



□ 廖文

## 一、全球造船业的 造船量继续维持高位

近年来,全球造船业蓬勃发展。2006年世界新船订单量超过9000万载重吨,竣工量超过了5000万载重吨。油轮、LNG(天然气)船、LPG(液化石油气)

船、集装箱船、散装船及汽车专用运输船等,几乎所有船种的需求都在高涨,日本造船厂的订单都处于超过三年工程量的状态。一些造船厂为了应对史无前例的订单增加而开始了大规模增加设备和强化设备的工作,钢铁界也以满负荷生产来供应造船用钢铁材料。

受到世界性船舶需求增长的影响,韩国、中国造船

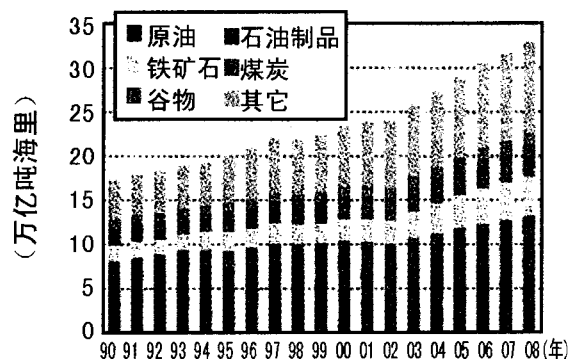


图1 世界海上货运量

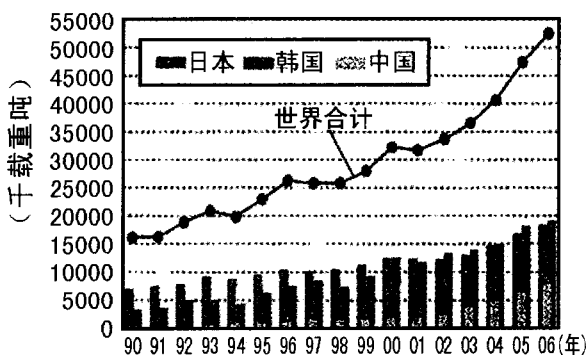


图2 世界新船竣工量

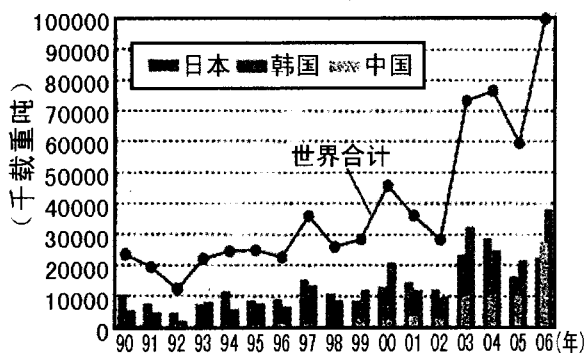


图3 世界新船订单量

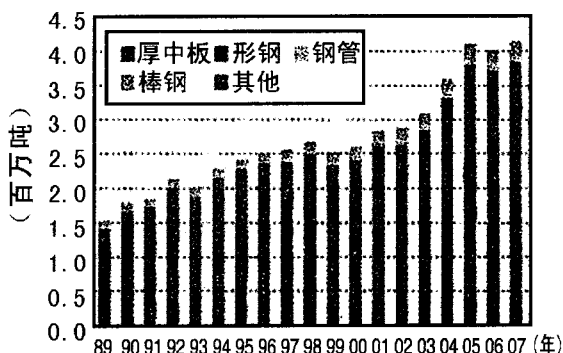


图4 造船及海洋结构普通钢材消费量

厂的生产取得了显著的增长。目前,韩国、日本和中国等三国新建船舶数量占世界新船竣工量的约八成,其中接受大量订单、实施大量建造的韩国,以及以本国国内旺盛需求为背景来发展生产的中国,近年来的订单量都有了飞速的增长。

当前,如何提高船舶的安全性成为了世界性的课题。IMO(世界海事组织)以1989年在阿拉斯加沿岸发生的埃克森·瓦尔迪兹(Exxon Valdez)号油轮触礁泄油事故为契机,使油轮结构设计为双壳结构变为义务。且由于其后事故仍频发,因此正对船舶安全基准体系进行彻底修订。与此同时IACS(世界船级协会联盟)制定了油轮、散装船的CSR(通用结构规则)。CSR规定了应能在北大西洋可持续就航25年的严格设计寿命。CSR适用于2006年4月以后签订的合同船上。

## 二、支撑船舶大型化的高强度钢板

2006年10月一艘巨大的集装箱船首次驶入日本横须贺港。它是全长397m,总吨位170794吨,集装箱总装载量11000标准箱的世界最大型集装箱船。其庞大的船体引起了舆论的关注。

近年来,由于物流量的增加,为了提高运输效率,船舶有愈加大型化的趋势。集装箱船尤为显著,以只在亚洲区域内航行为目的,从上世纪80年代后期开始出现4000ETU(标准箱)级后巴拿马级船以来,不断涌现6000-8000ETU级集装箱船。最近还出现了10000ETU级集装箱船。港口也相应配备了深水码头和大型吊车等来完善接纳靠泊大型船舶的环境。

对于集装箱船大型化不可或缺的材料就是高强度钢板。集装箱船是舱口大面积敞开型结构,因此面积很小的甲板会受到很高的应力。为保证强度,在超过8000ETU级的超大型集装箱船上,在受到最高应力的甲板附近纵向加固件材料上,采用了板厚70-80mm、屈服应力390MPa的高强度钢板。

为避免在使用这样的特厚钢板情况下造船效率的降低,通常在焊接中采用线能量超过50kJ/cm的大线能量焊接方式,与此相对应采用TMCP技术,开发出了具有高HAZ韧性的钢板。

钢板高强度化也得到了发展。最近开发出了屈服应力460N/mm<sup>2</sup>级高强度钢板。尽管在保证抗脆性裂纹传播性能上还存在一些问题,但是新研制的钢板由于具有高强度,因此有可能减小所使用钢板的厚度。新研制开发的50mm厚的高强度钢板已成功用在8000TEU

级集装箱船上,可望对减轻船体或提高其安全性发挥一定的作用。

## 三、开展有关防止钢板脆性裂纹传播的研究

目前世界性的课题就是如何提高船舶的安全性。对于所使用的钢铁材料则要求其进一步提高可靠性。最近,特别关注有关脆性裂纹传播和如何保证其可靠性方面的问题。所谓脆性裂纹传播,是脆性破坏在一秒钟内以数百米乃至十几万米的非常高的速度传播而造成破坏,只要是条件具备就有可能在瞬间造成毁灭性破坏。

著名的脆性破坏事故,是第二次世界大战期间的美国造标准船。在二战期间美国为了提高造船效率,大规模地引进焊接方式以代替传统的铆接方式,建造了大批的战时标准船,其中有货轮、油轮等。大家熟知的是货轮的名称“Liberty Ship”。在1939-1945年间建造的该种货轮大约有2700艘。但是投入航线后不久,便发生多次破坏性事故。至1946年间一共发生了1000多起破坏事故,其中包括200艘船只沉没或不能再使用的重大事故。其原因可以认为是焊接接头的低温韧性低,以焊接缺陷造成的应力集中处为起点,在外力加上焊接残留应力的作用下产生脆性裂纹并扩展的结果。以该事故为契机,在全球范围内交流探讨了关于脆性破坏的各种见解,从而促进了破坏力学的体系化和焊接技术的提高。此后开发出了具有良好焊接性能的焊接用钢,并保证了低温韧性。另外,由于引进了破坏力学,对脆性破坏进行了定量分析,使得脆性破坏这种情况在20世纪末基本上消声匿迹了。从这些过去的经验,在造船领域很早就认识到保证钢板及焊接结合部韧性的重要性,并采取了万全的措施。

但是由于近年来船舶的大型化,脆性破坏的问题再次显现出来。为防止脆性破坏,首先是不使其产生脆性裂纹,在万一发生的情况下重要的是防止脆性裂纹的传播,但是有人指出随着集装箱船的大型化所用的钢板越来越厚,很难保证完全防止裂纹传播。

前些时候进行的高强度特厚钢板(厚度65mm、70mm)脆性裂纹传播试验报告指出,所发生的裂纹有时在焊接接头部位一直扩展而不会停止,在没有焊接的母材上也有时存在裂纹扩展不止的情况。

在这些试验结果下,目前日本领先于世界正在进

行着几个研究项目。比如,日本海事协会与相关大学、造船企业和钢铁企业进行着“关于超大型集装箱船的安全性评估研究(关于抗脆性裂纹设计)(2007-2008年度)”。其中以制定有关抗脆性裂纹设计的技术基准为目的,对特厚钢板的脆性裂纹行为进行分析。目前正基于先前得到的一些见解,进行着采用大型试验设备的试验。这样大规模的做法在世界范围内也是罕见的,作为先导性尝试引人注目。

研制开发提高抗裂纹传播性能的材料也在进行。已开发并得到应用的是表面超细晶粒钢板。它是通过将表层部分结晶的晶粒细化至粒径2m左右,它具有高的抗裂纹传播性能,但由于是采用特殊的制造方法,因此能够制造的板厚仅为50mm。最近还开发出了通过应用TMCP技术,通过使结晶粒度细化来提高抗裂纹传播性能的钢板。

#### 四、颠覆传统认识的抗疲劳破坏措施

为确保船舶的安全性能,提高疲劳强度也是重要的。船体结构与陆上结构不同的是它在毫无遮拦的海上受到风及由其引起的海浪的变化负荷。进而还由于是暴露在强腐蚀海水环境中,所以要求船体有高的疲劳强度。

在船体上,通常是在焊接部位发生疲劳裂纹。在起初一般使用软钢的年代,因为所作用的应力低所以疲劳问题的影响很有限,但近年来随着高强度钢板应用范围的扩大,疲劳破坏成了问题。事实上,上世纪90年代初在油轮上曾频发疲劳破坏。以此为教训,对有可能发生疲劳破坏危险的部位进行了降低其应力等结构设计方面的改进。这是基于只靠钢材自身是不可能改善疲劳特性这一认识上的。

但是在2001年得到了铁素体、珠光体两相组织下可抑制疲劳裂纹扩展速度的见解。由此在世界上首次实现了具有高的抗疲劳特性钢板的开发和应用。所开发钢种的疲劳裂纹扩展速度仅为传统钢的1/2以下,其延长寿命的效果在结构物上也得到了证实。

#### 五、延长船体寿命的耐蚀钢

为提高船体的安全性能和延长寿命,提高其耐蚀性能也是很重要的。一些船龄较长的油轮由于其船体受到过度腐蚀的原因从而发生油泄漏事故,IMO也认

为腐蚀问题是重要的课题。船体寿命主要受腐蚀和疲劳进程的影响,因此强烈要求提高材料的耐蚀性能。

日本在1999-2001年间,由船东、造船厂和钢铁企业共同在日本造船研究协会第242研究分会(SR242)上实施了“油轮新型腐蚀行为的研究”。开始了世界领先的防腐蚀研究。应用该研究成果,开发出了优质的油轮用耐蚀钢。

原油槽内发生的腐蚀包括上甲板内表面为主的腐蚀和底部钢板的孔蚀。上甲板内表面的腐蚀原因已经得到明确,它是在燃烧废气与来自原油的挥发H<sub>2</sub>S的混合气氛下,在昼夜温差很大的情况下反复发生交替干-湿过程而发生。若腐蚀的进程严重时,有些则需要更换上甲板。作为解决措施,通过使添加元素的最佳化和采用TMCP技术研制开发的上甲板用耐蚀钢,与传统钢比较可将腐蚀速度控制至1/3-1/5。这一点已得到证实。它可在无涂覆状态下在长达25年的船舶寿命中可将腐蚀损伤控制在允许值范围内,从而降低维护强度和提高安全性能。

油轮底部的孔蚀,是在实施了双壳船措施后显现出来的问题。其原因是在单壳船时船体结构骨材是突出的,而在双壳船上则是位于双壳之间,使得底板总体结构呈一个平面的缘故。已知油槽内本来有原油固化形成的厚油膜起到防腐作用,但在双壳船中当进行洗涤喷油时由于无遮拦而使得底板油膜变薄,从而易发生孔蚀。底板的腐蚀在局部以最大4mm/年速度发生。作为其解决措施而开发的耐孔蚀钢板,能将孔蚀的进行速度降至1/5左右,可在不进行涂覆的条件下提高耐蚀性能。

目前所试用的用于油轮底板的耐孔蚀钢板,在经两年一次的定期检修时,证明了在无涂覆的条件下也有良好的耐蚀性能。IMO以前认为对付孔蚀的唯一有效方法就是进行涂覆,因此一直在研究涂覆是否规定为义务的问题,但由于耐蚀钢的应用效果得到证实,所以目前转而将日本新技术研制开发的耐蚀钢作为研究对象。

近年来韩国、中国的造船业发展很快,日本如何保证不仅仅依赖于成本的国际竞争力变得日益重要。与造船界共同培育的日本的船舶用钢铁材料技术,具备了能满足性能和质量、考虑环境等新的时代需求。以当前活跃的供求状况为契机,期待进一步扩大日本的材料技术应用领域。

(作者单位:冶金工业经济发展研究中心)