

# Development Status and Prospect on Application of Titanium Alloy in Ocean Engineering

Liqiang Lv, Jinhui Xi\*, Wei Wang, Yingjie Xie

Western Titanium Technologies Co., Ltd., Xi'an Shaanxi  
Email: [\\*xjh825@163.com](mailto:xjh825@163.com)

Received: May 29<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jun. 19<sup>th</sup>, 2015; published: Jun. 25<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Titanium alloy has broad application prospects in ocean engineering due to its superior performance. In China, the titanium alloy used in ocean engineering has a relatively perfect system and has been applied partly. Because of many reasons, such as, insufficient application performance data of titanium alloy, incomplete construction rules of ocean engineering component, inadequate plant capacity for producing titanium alloy, small product specifications and high production cost, the marine titanium alloy used in ocean engineering has been limited. With the emphasis on ocean construction, the acceleration of application of titanium alloy in ocean engineering and the reduction of production cost of titanium alloy, the marine titanium will have broader development space in the future.

## Keywords

Titanium Alloy, Ocean Engineering, Development Status, Prospect

---

# 我国海洋工程用钛合金发展现状及展望

吕利强, 席锦会\*, 王伟, 谢英杰

西部钛业有限责任公司, 陕西 西安  
Email: [\\*xjh825@163.com](mailto:xjh825@163.com)

\*通讯作者。

收稿日期：2015年5月29日；录用日期：2015年6月19日；发布日期：2015年6月25日

## 摘要

钛及钛合金以其优异的性能特点在海洋工程方面有广阔的应用前景，我国海洋用钛合金已有较为完善的合金体系，并有一定的应用。但目前由于应用的性能数据支撑不充足，海洋工程结构件建造规则还不完善，加工设备能力不够、产品规格小以及材料生产成本高等诸多原因，海洋用钛合金尚存在产业化水平低、应用不足的问题。随着国家对海洋建设的重视，钛合金工程化应用程度的加快以及材料成本的降低，未来海洋用钛将有非常大的发展空间。

## 关键词

钛，海洋工程，发展现状，展望

## 1. 引言

随着世界经济的高速发展，人类面临着资源短缺的难题。纵观全球，现有陆地能源与矿物资源的枯竭，已是为期不远的可怕现实。而占地球表面积约 71% 的蓝色海洋，可提供充足的食物和医药原料，蕴藏着丰富的矿产储量以及占全球总储量约 1/3 的石油、天然气；而海洋潮汐、海上风能和太阳能等的开发和利用，将为人类活动提供可持续发展的强劲动力[1]。

开发海洋需要各种装备，而任何装备功能的实现都依赖于材料技术。海洋和陆地不同，海水与海洋大气中含有氯化物和硫化物，对机械装置材料腐蚀作用很大，而深海海水的强大压力，需求设备结构强度高，否则会出现失效。故海洋工程用设备构件，特别是在大深度海水中作业的构件，需要选用比强度高，比韧性好、耐海水腐蚀的材料加工制造[2]。

## 2. 钛在海洋工程应用上的优势

钛，被称为“海洋金属”，其质轻、高强、无磁、耐蚀，特别突出的是耐海水和海洋大气腐蚀，是优异的轻型结构材料，尤其适用于作轻型海工装备用材。钛及钛合金在海洋工程中在推广应用，对提高海洋工程装备的作业能力、安全性、可靠性及技战术水平具有十分重要的意义，是建设海洋强国的重要战略材料之一[3]。

与钢铁、不锈钢、铜、铝等常用材料相比，钛材最突出的特点是密度低、比强度高、耐蚀性强；同时还具有优良的耐海水冲刷、无磁性、无冷脆性、高透声系数及有优异的中子辐照衰减性能。在塑性成形、铸造、焊接等方面，与其他常用金属材料一样，可以采用常规的方法进行加工成形，因而使钛金属材料对各类海洋工程具有广泛的适用性。

## 3. 国内海洋工程用钛合金分类、性能特点及应用

自 20 世纪 90 年代以来，我国自主开发了多种海洋工程专用钛合金。经过几十年的发展，我国海洋用钛的研究及应用水平有了很大提高，已形成较为完善的合金体系，按合金屈服强度，可大致分成三个等级：1) 低强钛合金(500 MPa 以下)；2) 中强钛合金(500~800 MPa)；3) 高强度钛合金(800 MPa 以上)。低强钛合金主要有工业纯钛(TA1-TA3)、TA9、TA10、TA16 等；中强钛合金主要有：TA17、TA22 (Ti-31)、ZTA5、TA5-A、TA18、ZTi60、TA23 (Ti-70)、Ti-91、TA24 (Ti-75)等；高强钛合金主要有：ZTC4、TC4、

TC4ELI、Ti80、TC10、TC11、TiB19、TB9 等。表 1 为我国海洋用钛及钛合金及其性能。

由于钛及钛合金自身所具备的特性，使其在舰船以及海工装备的应用上具有得天独厚的优势，因而被广泛应用于核潜艇、深潜器、原子能破冰船、水翼船、气垫船、扫雷艇以及螺旋桨推进器、海水管路、冷凝器、热交换器等。如，我国的“和谐”号深海载人深潜器载人球壳的材料就是钛合金；美国、日本、俄罗斯等国深潜器的载人球壳的材料也是钛合金。此外，钛还具有无磁性，能够提高探测仪器及工具的抗磁干扰能力，减小设备装备的磁物理场效应，增加隐蔽性，提高焊接质量和生产效率，这使其在舰船上的应用潜力进一步被发掘出来。

**Table 1. Properties of titanium alloy used in ocean engineering in our country**  
**表 1. 我国海洋用钛及钛合金及其性能**

分类	合金牌号	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	材料特性	应用
低 强 钛 合 金	TA1	220	成型、焊接性好、耐海水腐蚀	板式换热器
	TA2	320	成型、焊接性好、耐海水腐蚀	管式换热器、贯穿管接头、海水入口/出口、海水排出口管接头、灭火用水系统、职称系统管线、泵、阀、氯化处理系统等
	TA9	250	成型、焊接性好、耐腐蚀	管式换热气
	TA10	300	塑性、焊接性好、耐蚀	管式换热气、临时管道与电缆、横梁、立管、输送管线
	TA16	375	塑性高、焊接性和耐蚀性好	管路与热交换器、管板和传热管
	TA22	490	成型、焊接性好、耐海水腐蚀 350℃海水、耐缝隙腐蚀	热交换器、冷凝器、管路、阀门、泵体 余热排出冷却器
中 强 钛 合 金	TA5	590	耐蚀、可焊性好	板材、锻件可用于船舶机械各类部件、喷水推进装置
	ZTA5	490	铸造性能优良	船舶推进、电子及辅助系统的泵、阀等
	TA17	520	良好的焊接性能和抗水腐蚀性性能	潜艇壳体，也用做声纳导流罩骨架、热交换器管板、管板和传热管
	TA18	515	优异的焊接性能和冷成形性能、耐蚀	横梁、临时管道与电缆、立管、输送管线、增压装置管道
	TA23	600	冷成型、焊接、耐蚀性、声学性能好	透声窗、声呐导流罩
	TA24	630	焊接、可焊、成型性能好、断裂韧性、冲击韧性及应力腐蚀韧性高	通海、低压吹除系统，耐高压管路、压力容器、船舶结构
	Ti-91	600	冷成型、焊接、耐蚀、声学性能好	透声窗、声呐导流罩
ZTi60	590	铸造性能好、耐蚀、可焊	各种耐压系统逐渐	
高 强 钛 合 金	TC4	825	优异室温、高温性能，优良抗疲劳及裂纹扩展能力、耐腐蚀、焊接性能好	预应力采油管接头、油气平台支柱、绳索支架、海水循环加压系统的高压泵、提升管及联结器、海底电缆夹紧锁、勘探装置中的零件等
	ZTC4	800	抗疲劳、抗裂纹扩展、铸造性能好	螺旋桨等高强铸件
	TC4 ELI	795	优异室温、高温性能，优良抗疲劳及裂纹扩展能力、耐腐蚀、焊接性能好	钻井立管、生产和输出立管、锥形应力街头、紧固件、海底管道
	Ti80	785 ~ 885	耐蚀、可焊	高温容器、深潜器耐压壳体、结构件
	TC10	930	抗腐蚀、高强度	通海管路、阀及附件
	TC11	900	优异的高温强度	高压压气机转子、低压压气机轮盘及叶片
	TB9	1050	塑性好、强度和弹性高、淬透性好	紧固件、带管的生产装置、各种工具
Ti-B19	1150	高强、良好塑性、较高韧性、应力腐蚀断裂韧性、可焊	船舶机械部件、高压容器、弹射装置	

#### 4. 我国海洋用钛合金的发展现状

目前,我国海洋用钛合金虽然已形成了较为完整的体系,但很多合金尚停留在研发试制阶段,存在产业化水平低、应用不足的问题,与俄罗斯、美国、日本等国相比,还有较大的差距。

我们认为主要有以下几点原因:

- 1) 没有形成设计院所、材料研究机构、部件成型及应用性能研究单位、舰船建造企业之间的有效协作合作机制,造成目前的应用还处于零星分散的状态,多项关键技术并没有掌握。
- 2) 海洋工程结构件建造规则还不完善,且缺少材料标准。
- 3) 在海水及海洋工况中条件下,长期应用的性能数据支撑不充足。
- 4) 加工设备能力不够,产品规格小,主要是缺少大型管材加工设备,目前海洋用大口径管材还不能生产,不能完全满足海洋用钛大型构件的需要。当前平台的结构件和关键部件及设备均从国外进口。
- 5) 工程化应用不足,钛加工技术进步缓慢,造成材料生产成本很高。

#### 5. 未来海洋工程用钛材的发展建议和展望

为了促进钛以及钛合金未来能够在海洋工程应用领域进一步发展,建议:1) 将海洋工程用钛纳入国家新材料发展专项,建立海洋工程用钛合金材料及技术研究、应用研究及评价平台,大力推动海洋工程用钛材料的跨越式发展,提升我国海工装备的技术水平升级和发展;2) 从国家层面推动海洋工程用钛设备的设计准则、技术体系、应用技术标准、规范;3) 深化对现有钛合金的研究,并开展新工艺和新技术研究,着重解决焊接、成型、表面处理等工程应用技术问题,大力开发钛合金低成本化生产技术;4) 优化和完善我国船用钛合金体系,建立船用钛合金性能数据库,为海洋工程用钛及钛合金的选材提供丰富的数据支持;5) 加大对钛合金生产企业的投资力度,加快钛合金加工企业的装备向高精度、自动化、大型化的改造进程。

目前,海洋用钛合金材料的用量仅占约 2%,如果我国能达到俄罗斯舰船用钛量 15%~20% 的比例,船用钛的市场需求量将会非常庞大,保守估计钛的市场应该在千亿元左右。石油勘探与开采领域是钛合金应用的又一个具有巨大潜力的目标市场,仅一座海上石油钻井平台用钛量就可达到 1500~2000 吨。根据规划,我国未来 3~5 年将建设 70 座左右的海上石油钻井平台,如果采用钛材料,钛的用量将会达到 14 万吨左右。此外,在海水淡化以及滨海电站方面,由于我国目前海水淡化以及滨海电站市场需求巨大,在进一步降低钛合金成本以及提高产品质量稳定性的情况下,钛的市场应用前景将非常广阔。

#### 6. 结语

- 1) 我国海洋用钛合金虽然已形成了较为完整的体系,且钛及钛合金在我国航洋工程上已经有了较多的应用,但与俄罗斯、美国、日本等国相比,还有较大的差距,需进一步加快海洋用钛的研发、应用步伐,以提升我国舰船及海工装备的发展水平;
- 2) 我国海洋用钛材的需求量巨大,市场前景广阔,有很大的发展空间。

#### 参考文献 (References)

- [1] 范丽颖,刘俊玲,安红 (2006) 钛在海洋工程上的应用现状及前景展望. *中国金属通报*, **Z2**, 25-28.
- [2] 周廉,等 (2014) 中国海洋工程材料发展战略咨询报告. 化学工业出版社,北京.
- [3] 王镐,李献军 (2012) 钛在海洋工程应用的最新进展. *中国钛业*, **1**, 11-14.