3~5倍。
- (2) 管子可采用弯管机或胎具进行热弯或冷弯。热弯时，加热温度不得超过350℃；冷弯时，应考虑回弹量。并应采取措施防止污染。
- (3) 弯管的填充砂应专用，并应保持干燥和清洁。装卸砂时应用木锤或紫铜锤敲打，严禁使用铁锤。

(4) 弯管后可不进行热处理。若设计有规定，应按设计规定进行。

(5) 管子弯制后的质量应符合下列要求：

- 1) 无裂纹、皱褶及过烧等缺陷；
- 2) 壁厚减薄率不应超过其壁厚值的15%，且不得小于设计壁厚；

3) 椭圆率不得超过8%；

4) 弯管的内外表面应无工具划痕及嵌入的铁屑；

5) 弯管制成后，经渗透探伤，应无裂纹和其它超标缺陷。

三、管道预制

(1) 预制前应认真核对单线图和现场实测尺寸。

(2) 预制管段应考虑运输和安装的方便，必要时应增设法兰连接。焊接工作宜全部在预制场所内完成。

(3) 预制管段的组合尺寸如图60.2-1所示，其允许偏差不得超过下列要求：

图60.2-1中

1) 每个方向总长(L)允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ；

2) 间距(N)允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ ；

3) 角度(α)允许偏差为 $\pm 3\text{mm/m}$ ；

4) 管端中心最大偏差(b)为 $\pm 10\text{mm}$ ；

5) 支管与主管的横向中心允许偏差(c)为 $\pm$

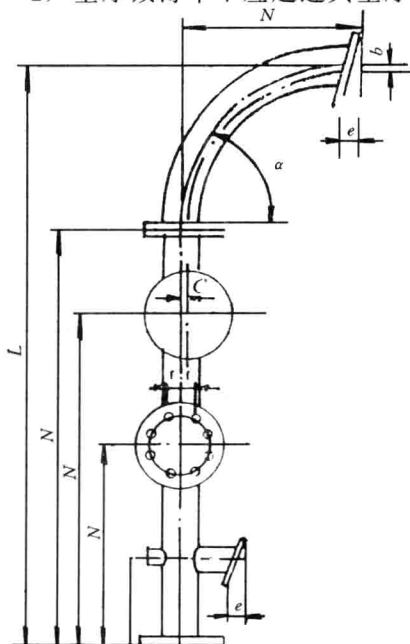


图 60.2-1 预制管段尺寸偏差

1.5mm；

6) 法兰两相邻螺栓应跨中安装,其间距(f)允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$;

7) 法兰面与管中心垂直偏差(e)为 1mm 。

(4) 管子对口时应检查平直度,在距接口中心 200mm 处测量,允许偏差为 1mm/m ,但全长的允许偏差不得超过 10mm 。

(5) 管子组对时,应对中夹紧,并避免焊接过程中产生变形或移动。

(6) 直管段两环缝间距不应小于 100mm ,且不小于管外径。

(7) 焊缝距弯管(不包括压制弯头)的起弯点,不得小于 100mm ,且不小于管外径。

(8) 支管补强板上的焊缝应在预制场所进行严密性试验,试验介质为氮气,试验压力为 0.2MPa (2kgf/cm^2)。稳压后,用涂刷肥皂水方法检查,无泄漏为合格。

(9) 管道上仪表取源部件的开孔和焊接应在预制场所进行。

(10) 管段编号可用油漆或记号笔标记。焊工代号及检验标记应用油漆标注在距焊缝 $30\sim 40\text{mm}$ 处,严禁打钢印。

(11) 管段预制后应具有足够的刚性,否则,应采取措施防止变形。

四、管道加工要求 (表 60.2-1)。

钛及钛合金管加工工艺

表 60.2-1

项 目	内 容
管子切割	1. 钛及钛合金管子切断应采用机械方法,如手工锯、锯床、车床等,严禁采用氧-乙炔焰切割。 2. 采用手锯或锯床切管时,应选用耐磨的锋钢锯条或高碳钢锯条,切割速度宜慢。 3. 用车床切割时,应采用高速钢或碳化钨合金刀具,切削速度不宜太快,切割处宜用水溶性切削液对刀具的切屑进行冷却。使用高速钢车刀的切削速度为$10\sim 25\text{m/min}$;使用碳化钨车刀的切削速度为$30\sim 55\text{m/min}$。 4. 钛及钛合金管切割不宜采用砂轮切割机,因为砂轮切割机速度快,在切割中使切口受到高温影响,切口及热影响区受到气体污染而变质,同时切口处毛边很大
弯管加工	1. 钛及钛合金管可在冷态或预热($200\sim 300^{\circ}\text{C}$)状态下弯曲。为防止在局部弯曲处形成皱纹或波浪形,管子中应充填干砂,并用木榔头或铜榔头敲实,再进行弯曲。 2. 采用弯管机冷弯时应在管子中加装芯棒,以防止产生较大的椭圆度。 3. 管子弯曲半径不得小于3.5倍管外径。 4. 管子冷弯回弹力较大,为使冷弯后角度正确,必须将弯曲角度多弯$4^{\circ}\sim 8^{\circ}$。 5. 管子弯曲后,其椭圆度不应超过8%,而管壁减薄量不应超过名义壁厚的25%,管子弯曲后的表面上,不允许有裂缝、深的刻痕、碰凹及其缺陷
异径管及三通管制作	1. 异径管不允许摔制,一般应用钛及钛合金板在冷态下卷制,异径管的长度应不小于大小管径差的2.5倍。 2. 三通用管子焊制。小管径正三通的切口可用手锯开孔,大管径正三通则需要用锯床开孔。异径三通开孔,可采用钻床、铣床或搪床。 3. 钻床开孔所用钻头,一般为普通高速钢,钻头的两线螺旋顶角一般为118°和90°。钻孔时应注意防止钻头与管子卡住、断裂或咬合。切削速度不能太快,一般保持在$15\sim 20\text{m/min}$。钻孔时必须将孔内的切屑及时排除,并用冷却液进行冷却。钻孔时还应注意不使钻头空转或沿金属表面滑动。 4. 用铣床开孔时,采用高速钢或超硬合金钢铣刀,铣削的速度。当采用高速钢刀时为$15\sim 25\text{m/min}$,采用碳化钨合金刀时为$30\sim 50\text{m/min}$,冷却液可采用易溶于水的切削液或油质冷却液。 5. 三通制作坡口方法、坡口角度、组对等可参照不锈钢三通的制作方法

续表

项 目	内 容							
管子翻边	1. 钛及钛合金管翻边应在压力机上用三套模具（30°、60°、90°），逐渐压制而成。 2. 工业纯钛管翻边可在 200~300℃ 加热状态下进行，钛合金管翻边加热温度为 300~400℃。 3. 翻边管应酸洗后再热处理，翻边表面应平整，不允许有裂缝、划伤、刻痕和其他缺陷。 4. 钛及钛合金管翻边直径如下：							
管子翻边	管 径（mm）	108	159	219	273	325	426	529
	翻边直径（mm）	136	190	252	306	362	462	565

五、管段液压强度试验及清洗

（1）管段经外观、尺寸检查及无损检验合格后，应做液压强度试验，一般在预制场所进行。其试验介质为水，注水时应将空气排尽。

（2）试验用压力表应经校验合格，其精度不得低于 1.5 级。表的满刻度值为最大被测压力的 1.5~2 倍，压力表不得少于两块。

（3）液压强度试验压力应按下列公式换算：

1) 当工作温度低于或等于 75℃ 时：
$$P_s = 1.5P$$

2) 当工作温度高于 75℃ 时：
$$P_s = P_G \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_2}$$
 且不大于试验温度下的屈服极限的 0.9 倍

以上式中 P_s ——试验压力（MPa）；

P ——设计压力（MPa）；

P_G ——工作压力（MPa）；

$[\sigma]_1$ ——常温时材料的许用压力；

$[\sigma]_2$ ——工作温度时材料的许用应力（见表 60.2-2）。

工业纯钛在不同温度下的许用抗拉应力

表 60.2-2

牌 号	最小 抗拉 强度 MPa (kgf/ mm ²)	各温度(℃)下的许用抗拉应力,MPa(kg/mm ²)																
		—196	—125	—80	—60	—45	—30	—10	0	40	75	100	125	150	175	200	225	250
TA1	343 (35)	86 (8.8)	86 (8.8)	86 (8.8)	86 (8.8)	86 (8.8)	86 (8.8)	86 (8.8)	86 (8.8)	80 (8.2)	73 (7.5)	65 (6.6)	60 (6.1)	55 (5.6)	49 (5.0)	45 (4.6)	40 (4.1)	37 (3.8)
TA2	441 (45)				124 (12.7)	124 (12.7)	124 (12.7)	124 (12.7)	124 (12.7)	103 (10.5)	88 (9.0)	79 (8.1)	72 (7.3)	65 (6.6)	59 (6.0)	54 (5.5)	49 (5.0)	46 (4.7)
TA3	539 (55)						151 (15.4)	151 (15.4)	151 (15.4)	126 (12.9)	109 (11.1)	97 (9.9)	87 (8.9)	79 (8.1)	72 (7.4)	66 (6.7)	61 (6.2)	57 (5.8)

（4）液压强度试验宜在高于 5℃ 环境温度进行，否则应采取防冻措施。

（5）液压强度试验时，升压应缓慢，达到试验压力后，稳压 10min，以无泄漏，目测无变形为合格。

（6）在试验过程中，焊缝如有泄漏，不得带压修理，返修合格后，应重新试验。

（7）试验合格后，管内应用水冲洗，并用压缩空气吹干，封闭所有管口并及时填写管道（管段）试验记录。（格式见表 60.2-3）

管 道 试 验 记 录

表 60. 2-3

工程名称					分部分项 工程名称						
名 称				线 号				型号规格			
用途及介质				操作压力 (MPa)				操作温度		℃	
强度试验	试验部位						试验介质				
	试验压力 (MPa)						停压时间		min		
	结 果										
严密试验	试验部位						试验介质				
	试验压力 (MPa)						停压时间		min		
	结 果										
泄 漏 量 试 验	试验部位						试验介质				
	试验压力 (MPa)		试验温度 (℃)		试验时间 (h)		允许泄漏量		实际泄漏量		
	开始 P_1	終了 P_2	开始 T_1	終了 T_2	开始 t_1	終了 t_2	每小时	%	每小时	%	
	附计算公式： $A = \frac{100}{t} \left(1 - \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \right) \%$										
补充试验											
试验质量 评 定											
备 注											
建设单位代表： 年 月 日						施工技责人： 质量检查员： 试压负责人： 年 月 日					

六、管道安装

- (1)吊装管道用的钢丝绳、卡扣不得与管道直接接触。应用橡胶或石棉等制品予以隔离。
- (2)在安装过程中严禁损伤管道。
- (3)管道与支、吊架、支座或钢结构之间应垫入石棉垫片。
- (4)法兰在连接前,应检查其密封面,不得有影响密封性能的缺陷存在,并应保证密封面的清洁。
- (5)安装节流孔板时,其上、下游直管部分的长度应符合仪表设计的要求,在直管范围内不应有焊缝。孔板法兰内部的焊缝应修磨平整光滑。
- (6)温度计套管及其它插入件的安装方向与长度应符合设计要求。
- (7)管道穿越楼板、墙壁时,应加套管保护,但碳钢套管与钛管不得直接接触。
- (8)钛管安装后,严禁受到其它管道焊接的影响以及铁离子污染。
- (9)安装后的管道,不得承受设计规定以外的附加荷载。
- (10)有静电接地要求的管道,导线跨接或接地引线不得与钛管直接连接或焊接,应采用钛板过渡。
- (11)钛及钛合金管的安装要点见表 60. 2-4。

钛及钛合金管道安装要点 表 60. 2-4

项 目	内 容
施工准备	1. 管道安装前必须对管子、管件、阀门、垫片以及其他附件进行检查,管子及管件应具有制造厂的合格证、化学成分和机械性能等资料。管子及管件内外表面应光滑、清洁,不应有裂缝、划痕等缺陷。管子端部应平整无毛刺,并应检查管子壁厚是否符合要求。 2. 钛及钛合金管运输及堆放时,均应与碳钢管分开,防止钛及钛合金管表面沾染铁质,因为钛表面沾染铁质能引起腐蚀,而这种腐蚀又会导致氢进入金属内部引起氢脆。 3. 焊工必须经过培训,经考试合格后才能上岗操作
管道连接	1. 管子与有螺纹的设备接口连接时,采用螺纹连接。管子外螺纹用车床车制,车制螺纹时转速要慢,进刀量要小。管道螺纹连接可不用填料,而采用一氧化铅与甘油调合物,也可用聚四氟乙烯生料带。 2. 钛及钛合金属于贵金属,一般不采用钛板直接制造法兰,而是采用活套法兰连接结构。钛管可采用管口翻边活套法兰连接或焊环活套法兰连接,钛合金管只采用焊环活套法兰连接。 3. 翻边尺寸应符合要求,端面应平整。焊环的材质应与管子材质相同。焊环、钢法兰及螺栓等规格及各部分尺寸,可按国家标准、化工部标准的规定选用。 3. 钛及钛合金管焊接,必须在惰性气体保护或真空中进行,不能采用普通的手弧焊、氧-乙炔焊、二氧化碳气体保护焊。最常用的是手工或自动氩弧焊,焊接时要事先制作好套在焊炬上的拖罩,拖罩长度 60~150mm。焊接时管内先抽真空再充入氩气进行保护(工地上条件不允许时,可用氩气流将管内空气冲走,待到管内基本上都是氩气时,再将管端封死)。 焊口清洁是保证焊缝质量的重要一环。用溶剂擦拭时,避免戴橡皮手套,溶剂和橡胶手套中某些成分反应是导致产生气孔的原因之一,戴干净棉纱手套时,严禁棉纱残留在接缝处。使用氯化物溶剂脱脂会导致焊缝区在使用中产生应力腐蚀裂缝,应避免使用。焊接前用铁器敲打对口是不许可的,这将导致渗铁使焊缝变脆

项 目	内 容
安装注意 事项	1. 管子安装前应清除管子内外表面的油污、灰尘,并用回丝擦干净。 2. 管道安装、组装过程中,应尽量避免使用碳钢、低合金钢工具,特别是不允许使用钢丝刷,所用榔头可用不锈钢制造。 3. 管道支架间距应通过计算确定,管子与钢支、吊架不能直接接触,应填以橡胶板或软塑料板。 4. 钛的线膨胀系数与碳钢相近,当钛及钛合金管道输送介质温度较高时,且直管段较长时,在管路上应设计补偿器,在补偿器的设计中要充分考虑到钛的弹性模量较低这一因素。 5. 管道穿过墙壁、楼板时,应加装钢套管,管子与套管之间应填加不含铁质的绝缘物。 6. 为防止铁锈对钛及钛合金管焊环的腐蚀,在钢法兰与钛焊环之间应垫以橡胶、塑料、红纸柏等隔绝物,或在碳钢法兰接触面上涂绝缘漆。 7. 钛管不能直接与其他金属管道焊接连接,如进行连接时,可采用活套法兰连接。 8. 参加施工的人员所穿工作服应保持清洁,操作场地在使用前,应清除所存在的金属灰尘

第 3 节 管 道 焊 接

一、钛及钛合金的焊接特点

(1)焊接时易吸收气体使接头变脆。钛是化学活泼性非常强的元素,在液态或高于 600℃ 的固态下,极易吸收氧、氮、氢这些气体,使钛的性能发生显著的脆化。

1)氧的影响:氧不论在钛的 α 相或 β 相都有很高的溶解度,并能形成固溶体,引起钛及钛合金硬度、强度升高,塑性下降。氧溶入固溶体愈多,这种情况愈严重。当在 600℃ 以下时,钛的氧化膜薄而致密,对合金性能影响较小,但随着温度的升高,不仅会在材料表面形成氧化皮,更严重的是能穿越氧化膜向金属内部扩散,使金属性能进一步降低。为了保证焊接接头的性能,除焊接过程中要防止氧化外,母材含氧量应限制在 0.1%~0.15% 以内。

2)氮的影响:钛在 600℃ 以上与氮作用的速度显著增加,形成易溶于钛的氮化钛,焊缝中氮的含量超过 1%,易形成很脆的氮化物,使接头塑性更为下降。为了保证焊接接头的性能,除焊接过程中防止氮化外,母材含氮量应限制在 0.01%~0.05% 以内。

3)氢的影响:氢是钛中最有害的元素之一,氢在 400℃ 时,在钛中具有很大的溶解度。氢会降低钛及其合金的塑性及韧性而产生脆裂,同时在冷却过程中,由于溶解度的很大变化,使氢来不及排出而聚集成气孔。由于氢是引起接头气孔及裂缝的根源,因此焊接钛及钛合金时,要严防氢的侵入,对母材及焊丝中氢含量应限制在 0.01%~0.15% 以内。

4)碳与钛易形成脆性的碳化物,特别是碳含量超过 0.28% 时,会使钛的塑性显著下降,可焊性变差,钛中的含碳量应控制在 0.1% 以内。

5)钛与钢不能熔焊,因为 Fe 与 Ti 熔焊时形成钛化铁金属化合物,极脆,焊后冷却即开裂。因此钛熔池中不允许有铁污染。

(2)焊接时,容易发生过热,晶粒粗大而变脆,引起裂缝。由于钛及钛合金的熔点高,导热性