

钛
冶 金

冶金工业出版社

钛 冶 金

莫畏、邓国珠、陆德祯等 编著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍海绵钛工业生产方法的工艺过程,即钛矿石的富集、沸腾氯化制取四氯化钛、四氯化钛的精制、镁还原制取海绵钛和钠还原制取海绵钛;另外,还介绍了钛矿资源概况、钛和主要钛化合物的性质和用途、制取金属钛的方法概述等。

本书可供从事海绵钛生产和钛化合物生产的技术人员、工人及大专院校有关专业师生参考。

钛 冶 金

莫畏、邓国珠、陆德祯等 编著

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 12 3/8 字数 328 千字

1979年6月第一版 1979年6月第一次印刷

印数 00,001~5,450 册

统一书号: 15062·3422 定价 1.20 元

说 明

钛是重要的稀有金属。由于钛和钛合金具有许多优良的性能，目前已广泛应用于航空、宇航、化工、石油、纺织、冶金等工业部门，故钛有“现代金属”之称。

我国蕴藏着极其丰富的钛矿资源，为发展钛工业提供了雄厚的物质基础。为适应我国钛工业和其他工业发展的需要，我们编写了这本《钛冶金》，供有关同志参考。

由于钛工业所牵涉的领域十分广阔，为了突出重点，本书主要介绍海绵钛的生产工艺过程，结合我国现有生产状况，着重阐述一些工艺方法的理论基础，并力求做到理论与实践的结合。由于我们水平有限，经验不足，时间短促，书中错误缺点难免，恳请同志们批评指正。

参加本书部分章节编写工作的有李国勋、姚焕举、宋小中、曾志龙等同志；书稿承曹蓉江、张良安、孟德辉、蓬先敏、解云飞等同志审阅；还得到兄弟厂矿院校一些同志的大力协助。在此一并表示感谢。

编 者

1978年8月

目 录

第一章 钛的性质和用途	1
第一节 钛原子结构和在周期表中的位置	1
第二节 钛的物理性质	3
第三节 钛的化学性质	12
第四节 钛的应用	21
第二章 钛化合物	26
第一节 钛化合物的一般特征及分类	26
第二节 氯化钛	27
第三节 其他卤化钛	46
第四节 氧化钛	50
第五节 氢氧化钛	62
第六节 硫化钛	65
第七节 氮化钛和碳化钛	67
第八节 氢化钛	70
第九节 钛盐	71
第三章 钛的制取方法概述	78
第一节 制取钛的各种途径	78
第二节 海绵钛的工业生产方法	101
第三节 粉末钛的生产方法	113
第四章 钛矿石和钛铁矿的富集	123
第一节 钛矿石及其富集方法	123
第二节 电炉熔炼法	131
第三节 选择浸出法	142
第四节 选择氯化法	151
第五章 沸腾氯化制取四氯化钛	163
第一节 氯化反应热力学	163
第二节 沸腾氯化及动力学	172
第三节 工艺流程及主要设备	188
第四节 原料及其准备	203

第五节	沸腾氯化工艺	208
第六章	四氯化钛的精制	213
第一节	粗四氯化钛的杂质成分和性质	213
第二节	精制原理	221
第三节	精制工艺流程和主要设备	230
第四节	精制工艺	240
第七章	镁还原生产海绵钛	245
第一节	镁的准备	245
第二节	镁还原反应的理论基础	256
第三节	真空蒸馏的理论基础	268
第四节	工艺流程和主要设备	277
第五节	镁还原工艺及产品质量分析	290
第八章	钠还原生产海绵钛	300
第一节	钠的准备	300
第二节	钠还原反应的理论基础	311
第三节	水洗浸出和真空干燥的理论基础	324
第四节	工艺流程和主要设备	331
第五节	钠还原工艺及产品质量分析	336
第九章	“三废”处理和工业卫生	347
第一节	“三废”处理	347
第二节	工业卫生及安全	354
附表 1	某些钛化物的基本性质	363
附表 2	某些气体的性质	366
附表 3	某些物质的热容	368
附表 4	某些物质的标准生成热、自由焓及熵	373
附表 5	某些反应的标准自由焓	378
附表 6	泰勒筛和我国筛号对照	381
附表 7	工业纯钛在各种介质中的腐蚀数据	382
附表 8	硬度值对照表	386
主要参考文献		387

第一章 钛的性质和用途^(1,2,3,4)

第一节 钛原子结构和在周期表中的位置

一、钛原子结构

钛的原子序数是22，原子核由22个质子和20~32个中子组成。原子核半径为 5×10^{-13} 厘米。

钛原子核外22个电子结构排列为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$ 。原子失去电子的能力由电离势和电离能来衡量。钛原子的电离势和电离能列于表1-1。

表 1-1 钛原子的电离势和电离能

失去电子的次序	名 称	电离势 (电子伏特)	电离能 ($\times 10^{18}$ 焦耳)
1	4 s	6.83	1.09
2	4 s	13.57	2.17
3	3 d	27.52	4.40
4	3 d	44.12	7.06
5	3 p	100.4	16.06
6	3 p	122.0	19.51
7	3 p	143.3	22.9
8	3 p	173.5	27.8

由表1-1可见，钛原子的4s电子和3d电子的电离势较小，都小于50电子伏特，因此容易失去这四个电子。3p电子的电离势都在100电子伏特以上，是很难失去的。所以，钛原子的价电子是 $4s^2 3d^2$ ，钛的最高氧化态通常是正四价。

钛原子半径和离子半径如下：

原子或离子	Ti	Ti ⁺	Ti ²⁺	Ti ³⁺	Ti ⁴⁺
半径 r (Å)	1.46	0.95	0.78	0.69	0.64

已发现钛有13种同位素，其中稳定同位素5个，其余8个为不稳定的微量同位素。钛的同位素及其性质列于表1-2。

表 1-2 钛的同位素及其性质

同位素 质量数	丰 度 (%)	辐射特征	半 衰 期	热中子捕获截面 (巴)	热中子散射截面 (巴)
42	0.001	β^- , γ	—	—	—
43	0.007	β^- , γ	0.58天	—	—
44	0.0015		47年	—	—
45	0.0015	β^+ , γ	3.08小时	—	—
46	7.99	稳 定 同 位 素		0.6 ± 0.2	3.3 ± 1.0
47	7.32	"		1.6 ± 0.3	5.2 ± 1.0
48	73.97	"		8.0 ± 0.6	9.0 ± 4.0
49	5.46	"		1.8 ± 0.5	2.8 ± 1.0
50	5.25	"		0.2	3.3 ± 1.0
51	0.0001	β^- , γ	5.9分	—	—
52	0.0001	β^- , γ	41.9分	—	—
53	0.0001	β^- , γ	—	—	—
54	0.003	β^- , γ	—	—	—

二、钛在周期表中的位置

钛是元素周期表中第四周期的副族元素，即ⅣB族（又称为钛副族）元素，除钛（ $_{22}\text{Ti}$ ）外，还有锆（ $_{40}\text{Zr}$ ），铪（ $_{72}\text{Hf}$ ）和人工合成元素 $_{104}\text{Ku}$ 。钛、锆、铪原子的外层电子结构分别为： $\text{Ti}[\text{Ar}]3d^24s^2$ ， $\text{Zr}[\text{Kr}]4d^25s^2$ ， $\text{Hf}[\text{Xe}]5d^26s^2$ 。由此可见，钛族元素的原子具有相似的外电子构型，即价电子都是 d^2s^2 ，因而钛、锆和铪的原子半径相似，它们的许多性质也相近，它们彼此之间可以形成无限固溶体。不过，钛、锆、铪及它们的化合物在性质上也有差异。例如， TiO_2 是两性氧化物，而 ZrO_2 、 HfO_2 为碱性氧化物； TiCl_4 是弱酸性化合物，而 ZrCl_4 、 HfCl_4 则为两性化合物。

ⅣA族，即碳族元素的原子也和ⅣB族具有相似的外电子构型，不过其价电子不是 d^2s^2 ，而是 s^2p^2 。钛族与碳族是同周期

元素，它们具有共性，即通常都表现最高氧化态为正四价。碳族元素的金属性质随着原子序数的增加而递增，原子序数最小的碳（C）是非金属元素，原子序数最大的铅（Pb）是金属元素。但是，钛族元素都具有金属性质，这是与碳族元素的基本区别。

钛与其相邻的ⅢB族（ d^1s^2 ）、ⅤB族（ d^3s^2 ）元素的原子最外层电子数相同，不同的是次外层电子数。因为对元素的化学性质发生主要影响的是最外层电子，次外层电子的影响就小得多。所以，钛与ⅢB族元素（钪、钇）和ⅤB族元素（钒、铌、钽）在性质上也很相近，钛可与这些元素形成无限固溶体。在自然界存在的钛矿物中，经常有这些元素存在。

第二节 钛的物理性质

一、物理性质

1. 晶体结构 金属钛具有两种同素异形态，低温（ $<882.5^\circ\text{C}$ ）稳定态为 α 型，密排六方晶系；高温稳定态为 β 型，体心立方晶系。

α -Ti的晶格参数， 25°C 时为： $a=2.9503\pm0.0004\text{Å}$ ， $c=4.6832\pm0.0004\text{Å}$ ， $c/a=1.5873\pm0.0004$ 。由于 α -Ti的 c/a 比值小于理想球形轴比1.633，所以钛是可锻性金属。 α -Ti中存在的杂质对其晶格构造是有很影响的，微量氧、氮的存在会使晶格沿 c 轴方向增长，引起 c 值的增加，而 a 值实际上几乎不发生变化。

β -Ti的晶格参数， 900°C 时 $a=3.3065\pm0.0001\text{Å}$ 。

2. 相变性质 钛的两种同素异形态转化（ $\alpha\text{-Ti}\rightleftharpoons\beta\text{-Ti}$ ）温度为 882.5°C ，由 α -Ti转化为 β -Ti时，其体积增加为5.5%。氧、氮、碳是 α -Ti的稳定剂，在钛中存在氧、氮、碳杂质则会使相变（ $\alpha\text{-Ti}\rightarrow\beta\text{-Ti}$ ）温度升高，从而可根据转化温度的变化来判断钛中杂质含量的多寡。

晶型转化潜热为 $881.4\sim950$ 卡/克原子。

钛的熔点为 $1668\pm4^\circ\text{C}$ 。由于熔融钛几乎可与一切耐火材料

发生作用，因此测量熔化潜热较为困难。已测得熔化潜热范围是3.7~5.0千卡/克原子。熔点时液钛的表面张力为1588达因/厘米，1730°C时液钛的动力粘度为 8.9×10^{-5} 米²/秒。

钛的沸点为 $3260 \pm 20^\circ\text{C}$ ，气化潜热为102.5~112.5千卡/克原子。

钛的临界温度约为4350°C，临界压力为1130大气压。

3. 密度和膨胀系数 α -Ti的密度在20°C时为4.506~4.516克/厘米³。因为钛与氧形成间隙固溶体时，其晶格发生明显的畸变，所以当钛中含有氧时，其密度随之增加。

α -Ti单晶的线膨胀系数是各向异性的，在0°C时 a 轴方向为 7.34×10^{-6} /度， c 轴方向为 8.9×10^{-6} /度。由于 c 轴方向的线膨胀系数比 a 轴方向大，所以六方晶胞轴比 c/a 值随温度的升高而增加。

在20~300°C时 α -Ti多晶的平均线膨胀系数为 8.2×10^{-6} /度。

900°C时 β -Ti的密度为4.32克/厘米³，1000°C时为4.30克/厘米³。熔化钛密度（在熔点温度）为 4.11 ± 0.08 克/厘米³。

4. 蒸气压 金属钛的蒸气压是很低的，在900°C时仅为 1×10^{-10} 毫米汞柱。其饱和蒸气压，固体 β -Ti为：

$$\lg P(\text{毫米汞柱}) = 10.66 - 24275T^{-1} \\ - 2.3 \times 10^{-4}T \quad (1200 \sim 2000\text{K})$$

液相钛为：

$$\lg P(\text{毫米汞柱}) = 9.135 - 22110T^{-1} \quad (\text{熔点} \sim \text{沸点})$$

5. 导热性能 钛的导热性较差，其导热系数比不锈钢略低。钛的纯度对其导热性能影响较大，杂质的存在使钛的导热系数降低。

纯钛的导热系数与温度的关系如图1—1所示。在0~50K范围内，导热系数随温度升高逐渐增加，在50K时达到最大值（8.8卡/米·秒·度）。高于50K时，导热系数随温度升高逐渐减少，约在800K时达到最小值（5.9卡/米·秒·度）。高于800K时，导热系数随着温度升高略有增加。纯钛的导热系数 λ （卡/米·秒·度）

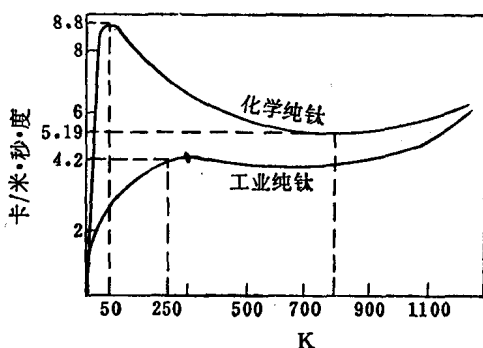


图 1—1 钛的导热系数与温度的关系

可由下式计算：

$$\lambda = 6.4 - 7.85 \times 10^{-3}t + 1.97 \times 10^{-5}t^2 - 2.32 \times 10^{-8}t^3 + 1.1 \times 10^{-11}t^4 \quad (t > 0^\circ\text{C})$$

工业纯钛的导热系数，在0~250K时，随着温度升高逐渐增加，在250K时达到最大值（4.2卡/米·秒·度）。高于250K时，导热系数随着温度升高略有减少，约在580K时达到最小值（4.04卡/米·秒·度）。工业纯钛的导热系数 λ （卡/米·秒·度）可由下式计算：

$$\lambda = 4.2 - 1.1 \times 10^{-3}t + 1.8 \times 10^{-6}t^2 + 1 \times 10^{-12}t^4 \quad (t > 0^\circ\text{C})$$

6. 导电性能 钛的导电性能较差，近似于不锈钢。若以铜的导电率为100%，则钛仅为3.1%。钛中杂质的存在，使其导电性降低。钛的导电性随温度的变化关系如图1—2所示。

α -Ti的电阻率随温度增高而增加，当达到相变（ α -Ti $\rightarrow\beta$ -Ti）温度时，电阻率突降。 β -Ti的电阻率随温度的升高略有增加。

20°C时，纯钛的电阻率为42.0微欧·厘米。在不同温度下 α -纯钛的电阻率 ρ 为：

$$\rho = 0.385 + 1.75 \times 10^{-3}t - 7 \times 10^{-13}t^4 \quad (\text{微欧} \cdot \text{米})$$

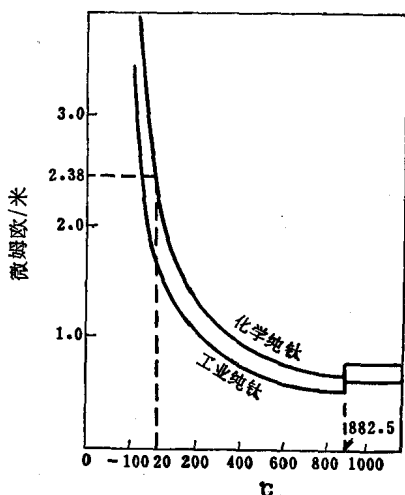


图 1—2 钛的电导率与温度的关系

20°C时,工业纯钛的电阻率为55.6微欧·厘米。在不同温度下, α -工业纯钛的电阻率 ρ 为:

$$\rho = 0.51 + 2.25 \times 10^{-3}t - 8.6 \times 10^{-10}t^3 \text{ (微欧·米)}$$

7. 超导性 钛具有超导性,它对于由杂质或冷加工所引入的晶格内应变是极其敏感的,属于“硬超导体”。纯钛的超导临界温度为0.38~0.4K。

8. 磁性质 金属钛是顺磁性物质。它的磁化率随温度升高而增加,如图1—3所示。20°C时, α -Ti的磁化率为 $(3.2 \pm 0.4) \times 10^{-6}$ 电磁系单位/克; 900°C时, β -Ti为 4.5×10^{-6} 电磁系单位/克。

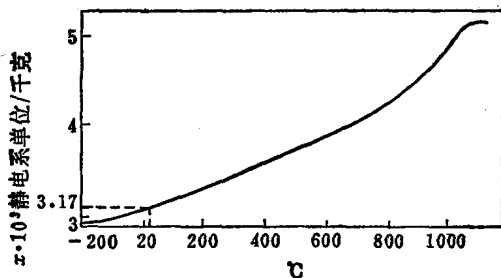


图 1—3 钛的磁化率与温度的关系

钛的导磁率为1.00004。

9. 光学性质 温度高于800°C时, α -Ti对入射光波长为6520 Å的发射率为0.459; 900°C的 β -Ti为0.484, 1000°C的 β -Ti为0.482。钛的光学性质列于表1-3中。

表 1-3 钛的光学特性

入射波长(Å)	4000	4500	5000	5500	5800	6000	6500	7000
反射率(%)	53.3	54.9	56.6	57.05	57.55	57.9	59.0	61.5
折射指数	1.88	2.10	2.325	2.54	2.65	2.76	3.03	3.30
吸收系数	2.69	2.91	3.13	3.34	3.43	3.49	3.65	3.81

钛表面氧化膜对其反射能力影响很大, 氧化膜的存在显著降低对可见光的反射能力; 对紫外光影响较小。

二、热力学性质

1. 热容 在25°C下钛的热容为0.126卡/克原子·度。 α -Ti的热容随温度的升高而增加(图1—4), 当温度趋近晶型转化温度(882.5°C)时, 热容急剧升高, 达到30卡/克原子·度。超过相变温度后, 热容随温度升高而下降。25°C时原子热容 C_p 为5.976卡/克原子·度。

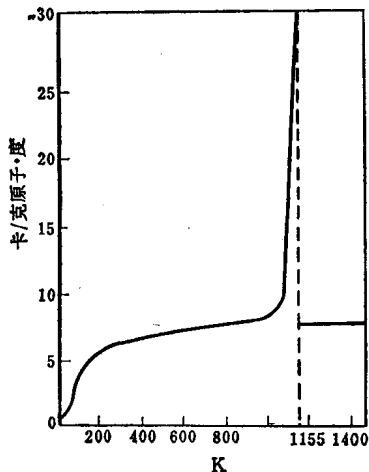


图 1—4 钛的热容与温度的关系

$$\alpha\text{-Ti: } C_p = 5.25 + 2.52 \times 10^{-3}T \quad (298 \sim 1150\text{K}).$$

$$\beta\text{-Ti: } C_p = 6.58 + 9.7 \times 10^{-4}T - 1.55 \times 10^{-7}T^2 \quad (1200 \sim 1900\text{K}).$$

熔融钛 C_p 为 7.9 卡/克原子·度。

$$\text{气体钛 } C_p = 6.33 - 0.00234T + 1.47 \times 10^{-6}T^2 - 2 \times 10^{-10}T^3 \quad (200 \sim 4000\text{K}).$$

钛的平均热容 ($\bar{C}_p$) 举例如下:

温 度 (°C)	20	100	200	300	400	500
$\bar{C}_p$ (卡/克原子·度)	0.120	0.130	0.133	0.136	0.139	0.141

温 度 (°C)	600	700	800	900	1000	1100	1200
$\bar{C}_p$ (卡/克原子·度)	0.143	0.145	0.148	0.166	0.165	0.164	0.164

2. 热焓 在 25°C 时钛的热焓为 1149 卡/克原子。

$$\alpha\text{-Ti: } H_T^0 - H_0^0 = 5.228T + 0.00128T^2 + 950T^{-1} - 523 \quad (200 \sim 1500\text{K})$$

$$\beta\text{-Ti: } H_T^0 - H_0^0 = 1820 + 4.115T + 0.001244T^2 \quad (1155 \sim 1900\text{K})$$

3. 熵 钛在 25°C 的熵为 7.33 卡/克原子·度。

$$\alpha\text{-Ti: } S_T^0 = 9.33 + 0.0078T - 1290T^{-1} \quad (160 \sim 1100\text{K})$$

$$\beta\text{-Ti: } S_T^0 = 8.18 + 0.0975T - 1.5 \times 10^{-6}T^2 \quad (1200 \sim 1900\text{K})$$

$$\text{液相钛: } S_T^0 = 13.36 + 0.00148T - 6.5 \times 10^{-7}T^2 \quad (2000 \sim 3000\text{K})$$

$$\text{气体钛: } S_T^0 = 56.11 + 0.00048T - 4320T^{-1} \quad (200 \sim 5000\text{K})$$

三、机械性质

钛具有可塑性。高纯钛的延伸率可达 50~60%，断面收缩率可达 70~80%，但强度低（碘化钛的抗拉强度 22~29 公斤/

表 1-4 钛和其他金属材料机械性能比较

项 目	类 别	工业纯钛 (棒管板)			铝	黄铜 (H68)	镍	钴	钼	铌	1Cr18Ni9Ti 不 锈, 钢	Cr18Ni12Mo2Ti 不 锈 钢
		TA ₁	TA ₂	TA ₃								
抗 拉 强 度		35	45	55 (棒)		32 (软)						
			45~60	55~70(管)	5~7		45~52	35~49	22~40	30~40	55	55
σ_b (公斤/毫米 ²)		35~50	45~60	55~70(板)		66 (硬)						
延 伸 率		25	20	15 (棒)		55 (软)						
			20	15 (管)	28~49		35~40	20~35	12~35	40~50	40	40
δ_s (%)		40~60	25~30	20~25(板)		5 (硬)						
收 缩 率 ψ (%)		50	45	40 (棒)		70 (软)		30~60	40~70	80~90	55	55
冲 击 值 σ_K (公斤·米/厘米 ²)		8.0	7.0	5.0 (棒)		17 (软)	18~19				34	
弯 曲 角 γ (度)		130~140	90~100	80~90(板)								
屈 服 强 度 σ_s (公斤/毫米 ²)			35~50		1.5~3	9.1(软) 52 (硬)	14~21	20~46	22~44	23~33	20	22

表 1-5 各杂质对钛 (100HB) 硬度的影响

杂质名称	N	O	C	Fe	Co	Si	Cr	Mo	Ni	Mn	V	Cu	Al	Sn	Zr
重量基准	1.33	1.00	0.63	0.35	0.11	0.10	0.09	0.089	0.065	0.056	0.037	0.034	0.030	0.025	0.013
原子基准	0.99	1.00	0.47	1.23	0.41	0.18	0.29	0.53	0.24	0.19	0.12	0.10	0.05	0.17	0.08

表 1-6 各种杂质含量对钛硬度增加量的影响〔5〕

杂质元素 硬度增加量 (千克/毫米 ²) 杂质含量 (%)	N	N + O	O	C	Fe	Si
0.005	4.0	3.2	3.1	2.1	1.3	0.35
0.010	8.0	6.4	6.2	4.2	2.6	0.70
0.015	12.0	9.6	9.3	6.4	3.9	1.05
0.020	15.7	12.8	12.4	8.5	5.1	1.40
0.025	19.4	16.0	15.5	10.7	6.2	1.75
0.030	22.9	19.1	18.6	12.9	7.3	2.05
0.035	26.2	22.2	21.7	15.1	8.4	2.40
0.040	29.5	25.3	24.8	17.2	9.5	2.80
0.045	32.8	28.4	27.9	19.3	10.5	3.15
0.050	36.0	31.5	31.0	21.4	11.4	3.50
0.055	39.2	34.6	34.0	23.5	12.2	3.85
0.060	42.4	37.7	37.0	25.6	13.1	4.20
0.065	45.6	40.8	40.0	27.4	13.9	4.60
0.070	48.8	43.9	43.0	29.2	14.7	4.90
0.075	52.0	47.0	46.0	30.7	15.5	5.30
0.080	55.2	50.1	49.0	32.2	16.3	5.65
0.085	58.4	53.2	52.0	33.7	17.0	6.00
0.090	61.6	56.3	55.0	35.1	17.0	6.35
0.095	64.8	59.4	58.0	36.5	18.4	6.70
0.10	68.0	62.5	61.0	37.8	19.0	7.05
0.11	74.0	68.3	66.6	39.1	20.2	7.75
0.12	79.9	74.1	72.2	40.4	21.4	8.40
0.13	85.5	79.6	77.5	41.7	22.6	9.05
0.14	90.6	84.6	82.3	43.0	23.8	9.70
0.15	95.5	89.4	87.1	44.3	25.0	10.35
0.16	100.2	94.0	91.6	45.6	26.0	11.00
0.17	104.9	98.2	96.1	46.9	27.0	11.65
0.18	108.8	102.0	99.8	48.2	28.0	12.30
0.19	112.5	105.6	103.3	49.5	29.0	12.95
0.20	116.0	109.0	106.6	50.8	30.0	13.60

毫米²), 不宜作结构材料。钛中杂质的存在, 对它的机械性能影响极大, 特别是间隙杂质(氧、氮、碳)可大大提高钛的强

表 1-7 钛和其它金属材料物理性能比较⁽⁶⁾

项 目	钛 (工业纯)	镁	铝	铁	铜	镍	钼	钴	1Cr18Ni9Ti 不 锈 钢	1Cr18Ni12Mo2Ti 不 锈 钢
密度 (20℃) (克/厘米 ³)	4.5	1.7	2.7	7.9	8.96	8.9	16.6	6.5	7.9	7.92
熔 点 (℃)	1618	650	660	1535	1083	1455	2996	1830	1400~1425	1370~1400
比热 (卡/克·℃)	0.138 (20℃)	0.240	0.214 (20℃)	0.110 (20℃)	0.092 (20℃)	0.105 (20℃)	0.036 (0℃)	0.067 (20℃)	0.12	0.12
电 阻 系 数 (微欧·厘米)	47.8	4.3	2.83 (0℃)	9.7	1.72	7.8 (20℃)	12.4 (18℃)	45.0	72	
导 热 系 数 (卡/厘米·秒·℃)	0.41 (25℃)	3.5	0.52 (25℃)	2.00	0.94	0.198 (100℃)	0.130 (25℃)	0.04 (100℃)	0.039 (100℃)	0.047 (100℃)
线膨胀系数 × 10 ⁻⁶ (1/℃)	8.5 (25℃)	26.0	22.9 (25℃)	11.7	16.5	13.5 (25℃)	6.5 (25℃)	5.2 (25℃)	16.6 (20~100℃)	16.1 (20~200℃)
弹 性 模 数 (公斤/毫米 ²)	10850	4360	7210	20000	11200	21000	18900	7910	20300	20300
磁化率 $\alpha \times 10^{-6}$ (厘米·克·秒制)	3.15 ± 0.02		-0.086 (18℃)				0.93	-0.45		