细分市场调查

第一节 钛材细分市场概况

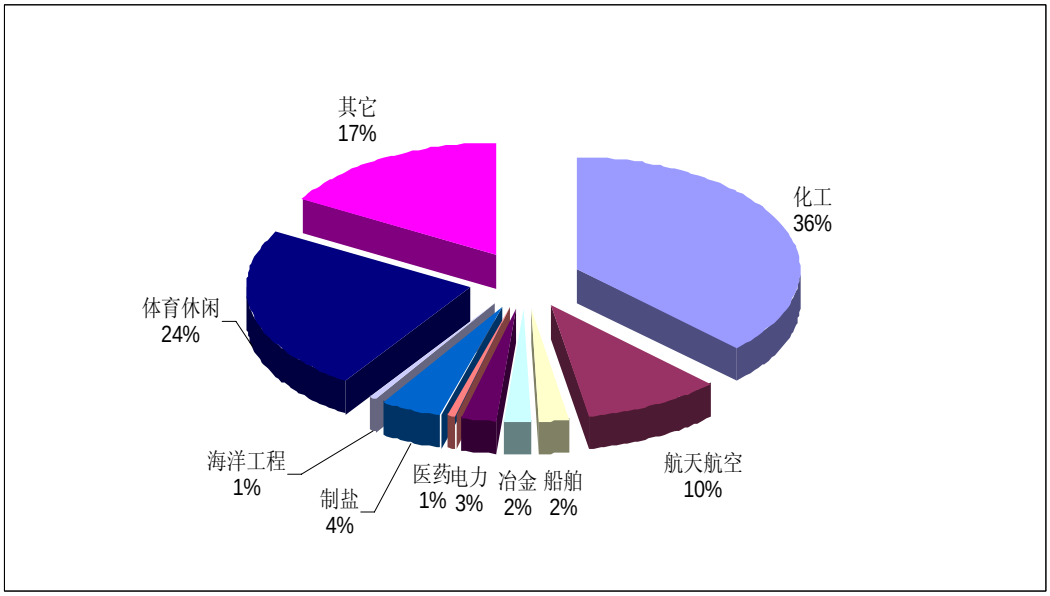


图 3-1 钛材细分市场概况

资料来源：北京君略产业研究院

第二节 航空用钛

一、产品应用特点

（一）钛合金在飞机及航空发动机上的用量不断扩大

1、飞机机体的钛用量

民用飞机的钛用量也在不断扩大。

我国战斗机的钛用量也在不断扩大：20 世纪 80 年代开始服役的歼八系列的钛用量为 2%，两种新一代战斗机的钛用量分别为 4%和 15%，更新一代的高性能新型战斗机的钛用量将达 25%～30%。

2、航空发动机的钛用量

国外先进发动机上的钛用量通常保持在 20%～35%的水平。

我国早期生产的涡喷发动机均不用钛，1978 年开始研制并于 1988 年初设计定型的涡喷 13 发动机的钛用量达到 13%。2002 年设计定型的昆仑涡喷发动机是我国第一个拥有完全自主知识产权的航空发动机，钛用量提高至 15%。我国第一台拥有自主知识产权的涡扇发动机又进一步把钛用量提高到 25%的水平。

（二）航空用钛毛利率较高

以宝钛股份为例，2009 年公司财务上核算的出口整体毛利率大约 2-3%，但是剔除存货因素，民品出口毛利率 15%以上，航空钛材出口毛利率 20%以上。

航空业对钛市场起着决定性的作用，未来 20 年内，商用飞机有望增长 1 倍多，航空客运和货运的年增长率约为 5%，而钛材在单架飞机上的用量也在增加。C/环氧树脂复合材料在飞机上的应用正在增长，考虑到材料的一致性问题，如抗腐蚀性、热膨胀和应力等，增加这些复合材料就要增加钛材的使用。

钛是 20 世纪 50 年代发展起来的一种重要的结构金属，钛合金因具有比强度高、耐蚀性好、耐热性高等特点而被广泛用于各个领域。世界上许多国家都认识到钛合金材料的重要性，相继对其进行研究开发，并得到了实际应用。

中国已成为全球最大的钛金属生产国和消费国之一，不过大部分生产一直局限于等级较低的钛，用于自行车架、高尔夫球杆或化工行业使用的防腐管材。

钛因其强度、轻度和抗腐蚀性能而到人们重视。但生产高品质钛——主要用于航空和国防工业——是一个复杂的技术过程，没有几家公司能够掌握。我国较高端的（钛）产品仍主要依靠进口。

二、市场容量

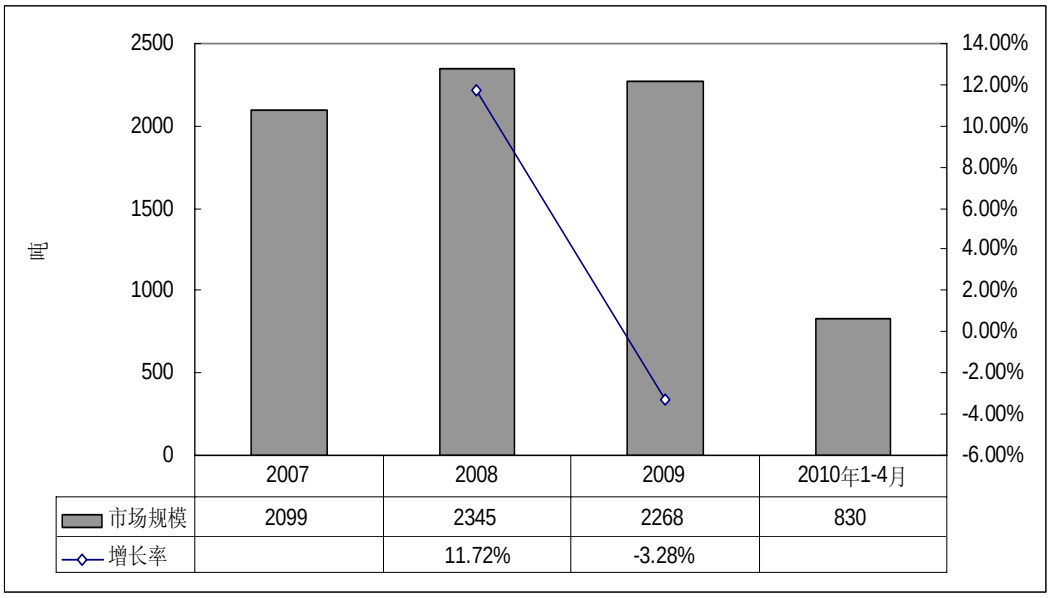


图 3-2 航空用钛市场规模统计

资料来源：北京君略产业研究院

三、消费模式

20 世纪 50 年代，军用飞机进入了超声速时代，航空发动机相应地进入喷气发动机时代，

原有的铝、钢结构已不能满足新的需求。钛合金恰恰在这个时候进入了工业性发展阶段，由于它具有比强度高、使用温度范围宽（－269～600℃）、抗蚀性好和其他一些可利用的特性，因此很快被选用于飞机及航空发动机。50 年来的世界钛市场中最大的用户始终属于航空。当前，航空仍然占 40%左右市场份额。

1、阻燃钛合金

为了避免钛火，俄罗斯曾研制了含Ｃｕ高量的ＢＴＴ－1 和ＢＴＴ－3 阻燃钛合金，但由于其力学性能和熔铸性能差而未能工程化。美国发明的Ａｌｌｏｙ Ｃ（Ｔｉ－35Ｖ－15Ｃｒ）阻燃钛合金近期已成功地应用于Ｆ119 发动机（F/A－22 战斗机的动力装置）的高压压气机机匣、导向叶片和矢量尾喷管。这是高温钛合金领域的最新亮点，也是钛发展史中第一个进驻航空发动机的β型钛合金和阻燃钛合金。Ａｌｌｏｙ Ｃ的阻燃原理有三：其一，国外和一航材料院的研究结果表明，在转子零件与静子零件相对摩擦而升温时，低熔点（675℃）的Ｖ2Ｏ5 的首先熔化起到了吸热、润滑和降低氧化膜内应力的作用；其二，西北有色院的试验表明，Ａｌｌｏｙ Ｃ的导热系数远高于普通钛合金；其三，北京有色院利用ＣＡＬＰＨＡＤ技术计算得到的结果表明，该合金成分设计符合绝热燃烧温度尽可能低的要求。西北有色院、一航材料院等联合研制的低成本阻燃钛合金Ｔｉ－40　Ｔｉ－25Ｖ－15Ｃｒ－0.2Ｓｉ　已研制出机匣并装机，等待试车。利用渗金属技术形成表面阻燃合金是另一条成本更低的技术途径。

2、钛基复合材料

世界各国为钛基复合材料（ＴＭＣ）的工程化已奋斗很多年，近期终于在Ｆ119 发动机上获得了应用，即选用ＳｉＣ纤维/Ｔｉ－6242Ｓ复合材料制成矢量喷管驱动器活塞。不久前，荷兰飞机起落架开发公司ＳＰ航宇公司又宣称，荷兰皇家空军试飞了装有钛基复合材料主起落架下部后撑杆的Ｆ－16。与原用的 300Ｍ钢相比，新材料可减重 40%，成本也已接近战斗机设计认可的指标，因此洛克希德·马丁公司也打算在Ｆ－35 联合攻击机上采用这种ＴＭＣ材料制造起落架零件。据称用ＴＭＣ取代Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ合金制造的空心宽弦风扇叶片，其成本更低。

3、纤维/钛层板

层间混合材料因其比强度和疲劳寿命远高于单金属材料且成本远低于纤维增强的复合材料，已引起人们的广泛兴趣。从 20 世纪 80 年代以来该材料已经历了第一代ＡＲＡＬＬ（芳纶纤维铝合金层板）、第二代ＧＬＡＲＥ（玻璃纤维铝合金层板）、第三代ＣＡＲＥ（碳纤维铝合金层板）到第四代ＴｉＧｒ（石墨纤维钛合金层板）的发展过程。

一航材料院研制的ＡＲＡＬＬ已用于我国歼八Ⅱ的方向舵上，解决了原铝合金方向舵铆钉孔处裂纹扩展的问题。ＧＬＡＲＥ已大面积地用于Ａ380 机身壁板和尾翼上，而ＴｉＧｒ则用于制造Ｂ7Ｅ7 的机翼和机身蒙皮。ＴｉＧｒ还可用于蜂窝夹层的面板。实践表明，自动铺放的ＴｉＧｒ层板的性能优于手工铺叠的ＴｉＧｒ层板。ＣＡＲＥ因很难解决碳纤维与铝合金之间的接触腐蚀问题，迄今无商业化产品。而ＴｉＧｒ既无电化学腐蚀问题，又可进

一步提高综合性能（特别是比强度和高温性能）。

4、超塑性钛合金

超塑性成形、等温锻造、近等温锻造等先进工艺技术所具有的优越性促进了自身的发展。然而，锻造成形温度过高带来的模具制造、加热费用昂贵问题，影响了产品成本的进一步降低和工艺技术进一步的扩大应用。据此，日本推出了ＳＰ700（Ｔｉ－4.5Ａｌ－3Ｖ－2Ｆｅ－1Ｍｏ）合金。这是第一个以ＳＰ（超塑的英文缩写）为牌号的钛合金。与Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ相比，其等温锻造或超塑成形的温度降低了120℃（即从900℃降至780℃），最佳超塑条件下的延伸率提高一倍（即从1000%增至2000%）。ＳＰ700还具有优于Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ的综合力学性能、热处理淬透性和冷加工性。ＳＰ700呈现上述优越特性的重要原因之一是在同样工艺条件下ＳＰ700能获得更细于Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ的晶粒尺寸（分别为2μｍ和5μｍ）。正缘于此，ＳＰ700当前已作为一种新型工程合金用于制造高尔夫球头等体育用品和活动扳手等工具，而且已引起各国航空界的密切关注，正在考虑应用于飞机及发动机零件的可能性。

5、特大整体结构件锻造工艺

为了提高结构效率、减轻结构重量、缩短生产周期和降低生产成本，结构整体化是先进飞机的重要发展方向。F/A－22的机身隔框就采用了整体结构，这就需要提供前所未有的特大规格的钛合金模锻件，从而显著增加了充填成型和组织控制方面的困难。F/A－22的中机身有4个很大的Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ整体式隔框，其中最大的583隔框锻件重2770ｋｇ，投影面积5.53m2。F/A－22后机身的一个发动机舱的隔框也很大。魏曼戈登公司在45000ｔ水压机上生产了该隔框模锻件，锻件长3.8 ｍ，宽1.7 ｍ，投影面积5.2 m2，重1590ｋｇ。按通常的Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ合金的模锻变形抗力来计算，这么大投影面积的锻件是不可能模锻出来的。已知的情况表明，该公司采用以下三大关键技术确保特大钛合金锻件的形状尺寸和组织性能：一是采用优良的润滑剂以降低变形抗力；二是采用计算机有限元方法模拟模锻时金属流变、充填情况以确定可保证最终形状尺寸的工艺（包括模具和预制坯的设计方案）；三是搞好全过程（从开坯至最终模锻）的工艺设计以确保最终锻件的组织性能。虽然我们可以从中粗略地感觉到这首协奏曲的美妙之处，但仍不能完全理解在45000ｔ水压机上能模锻出如此大规格锻件的理由，还得细细品味其绕梁的余音以探究存在其他奥妙之处的可能性。

6、金属型精铸工艺

很早以前，人们就否定了金属型（长久性铸型）用于钛合金铸造的可能性。然而，美国普·惠公司的实践表明，金属型不仅适用于钛合金铸造，而且与陶瓷型（熔模）相比，可以降低 40%成本，减少污染，获得拉伸强度、疲劳强度更好的钛合金精铸件，甚至可以和钛合金锻件的性能相媲美。普·惠公司已应用金属型精铸技术制造了F119 发动机的第 4、5级高压压气机阻燃钛合金导流叶片。该公司还打算探索金属型精铸工艺用于制造转子叶片（含风扇叶片）的可能性。

7、大型整体结构件精铸工艺

航空用钛合金领域近期工程化发展中最耀眼的亮点当属大型整体结构件熔模精铸工艺。美国和我国一些先进发动机都用该工艺制造了整体机匣。更引人注目的是，由Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ合金制造的F/A－22垂尾方向舵作动筒支座等6个大型整体结构件和Ｖ－22倾转旋翼飞机的转接座都采用了该新型精铸工艺。以Ｖ－22转接座为例，原来由43个零件和536个紧固件装配而成。改为整体精铸件后则由3个零件和32个紧固件装配而成，既显著缩短了生产周期（加工和安装时间减少62%）和减轻了结构重量，又降低成本30%。F/Ａ－22上最大的两个整体精铸件是机翼与机身侧边连接的两个Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ接头（加工后成品重量分别为87 ｋｇ和58ｋｇ）。如此关键的零件都敢选用铸件　主要靠关键技术及其显著的效果。三大关键技术：一是高水平和准确的计算机模拟技术，二是热等静压技术（包括大型装备），三是新型的β热处理技术。显著的效果是往往能一次成功地研制出形状尺寸、组织性能、冶金质量均获得精确控制的大型复杂精铸件，其许用应力和安全可靠性可等同于锻件。

8、激光成形工艺

这是一种由高功率激光镀覆技术与快速原型技术结合而成的金属粉末熔化和直接沉积的新工艺，是美国两所大学与两家公司联合研究成功的。激光成形（Ｌａｓｆｏｒｍ）工艺的主要特点是：不需要模具、工夹具等硬件而在软件驱动下进行柔性加工；生产周期短，可对各种新设计或改变设计的产品作出快速反应；成本低；近净成形；特别适用于大型复杂薄壁整体结构件的制造；力学性能达到或超过锻件水平；可裁缝式地制成变成分的材料或零件。Ｆ／Ａ－18E/F已选定4个Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ大型构件应用此工艺。美国国防后勤局最近与ＡｅｒｏＭｅｔ公司签订了1900万美元的协议，用激光成形法为军用飞机与发动机制造钛合金结构件的试生产件。我国西工大、北航等单位也在积极开展激光成形工艺的研究工作。例如西工大最近研制了我国某新型战斗机用的ＴＣ4钛合金典型构件，其室温拉伸性能达到或超过锻件水平。

9、摩擦焊工艺

美国在ＣＦＭ56 等航空发动机中通常采用钛合金盘与盘之间的惯性摩擦焊。普•惠公司已成功地采用线性摩擦焊工艺将转子叶片与盘连接成整体叶盘（Ｂｌｉｓｋ），并实际应用于Ｆ119发动机多级钛合金风扇和压气机转子。未来摩擦焊将会应用到今后发展的整体叶环（Ｂｌｉｎｇ）中。近期发展的搅拌摩擦焊又为摩擦焊工艺在飞机零件中的广泛应用开辟了道路。北京航空制造工程研究所已购买了英国焊接研究所有关搅拌摩擦焊的专利，预期在我国也将取得迅速发展。

10、β热处理工艺

首先突破传统的α＋β热处理工艺而采用β热处理工艺的是高温钛合金领域，其初衷是为了提高蠕变抗力（相应地提高使用温度），这是β热处理工艺射中的第一雕。其次，β热处理工艺被广泛应用于高损伤容限钛合金，其主要目的是大幅度地提高断裂韧性（ＫＩＣ）和降低疲劳裂纹扩展速率（ｄａ/dＮ）。例如F/A－22飞机上占结构重量41%的钛合金，主要是Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ和Ｔｉ－62222（Ｔｉ－6Ａｌ－2Ｓｎ－2Ｚｒ－2Ｃｒ－2Ｍｏ）这两

种牌号，均大量采用了β热处理工艺（包括 5 个特大的Ｔｉ－6Ａｌ－4Ｖ钛合金隔框锻件），以适应损伤容限设计的要求。β热处理工艺射中的第三雕是铸造钛合金，其主要目的是显著提高铸件的疲劳强度，以保证钛合金铸件的使用可靠性。这是设计师们敢于在一些关键部位选用钛合金铸件的重要原因之一。一航材料院以钛合金伞舱梁和压气机盘为对象开展了较系统的研究，创立了具有自己特色的新型β热处理工艺--ＢＲＣＴ热处理工艺，其综合性能优于英、美常用的β热处理工艺。

航空用钛合金的发展历程反映了一个辩证关系：成分创新与工艺创新是材料技术创新主要的两大途径。从钛合金近期工程化发展的情况来看，工艺创新的亮点似乎更多一些。

航空钛合金的发展历程又告诉我们：性能驱动和成本驱动是材料技术发展永恒的两大动力。两者不可偏废，必须综合考虑，但可根据不同使用对象和不同历史时期有所侧重。从钛合金近期工程化发展的情况来看，成本驱动的马力似乎更大一些。从一定意义上说，近期发展中工艺创新亮点较多的原因主要是工艺创新途径往往能更好、更快、更省地达到高性能、低成本的效果。据中国航天报社网站 7 月 12 日报道中国一位高层矿业管理人士表示，中国将在未来 3 年内掌握航空钛的生产技术。

四、发展趋势

航空业复苏将带动钛行业的景气回升。

受全球经济危机影响，航空业不景气，波音和空客延期交付飞机订单，使得去年全球钛行业进入了周期底部，以宝钛股份为例，公司 2009 年出口收入 1.7 亿元，较 2008 年大幅减少 69%。随着全球经济的进一步恢复，航空业将走出周期底部，加上在低碳经济趋势下，大型环保节能客机需求将进一步上升，波音 787 的试飞成功以及空客 A380 的交付使用为重要的行业标志之一。

我们预计，2010 年至 2014 年，大型双通道客机每年需求复合增长率将达 13%，未来全球航空业的复苏及客机的更新换代将带动钛行业的景气回升。

第三节 体育休闲用钛

一、市场容量

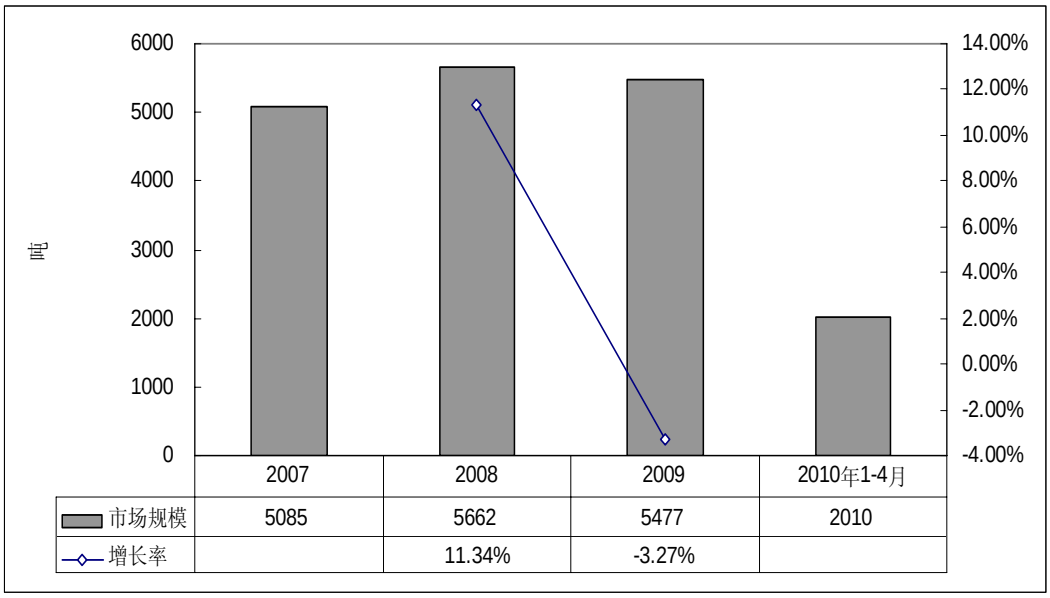


图 3-3 体育休闲用钛市场规模统计

资料来源：北京君略产业研究院

二、消费特点和消费模式

从最早的网球拍、羽毛球拍到最近几年广泛使用的高尔夫球头、柄以及赛车等，使人们对钛的认识提高了一大步。

（一）高尔夫球杆、球头

钛高尔大球杆、球头目前仍是钛在民用领域应用的一大支柱，世界各生产厂家几乎都生产过高尔夫球杆及球头。打高尔夫球的人总希望用头更大的球杆打球。钛的比重小，强度大，可以把球头做得更大，而不会增加球杆的总重量。在广泛的试验中，高尔夫球手用钛球头的击中率比用钢球头的击中率平均可提高 20%，而且击球距离有所提高。

目前较大的高尔夫球头要求其表面很薄，因此需要表面材料非常耐用。日本钢管公司研制的 SP-700 新型钛合金强度高，成型性好，近来被用作 Taylor 牌 300 系列高尔夫球头表面材料，畅销高尔夫球市场。

（二）网球拍、羽毛球拍

目前，钛在网球拍上的应用，主要是将纯钛制的网埋入球拍框架内。这样，不仅提高了网球拍击球的瞬间惯性力，而且即使球未击到球拍中心部位时，也容易将球击出，增强了球

拍的打击力，受到使用者的好评。

近年来，日本钛制网球拍市场需求量呈上升势头。现在，日本几乎所有的网球拍生产厂家都在出售钛制球拍，它占到球拍市场约一半的份额。各厂家为了划分档次，根据钛的特性生产球拍的同时，在网球拍的手柄部位还采用了钛镍超弹性合金材料及镀膜加工法等，以此来开发钛的新用途。

最近，利用钛的回弹力增强击球效果备受关注。日本有些公司最近正在进行新型钛纤维材料在网球拍上的开发应用。该合金为具有超弹性功能的形状记忆合金，在负载下即使变形，外力消除后就会立刻恢复原形。将此材料埋入球拍手柄的左右两侧，在击球时，可明显增加反弹力。

和网球拍-样，还开发了框架用纯钛、长柄用钛台金（Ti-3Al-2.5V）制的羽毛球拍，并已商品化。

（三）竞赛用自行车

自行车人力驱动，因为需要非常轻便，特别是在考虑比赛速度的赛车上，如果将赛车的重量减轻 1 克，即可争取千分之一秒的时间。一般的自行车使用 36 根幅条，而钛自行车用 24 根就够了，不但减轻了重量，而且减少了风的阻力。钛及钛合金，首先从零件上开始使用，意大利 Campagnolo 公司已经利用钛及钛合金制造竞赛用自行车的多种零部件，包括：封装变速器用销、左旋螺母、无销曲柄轴、前后轮毂轴、左右脚蹬轴等。

美国 Litespeed 公司用钛生产自行车架，这些车架的平均重量为 2.5 磅，每辆售价达 2800 美元。钛制车架比铬-钼合金车架轻、且更舒适一些，使用寿命也更长。在过去的 4 年里，工业纯钛管非航空用 Ti-3Al-2.5V（运动级）钛合金做成的车架颇受欢迎，每副价格在 1600-3500 美元之间，整个自行车售价为 2400-6000 美元。目前有近 50 家公司生产钛自行车，美国早已是最大的钛自行车生产国和消费国。现在自行车运动在全世界得到广泛开展，钛自行车特别适合高档次自行车运动的要求，因此钛自行车的销量也在逐步增大。

（四）竞赛用汽车

由于钛具有出色的物理和机械性能，已在赛车和限量生产的奇异运动性车上使用。钛在汽车工业中应用，可极大减轻汽车重量，降低其燃料消耗，保护环境和降低噪音。钛材的特性已在赛车中得到了很好地体现。

汽车上几乎所有的金属部件都可以用钛及钛合金制作，如：螺栓、连杆、摇杆、缓冲器后支架、排气管、回气管、阀、阀簧、制动器、传感部件等。此外，钛材还可以用于表面涂装，并且已用于刹车板的表面改进性能，这可保证刹车板质量轻、寿命长。钛用于汽车能延长气门、弹簧和连杆的使用寿命。

（五）其他体育用品

登山和滑雪用具正在朝着轻量化、小型化的方向发展。钛材具有比重轻、强度高、在低

温下冲击值不降低等特性，作为优越的登山和滑雪用具材料，已广泛使用，如钛合金登山棍、登山鞋底钉、攀岩用紧固件、滑雪杖、冰刀等。钛制体育用品还有：击剑防护面罩、宝剑、钓鱼杆、钓鱼用绕线架、赛艇零部件、用作田径赛跑鞋用得注射成型 Ti-Fe 系列鞋底钉等等。

第四节 化工用钛

一、产品应用特点

1、用钛代替不锈钢、镍基合金和其它稀有金属作为耐腐蚀材料

由于钛具有优良的耐腐蚀性能、力学性能和工艺性能，被广泛应用于国民经济许多部门。特别是在化工生产中，用钛代替不锈钢、镍基合金和其它稀有金属作为耐腐蚀材料。这对增加产量，提高产品质量，延长设备使用寿命，减少消耗，降低能耗，降低成本，防止污染，改善劳动条件和提高劳动生产率等方面都有十分重要的意义。

钛金属已成为化工装备中主要的防腐蚀材料之一，并在化工装置中已确立了他的耐腐蚀地位。作为化工设备中的理想材料，钛也愈来愈引起工程技术人员的重视。

经过多年的推广，钛及其合金已作为一种优异的耐腐蚀结构材料在化工生产中得到了广泛应用。目前钛设备的应用已从最初的纯碱与烧碱工业扩展到氯酸盐、氯化铵、尿素、有机合成、染料、无机盐、农药、合成纤维、化肥、和精细化工等行业，设备种类已从小型、单一化发展到大型、多样化。

2、国产化工钛设备中，数量最多的是换热器，其次是钛阳极和容器

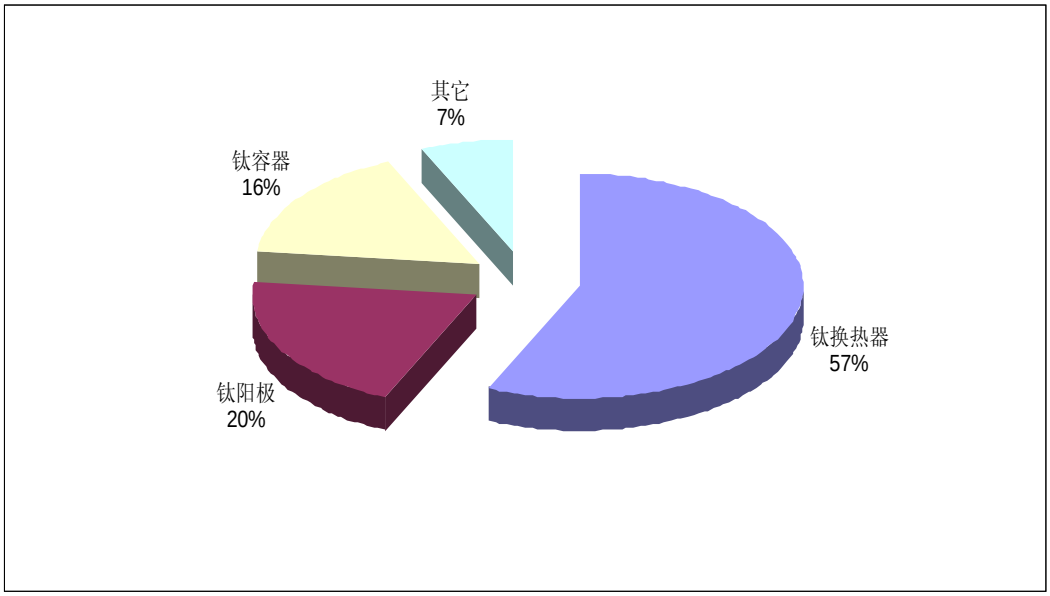


图 3-4 钛在化工行业中的应用

资料来源：北京君略产业研究院

调查结果表明钛换热器占 56.66%，钛阳极占 20.41%，钛容器占 16.28%，其它占 6.65%。

钛在化工中用的最早、用量最大的是氯碱工业，目前全国有大中小氯碱厂近 200 家，其

中大部分采用钛阳极槽和离子膜电槽生产烧碱，因此设备用钛量较大。

纯碱又称碳酸钠，是基本化工原料之一。生产纯碱的方法主要有天然碱法和以盐为原料的氨碱法和联碱法。无论采用那种工艺生产，设备都会受到氯化钠和氯化铵等介质的强烈腐蚀。国外在纯碱工业中已广泛使用了钛设备，中国自 1965 年以来，大连氯碱工业研究所、上海浦东化肥厂、大化公司碱分厂、天津碱厂、鸿鹤化工厂、湖北化工厂、青岛碱厂、以及新建三大碱厂都先后使用了钛材、钛设备。

3、在化工行业应用广泛

化工行业中的无机化工、无机化合物、有机化工以及化肥、农药、染料、精细化工、化学试剂等也都广泛使用了钛材。

二、市场容量

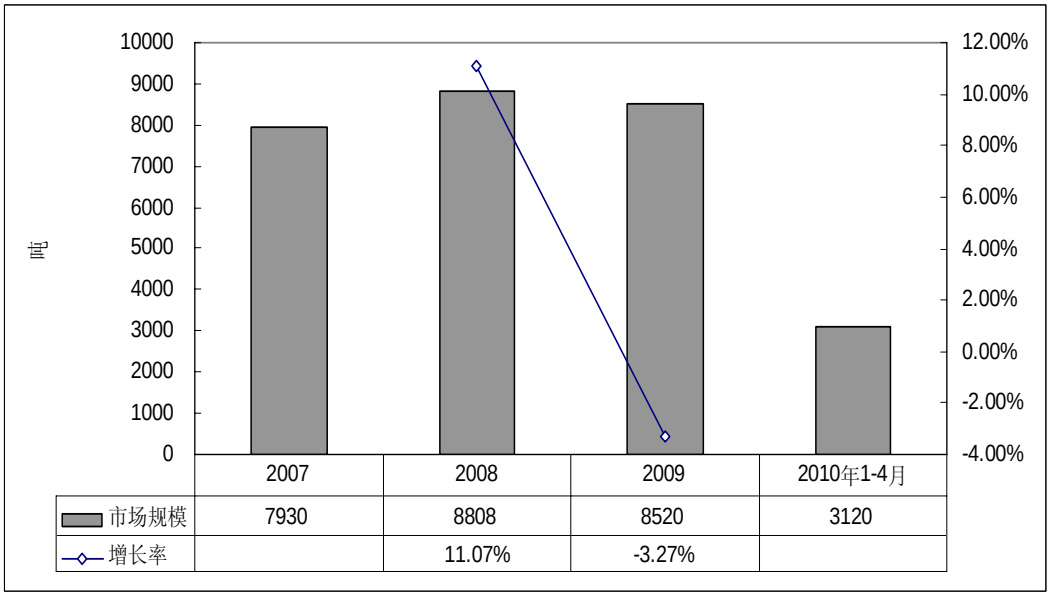


图 3-5 化工用钛市场规模统计

资料来源：北京君略产业研究院

三、消费模式

1、钛在氯碱工业中的应用

氯碱工业是重要的基本原料工业，其生产和发展对国民经济影响很大。这是因为钛对氯离子的耐腐蚀性能优于常用的不锈钢和其它有色金属。目前氯碱工业中广泛采用钛来制造金属阳极电解槽、离子膜电解槽、湿氯冷却器、精制盐水预热器、脱氯塔、氯气冷却洗涤塔等。这些设备的主要零部件过去多采用非金属材料（如石墨、聚氯乙烯等），由于非金属材料的力学性能、热稳定性能和加工工艺性能不够理想，造成设备笨重、能耗大、寿命短，并影响产品质量和污染环境。 因此，我国自 70 年代以来，开始陆续用金属阳极电槽和离子膜电槽代替石墨电槽，用钛制湿氯冷却器代替石墨冷却器，均取得良好的效果。 例如：钛制湿氯

冷却器的应用。食盐电解生产烧碱要产生大量的高温湿氯气，温度一般在 75~95℃，需要经过冷却和干燥才能使用。 我国食盐电解制取氯气的生产，以前因为冷却工艺不合理或因冷却设备的腐蚀问题影响了氯气产量和质量，而且还严重地污染了环境。耐高温湿氯气腐蚀的钛制冷却器投入生产，改变了氯碱工业中制取氯的生产面貌。钛在高温湿氯气的环境中极耐腐蚀，钛在常温时的氯水中，腐蚀速率为 0.000565mm/a；在 80℃时的氯水中，钛的腐蚀速率为 0.00431mm/a；在含 95%湿氯气中，常温下钛的腐蚀速率为 0.00096mm/a。许多氯碱厂使用了钛制湿氯气冷却器，有的已使用了近 20 年，至今仍然完好无损。

2、钛在纯碱工业中的应用

纯碱是最基本的化工原料之一，它直接关系到国民经济的发展。纯碱生产过程中，气体介质多为 NH3 和 CO2，液体介质多为 NaCl、NH4Cl、NH4HCO3 和 Cl-浓度较高的溶液，使用碳钢、铸铁材质进行碳酸化反应的碳化塔小管、热母液冷却器、冷却器、结晶外冷器等主体设备，均不耐腐蚀，腐蚀泄漏严重，使用寿命不超过三年。1975-1977 年，天津碱厂和大连化学工业公司建厂进行了钛应用示范工作，碳化塔冷却管Φ63×2mm、钛平板换热器、钛外冷器、钛泵、CO2 透平压缩机转子、Ti-6Al-4V 合金叶轮等的应用效果很好，这为全行业进行用钛技术改造和新建三个年产 60 万吨纯碱厂起到了样板作用。 例如：某纯碱厂蒸馏塔顶部氨冷凝器应用纯钛管代替铸铁管。氨冷凝器是纯碱生产过程中，将蒸馏塔蒸出的氨气进行冷凝的设备，它由两个铸铁冷却箱组成，每个箱的直径 2.5m，高 1.2m，箱内原装有Φ63×6×2986mm 铸铁小管 214 根，两个箱共 428 根。管内外均用热固性酚醛清漆防腐，管外介质为 NH3、CO2、H2O 蒸气，温度 95℃左右。管内走 NH4Cl 母液，与管外介质进行换热。在此条件下，铸铁管腐蚀严重，使用一年即有部分管子腐蚀穿孔，2 年已腐蚀损坏严重，停止使用。为解决氨冷凝器内铸铁管严重腐蚀问题，将铸铁管全部替换为 TA2 钛管，规格为Φ60×2×3010mm，钛管管端与铸铁花板间用 O 型橡胶圈密封。这是我国纯碱工业第一台蒸馏塔的冷却小管采用纯钛管。投产使用二年多，曾抽管进行宏观检查，未发现腐蚀现象，预计使用寿命可达 20 年以上，可比铸铁管延长 10 倍。由于钛管耐腐蚀，传热效率保持良好（铸铁管在 3 年一个大修期间，其传热效率前期好，中期差，后期就失效），管内 NH4Cl 母液预热回收热量，提高母液进入蒸馏塔的温度，可节约大量蒸汽，经济效益明显。

3、钛在石油化工中应用

在石油化工企业中钛换热器、冷凝器及有关辅助设备已经成功地使用了 20 多年。钛材中最常用工业纯钛（以 TA2 使用最广泛），Ti-6Al—4V（在需要一定强度时）和 Ti-0.8Ni—0.3Mo（存在缝隙时或在非氧化性介质中）。当可能发生吸氢和氢脆时，尤其是焊区腐蚀和吸氢的情况下，需要使用低铁（<o.05%）的钛材。石油化工行业产品多，流程繁。

（1）在含硫和含盐高的原油炼制中，钛制设备是比较理想的。国外在常压蒸馏装置、污水处理设备、脱硫分离塔的冷凝器和汽提塔的散热器等许多工序都成功选用钛制设备多年。我国也已在该系统中采用铸钛海水泵、催化裂化分馏中的钛制冷凝器、深冷分离钛冷凝器和多孔钛板等，都已正常操作运行十年以上。

（2）氯化烃是石油化工的最大品种之一。由于涉及到氯化反应，不锈钢设备已难胜任。国外已用钛材制造二氯甲烷精馏塔，三氯乙烷换热器、冷凝塔和分馏塔，三氯乙烯冷凝塔，过氯乙烯换热器和多氯化物盘管加热器等。我国在氯乙烯生产中，冷却塔、废水汽提塔和废水贮罐的塔板支承架、接管、法兰密封面，采用了 Ti-0.2Pd 的衬里，已使用近十年未见腐蚀。而钛管道、接头和气体分布器等都已采用钛材多年。

（3）苯酚是石油化工的重要原料，以炼油气中的丙烯和苯为原料，从异丙苯、过氧化异丙苯得到苯酚和丙酮，是一项新工艺。国外在十几年前就采用钛设备，我国此项工艺尚在开发之中。旧工艺用苯磺化碱溶液生产苯酚，我国已采用钛制中和反应釜、钛盘管冷却器和离子氮化钛的搅拌器轴套，效果很好。

（4）在乙烯氧化成乙醛、乙醛氧化成乙酸和丙烯氧化合成丙酮的装置中，除原料和产品有一定腐蚀性外，主要腐蚀介质是催化剂，不锈钢在其中腐蚀很快，唯有钛具有良好耐蚀性。早在 1963 年美国就在乙烯氧化制乙醛生产中应用钛获得成功。我国第一套乙烯氧化制乙醛装置已于 1976 年投入使用，至今钛设备的运行情况良好。国外衬钛反应器高达 9.6m、直径为 3m，还有换热器、催化剂再生塔、乙醛溶液冷却器等 11 台钛设备。我国在 80 年代以后，上海和吉林都分别引进国外的乙烯氧化制乙醛的成套设备，其中许多设备和泵阀等都用钛制造，较之不锈钢有明显优点，使用效果十分满意。丙烯氧化制丙酮的定型设计，钛设备有 12 台，一座年产 3 万吨丙酮的工厂，钛设备达 40t。

（5）乙醛氧化制乙酸是我国的通用工艺，现已采用钛材作为高沸物再沸器，一级品醋酸塔再沸器和冷凝冷却器等多种设备。国外在精馏塔、分馏塔和蒸馏塔等都采用了钛设备。尤其在低级烷烃氧化制乙酸时副产品较多，甲酸含量达 8%，腐蚀性极强，此时用钛代替不锈钢，效果十分理想。

（6）对苯二甲酸是合成涤纶的原料，工业上用对二甲苯氧化法制取。不论高温氧化还是低温氧化均存在乙酸和溴化物的高温腐蚀，在温度高于 135℃的介质中，316L 不锈钢经过几十小时即发生点蚀。故设计规范规定在 135℃以上必须使用钛材。北京石化总厂引进全套钛设备，包括氧化反应釜、溶剂脱水塔、加热器、冷凝器、再沸器等 16 台。南京扬子石化公司引进年产 45 万吨对苯二甲酸装置，有 56 台钛设备和大量钛管道阀门。上海石化总厂引进的氧化反应釜高 32m，上直径 4m，下直径 5.3m，容积为 505m，设备自重达 175t。使用钛材效果很好，推广应用前景光明。

（7）尿素是优质化肥，又是石油化工的原料。自 1963 年第一台衬钛尿素合成塔投产以来，目前已有近万台设备在全世界运行，实践表明衬钛合成塔无明显腐蚀。而 316L 不锈钢的折算腐蚀速度为 4.1—4.5mm / a。因此钛材比不锈钢具有更好的经济效益。除了衬钛尿素合成塔外，国内从 70 年代以来，先后使用了 C02 汽提塔、换热器、混合器和泵阀等。

四、发展趋势

1、我国化工用钛的范围在不断扩大，用量逐年增加。

由于钛具有优良的耐腐蚀性能、力学性能和工艺性能，被广泛的应用于国民经济许多部门。特别是在化工生产中，用钛代替不锈钢、镍基合金和其它稀有金属作为耐腐蚀材料，这对增加产量，提高产品质量，延长设备使用寿命、减少消耗、降低能耗、降低成本、防止污染、改善劳动条件和提高生产率等方面都有十分重要的意义。近年来，我国化工用钛的范围在不断扩大，用量逐年增加，钛已成为化工装备中主要的防腐蚀材料之一。钛作为一种用于化工装置中的耐腐蚀结构材料，已经确立了它的地位，而且作为化工设备中的理想材料，钛也愈来愈引起工程技术人员的重视。

2、化工用钛比例有所下降

近年来，我国钛材的生产技术提高迅速，航空用钛、船舶用钛、军事用钛、汽车用钛等增长都很迅速，有赶超化工用钛的趋势。总体而言，化工用钛的技术含量小，产品附加值低因此，化工用钛的比例将逐步下降。

第五节 汽车用钛

一、钛合金在汽车上的应用及特点

20 世纪 50 年代中期，钛材进入了汽车工业。步入 90 年代，随着世界性能源短缺及人们环保意识的加强，尤其是汽车工业，美国、日本和欧洲等国先后颁布了系列生态法规，对燃油利用率，CO2 排放量、汽车减重、汽车的安全性、可靠性等提出了更高的要求。许多发达国家和著名的汽车制造商都积极开发并增加在汽车用钛方面的研究投入。为汽车用钛提供了强大动力。进入新世纪，我国钛工业也逐步步入汽车领域。

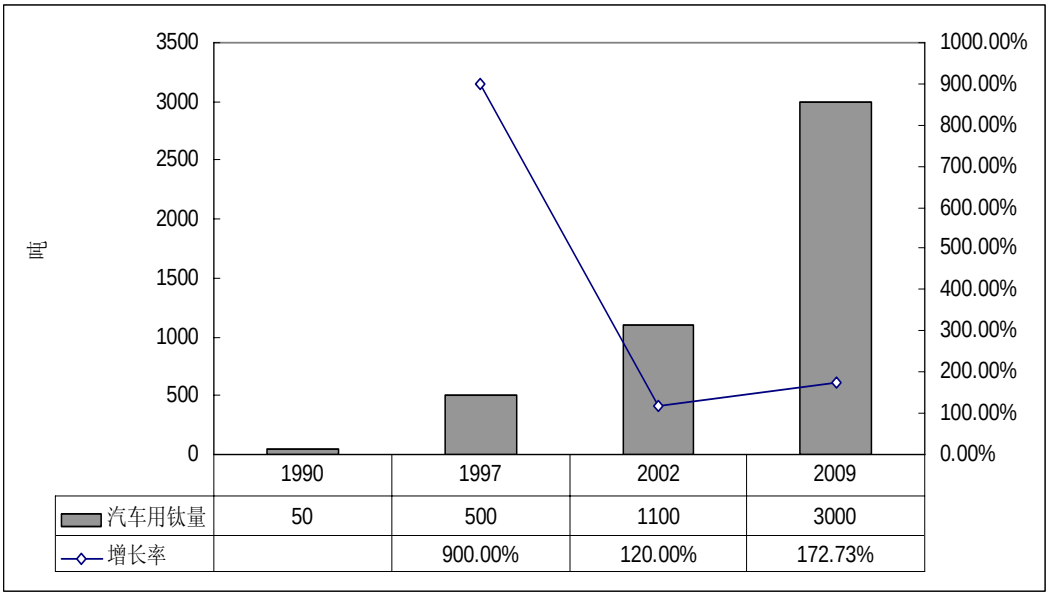


图 3-6 1990-2009 年全球汽车用钛量增长情况

资料来源：北京君略产业研究院

在当前汽车市场上，随着豪华汽车、跑车和赛车需求逐年增加，钛制零部件亦逐年增加。1990 年全球汽车用钛仅为 50 吨/年左右，1997 年为 500 吨/年，2002 年为 1100 吨/年，2009 年为 3000 吨/年。由此可见，汽车行业用钛材进入加速阶段。

二、汽车中使用的钛制零部件

钛在汽车上的用途主要分两大类，第一类是用来减少内燃机往复运动件的质量（对作往复运动的内燃机零件来讲，即使减少几克质量都是重要的）；第二类是用来减少汽车总质量。根据设计和材料特性，钛在新一代汽车上主要分布在发动机元件和底盘部件上。在发动机系统，钛可制作阀门、阀簧、阀簧承座和连杆等部件；在底盘部件主要为弹簧、排气系统、半轴和紧固件等。

除了上述所举重点外，还有：发动机部件的摇臂、悬簧、活塞销、涡轮增压器转子、紧固件、挂耳螺帽、车挡支架、门突入梁、制动器卡钳活塞、销轴栓、离合器圆板、压力板、变速按钮等等。

三、降低汽车用钛合金成本的途径

尽管钛及钛合金早在上个世纪 50 年代就进入了汽车制造领域，但发展比较缓慢，其原因主要是价格因素，为了满足汽车行业用钛，钛工业者在熔炼、加工，制造等方面进行了大量的工作。以满足汽车业的需求。

钛金属熔点高，化学性质十分活泼，与 O、H、N、C 等元素有极强的化学亲和力，致使纯钛提取困难。工业上普遍使用的 Kroll 镁还原法生产海绵钛。Kroll 镁还原法生产海绵钛工艺复杂，能耗高，周期长，并且不能连续生产，同时需用大量的金属镁作还原剂，生产成

本较高。

钛合金价格高的另一个原因是合金化元素价格较高。

随着钛冶炼技术的进步，将钛在生产、加工过程中所产生的边角余料、废屑等残料经系列处理后作为炉料添加，实现循环生产，是降低原材料成本有效方法。实践表明，每利用1%的残钛，可使钛锭生产成本降低 0.8%。如果采用电子束冷床炉、等离子束冷床炉进行熔炼，不仅可以改善钛锭的冶金质量，同时可以大量使用回收炉料，有效降低铸锭成本。

降低加工成本

占总成本 60%以上的加工成本是各国降低成本的研究的重点。钛材零部件在生产制作过程中不仅工艺复杂，同时在制作过程中产生了大量的残钛，且生产周期较长，导致部件制作成本提高。阻碍了其更为广泛的推广应用。

铸造是经典的（近）净成型工艺。生产的零部件无需机加工或机加工很少，从而节约了大量金属。铸造常常能生产出形状复杂的零件，而这些零件采用其它传统工艺方法制造时工艺复杂，生产成本较高，特别是对材料价格相对较高的钛金属。目前，在航空工业大量应用了钛铸件。在汽车制造业，用铸造法生产的部件有阀门、涡轮增压器等。

粉末冶金作为一种现代冶金和材料加工的先进技术方法，在钛工业领域发挥了重要的作用。采用钛粉末冶金近成型技术，可直接制取成品或接近成品尺寸的零部件，降低了原材料消耗，缩短加工周期，成本比常规工艺节省 20%~50%。在汽车制造业，钛粉末冶金近成型技术尤为重视，在日本，汽车粉末冶金零件被广泛用于发动机和变速箱，其中，连杆、阀座、阀、带轮、同步器齿毂、同步环等都是复杂且要求高的关键零件。目前钛粉朱冶金的研究正处于飞速发展阶段，主要包括儿个方面，一是高质量低成本钛粉术制备技术及其产业化；二是钛粉末冶金什的制备技术，同时在汽车工业推广应用。

除此之外，激光成型技术（集成了激光技术、CAD/CAM 技术和材料技术的最新成果），根据计算机模型，可直接用合金粉未一次成型形状复杂的最终零件，制造出的钛零件性能介于铸造和锻造之间，而成本降低 15%~30%，交货时间缩短 50%~75%。金属粉未注射成型技术（MIM）是发展较快的一种近净成型粉未冶金技术，可制造高质量、高精度的复杂零件，被认为是目前最有优势的成型技术之一;还有钛涂层技术，也是一种能降低成本的新型工艺。可见，降低钛材料的价格必须从开发低成本的新的合金系、改进生产工艺两方面入手，才能从真正意义上解决汽车用钛受钛材价格制约的问题，也才能使汽车用钛更具有竞争力和发展前景。

四、汽车市场是钛材使用最有希望大幅增长的领域

丰田公司研究和发展实验室研究员用含 TiB 的金属复合材料和 Nb-Ta-V-Zr-O 橡胶金属等新材料正在研究开发应用到气门弹簧等方面。日本钢铁公司排气系统用含有 Al，V，Cu，Nb 的高温合金全球钛行业的现状与发展已经被研究出来。世界建筑用钛的情况。近海石油勘探和生产中钛的应用情况。海洋热能转化的潜力，一座 10MW 的电站需要用 1800 吨的钛，

而全球的海洋热能潜力为 106MW。

近年来，随着汽车工业的发展，世界汽车产量和保有量与日俱增。2009 年我国汽车产业突飞猛进，汽车产销量超过 1300 余万辆，超过美、日成为世界汽车产销第一大国。汽车在给人们出行带来方便的同时也产生了油耗、环保、安全三大问题。着眼于可持续发展考虑，降低燃油消耗和减少排放污染显得尤为迫切。据国际权威部门统计汽车所用燃料约 60%消耗于汽车自重。汽车每减轻 10%的重量，废气排放量可减少 10%，可降低油耗 7%。由此可见，汽车减重、轻量化是实现上述目标的有效措施。

实现汽车轻量化的途径主要有两种：一是优化汽车框架结构；另一个是在汽车制造上采用轻质材料。钛材在汽车领域将大有作为。

第六节 医疗用钛

一、市场规模

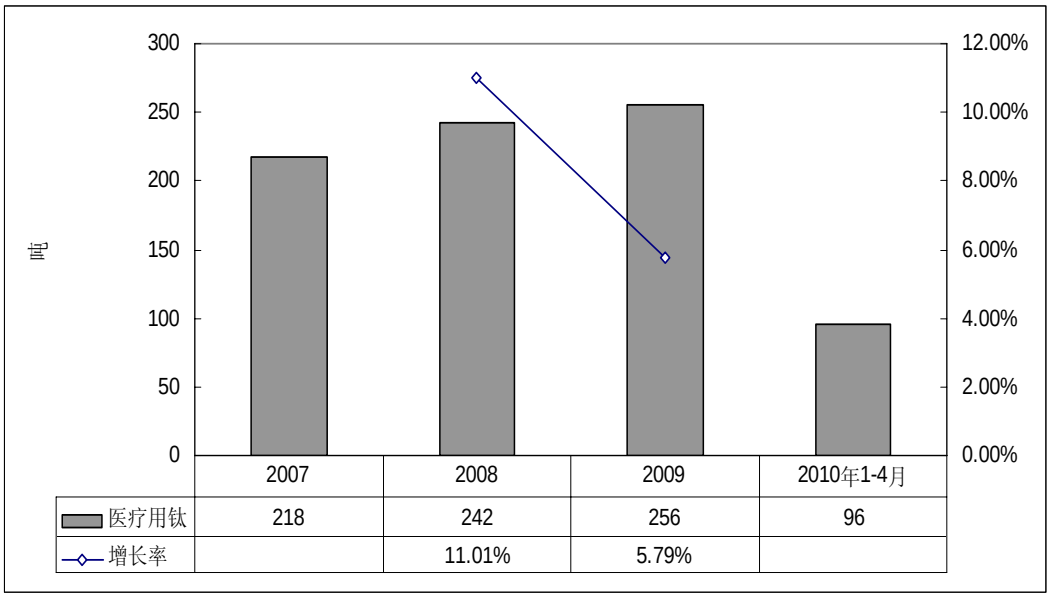


图 3-7 医疗用钛市场规模统计

资料来源：北京君略产业研究院

二、钛材在人体植入领域的发展情况

金属材料作为生物医用功能材料是材料科学的一个重要分支，用于人体植入物的历史已有 400 余年。英国较早地使用了纯金板修补颅骨、镶牙，其后陆续使用了银、铁片、铁丝及铁基合金的固定骨折关节件。1930 年以后，英国、美国使用钴基合金作为人体植入物。第二次世界大战期间，英国、美国和日本等国家使用了大量的不锈钢作为人体植入物。20 世纪 50 年代初，随着稀有金属工业的发展，加工态和铸态的钛、铌、锆作为人体植入物用于临床实验。

1972 年，我国开始采用了国产钛及钛合金制品，北京积水潭医院等 20 多家医院，先后采用钛及钛合金人造骨头与关节用于临床治疗应用和研究，制造的髋关节、肘关节、下颌骨等用于临床治疗病人。同时，华山医院与上海冶金研究所的模拟人体体液的浸泡实验，电化学阳极化实验和腐蚀动力学曲线的测定，证明了钛及钛合金人造骨头与关节用于人体具有优异的耐腐蚀性，生物学反应也很小，是一种理想的人体植入物。复旦大学生物系人类生理学研究组与上海第六人民医院对植入人体骨头与关节进行力学性能测定，认为钛及钛合金的强度满足了人体植入物的要求。

世界各国的相关研究和大量的临床治疗实例，从深度和广度上认可钛及钛合金是迄今为止最理想的人体植入物金属材料，被当今医疗外科业列为继不锈钢、钴基合金之后崛起的第三代金属。

20 世纪 80 年代中期以后，国产钛及钛合金加工材用于制造人体植入物的数量增加，其中钛形状记忆合金的开发与应用达到国际先进水平。到了 90 年代中期，国产钛及钛合金加工材，在矫形外科、神经外科、心血管系统、口腔颌面外科、人体外培养机等方面广泛应用。近 5 年，又有天津市威曼生物材料有限公司、北京奥斯比利克新技术有限公司等一批企业成为钛及不锈钢等人体植入物生产企业。采用钛及钛合金制造的股骨头、髋关节、肱骨、颅骨、膝关节、肘关节、肩关节、掌指关节、颌骨以及心辨膜、肾辨膜、血管扩张器、夹板、假体、紧固螺钉等上百种金属件移植到人体中，取得了良好的效果，被医学界给予了很高的评价。

人体植入物是与人的生命和健康密切相关的特殊的功能材料。同其它金属材料相比较，使用钛及钛合金的优势主要有六点：

1 质轻；2 弹性模量低；3 无磁性；4 无毒性；5 抗腐蚀性；6 强度高、韧性好。

三、钛在生物医疗领域发展空间巨大

钛及钛合金具有优异的使用特性，被世界公认是生物医疗领域中优异的金属材料，同使用不锈钢、钴基合金等金属材料相比较，具有较大的应用优势，发展空间很大。

金属材料作为人体植入物的用量逐渐增加。1990 年以后，仅美国每年用于人体植入金属件达到 200 万件以上，其中髓关节、股骨件占 2.5%；欧洲市场对骨折外固定产品和内固定产品的供需两旺，以法国、德国、意大利和英国为主，2009 年市场价值达到 5.9 亿美金，其中内固定产品占 89.4%。近 10 年来，生物医用材料及制品的市场增长率一直保持在 20%～25%，预测未来 10～15 年，包括生物医用材料在内的医疗器械产业化发展快，将达到规模经济，成为世界经济的支柱产业。

医用钛及钛合金材料的优势已经被医学界认可，也被越来越多的患者接受，考虑到战争的因素、运动创伤的因素和人民生活水平提高的因素等，首选钛及钛合金作为人体植入物的增长空间很大，势必成为钛应用发展中新的经济增长点。

新型医用钛合金材料即将申请加入外科植入物用钛及钛合金加工材国家标准，同时开展相关医疗器械产品注册申请工作。预计采用新型合金材料加工的国产新型医疗器械产品问世

后，可以迅速形成高科技产业，带动地方经济和相关产业发展，并可促进具有民族品牌的医疗器械产品的开发和新产品升级换代，减少进口，从而产生巨大的经济和社会效益。

第七节 其它行业用钛

一、军事用钛

地面车辆需要较轻的导弹发射保护装置，需要用钛。要使这些应用进一步增加，降低成本是非常重要的。M777A1 榴弹炮由于使用了铸造钛合金，减少了 50%的焊接，零件数量也减少了 51%，简化了制造工序，零件得到了强化，降低了成本。此外，钛的应用还包括 M2B、EFV 的零件，枪的推进装置，M1Abrams 坦克和 FCS 等。

钛及钛合金材料作为金属材料中的佼佼者，具有一系列其他金属材料不可比拟的优异性能，因而近几年来发展很快，并被迅速广泛地应用于航天军工等高科技领域。美国、俄罗斯、日本、中国等世界各国都极为重视钛合金的研发工作，不断开发新型钛合金材料，扩大钛及钛合金的应用。由于研究不断深入和产品系列增多，现在不少钛材产品，如钛丝材等也已越来越多地进入到各种民用消费品领域。

二、船舶用钛

船舶制造业将成为钛材在航天航空领域应用之后，又一重大的应用领域，将成为拉动钛工业的新的增长点。

舰船领域用钛在我国起步较晚，由于技术、装备等问题还有待于完善，钛在舰船领域的应用成为我国钛工业工作者多年来为之努力的方向。世界一些发达国家很早以来就已开始研究钛材在舰船领域的应用，而俄罗斯早在 1968 年便成功制造出全钛潜艇。30 年过去了，至今这艘全钛潜艇还在各大洋游弋。从 20 世纪 60 年代中期开始，俄罗斯先后生产了 6-7 艘双层高压壳阿尔法级全钛潜艇，每艘潜艇用钛达 3000 吨。

日本也是世界上较早从事钛材在舰船应用研究的国家，在民用游船、渔船应用方面积累了大量的经验。日本近年来制造的全钛深海调查船，可以潜入海底深度达 6500 米，是世界上能够潜入海底最深的船只，这充分显示了钛合金的独特魅力和优异性能。在深海领域是舰船用材不可替代的材料。

我国从事钛材在舰船上的应用研究起步并不晚，早在 20 世纪 60 年代便已开始，40 多年来，我国船用钛合金从研制开发到船舶及海洋工程的建设等方面做了大量的工作，对舰船的动力推进系统、深潜器耐压壳体、声纳导流罩等应用领域进行了研究，取得了一些进展。但在舰船制造业的大量应用钛还进展缓慢，目前处于发展阶段。这与我国国防科技的发展是不相称的。我国的舰艇装备与俄罗斯、美国等发达国家相比还比较落后，因此，大力推广钛材在船舶制造业上的应用是十分必要的。

可以预见，船舶制造业有望成为我国钛业继航空航天领域应用之后又一大的增长点。

三、钛在首饰中的应用

金属钛凭其对人体肌肤的亲和力，开始逐渐成为装饰品，钛做的手链，十分轻盈，戴在手上轻便手感好。还有做工更加精细的钛项链、钛戒指、钛耳环、钛耳坠等。钛在制做耳坠、项链等首饰时优势明显；

钛具有良好的耐腐蚀性：在首饰上它所体现的优势是不腐蚀、不变色、能长久保持良好的光泽，而且不怕水；

钛有良好的生物相容性：钛的良好耐腐蚀性特征使它和人长期接触以后也不影响其本质，不会造成过敏。现在在医学领域已经得到广泛的应用。因此对金属有过敏反应的人可放心大胆佩带钛的首饰；

钛能着色：钛金属有一个很有趣的特征，将钛置于电解液中通上一定电流，其表面就会被电解化上一层氧化膜，而氧化膜的厚薄可决定颜色的变化，而并无需外加元素。现在可做的颜色有金、黑、蓝、褐、花等各种颜色。它的这一特性使首饰设计更多彩、更时尚；

钛硬度高，不易变形，不象普通金银首饰等佩带一段时间后需要重新整形。

由于钛金属的物质特性及特有的文化内涵，她将成为继贵金属铂、金之后又一时尚而经典的首饰金属。近年来，在西方国家及日、韩，钛金首饰业正在蓬勃发展，且方兴未艾，钛金首饰已成为时尚、经典、涵养、个性、健康的代名词。

四、冶金用钛

从七十年代初，云南冶炼厂、上海冶炼厂、葫芦岛锌厂等有色冶金行业率先在电解铜、电解镍及铅锌冶炼中使用钛材，解决了严重困扰企业生产及发展的腐蚀问题，揭开了我国湿法冶金行业使用钛材的序幕，钛及钛设备在这些企业成功的应用，也大大地促进了我国钛工业民用推广的使用。自 80 年代后，国内许多湿法冶金企业都在技术改造中，大量地选用钛材，金川有色金属公司、沈阳冶炼厂、铜陵有色金属公司、大冶有色金属公司等企业近十年来的用钛量高达上百吨，这些新技术、新装备的使用，使我国有色湿法冶金行业的装备更接近世界先进水平。

钛作为电铜、电镍行业中种板应用的主要优点是：1.钛表面的氧化膜保护了钛不被电解液腐蚀，且又不污染电解液。2.剥离极其容易，减轻了劳动强度。3.成品率提高了 30%以上。4.电铜结晶组织致密，表面光滑。5.不易断路烧板。6.使用寿命在 30 年以上。