

化工设备设计全书

钛制化工设备

《化工设备设计全书》编辑委员会
黄嘉琥 应道宴 等编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

化工设备设计全书

钛制化工设备

《化工设备设计全书》编辑委员会

黄嘉琥 应道宴 等编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

钛制化工设备/黄嘉琥等编. —北京: 化学工业出版社, 2002.8
(化工设备设计全书)
ISBN 7-5025-3826-7

I. 钛… II. 黄… III. 钛合金-应用-化工设备
IV. TQ050.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 032822 号

化工设备设计全书

钛制化工设备

《化工设备设计全书》编辑委员会

黄嘉琥 应道寰 等编

责任编辑: 段志兵

责任校对: 顾淑云

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 13½ 字数 448 千字

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3826-7/TQ·1530

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

《化工设备设计全书》第一版由原化学工业部化工设备设计技术中心站组织全国高校、科研、设计、制造近百家单位参与编写。

《化工设备设计全书》以结构设计、强度计算为主，从基础理论、设计方法、结构分析、标准规范、计算实例等方面进行了系统的阐述，并对相应的化工原理作简介。《全书》在重视结构设计、强度计算的同时，结合化工过程的要求去研究改进设备的设计，提高设备的效率，降低设备的成本，以求实现化工单元操作的最佳化，并力求反映当前国内及国际的先进技术。《全书》自20世纪80年代出版发行后，因其内容的实用性，得到化工、石化、医药、轻工等相关行业的设备专业人员欢迎。

近十余年来，我国化工装置的设计，化工设备的研究、开发、制造和标准化工作有了较大的发展，建造设备用的结构材料也有了新的进展，有必要对《全书》的内容加以更新、补充，以适应现代工程建设要求，满足广大工程技术人员，特别是年青一代工程技术人员需要。中国石油和化工勘察设计协会、中国石化集团上海医药工业设计院、全国化工设备设计技术中心站组成了《化工设备设计全书》编辑委员会，负责《全书》的修订工作。《全书》的修订原则是“推陈出新”，以符合现代工程建设要求。

《化工设备设计全书》计划出版15种，计有：《化工设备用钢》、《化工容器》、《高压容器》、《超高压容器》、《换热器》、《塔设备》、《搅拌设备》、《球罐和大型储罐》、《废热锅炉》、《干燥设备》、《除尘设备》、《铝制化工设备》、《钛制化工设备》、《石墨制化工设备》和《钢架》等。

本书为《钛制化工设备》，系统地介绍了钛材的牌号与性能、钛制设备的强度计算、结构设计及制造工艺，书后附录列举了钛材及钛制设备国内外标准及数据。

本书原编写者有：原化工部第四设计院王姚琴、杨泽光，全国化工设备设计技术中心应道襄，上海有色金属研究所吴成龙，燕山石化公司王佩珍，北京有色冶金设计研究院吴敬薰、宋秀贞，岳阳化工总厂设计院黄其莲。现由黄嘉琥、应道襄负责主编。

《化工设备设计全书》编辑委员会

2002年1月

目 录

第一章 概论	1	第四章 结构设计	85
第一节 钛材概述	1	第一节 全钛制设备	85
一、钛材简况	1	一、选用原则	85
二、钛材标准	1	二、结构特点	85
第二节 钛制化工设备概况	2	三、零部件结构	85
一、钛制化工设备的应用	2	第二节 钛衬里设备	94
二、钛制化工设备的地位与标准	4	一、选用原则	94
三、钛制化工设备的经济性	5	二、衬里方法概述	94
第三节 设计钛制设备的注意事项	6	三、设计特点	94
一、使用范围	6	四、衬里设计的考虑因素	94
二、钛材的选择	6	五、衬里结构设计	95
三、结构和零部件设计	6	第三节 钛复合钢板制设备	101
四、技术要求	7	一、选用原则	101
五、其他	8	二、复层厚度	102
第二章 钛材品牌和性能	9	三、结构设计	102
第一节 钛材的品牌	9	第四节 钛制换热器	105
一、钛材分类	9	一、固定管板式换热器	105
二、钛材牌号、成分	10	二、U形管换热器	110
三、钛材品种、规格和状态	13	三、填料函式换热器	110
第二节 力学性能	17	四、盘管换热器	111
一、标准要求的力学性能	17	五、套管换热器	111
二、工业纯钛的力学性能	23	六、板式换热器	112
三、常用钛合金的力学性能	28	第五节 塔	112
四、钛中杂质元素对力学性能的影响	32	一、塔体	112
五、常用合金元素对力学性能的影响	34	二、塔盘板	112
六、加工和热处理对力学性能的影响	34	三、塔盘板的固定	112
第三节 物理与化学性能	35	第六节 反应釜	116
一、物理性能	35	一、搅拌轴材料和结构形式	116
二、化学性能	39	二、搅拌器形式	117
第四节 耐腐蚀性能	41	三、搅拌轴支承结构	119
一、钛的耐腐特点	41	四、搅拌附件——挡板	120
二、钛的耐腐蚀性能	51	第七节 密封特点和垫片	120
三、耐蚀钛合金的耐腐蚀性	69	一、密封特点	120
四、合金和杂质元素对钛耐腐蚀性能的影响	75	二、垫片形式和材质	120
第三章 强度计算	80	第八节 钛制流体机械	122
一、最小壁厚	80	第五章 钛制设备制造工艺	125
二、安全系数与许用应力	80	第一节 铸造与粉末冶金	125
三、焊接接头系数	80	一、铸造	125
四、强度计算方法	81	二、粉末冶金	126
		第二节 压力加工	127
		一、压力加工特性	127
		二、弯曲变形	127

六、冲压成型	128	二、表面镀钍	157
四、锻造	130	三、氮化处理	158
五、胀管	131	四、涂钉	160
六、卷边	131	五、阳极化处理	161
第三节 焊接	132	六、表面铁污染检查	164
一、熔融焊	132	附录一 国外的钛及钛合金	166
二、爆炸焊	142	一、各国牌号对照	166
三、钎焊	146	二、美国	166
第四节 切削加工	148	三、日本	166
一、钛的性能对切削加工的影响	148	四、俄罗斯	166
二、钛材切削加工的基本原则	148	五、德国	166
三、钛的各种切削加工	149	六、英国	166
第五节 衬里	150	七、其他	166
一、活套衬钛法	151	附录二 国外钛容器与容器用钛	192
二、机械连接法	151	一、钛容器标准	192
三、机械撑紧法	151	二、容器用钛	192
四、热套法	152	三、许用温度	192
五、热压胀法	152	四、许用压力	192
六、滚压法	152	五、许用应力	192
七、爆炸衬里法	153	六、安全系数	192
八、局部固定衬里法	154	七、焊接接头系数	192
第六节 热处理	154	八、高温强度	192
一、工业纯钛 (α 钛) 的热处理	154	九、物理性能	192
二、TC4 ($\alpha + \beta$ 钛) 的热处理	155	十、弯曲试验参数	192
三、Ti-32Mo-2.5Nb (β 钛) 的热处理	156	附录三 钛管焊环活套法兰系列	204
四、热处理中的几个问题	156	参考文献	207
第七节 表面处理	157		
一、机械处理	157		

第一章 概 论

第一节 钛材概述

一、钛材简况

1795年德国化学家M·H·克拉普鲁斯发现了钛元素,并命名为Titanium,意为希腊大力神Titans之意。1940年卢森堡科学家W·J·克劳尔采用镁还原TiCl₄制取海绵钛以来,镁法一直为生产海绵钛的主导工业生产法。1948年美国利用这一技术制出了数吨海绵钛,开始了钛的工业规模生产。1952年在日本,1953年在英国,1958年在苏联、20世纪60年代初在中国都陆续开始海绵钛生产,产量由吨级跃升到万吨级。世界海绵钛年生产能力大致为:20世纪60年代6万吨,70年代11万吨,80年代13万吨,90年代14万吨。海绵钛的实际产量在1990年最高,达10.5万吨。90年代后期由于亚洲金融危机等原因,海绵钛生产能力降至11万吨,实际产量仅为6·9万吨。海绵钛主要由美国、哈萨克斯坦、俄罗斯、日本及中国生产。中国主要的海绵钛厂是遵义钛厂和抚顺铝厂,年生产能力约合3000t。遵义钛厂年生产海绵钛的能力为2000t,现正扩建,可达到年产0.8万吨。近50年来,全世界大约生产了250~300万吨海绵钛。

目前世界的钛熔炼能力约为每年22万吨,实际钛锭年产量不足10万吨,钛压力加工材料的年产量略低于6万吨,主要钛材生产国为美、日、俄、英、德、法、意、中等。我国钛压力加工材料的主要生产厂为宝鸡有色金属加工厂、沈阳有色金属加工厂等,其中宝鸡有色金属加工厂是国内最大的钛材专业化生产厂,具有4000t/a钛铸锭生产能力和2200t/a的钛加工材料生产能力,产量占国内钛材总产量的90%以上。1997年和1998年世界钛加工材料的需求量约为6万吨/年,我国约为1800t/a。我国钛压力加工材料中,80%以上为工业纯钛,其中板材和管材的产量占80%。铸锭最大尺寸为 $\phi 711\text{mm}$,重3.3t。铸钛真空炉的最大容量为0.5t。我国钛铸件的年生产能力已达400t,但年实际产量仅约30~40t。

钛在地壳中的储量很丰富,在地壳外层16km的范围内钛约占0.6%,仅次于氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾和镁,居第9位。而在结构金属中仅次于铝、镁和镍,占第4位。钛矿主要有金红石和钛铁矿两种。按含钛量计,世界已发现钛的储量约15亿吨,约为铁储量的四分之一,铬的20倍、镍的30倍、铜

的60倍,钼的600倍。我国钛矿储量按钛含量计约为4.8亿吨,多为钛铁矿。

钛的储量虽然丰富,产量却偏低,在重要结构金属的产量中,次于铁、铝、铜、锌、铅、镍、镁、锌、锡而占第10位。这是由于钛的活性高,需要消耗大量能量才能将钛从钛的化合物(钛矿)中游离出来成为海绵钛。钛的熔点高,极易与氧化合,因而必须在真空中熔炼。目前主要采用真空自耗电弧炉熔炼钛锭,采用真空凝壳炉熔炼钛铸件。生产钛的成本很高,致使钛材价格高,应用受到较多限制,这是钛生产量不高的主要原因。

我国钛材年产量约为1500t。按照工业均衡发展,世界上钢产量与钛产量的比例约为10000比1,而我国目前尚为10000比0.15,因此随着我国经济的发展,钛的生产将得到更大的增长。上海正在筹建年产数千吨钛材生产能力的生产设施。

虽然在结构金属中钛的储量占第4位,产量占第10位,但由于其应用的重要性,仍有人将钛列为铁、铝之后的“第三金属”。钛的应用主要有两大部分:利用钛的密度小、比强度(尤为高温下的比强度)高的特点,在航空航天机械中得到了应用;另一方面钛具有优异的耐腐蚀性能,大量用于化工过程设备。

二、钛材标准

钛制化工设备基本上按照钛材标准来订购与应用钛材。我国1964年开始钛的工业化生产,1970年进入大规模工业化生产。1970年制订了系统的钛材冶金部标准(YB 761-70~YB 767-70),20世纪80年代形成了国家标准(1983年~1987年),90年代对主要的钛材国家标准又进行了修订。应当说我国的钛材标准水平已与国外先进水平相当。我国目前有效的钛材标准及相关标准列于表1-1。

表1-1 中国钛材及相关标准

标准号	标准名称
GB/T 2965-1996	钛及钛合金棒材
GB/T 3620.1-1994	钛及钛合金牌号和化学成分
GB/T 3620.2-1994	钛及钛合金加工产品化学成分及成分允许偏差
GB/T 3621-1994	钛及钛合金板材
GB/T 3622-1999	钛及钛合金带、箔材
GB/T 3623-1998	钛及钛合金丝
GB/T 3624-1995	钛及钛合金管

续表

标准号	标准名称
GB T 3625—1995	换热器及冷凝器用钛及钛合金管
GB T 4698.1—4698.26—1996	海绵钛、钛及钛合金化学分析方法
GB/T 5168—1985	两相钛合金高低倍组织检验方法
GB T 5193—1985	钛及钛合金加工产品超声波探伤方法
GB T 6612—1986	重要用途 TA7 板材
GB/T 6613—1986	重要用途 TC4 板材
GB/T 6614—1994	钛及钛合金铸件
GB T 8180—1987	钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存
GB/T 8546—1987	钛-不锈钢复合板
GB/T 8547—1987	钛-钢复合板
GB/T 12969.1—1991	钛及钛合金管材超声波检验方法
GB T 12969.2—1991	钛及钛合金管材涡流检验方法
GB/T 13149—1991	钛及钛合金复合钢板焊接技术条件
GB T 14845—1993	板式换热器用钛板
GB/T 15073—1994	铸造钛及钛合金牌号和化学成分
GB/T 16598—1996	钛及钛合金饼和环
GB T 6887—1986	烧结钛金属过滤元件和材料

第二节 钛制化工设备概况

一、钛制化工设备的应用

1957年日本最先将工业纯钛作为耐腐蚀材料用于化工设备，解决了某些化工设备的严重腐蚀问题。日本的钛材大约有90%以上用于以化工设备为主的民用工业。日本在电站海水凝汽器中采用钛材取得了很大的成功，耐腐蚀、不污染，换热效率高，可靠性好。1977年至1999年，全日本的26座新建核电站都采用了钛凝汽器，合计使用了4783t薄壁钛焊管，同时32个新建的火电站也都使用了钛凝汽器，合计使用了2507t薄壁钛焊管。估计世界电站凝汽器用的薄壁钛焊管已达26300t以上。日本还在21套海水淡化装置上使用薄壁钛焊管，用量在4358t以上。美国用钛一直以航空制造为主，1955年以化工设备为主的民用钛仅占3%，1961年占5%，1966年占7%，1979年多达20%，近年约占25%~30%。俄罗斯民用钛在50%以上，英国约占40%~45%。我国约占80%。国内化工各部门用钛比例列于表1-2，我国引进化工设备用钛量比例列于表1-3，国产各类钛制化工设备中用钛比例列于表1-4。可见在化工设备用钛中，钛制换热器用量最多，已超过化工设备用钛量的一半。包括钛换热器在内的钛容器用钛约占化工设备

用钛量的四分之三。我国大部分化工设备制造厂以制造钢制化工设备为主，兼制钛制化工设备。也有以钛制化工设备为主的制造厂，如南京京色钛业有限公司即为我国制造钛制化工设备年产值最高的钛设备专业制造厂。

表 1-2 国内化工各部门用钛比例

部 门	用钛比例(%)
氯碱(包括氯酸钾)	25
化纤、化肥	18
无机合成、塑料	20
基本有机合成	15
染料、中间体	4
精细化工	3
其他	15

表 1-3 我国引进化工设备用钛量比例

部 门	用钛量比例(%)
氯碱	25
纯碱、化肥	16
复合肥	15
合成纤维、塑料	22
有机合成	15
染料、中间体	4
精细化工	3

表 1-4 国产各类钛制化工设备用钛比例

钛制化工设备类型	用钛比例(%)
换热器	56.68
电解槽	20.41
容器(除换热器外)	16.28
其他	6.63

可以说，采用钢和其他金属制造的化工设备，一般都可以用钛制造。这里的化工设备并不只是狭义的化工厂的设备，而是广义的化工过程设备。除化工外还包括石油、石油化工、轻工、纺织(化纤)、湿法冶金、制药、电站、海洋工程等行业、领域。钛制化工设备通常可分为静设备和动设备两类。静设备中主要是容器，容器除塔、槽、釜、罐外，还包括换热器，如管壳式换热器、板式换热器(平板、伞板、卷板等)、管式换热器(蛇管、盘管、套管等)。静设备还有电化学装置(电解槽、电极板、电镀槽等)以及阀门、管件等。动设备包括泵、风机、分离机(离心机、压滤机等)、压缩机、冷冻机、空分设备等。

国内的钛制化工设备主要用于下列部门。

1. 氯碱工业 用于金属阳极电解槽、离子膜电解槽与阳极液泵、湿氯冷却器、精制盐水预热器、脱氯塔、氯气冷却洗涤塔；用于漂粉精生产系统中的氯

化桶与离心机；用于次氯酸钠生产系统中的冷却盘管与次氯酸钠成品泵。

2. 纯碱工业 用于平板换热器、伞板换热器、平板冷凝器、结晶外冷器、氯化铵母液加热器以及相应的泵、阀门、碳化塔冷却管、蒸馏塔顶氨冷凝器、CO₂透平压缩机转子叶轮；用于联碱生产中的结晶外冷器、氨盐水伞板冷却器与平板冷却器、CO₂透平压缩机油冷却器（平板）、碱液泵、母液预热器

3. 农药生产 用于六六六合成液冷却器、氯化釜内冷却蛇管、蒸馏罐及其阀门、管件；用于“乐果”中间体反应罐、冷凝管、流量计与阀门；用于敌鼠钠盐生产中的醋酸、醋酐回收装置；用于马拉硫磷生产中的湍流吸收塔、恒沸塔、浓酸汽液分离器、酸水蒸发冷凝器等。

4. 尿素生产 用于尿素合成塔衬里、氨汽提塔、一般分解塔加热器、甲铵泵的进、排液阀与弹簧、高压混合器等。

5. 钛白粉生产 用于薄膜浓缩器、煅烧窑进料管、离心机分布盘等。

6. 精细化工 用于防老剂J冷却器、白炭黑生产中的搅拌器、塔盘、浮阀、喷嘴等，吐氏酸生产中的氯化锅等。

7. 合成纤维和人造纤维 用于维尼纶生产中的醋酸精馏塔、冷凝器和阀门、管件；用于己内酰胺生产中的二盐反应器、水解器、肟化反应器、二盐水解中间加热器、羟胺冷却器、羟胺换热器、羟胺二磺酸盐加热器、尾气罗茨鼓风机、光亚硝化反应器；用于涤纶生产中的高温洗涤器及冷凝器、高温加热器、屏蔽泵、醋酸脱水塔及阀门、管件；用于人造纤维生产中的塑化槽、电渗析器阳极板等。

8. 基本有机合成 用于乙烯氧化制乙醛装置中的反应器、氧化塔、催化剂再生器、除沫器、第一和第二冷凝器、脱高沸物塔、泵等；用于丙烯氧化制丙酮装置中的文氏混合器、氧化下加热器、羰化下加热器、氧化分离器、贫氧空气冷凝器、液位控制器、碳化反应器、闪蒸塔、催化剂再生器、催化剂过滤器、催化剂循环泵、阀门、管件管；用于乙醛氧化制醋酸装置中的氧化塔、脱沸塔、醋酸回收塔、醋酸冷凝冷却器、高沸物再沸器、泵、阀等；用于轻油氧化制醋酸装置中的冷凝器、加热器、分离塔、氧化塔、阀门等；用于甲醇低压羰基化制醋酸装置中的闪蒸器、精馏塔等；用于丙烯酸生产装置中的塔盘、再沸器等；用于对苯二甲酸生产装置中的氧化反应器及相应设备；用于氯乙醇法生产环氧乙烷装置中的次氯酸化塔、碱洗塔；用于环氧氯丙烷生产装置中的二氯丙醇反应器、二氯丙醇循环槽、二氯丙醇缓冲槽、环化塔塔板与浮阀、冷蒸塔栅板、二氯丙醇循环泵和进料泵

等；用于以乙烯为原料生产聚氯乙烯装置中的热骤冷塔、废水汽提塔、废水储罐等；用于合成脂肪酸生产装置中的C₅~C₆脂肪酸精馏塔再沸器，C₁~C₄脂肪酸冷凝器等；用于苯甲酸和苯酐生产装置中的恒沸塔、苯甲酸精馏塔及其冷凝器等；用于顺酐生产装置中的恒沸塔、冷凝器、蒸发器、汽水分离器、滚筒、成型机等。

9. 硝酸生产 用于硝酸蒸发器、氧化氮尾气预热器、硝酸蒸汽预热器、气体洗涤器、快速冷却器、冷凝器、涡轮鼓风机、泵、阀门、管道等；用于硝酸生产装置中的鼓泡器；用于碳铵生产装置中的氨水泵；用于硫铵生产装置中的硫铵蒸发器等。

10. 无机盐生产 在氯化镁、氯化钾、氯化钡、氯化铜、液体氯化钙和氯化锰等生产装置中的反应器、结晶器、换热器、蒸发器、洗涤器、吸收器、泵、阀门、管件等上应用；用于溴化亚铁生产中的蒸发器，溴化铁生产中的吸收器、喷淋器、风机、泵等；用于碘化钠生产中的蒸发器、溶解槽、吸滤器等，硫酸铝生产中的蒸发器等，氯酸钾生产中的醋酸回收塔等。

11. 染料生产 用于蛇管换热器、吸收塔、净化塔喷头、风机、水环式真空泵、过滤器等；用于生产偏苯三酸酐装置中的氧化塔、漂白粉生产设备中的横壁小刮板。

12. 冶金工业 详见表 1-5。

13. 真空制盐及氯化镁生产 用于氨蒸发器、预热器、预冷器、泵、法兰、一效加热室、氯化镁蒸发罐加热室等。

14. 滨海电站与核电站 已大量采用钛材代替其他材料制造凝汽器，我国自 1983 年采用第一台全钛电站凝汽器以来，至 1998 年底，已有约 30 个电厂的 94 台机组采用了全钛凝汽器和钛管凝汽器，钛管总用量约 3400t，钛管年平均用量约为 250t。

15. 制药 用于维生素 B1 干燥装置中的螺旋加料机、旋风分离器、旋涡体、袋滤器、加热器、粉碎机；用于葡萄糖生产装置中的薄膜蒸发器等；用于吡啶铜水解设备内的换热器；用于氯霉素回收装置中的升膜浓缩器，包括升膜蒸发器、列管预热器、旋风分离器等；用于对硝化装置中的硝化反应锅、氯霉素离心过滤工艺中的离心过滤机、安乃近水解工艺中的换热器、硝基酚生产中的锚式搅拌器、四咪唑生产中的压滤罐、咖啡因生产中的反应罐框式搅拌器、列管与盘管换热器等。

16. 电解与电镀 钛材在电解二氧化锰生产中用作阳极，在电镀（镀锌、镀铬、镀铜等）生产中用作蛇管加热器、阳极网篮，在回收电镀废水中用于薄膜蒸发器。

表 1-5 冶金工业用钛制化工设备

生产部门	使用的钛制化工设备	生产部门	使用的钛制化工设备	
铜冶炼工业	铜冶炼	铸冶炼工业	二氧化锆和氯化锆生产中的真空过滤器箱、浓缩机的搅拌器、泵、风机、硫酸的漏嘴；铸冶炼中的反应器、萃取器、除尘器、氯化物装箱、冷凝器、槽、管状过滤器；废气净化中的阀门、风机、管件、精馏塔釜的加热器；酸洗工序中的冷凝器储槽、洗涤塔、泵、通风设备	
	铜电解		电解槽、电解液供应槽、泵、洗涤塔、阴极母板、阴极辊筒、换热器、过滤器、阀	
	硫酸盐		真空蒸发装置、结晶器、换热器	
	电解泥		搅拌器、槽、泵	
	硫酸生产		洗涤塔、水淋冷却器、湿电滤器、风机、浸出离子交换柱、吸尘器、储酸槽、隔离箱、泵、阀	
铝冶炼工业	冰晶石	贵金属冶炼工业	黄金加工	
	氧化铝		阴极、真空泵、萃取器、再萃取器、容器、风机	
	铝生产		硫酸和盐酸硫酸	
锌冶炼工业	浸出设备；储液槽、泵、浓缩机、空气搅拌浸出槽、风炉的气体输送和净化设备；除尘器、电滤器、风机；电解设备；电解锌阴极、电解槽、容器、蛇管加热器、电晕、电极；硫酸生产设备；洗涤塔、电除雾器、储液槽、管道泵		电解	树脂交换离子柱、离子交换装置换热器、浓缩槽、析出金的阴极、阀
	铝冶炼工业		风机、节流阀、湿式收尘器部件	金刚石加工
	锡冶炼工业	电除尘器、泵、洗涤塔部件、除尘器中的电极	其他	
钱冶炼工业	高钛渣氯化物和钛镁生产烟气净化设备；风机、阀门、捕集器、泵、管件、洗涤塔、循环槽；碳酸钠净化器设备；洗涤塔、捕集器、烟筒	半导体工业	贵金属二次生产的反应槽、真空泵、离心机、风机、蒸发盘、容器、冲击洗涤器；金精矿氯化焙烧冲击洗涤器喷头、湿式静电除尘器阴极、离心机、风机叶轮	
镍冶炼工业	过滤设备、高压釜、换热器、蒸发器、反应器、槽、萃取器、泵、阀、风机、阴极母板	有色金属加工工业	生产镍的风机、水解槽、离子交换柱、还原装置、精馏装置。生产硅和锗的螺旋水滴捕集器、水封槽、洗涤塔；生产砷的洗涤塔、风机；污水处理和消毒用接受容器、处理容器、压滤机、切线混料筒	
钴冶炼工业	风机、泵、阴极母板	钢铁工业	酸洗设备、净化装置、废酸、废液处理装置、电解槽、电解液加热器、废药剂容器、离心机、风机、泵、阀	
汞冶炼工业	冷凝器		炼铁高炉炉体周围的冷却装置，如风口、稳定冷却器、热阀冷却器、热电偶套管；轧钢厂酸洗工序的酸洗槽、泵、风机、阀、渡槽、喷淋嘴；铁合金生产中的泵、阀、风机	
钨冶炼工业	钨酸生产蒸发锅、离心除尘风机、搅拌机的鼓泡管轴		炼焦工业	吸滤器、结晶器、泵、氨分凝器；收尘工序的饱和池、离心机、鼓泡器、循环池、中和池釜、吡啶碱冷凝器、脱酚洗涤塔蛇管、熄焦塔、除尘装置；喹啉、酚汁量槽液面计导向管
铜冶炼工业	反应器、干燥机、过滤器、离心机、风机、料槽、高压釜			

17. 纺织工业及其他行业 用于漂白机、亚漂联合机；用于胶片洗印设备中的漂白液槽、磁力泵轴、煤矸石综合利用装置中用作盘管加热器。海洋工程中用于盃甲式常压潜水器；闪蒸法海水淡化装置中用于冷凝器；海轮上用于板式换热器。

我国炼油设备中用钛设备还很少，国外炼油厂已

采用钛制换热器，并大量用于原油初次分馏器、流化床焦化设备塔顶分馏器、一乙醇胺再生器、脱硫产品冷凝器、脱硫塔顶馏出物分馏塔、丙烷冷凝器、氨汽提塔、原油塔顶馏出物冷凝器等。

二、钛制化工设备的地位与标准

化工设备中，如果对材料耐腐蚀性能无特殊要

求,一般都采用价格低、力学与工艺性能好、供应方便的碳素钢、低合金钢与铸铁等。耐腐蚀化工设备则应用不锈钢、镍与镍合金、铝与铝合金、铜与铜合金、钛与钛合金、锆与锆合金、铅与铅合金等耐蚀金属材料。各种耐蚀金属的性能、价格与供应方面的特点、优缺点与局限性各不相同,使用最普遍的耐蚀金属材料还是不锈钢。利用材料的耐蚀性能则铝和铜的应用范围比较窄,铅的应用范围更窄,锆的价格太贵,尚不能广泛应用,钛与镍(及镍合金)应用范围均较广。从单位体积的价格而言,钛比镍(及镍合金)稍低,又由于我国钛的资源丰富,钛材已形成一定的生产能力,因此当不锈钢的耐蚀性不能满足化工设备的要求时,往往更多地考虑采用钛制化工设备。根据我国国情,我国有色冶金行业一直在大力推广钛制化工设备的应用。作为化工设备的设计与使用人员,仍然必须从近期与长远的综合技术经济效益的角度,积极而又慎重地应用钛制化工设备。既不能不敢应用,也不能盲目乱用。

我国设计、制造与使用钛制化工设备已有30多年的历史,应当说现在已经积累了一定的经验,基本掌握了各种类型的一般钛制化工设备的设计、制造与使用技术,但是钛制化工设备比钢制化工设备在技术上具有更多的难度,积累的经验也少得多,因此,对钛制化工设备的设计必须给予更多的重视,并投入更多的精力。

化工设备中用量最多的是容器,容器多为压力容器。由于压力容器的安全要求较高,其设计、制造、使用都须置于国家、专门机构的监督下进行,且应符合相关的压力容器技术标准。美国1977年已将钛制压力容器置于ASME规范之中。日本1981年JIS压力容器规范也已列入了钛制压力容器,现行主要标准为JISB8270。美、日均将钛制压力容器与钢和其他材料的压力容器共同置于一个总的压力容器规范中,而俄罗斯则将钛制压力容器单独制订成标准,目前尚无国家标准,其已有的部标准为:OCT26-II-06-85(1987年修订)“钛和钛合金焊制容器和设备一般技术要求”、OCT26-01-279-78(1982年起实行)“钛制容器和设备强度计算方法和规定”、OCT26-01-771“钛容器疲劳强度计算方法和规定”、OCT26-01-1298-81“钛制容器和设备法兰的结构和尺寸、强度和密封的计算方法”、PДПТМ26-01-133-81“钛和钛合金容器和设备低周载荷的强度计算方法和规定”、PД24-200-17-90(1991年起实行)“钛制容器和设备强度计算方法和规定”、PДПТМ26-01-114-78(1985年修订)“AT3钛制容器和设备的法兰连接、强度和密封的计算方法”等。法国CODAP-90及95(E)“法国压力容器建造规范”中,对钛容器规定

了安全系数。英国标准CP3003“化工容器和设备的衬里”中的第九部分为“衬钛化工容器和设备制造规范”。

在我国,1987年由原化工部基建局审批颁布的化工专业标准CD130A8-87“钛制设备设计技术规定”和CD130A9-87“钛制设备技术条件”是国内第一批钛制设备的行业标准对化工行业用钛设备的设计制造起到了积极作用。最近颁布的行业标准JB4745-2001“钛制焊接容器”,为我国目前钛容器设计、制造、使用的基本技术依据。此外1989年版及1999年版的“压力容器安全技术监察规程”中已对钛制压力容器的安全技术做出了原则规定。JB4730-1994“压力容器无损检测”标准中也已包含了钛容器焊接接头无损检测的内容,GB151-1999“管壳式换热器”中也列入了钛制管壳式换热器的内容。

此外,陕西省在20世纪80年代曾编制有关地方标准——陕DB3464-86“钛制焊接压力容器技术条件”、陕DB3465-86“钛制列管式换热器技术条件”、陕DB3466-86“钛制容器包装、运输”。

三、钛制化工设备的经济性

钛制化工设备的应用有两种情况。一种情况是,在某种腐蚀条件下,不锈钢与铝、铜等常用耐蚀金属不能耐蚀,只有用钛才能耐蚀(锆等更贵的金属除外),这时只能采用钛制化工设备,不必与其他材料制的化工设备做经济上的比较。例如日本三井东压公司的全循环改良C法尿素合成塔衬里的设计温度为210℃,而常用的00Cr17Ni14Mo2不锈钢只能用于195℃以下,此时只能采用钛(锆可用至230℃,因太贵而在此不考虑),不存在钛与不锈钢在经济性上的比较问题。另一种情况是,在某种腐蚀条件下,可以用不锈钢或其他常用金属材料,但腐蚀率较高,使用寿命较短,而钛的耐蚀性好,使用可靠性高,寿命长,这时往往必须对钛和不锈钢等较低价格金属在经济上进行比较与分析,这是钛制化工设备的应用与设计人员必须认真对待的问题。例如,水溶液全循环尿素合成塔衬里材料,设计温度为195℃,可以用钛也可以用00Cr17Ni14Mo2不锈钢,这时必须进行经济上的全面比较。

从金属单位重量的价格来比较,钛材一般是普通钢材的50~70倍,是不锈钢的5~8倍。作为设备,一般考虑用材料的体积而不是重量,从金属单位体积的价格来比较,钛材一般是普通钢材的30~40倍,是不锈钢的3~5倍。但是,由于钛材的耐蚀性能更优,强度较高,所用钛材的壁厚可较薄,因而材料的体积用量也可减少。如电站凝汽器列管,用不锈钢管的常用壁厚为2.5mm和2mm,用铜镍合金(B10、B30等)的常用壁厚为1.5~2.5mm,用钛管的壁厚

常为 0.5~0.8mm, 钛比其他材料的用量明显要少, 在考虑材料成本时, 这是必须考虑的重要因素。

另外, 还要考虑设备设计、制造和应用中引起的费用。在诸如设备费用、设备寿命、设备维修费用、设备维修停车给生产带来的损失、设备运行状况对产品质量与产量的影响、对运转费用(消耗能量、水、原料等)的影响、对环保措施费用的影响等方面, 只有在应用钛制化工设备明显优于应用其他材料的情况下, 才采用钛设备。前述许多成功地应用钛制化工设备的事例即属这种情况。不能认为钛比其他金属的耐腐蚀性好, 就一定用钛。有的化工装置中尽管铸铁泵的寿命要比钛泵的寿命短得多, 但是铸铁泵(或叶轮)比钛泵便宜得多, 而且可设置备用泵, 倒换泵时不会影响化工生产, 因而还是有人一直在用铸铁泵, 认为这样在经济上更为合算。

第三节 设计钛制设备的 注意事项

一、使用范围

钛虽是一种耐腐蚀的金属, 但也并不是适用于一切化工腐蚀介质。即使是同一介质, 钛也和其他耐腐蚀金属一样, 耐腐蚀程度随介质的温度和浓度不同而有区别。钛在某些介质中腐蚀率虽高, 但加入一些氧化性酸或重金属离子, 可以取得显著的缓蚀效果; 钛在某些介质中不耐腐蚀, 或易产生应力腐蚀, 不能使用; 钛对某些介质还会产生自燃爆炸现象, 严禁使用。因此, 选用钛制设备时, 除了注意介质的温度外, 还应注意介质的成分、浓度、含水量(因为钛的保护性氧化膜通常是碰到水时形成的, 即使水极微量或以水蒸气形式存在。如果把钛暴露在完全没有水的强氧化性环境里, 就能发生快速氧化并产生剧烈的常常是自燃的反应)等。综合国外资料及目前国内已发生的爆炸事故看来, 钛不能用于①浓度 $>98\%$ 或含 $>6\%$ 游离二氧化氮的发烟硝酸, 避免引起自燃爆炸(即使现场挂片试验时, 没有燃烧现象); ②氯气中含水量(0.1%~0.3%)的干氯气(如国内的钢瓶氯气, 因钛与干氯气发生激烈的反应, 生成四氯化钛, 放出大量热, 有着火的危险), 当处于高速转动时, 干氯气的水含量应提高到 1.5%; ③液氧和某些氧分压高的水溶液, 因为钛在液氧中有冲击敏感性, 如果钛存在新鲜表面, 在 0.35MPa 压力、室温时就会自燃。对含有氢的腐蚀介质, 除了考虑介质的腐蚀外, 应充分重视氢对钛的危害性。钛制设备要求避免受铁的污染, 很重要的一点是为了避免钛的氢化作用, 设计者往往重视铁污染而忽视由于各种原因产生的氢使钛吸收而产生环境氢脆, 这是很危险的。

根据钛的化学及力学性能, 全工业纯钛制设备操作温度宜低于 250℃, 间断使用受力不大; 在氧化性气氛中使用的全工业纯钛设备, 可以提高使用温度, 但应在 420℃ 以下。一般来说, 在没有经过广泛试验情况下, 工业纯钛不宜作为温度高于 330℃ 以上的化工设备使用, 钛衬里设备的最高使用温度不宜超过 200℃, 大于 200℃ 时应选用钛-钢复合板制设备。目前耐热钛合金的长期工作温度还没有超过 500℃, 一般控制在 450℃ 左右。钛的低温性能较好, 使用范围较广。纯度高的工业纯钛或间隙元素极低的 $\alpha + \beta$ -钛合金一般能满足化工低温生产要求。

钛制设备的直径及使用压力范围较广。直径大、压力高时可选用钛衬里或钛复合钢板结构。

二、钛材的选择

钛材有 3 种不同类型: α -钛合金、 β -钛合金、 $\alpha + \beta$ -钛合金。其耐腐蚀和力学、加工性能等都有一定区别, 国内列入国家标准的钛材虽已有 20 余种, 但常用于化工设备的只有有限的几种。设计者应根据设备使用条件、零件所处位置、要求加工程度等不同情况而选用不同牌号的钛或钛合金。

一般来说, 工业纯钛由于其耐腐蚀性比一般钛合金好, 强度虽不如某些钛合金高, 但价格比钛合金低, 塑性好、易于加工成型, 因此是钛制化工设备的常用材料。工业纯钛中的 TA0 和 TA1 一般用于要求变形量较大的场合, 换热管多用 TA2, 要求耐摩擦及较高强度时用 TA3。当介质是非氧化性的又无缓蚀剂, 应选用耐腐蚀钛合金, 但必须注意其加工制造性能、材料的塑性指标等; 对那些容易产生缝隙腐蚀的零件最好选用钛钨合金 TA9 和钛钼合金 TA10 或经镀钨处理的钛; 承受较大应力的紧固件和非焊接件等可选用机械强度高的钛合金 TC4。用于强腐蚀介质的钛材, 尤其是焊接件母材及焊丝的氧、氢含量应控制在更低的水平上, 避免焊接过程中产生富铁 β 相, 产生电化腐蚀。

三、结构和零部件设计

钛制化工设备有两种结构型式, 一是钛材既承受介质压力, 又承受介质腐蚀的全钛制设备; 二是介质压力由外壳材料承受, 钛材只承受介质腐蚀的复层结构。后者又根据钛衬层和外壳的结合、连接方法不同, 分为钛衬里结构和钛-钢复合板制设备两种。设计时应根据介质的压力、温度、设备的外形及几何尺寸、操作情况等, 经济、合理、可靠地选用不同型式。一般来说, 压力、温度低的小型容器, 可用全钛制, 反之, 可用复层结构(包括塔器)。钛衬里设备只适用于无内外热交换、不会发生突然压力降或温度剧烈变化和载荷频繁变化的场合, 钛-钢复合板制造的设备可以使用的温度、压力范围较广, 也可用于受

真空或设备内件需要固定在衬层等局部受力条件恶劣的场合。

设计钛设备和零件时必须注意以下几个问题。

(1) 钛材较贵，为经济、合理使用钛材，在不与腐蚀介质接触的部位，应尽量不用钛制零件。如接管或设备筒体的法兰多选用钢制活套法兰，钛管板不延伸兼作法兰，采用钢卡箍卧式支座等等。但由于钛钢之间连接需采用机械方法（在某些不需要承受载荷情况下，可以采用钎焊），致使某些节点设计有困难或使节点结构复杂化时，应根据材料费用和制造费用综合考虑，必要时这些部位仍选用钛材，如全钛设备的起重吊耳等。

(2) 钛的力学性能随温度而改变的情况，较一般碳钢、合金钢大。其强度指标随温度上升而下降，如250~300℃时的拉伸强度和规定残余伸长应力为常温时的一半。因此，即使在设计温度不高的情况下，也应按设计温度下的强度值选取。钛的屈服比高、持久强度好。因此，设计温度在316℃以下时，决定设计强度指标的往往是该温度下的抗拉强度值，工业纯钛不能通过热处理来提高强度指标值。

钛的热膨胀系数小，当钛和其他材料联合使用时，要注意膨胀差引起的应力。

(3) 钛的焊接多采用非熔化极惰性气体保护焊（直流正接）因此，焊接接头位置要设在焊接时便于进行惰性气体保护处；焊缝尽可能采用对接，厚度超过3mm板材应开坡口。钛焊接时易产生气孔，适当提高焊缝形状系数（焊缝断面的宽与深的比值）有助于防止气孔的产生。因此，坡口角度可以比钢制的略大一些。坡口的钝边高度低一些，以保证焊透。为避免焊接接头塑性下降，钛焊接要求小电流、快速焊。因此坡口间隙要小。为此，设备的纵焊缝和环焊缝两侧的不平行度、筒体端部与筒体母线的不垂直度应有控制。活套法兰的焊环内径或设备筒体管孔与管子之间间隙也应比钢结构小。由于钛的焊接接头综合性能较差，焊缝应避免位于受力最大处。

(4) 工业纯钛和 α -钛合金压力加工时的塑性变形范围小，容易产生开裂。而提高变形速度、降低变形温度等都可能引起加工中的开裂。因此，最好不要设计变形量大的冷加工件；在需要翻边的地方，弯曲半径尽量取得大一些；用强度胀连接的管子与管板管孔之间的间隙公差要小，以免钛管胀裂。

(5) 选用钛螺栓时，必须考虑由于钛在常温下也有蠕变现象而产生应力松弛问题，最好不用钛螺栓做强制密封的连接件。当因耐腐蚀须用钛螺栓时，结构设计需考虑易于定期拧紧螺栓以保证密封。钛和不锈钢一样，也具有摩擦粘结、咬合现象。钛螺纹易咬合，可使用异种材料或较大间隙的螺纹配合或用适当

的润滑剂解决。应少采用需要攻丝的内螺纹，尽量选用带退刀槽的车制螺纹结构。

(6) 结构设计时要最大限度地消除缝隙和可以存水的凹处（如用焊接代替螺栓连接，用对接焊代替搭接点焊等），以避免钛在某些介质中发生缝隙腐蚀现象。尤其是钛与四氟形成的缝隙，比钛-钛之间的缝隙还容易受到腐蚀，因为钛对于含有少量可溶性氟化物的溶液是不耐腐蚀的，氟化物使钝态破坏。因此，在使用聚四氟乙烯塑料垫，含氟的橡胶垫圈和粘剂时应特别谨慎。

(7) 受压壳体衬层钛要比衬其他金属材料困难得多。钛衬里设计，要考虑一般衬里设备的特点，如绝对避免腐蚀介质与外壳材料有任何接触的可能，外壳上应设置一些检漏孔，检查衬里层的焊缝（包括复合板复层的纵、横焊缝处的盖板与复层的角焊缝）质量，外壳焊缝内表面应磨平、磨光、圆滑过渡等。除此以外，还应注意以下三点。

① 设计钛衬里层焊缝坡口形式时，要严格防止衬层在设备内焊接时，钛和外壳材料（包括复合板的复层和基层）有互溶的可能，以免铁金属等熔于钛焊缝中，形成硬而脆的金属间化合物，严重减低焊缝塑性和耐腐蚀性能；同样，钛衬里在钢外壳上的固定不能用壅焊或条焊，只能用爆炸焊接、机械固定和钎焊联合使用。

② 有可能受负压操作的钛衬里层，用加强环加强，也可以隔一定距离用局部爆炸焊接或机械固定于壳体。钛制内件如果需要固定在衬里层时，该处衬里层要加强，最好用钛-钢复合板结构。

③ 钛衬里与外壳之间隙要尽量小（特别是当容器压力较高时），以防止衬层焊缝在试压和有温度操作时拉裂。由于操作压力需要设备壳体较厚时，最好采用组合结构，如用钛-钢复合板作内筒，外包扎层板、绕板等。

四、技术要求

化工设备能否高效、安全地运行，制造质量是很重要的环节，尤其是钛制设备。钛的加工工艺、组合性能与设备的运行之间存在着密切关系，有时甚至是决定性的因素。往往由于制造质量不好，设备不能安全运行，报废或大大降低设备的使用寿命。

钛对表面缺陷敏感性大，忌讳表面有缺陷，而钛的摩擦系数大、化学活性高，在加工制造过程中表面又极易受擦伤或污染。如钛在焊接、加热等过程中，保护用的惰性气体纯度不够，加热炉内气氛不符合要求；使用不合适的工具、工作场地、与其他金属接触等，这些情况对钛的耐腐蚀性能和力学性能都有较大的影响。如钛能耐高温、高浓度的一氯醋酸溶液的腐蚀，但钛表面若被铁或铜粉所污染，就会产生腐蚀

现象；钛表面铁污染给氢扩散到钛内提供了有利通道，致使氢脆；加热炉气氛不合要求，钛吸收气体而变脆。对钛-钢复合板来说，除表面污染外，为避免钛和钢的内扩散，从而构成易脆的金属层，降低结合强度，热作温度就不能太高。

钛的焊接变形大，校形困难；钛在冷加工时，易产生裂纹；弯曲变形时，弹性回弹量大，不易得到正确形状；其冷作硬化倾向的强化程度随变形速度而加剧；变形速度对加工零件的极限程度和质量都有很大影响。更不利的是，钛制设备不容易返修好，有时会产生愈返修效果愈差的情况。针对钛的这些特性，钛制设备的技术条件中，除了为保证化工工艺过程，必须对原材料、制造、装配、检测方法等提出要求外，应按钛设备类别提出某些特殊的制造要求，并要求严格按照制造工艺规程进行加工制造。为了消除表面铁离

子污染，设备制造后宜要求阳极化处理。

五、其他

钛设备投产后，要达到安全运行，正确的操作、维护、使用也是很重要的。尤其是钛衬里设备，往往承受一定温度与压力。钛膨胀系数较钢的小，为避免产生过大的局部热应力，致使钛衬层被拉裂，操作时要严格控制升压、升温和降温速度，尤其是降温速度。如某引进厂对受压的钛衬里设备规定：无论在何种情况下，不得使内部温度下降到比塔壁温度低 50°C 以下；升降温应按升降温曲线进行。又如在化工生产工艺介质中，某些杂质会破坏钛的氧化膜，因此操作中应控制这些杂质含量，如尿素生产中的硫化氢含量等。钛设备不得直接接触明火，某厂的钛设备因停车检修时接触明火，致使整个钛设备全被烧光。

第二章 钛材品牌和性能

第一节 钛材的品牌

一、钛材分类

钛有两种同素异构体。常温下的纯钛为密排六方晶格，称为 α 相；纯钛在882℃以上为体心立方晶格，称为 β 相。某些合金元素的加入，能使 α 相在较高的温度下保持稳定，这些元素称为 α 相稳定元素，有Al、Ga、Ge（置换型）及O、N、C（间隙型）；另一些合金元素的加入，能使 β 相稳定到较低温度、甚至室温以下，这些元素称为 β 相稳定元素，有Mo、V、Ta、Nb（同晶型）及Cu、Ag、Au、Ni、Si（共析型）。不同合金化和热处理的钛在室温下有 α 、 β 、 $\alpha+\beta$ 三种组织类型， α 型钛用TA x 表示， β 型钛用TB x 表示， $\alpha+\beta$ 型用TC x 表示。

按钛材生产成型的方式不同，钛材可以分为压力加工钛材、铸钛以及粉末冶金钛等。压力加工钛材成型方式包括轧制、拉拔、挤压、锻造等，产品形式包括板、带、管、棒、箔、丝、锻件等，是钛材中用量最多的类型，也是化工设备用钛中用量最多的类型。铸钛与压力加工钛材具有不同的牌号、成分、材料标准与性能。压力加工钛材不但在压力加工成材时需要经过热成型或冷成型，而且在制造设备时常常还要进行冷变形和热变形（卷圆、冲压、滚压、翻边、弯曲等），因而材料本身应当具有良好的热塑性与冷塑性，而铸钛在成材与加工制造过程中均没有变形，因而不

一定要求有很高的冷热塑性，有的钛合金如Ti-32Mo，由于含Mo量很高，在强还原性介质盐酸、稀硫酸中有优异的耐蚀性能，是难能可贵的钛合金，但由于冷热塑性较低，作为压力加工材其轧板、拉管都比较困难，因而至今仍只作为试生产的牌号，没有能列入各个钛压力加工材的国家标准中，但在我国的铸钛国家标准已有正式牌号，为ZTB32。由于铸钛在容器中应用不多，主要用于泵、阀、分离机械、风机等化工设备中的异形过流零部件，因而铸钛的用量一般只占钛材总用量的百分之几。

粉末冶金钛制品成本低、材料利用率高，而且还能生产微孔钛以及一些特殊的钛合金。纯钛粉末冶金制品多用于阀门、管件、泵件等。微孔钛用于过滤元件。粉末冶金钛制品在国内小批量生产，在化工设备中用量不多。钛粉末冶金制品的国家标准有GB/T 6887—1986“烧结钛金属过滤元件和材料”，企业标准有Q/BS 5533—1987“钛及钛合金网板”。

采用回收料制成的工业纯钛（TF1），由于杂质含量较高、塑性差，很少应用。有时用于电极、阀体。回收料只有企业标准Q/BS 108—1973。

通常将不含外加合金成分而只含杂质成分的钛称为工业纯钛。工业纯钛按杂质成分含量的高低有不同的牌号。钛的化学成分一般只分析合金与杂质的含量，而不分析钛含量，因而工业纯钛并不按钛含量确定牌号（纯铝、纯铜等则按铝、铜的含量确定牌号）。含有外加合金成分的钛称为钛合金，即使有时合金元素含量甚少，如钛钎合金中的钎含量仅为0.12%~0.25%，由于钎属外加合金元素，可提高耐蚀性能，因而仍属钛合金。

化工设备中用钛最多的是容器。与其他设备用钛相比，容器用钛要求有更优良的塑性和焊接性能。一般的钛材标准都是通用钛材标准，而不是容器专用钛材标准。因而，钛容器规范需要在通用钛材标准众多牌号和状态中挑选并指定少量牌号和状态作为容器用钛，着眼于良好的塑性和焊接性能，容器用钛选用杂质含量较低的工业纯钛和低合金钛牌号；容器用钛的压力加工材料一般采用退火态，铸钛可用铸态。为了确保容器用钛的塑性和焊接性能，实际上容器用钛只采用了强度最低的几个牌号。各国容器用钛的牌号列于表2.1。容器用钛一定要采用钛容器规范中指定的牌号和状态，不应随便采用其他牌号和状态的钛材制造钛容器。容器用钛的技术要求比通用钛材标准中的技术要求更为严格，通用钛材一般不能满足容器用钛的订货技术要求，容器用钛的订货技术要求应由三部分叠加组成：①通用钛材标准中的技术要求；②容器规范中提出的其他技术要求；③钛容器图纸和设计技术文件中针对具体钛容器而提出的其他特殊技术要求，在钛制化工设备的设计与材料订购工作中一定要明确区分容器用钛与一般钛材。设计中，有不少专用的压力容器用钢标准，且有容器专用钢材的牌号，如20R区别于20，16MnR区别于16Mn等；但没有压力容器专用钛材标准，也没有容器用钛的专用牌号，只能在通用钛材标准的基础上添加其他技术要求而成为容器用钛。

钛材标准中也有专用钛材标准，与化工设备有关的有GB/T 14845—1993“板式换热器用钛板”。它与普通工业纯钛板有不同的牌号及化学成分，塑性与深冲压性能也优于普通钛板。GB/T 3625—1995“换热器及冷凝器用钛及钛合金管”中，钛及合金牌号、成

表 2-1 各国容器用钛 (常规设计用)

国家	钛容器标准	牌号, 种类	压力加工工业纯钛				压力加工钛合金				铸钛	
		σ_b 下限, MPa	200~300	300~400	400~500	500~600	200~300	300~400	400~500	500~620	300~400	400~500
美国	ASME-98	级别	1级	2级	3级		11, 17级	7, 16级	12级	9级	C-2	C-3
		σ_b 下限, MPa	240	345	450		240	345	483	620	345	450
日本	JIS B 8270-93	种类	1种	2种	3种			12种	13种			
		σ_b 下限, MPa	270	340	480			340	480			
俄罗斯	OXT 26-010-279-78 OXT 26-II-06-85	牌号	BT1-00	BT1-0					OT4-0	AT3		
		σ_b 下限, MPa	265~295	345~375					440~470	590		
中国	JB 4745-2000	牌号	TA0	TA1	TA2	TA3		TA9	TA10		ZTA1	ZTA2
		σ_b 下限, MPa	280	370	440	540		370	440~485		345	440

注: 1. 俄 AT3 为热作态, 铸钛为铸态, 其他均为退火态的性能。

2. 中国另有 TA1 A 板式换热器用板, 板厚 0.6~1mm, σ_b 下限为 240MPa。

分与普通钛管相同, 但尺寸公差及技术要求比普通钛管更高。

二、钛材牌号、成分

我国压力加工钛及钛合金的牌号和化学成分列于表 2-2 和表 2-3, 其压力加工制品中的牌号列于表 2-4。压力加工钛材牌号有 24 个, 但其中有 4 个牌号根本没有压力加工制品标准, 用户很难采用。只有 5 个

牌号有管材标准, 7 个牌号有锻件标准, 14 个牌号有板材标准, 而化工设备与容器用得最多的是管和板, 因而化工设备与容器的常用牌号就受到了很大限制。我国钛容器标准 JB 4745-2000 中的压力加工钛材只列出了 7 个牌号, 这不仅与压力容器对钛材塑性和焊接性能的要求有关, 也与我国当前的钛材标准的局限性有关。

表 2-2 压力加工钛及钛合金牌号和化学成分 (GB/T 3620.1-1994)

(%)

合金 牌号	主要成分							杂质 ≤						其他元素	
	Ti	Al	Sn	Mo	V	Cr	其他	Fe	C	N	H	O	单一	总和	
	TA0	余量	—	—	—	—	—	—	0.03	0.03	0.01	0.015	0.05	—	—
TA1	余量	—	—	—	—	—	—	0.15	0.10	0.03	0.015	0.15	0.1	0.4	
TA2	余量	—	—	—	—	—	—	0.25	0.10	0.03	0.015	0.20	0.1	0.4	
TA3	余量	—	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.25	0.1	0.4	
TA4	余量	2.0~3.3	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.15	0.1	0.4	
TA5	余量	3.3~4.7	—	—	—	—	B0.005 (名义加入量)	0.30	0.10	0.04	0.015	0.15	0.1	0.4	
TA6	余量	4.0~5.6	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.15	0.1	0.4	
TA7	余量	4.0~6.0	2.0~3.0	—	—	—	—	0.50	0.10	0.05	0.015	0.20	0.1	0.4	
TA7ELI	余量	4.50~5.75	2.0~3.0	—	—	—	—	0.25	0.05	0.035	0.0125	0.12	0.05	0.3	
TA9	余量	—	—	—	—	—	Pd0.12~0.25	0.25	0.10	0.03	0.015	0.20	0.1	0.4	
TA10	余量	—	—	0.2~0.4	—	—	Ni0.6~0.9	0.30	0.08	0.03	0.015	0.25	0.1	0.4	
TA12	余量	2.5~3.5	—	4.7~5.7	4.7~5.7	7.5~8.5	—	0.30	0.05	0.04	0.015	0.15	0.1	0.4	
TA13	余量	2.7~3.7	—	9.5~11.0	7.5~8.5	—	Fe0.8~1.2	—	0.05	0.04	0.015	0.15	0.1	0.4	
TA14	余量	3.0~4.5	—	6.0~7.8	9.0~10.5	—	Fe1.5~2.5, Zr0.5~1.5	—	0.05	0.04	0.015	0.20	0.1	0.4	

续表

合金牌号	主要成分							杂质 \leq						
	Ti	Al	Sn	Mo	V	Cr	其他	Fe	C	N	H	O	其他元素	
													单	总和
TC1	余量	1.0~2.5	—	—	—	—	Mn0.7~2.0	0.30	0.10	0.05	0.012	0.15	0.1	0.4
TC2	余量	3.5~5.0	—	—	—	—	Mn0.8~2.0	0.30	0.10	0.05	0.012	0.15	0.1	0.4
TC3	余量	4.5~6.0	—	—	3.5~4.5	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.15	0.1	0.4
TC4	余量	5.5~6.8	—	—	3.5~4.5	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.20	0.1	0.4
TC6	余量	5.5~7.0	—	2.0~3.0	—	0.8~2.3	Fe0.2~0.7, Si0.15~0.40	—	0.10	0.05	0.015	0.18	0.1	0.4
TC9	余量	5.8~6.8	1.8~2.8	2.8~3.8	—	—	Si0.2~0.4	0.40	0.10	0.05	0.015	0.15	0.1	0.4
TC10	余量	5.5~6.5	1.5~2.5	—	5.5~6.5	—	Fe0.35~1.0, Cu0.35~1.0	—	0.10	0.04	0.015	0.20	0.1	0.4
TC11	余量	5.8~7.0	—	2.8~3.8	—	—	Zr0.8~2.0, Si0.20~0.35	0.25	0.10	0.05	0.012	0.15	0.1	0.4
TC12	余量	4.5~5.5	1.5~2.5	3.5~4.5	—	3.5~4.5	Zr1.5~3.0, Nb0.5~1.5	0.30	0.10	0.05	0.015	0.20	0.1	0.4

注: 1. 硼按名义量加入, 并报实测数据, 供参考。

2. “ELI”表示超低间隙, TATEL1牌号的杂质“Fe+O”的总和应 $\leq 0.32\%$ 。

3. 其他元素是指在钛及钛合金生产过程中固有存在的微量元素, 而不是人为添加的元素, 其他元素一般包括: Al、V、Sn、Mo、Cr、Mn、Zr、Ni、Cu、Si、Y (该牌号中含有的主要合金元素应除去)。产品出厂时, 供方可不检验其他元素, 用户要求并在合同中注明时可予以抽测。

表 2-3 钛及钛合金加工产品化学成分允许偏差(GB/T 3620.2—1994)

(%)

元 素	化学成分范围	允许偏差	元 素	化学成分范围	允许偏差
C	≤ 0.20	+0.02	Cu	>0.30~6.00	± 0.30
	>0.20~0.50	+0.04		>6.00~9.00	± 0.40
	>0.50	+0.06		>9.00~20.00	± 0.50
N	≤ 0.10	+0.02	V	≤ 1.00	± 0.08
	≤ 0.020	+0.0020		>1.00~3.00	± 0.12
H	≤ 0.20	+0.03	Y	>3.00~5.00	± 0.20
	>0.20	+0.04		>0.50	± 0.05
	>0.20	+0.04		>0.50~5.00	± 0.15
Fe	≤ 0.25	± 0.10	Zr	>5.00~6.00	± 0.20
	>0.25~0.50	+0.15		>6.00~10.00	± 0.30
	>0.50~5.00	+0.20		>10.00~20.00	± 0.40
Si	≤ 0.10	± 0.02	B	≤ 0.005	+0.001
	>0.10~0.50	± 0.05		Nb	≤ 4.00
	>0.50~0.70	+0.07	>4.00~6.00		+0.20
Al	≤ 1.00	± 0.15	Ni	>6.00~10.00	+0.30
	>1.00~10.00	+0.40		>10.00	± 0.40
	>10.00~35.00	± 0.50		Pd	≤ 1.00
Cr	≤ 1.00	± 0.08	Ta		≤ 0.250
	>1.00~4.00	± 0.20		>1.00	± 0.10
	>4.00	± 0.25	>1.00~5.00	± 0.15	
Mo	≤ 1.00	± 0.08	>5.00~7.00	+0.20	
	>1.00~10.00	± 0.30	>7.00~10.00	± 0.25	
	>10.00~30.00	± 0.40	>10.00~15.00	± 0.30	
Sn	≤ 3.00	± 0.15	>15.00~20.00	+0.35	
	>3.00~6.00	± 0.25	>20.00~30.00	± 0.40	
	>6.00~12.00	+0.40	其他元素(单一)	≤ 0.1	+0.02
Mn	≤ 0.30	± 0.10			

注: 1. 当铁元素为杂质时, 其偏差只取正偏差。

2. 如“>0.20~0.50”是指不含0.20, 其余同。