

DOI: 10.13979/j.1007-7235.2015.08.001

船舶舰艇用铝及铝合金(1)

何建伟¹, 王祝堂²

(1. 大连汇程铝业有限公司 辽宁 大连 116105; 2. 中国有色金属加工工业协会 北京 100814)

摘要: 由于铝合金密度小,力学性能和加工工艺性能好,可焊接、耐低温等诸多优点,适合用来制造舰船上的一些部件。目前铝合金在舰船工业领域得到了较为广泛的应用,而未来会有更大的扩展空间。评述了铝合金在舰艇上和民用船舶上的应用,舰船铝合金材料的化学成分、性能、主要品种、腐蚀问题及防腐蚀措施等。全文篇幅长,分为两篇刊出,本篇主要评述铝合金在航空母舰、大型水面舰、潜艇、快艇及高速船、民用船舶、海洋钻探平台和钻探管等方面的应用等。

关键词: 铝合金; 应用; 军用舰艇; 民用船舶

中图分类号: TG146.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7235(2015)08-0001-11

Aluminum and its alloys for ships and naval vessels (1)

HE Jian-wei¹, WANG Zhu-tang²

(1. Dalian Huicheng Aluminum Industry Co., Ltd. Dalian 116105, China;

2. China Nonferrous Metals Fabrication Industry Association, Beijing 100814, China)

Abstract: Aluminum alloy is suitable for making some parts of ships and naval vessels due to its merits, such as low density, excellent mechanical and processing properties, weldability and low temperature resistance. Currently, aluminum alloy is widely applied in the ship and naval vessel industry. In the future, it will be used more and more. The paper has reviewed the application of aluminum alloy in naval vessels and civil ships, its chemical compositions, properties, main varieties, corrosive issues and measures against corrosion of aluminum alloy for vessels. As the whole paper is long, it will be issued in two parts. This part mainly reviews the application of aluminum alloy in aircraft carriers, large marine naval vessels, submarines, swift boats, high speed ships, civil ships, marine drilling platforms and drilling tubes.

Key words: aluminum alloy; application; naval vessel; civil vessel

铝的密度小,资源丰富,价格适中,加工性能好,强度不低,无磁性,可焊接特别是有优秀的摩擦搅拌焊接(FSW)性能,抗蚀性强,无低温脆性,在低温下其强度与塑性(伸长率、压缩性、韧性)均随着温度的降低而均衡地上升,可在-200℃以下或更低的温度

下工作,高温性能尚可,但不能在180℃以上长期工作,可回收性强,等等,因而适用于制造舰船的一些部件。

为了减轻船的质量,铝材是制造船体、上层建筑及其他器具的首选材料,尤其是制造滑翔艇、水翼

收稿日期: 2014-08-20

第一作者简介: 何建伟(1961-),男,黑龙江哈尔滨人,高级工程师。

艇、气垫船、冲翼艇的最佳材料。因为它们的质量对航速尤为敏感,也就是说减轻船体质量对提高航速极为有效。

采用铝材制造中型舰艇的艇体、大型舰艇的上层建筑也同样有效,不过舰艇在中弹着火燃烧时,若波及上层铝建筑得不到有效控制,时间一长铝结构会垮塌,因为铝不是一种高温材料。大中型舰艇在减轻艇体质量后,在等同主机功率下可以提高航速。现代舰艇航行仪器设备、武器装备的增加,使舰艇上部质量增加,稳定性减小。为了确保稳定性,务必减轻上部质量,采用铝材制造上层建筑是最有效的措施。

采用铝材制造货船的船体及上层建筑可以提高载货量或提高航速,从而降低运输成本。由于铝材的无磁性使它成为制造扫雷艇与特种用途船舶与装置的上乘材料。

由于铝材是一种良好的低温材料,使它成为制造液化天然气(LNG)船贮罐、极地作业考察船的良好材料。

1 铝合金在船舶上的应用

通常,将铝合金在舰船上的应用分为三类:

1) 一类结构。所谓一类结构是指以强度为主要因素的受力结构件,如船体、大型舰船甲板室、舰船舰桥、导弹发射筒、电磁炮轨道与炮弹,等等。美国于2013年10月下水的世界上最大航空母舰“福特舰”已装上了电磁炮,其发射轨道为铝合金结构,炮弹也是用铝合金制造的。

2) 二类结构。这类结构是指非受力构件或受力较小的构件,如各种栖装件、油箱、水箱、储藏柜、铝质水密门、窗、盖(船用普通矩形窗、船用弦窗、小快艇铝窗、铝天窗、铝百叶窗、各种舱口盖、矩形提窗、移动式铝门、船用风雨密单扇铝门、舱室空腹门、各类梯与跳板、乘客与驾驶座椅及沙发,等),卫生设施,管道、通风、挡风板、支架、流线型罩壳和手把等。它们多是用6063、6082、3003等合金材料制造的。

3) 三类结构。这类结构主要用的是功能材料,用于制造船仓内部装饰件与绝热、隔声材料。铝及铝合金有良好的阳极氧化着色性能,经处理后有亮丽的外观与相当强的抗腐蚀性能。除用各种热处理不可强化铝合金材料外,铝-塑(铝-聚乙烯,Al-PE)复合板与泡沫铝材也获得了较多的应用,泡沫铝材是潜艇发动机室的良好隔声材料。复合板的芯层为塑料层,两侧或单侧为薄的1100或3003铝合金板

(厚度0.1 mm~0.3 mm)。铝板表面可进行防腐处理、轧花、涂装、印刷等深加工,其特点是质量轻,有适当的刚性,更好的减振隔声效果。一些国家的造船部门已批准将其作为船舶舰艇内部装饰,也可以作为门窗等材料。过去使用的玻璃钢和木材之类材料均可改用这类材料。

1.1 铝合金在舰艇上的应用^[1-2]

铝合金在舰艇上获得了广泛的应用,在建造航空母舰、巡洋舰、护卫舰、导弹驱逐舰、潜艇、快艇、炮艇、登陆艇等时,应用铝合金的实例很多,下面仅列举一些进行简要介绍。

1.1.1 铝合金在航空母舰上的应用

航母是个庞然大物(图1),体积巨大,是一个机动性很强的作战平台,对减轻结构质量有极强的需要,减轻航母结构的质量、航母各种装置的质量,特别是减轻上层建筑的质量,对改善航母的战术技术性能至关重要。

凡排水量50 kt以上的航母其铝合金材料用量为500 t~1 000 t。例如,美国“独立”号(CVA62)航母用了1 019 t铝合金;“企业”号核动力航母(CVA65)用了450 t铝合金;法国“福熙”号(R99)及“克里蒙梭”号(R98)航母各用了1 000多t铝合金。铝合金对减轻航母结构质量,提高稳定性、适航性及各项性能等具有重要的意义。

铝合金在航母上的应用部位,从飞机起飞和降落的部分甲板、巨大的升降机、大量管道到舷窗盖、吊灯架、门、舱室隔壁、舱室装饰、家具、厨房设备和部分辅机等。例如美国“企业”号航空母舰的四个巨大的升降机是用铝-镁合金焊接的。



图1 中国首艘航母“辽宁舰”

Fig. 1 China's first aircraft carrier "Liaoning Warship"

1.1.2 铝合金在大型水面舰上的应用

大型水面舰指巡洋舰与驱逐舰等。为了减轻上

层建筑的质量,以保持稳定性等而广泛采用铝合金结构。在许多驱逐舰等大型水面舰中,主甲板上的全部结构是用铝合金制造的。据报道,美国海军不同级别的驱逐舰的甲板以上结构中用的铝合金数量如下:护航驱逐舰(DE)用铝量251.33 t;导弹驱逐舰(DLG)用铝量811.20 t;弹道导弹驱逐舰(DDG)用量515.88 t;弹道导弹核动力驱逐舰(DLGN)用铝930.35 t。

美国海军每一艘弹道导弹驱逐舰如USS“杜威”号(DLG14),上层建筑中应用的811.30 t铝合金中大部分是5456铝合金厚板和5086铝合金薄板。铝构件代替钢后减轻了150 t质量。铝的总用量中20%左右是5456和5086铝合金。另一些铝合金材料包括6061铝合金、5052铝合金等用来制造甲板下面的所有柜、家具、床铺及有关设备。

铝材的耐热性有限,在150℃以上会迅速变软,强度下降,在设计铝结构时应充分考虑。

2009年美国爱达公司(AIDA)建筑的巡洋舰共有12块大的甲板,其中最上层的2块是铝合金的。上层甲板之所以用铝合金,是可以提高舰的稳定性,保持尽可能低的重心。这两块大甲板以及所用的22 000个铝合金螺栓是用林德气体公司(Linde AC)的专利保护气体Varigon He 30S MIG法焊接的。Varigon He 30S气体是含有 300×10^{-6} 氧的氦气,氧的添加有助于稳定电弧和辅助设备点火,从而热影响区更为狭窄,焊接边缘也更为整齐,这对焊接缺口脆性合金极为有利,对于焊接厚的工件可避免孔隙出现和焊合不足等缺陷。

1.1.3 铝合金在潜艇与深潜器上的应用

铝材在潜艇与深潜器制造方面也有应用,泡沫铝材因有良好的隔声性能,可在潜水艇机房中获得应用,以降低发动机的声音,减少被敌方声呐发现的机率。1961年美国海军建造了一艘调查用的深潜器,名为“阿鲁米纳特(aluminaut)号”,长15 m,直径2.4 m,排水量75 t,下潜深度4 500 m,艇体为厚165 mm的7079-T6铝合金锻件。7079是一种强度很高的Al-Zn-Mg-Cu系合金,由于产量不多,美国铝业协会公司(AA)于1989-03-22将其划为非常用变形铝合金(inactive alloy)。

1.1.4 铝合金在快艇及高速船上的应用

对于快艇艇体材料和高速船船体材料,一般要求在保证足够的强度和刚度的条件下,尽量减轻质量,并要求材料具有良好的耐海水腐蚀性能和可焊性。美国从300多t的大型反潜水翼研究船、200多

t的炮艇及导弹水翼艇,到PTF级快艇、LCM8登陆艇等,大多采用5×××系铝合金焊接结构。

1.1.4.1 鱼雷快艇

1951~1956年苏联建筑了160~170条“P4”铝壳鱼雷快艇,采用2024铝合金。1957年日本造了多艘“PT7”铝合金快艇,1962年又建造了一些航速40 knot的“PT10”鱼雷艇(1 knot为节,1节=1海里/h,1海里=1 852 m)。铝合金的无磁性和低密度使它成为一类理想的鱼雷艇材料。

1.1.4.2 巡逻艇、炮艇

1958年英国建造了“勇敢级”高速巡逻艇,尖舭铝骨木壳,排水量114 t,航速52 knot;1964年苏联建造了25条“普契拉”铝巡逻艇;排水量70 t~80 t,航速50 knot;1966~1971年美国建造了14艘“阿希维尔”级(PGM-84)高速炮艇,是第一批全铝军用艇,标准排水量225 t,船长50.2 m,船宽7.2 m,吃水2.9 m,航速40 knot。主甲板、壳板为5086-H32铝合金,型材用5086-H112铝合金。主甲板及船底板厚12.7 mm,共用了71 t铝合金,全部用氩弧焊接;加拿大制造了“勃拉道尔”(FHE400)级后潜巡逻艇,排水量212 t,总长46 m,艇宽6.6 m,水翼航速60 knot,广泛应用了具有纵桁的大型铝合金挤压板。

中国建造的导弹快艇,其上层结构、围壁、发射筒、发射架外罩和炮座都用了LY12CZ(2A12-T4)铝合金。钢制甲板中部的嵌补甲板以及仓内的舱壁、平台也广泛应用了铝合金。在炮艇、猎潜艇上层结构以及中型舰艇的舱壁、舱面属具等也广泛应用了铝合金,有的还采用了铝-镁合金焊接结构。

中国山东丛林铝合金船舶有限公司设计制造的军用全铝船具有灵活应变,快速打击敌人能力,船身分隔为3个水密舱,有很高的抗倾覆与防沉能力,具有掉头灵活、操作性强、装备齐全等特点,配有内置双喷水发动机,设计最大航速43 knot,船身涂有水域迷彩,有相当强的抗侦察力。军用全铝艇的基本技术参数:总长8.6 m,型宽3.2 m,型深1.55 m,吃水0.7 m,设计最大航速43 knot,发动机261×2 kW,定员6人。

1.1.4.3 水翼艇

1965年美国建造“普冷维尤”(AGEH-1)号水翼艇,它是美国最大的反潜试验水翼艇。采用钢制全浸式水翼,除水翼系统外,其他全部采用铝合金焊接结构,共用铝材113 t,其中大型挤压材90.8 t,挤压材为5456-H311铝合金,厚板用5456-H321铝合金。该船长64.66 m,宽12.2 m,吃水1.83 m,排水量320

t, 航速 50 knot。

19 世纪 70 年代美国海军建筑的 5 艘导弹水翼巡逻艇, 称为“Pegasus”号的原型艇于 1974 年 11 月下水。在这条艇的壳体内部舱壁和甲板的板材和防挠材中, 金属惰性气体保护焊焊缝的长度超过 3.3 km。在建造时用一台牵引型的线焊机对铝板进行对接焊。制成了大的平面分段。防挠材在定位焊后再进行手工焊。为了制作工序更有效, 设计了一种由计算机控制的自动焊操作台。

在美国海军和海岸警卫队中服役的“Mark II”号水翼艇用 5456 铝合金作艇体材料, 因为它具有高的焊接接头强度性能。采用 H116 和 H117 状态的板材, H111 状态的挤压件, 采用有较高抗裂性的 5356 铝合金焊丝, 采用金属极惰性气体保护脉冲电弧焊和射流电弧焊以及钨极惰性气体保护焊方法进行焊接。

波音公司建造了很多航速为 43 knot 的 100 t 级水翼艇, 壳体和上层建筑是全铝焊结构, 采用 5456-H116 或 H117 铝合金。对焊缝检验很严格, 全部焊缝进行 X 射线、超声波检验和着色检验, 着色前应对检查部位作侵蚀处理, 以除去氧化膜。

中国用 5A01 铝合金板材、型材、锻件和焊丝建造了“飞鱼”号水翼艇, 采用半自动熔化极脉冲氩弧焊和钢制回转胎架-拉马设备。

1.1.4.4 登陆艇

美国用铝合金建造“LARC-15”登陆艇, 船长 13.7 m, 船宽 3.66 m, 载重量 15 t, 水中航速 10 knot, 陆上航速 30 knot, 材料是 5086-H112 铝合金, 焊接结构, 还用了一些 5083-H112 和 6061-T6 铝合金; 用铝合金建造反潜和登陆用的气垫船“SKMR-1”, 船体主要用 5456 铝合金挤压材。

20 世纪 60 年代初, 中国成批建造了水翼快艇, 艇体材料是 2A12-T4 铝合金。中国建造的导弹快艇, 其上层建筑、围壁、发射筒和发射架外罩、炮座都用 2A12-T4 铝合金, 钢质甲板中部的嵌补甲板以及仓内的仓壁、平台也应用铝合金。在炮艇、猎潜艇上层建筑以及中型舰艇的仓壁、仓面属具等也应用铝合金, 有的还采用 Al-Mg 合金焊接结构。

1.1.4.5 气垫船

1976 年由罗尔(Rohr)工业公司为美国海军建造的 3 000 t、80 knot 表面效应船, 该船是吨位最大的全焊铝壳船。5456-H116 或 H117 铝合金因力学性能、耐蚀性及成本三方面的优点而被作为主壳体结构的最佳材料, 还用了 5456-H112 铝合金挤压材, 因

为 H112 状态材料的组织中没有会使其在海洋环境中出现剥落蚀敏感性的 β 相晶界连续网络。

苏联用 AMr-61 铝合金建造了“火焰”号气垫船。

英国建造了全焊的气垫船 AP1-88, 铝壳体采用 Al-4.5% Mg 的 N8 铝合金, 型材采用 Al-1% Mg-1% Si 的 H30 铝合金。采用深 I 型材和长而宽的大型挤压件, 以避免横向焊缝和减小邻近焊件的热影响。2004 年 3 月加拿大海岸警卫队向英国气垫船公司订购了一批 AP1-88 型气垫船。

前些年设计的气垫艇与早期的相比有很大变化, 包括使用空冷柴油机取代燃气轮机和用焊接的铝结构取代较复杂的玻璃钢。AP1-88 和“虎”级气垫船就具有这些设计特征。最新的“虎-40”于 1986 年 4 月开始设计, 同年 12 月开始试航。该艇总长 17.25 m, 总宽 7.625 m, 高 5.375 m。除用作客船外, 还可用作内河和海岸巡逻艇以及工作艇等。

20 世纪七八十年代中国用 7A19、5A30 铝合金等建造了全垫升气垫船和侧壁式气垫船, 无论是全垫升还是侧壁式气垫船所用铝合金板材的厚度都比较薄, 一般为 1 mm~3 mm。此外还用了多种规格的铝型材。由于板材较薄, 多数铝质气垫船采用的是铆接连接, 但也有全焊接气垫船。

1.1.4.6 双体船

2011~2014 年美国奥斯达尔公司(Austal)为美国海军建造 10 条全铝双体船(catamaran feet), 还将建造其他高速舰与商用船只, 所用铝板及其他铝材由美国铝业公司提供, 除用于制造舰船外, 还用于建造栈桥及其他设施。2012 年该公司制造了一艘轻型滨海全铝舰(LCS, Littoral Combat ship), 名为“科罗纳多号”(Coronado), 长 127 m, 铝的用量约 469 t, 据称在全世界制造的这类舰艇中是用铝量最多的, 其中用得最多的是 5083 铝合金, 由美国铝业公司达文波特轧制厂(Davenport Works)提供。

英国麦克泰公司为英国海军设计建造了第一批装有升降舵的铝壳双体船, 它们有很多引人注目特点: 宽阔而稳定的甲板, 极低航速时良好的机动性, 良好的航向稳定性, 阻力小。

法国梅泰罗工业系统设计的一种军用多用途铝壳双体船, 总长 25 m, 宽 10 m, 吃水 0.7 m~1 m, 空船重 45 t, 载重量 18 t, 主机为两台 895 kW 柴油机, 喷水推进, 最大航速 30 knot。

在挪威和瑞典, 用铝合金建造双体船很盛行, 如挪威设计的 10 艘高速双体船全部采用对称船体, 每艘可载 449 人, 分别以 32 knot 和 24 knot 的航速横渡

海峡。

日本用铝合金建造的“Marine shuttle”号小水线面双体船长 41 m, 航速 34 knot, 是一艘 280 个客位的非对称船型高速双体船。

中国国内航线中使用了一些铝合金双体船, 有进口的, 也有国内建造的。

1.1.4.7 地效翼船

地效翼船是介于船舶与飞机之间的利用类似机翼的表面效应产生的气动升力, 支撑艇重离开水面低飞, 偶尔能浮水航行的高技术新型舰船。地效翼船的航速高, 最快的可达 300 多 knot, 而且航行性能好, 具有良好的两栖性, 能在水上、陆上起降, 在波浪上方低空飞行, 受干扰少, 又比较安全。且能跨越沼泽、冰层、雷区、障碍物, 可广泛用于军事行动, 是快速登陆的必备舰型, 常与航母、两栖攻击舰配套, 在登陆作战中极具突然性。此外, 地效翼船的经济性好(油耗比常规飞机的少 30% 以上)。比飞机安全得多, 造价也相对便宜, 在经济和军事两个方面都有大的效益。

地效翼船要求艇体采用铝合金材料, 并且采用焊接结构(在俄罗斯较大吨位地效翼船的船体主要使用可焊的铝合金材料)。而且要求艇体材料屈服强度大于 300 N/mm^2 , 抗拉强度达到 400 N/mm^2 , 同时要求材料具有良好的成形工艺性能, 良好的耐腐蚀性能等。

1.1.4.8 美国新型铝合金无人水面艇

美国近年来在近海作战无人水面艇的发展上取得了一定的进展, 居世界先进水平。图 2 为美国海军研发的全铝合金“海狐”无人水面舰艇, 可执行后勤保证和再补给等任务; 可用于水文调查、侦察和欺骗任务; 可配备导弹对目标进行精确打击, 协助陆军



图 2 美国用铝合金制造的“海狐”无人水面舰艇

Fig. 2 Unmanned marine naval vessel “Sea Fox”

made of aluminum alloy by America

在内陆湖泊作战; 可进行浅海反潜、反水雷、兵力保护、海岸巡逻、打击海盗等任务。现在的无人水面舰艇的长度为 7 m ~ 15 m, 负载 1 t ~ 3 t, 用柴油机驱动和喷水推进, 功率 70 kW ~ 600 kW, 航速有低的, 也有高的, 10 knot ~ 35 knot。

1.2 铝合金在民用船舶上的应用

1891 年瑞士首次建造了铝汽艇, 以后其他国家相继建造了铝艇体。20 世纪 20 年代末冶金工业为造船工业提供了抗蚀性能较好的 Al-Mg 合金, 因此铝合金在造船上的应用比较快地发展起来。下面仅列举一些铝合金在民用船舶上应用的实例。

1.2.1 在欧洲及北美洲

苏联在 1958 年建造的“拉克泰”号(Ракета)水翼客艇, 载客 66 人, 艇体材料为硬铝。1959 年建造了载客 130 人 ~ 150 人的“梅焦尔”号(Митер)水翼客艇, 船长 34.4 m, 最大航速 80 km/h, 艇体材料用硬铝铆接。后来建造的水翼艇采用 Al-Mg 合金焊接。1962 年建造的“旋风”号(Вихрь)沿海水翼艇采用了把加强筋与板材轧成一个整体的新型铝合金板材, 从而减轻船体质量 10% ~ 15%。该艇长 46.5 m, 宽 9.0 m, 吃水 3.0 m, 排水量 108 t, 动力 3 181 kW, 航速 50 knot。

1952 年美国建造的“联合国”(United States)号邮船上总共使用了 2 000 t 铝合金。该船长 305 m, 宽 37 m, 排水量 5 914 t, 载客 2 000 人。1960 年英国建造的“澳丽娜”(Oriana)号(排水量 40 000 t)和“堪培拉”(Canberra)号船(排水量 48 000 t)使用铝合金材料均超过 1 000 t。

铝合金广泛用于建造油轮, 英国建造的油轮, 油舱内的衬板用 5054 铝合金, 每艘 30 000 t 级的油轮用铝合金 1 000 t。1951 年英国建造的“红玫瑰”(Red Rose)号渔船, 用铝 27 t。1964 年匈牙利设计了一艘 100 t 全铝渔船, 主要是采用含 $w(\text{Mg}) = 2.5\% \sim 4\%$ 的铝合金建造。铝合金在驳船上也广泛应用, 美国在 1964 年建造一艘全铝驳船, 应用 180 多 t 铝材。板材和挤压件是 5083 铝合金, 比钢质驳船提高载货量 14%。铝合金在拖船上应用也很广泛, 美国“索特”(Sauter)号拖船应用 5083 和 5086 铝合金全焊接结构建造, 比钢壳拖船的建造工时减少 30%。苏联建造的火车渡轮应用 AMr5B、AMr6T 等 Al-Mg 合金, 采用焊接结构。1963 年英国建造两条沼气运输船, 船上的九个沼气仓是由铝合金焊制的。

2013 年初意大利萨洛伦佐公司(Sanlorenzo SpA)为阿拉伯联合酋长国(UAE)制造一艘超级铝

合金游艇(Super yacht),长40 m,艇身与上层结构都是用5083铝合金制造,达到了力学性能与抗蚀性最完美的结合。艇身用2 m×6 m板材焊接而成,上部结构骨架由此种尺寸厚板切割成的小厚板焊接。艇底板厚度7 mm,艇侧板厚度5 mm,上部结构板厚度4 mm~5 mm,用的大部分挤压铝型材为T字形的。

1.2.2 在日本^[3-4]

日本在民用船舶制造中用较多的铝材。

1.2.2.1 客船

日本从1950年开始用铝合金制造民用船舶,从渔船、渡船、游船到大洋型游轮都有。图3为琵琶湖轮船公司的“平安卡”号铝合金客轮。

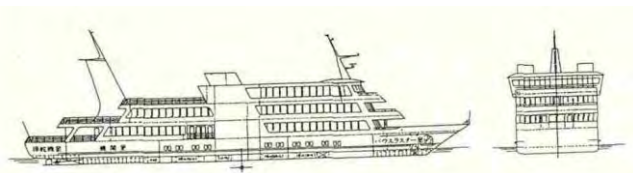


图3 日本琵琶湖汽船公司的“平安卡”号铝合金客轮

Fig. 3 The “Safeness Label” liner made of aluminum alloy of Japan Pipa Lake Steamship Company

20世纪60年代日本造船厂制造了一批又一批的铝合金客船,这是日本制造铝合金客船的第一次高潮;20世纪80年代以来,出现了建造铝合金船的第二次高潮。1995年下水的九四威普毕阿莎型大型高速渡轮“隼鸟”号是此时期建成的有代表性的铝合金客轮(图4)。

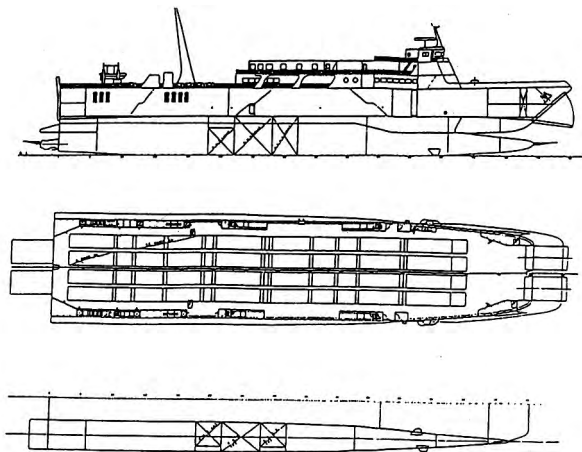


图4 日本1995年下水的“隼鸟”号大型铝合金渡轮简明线条图

Fig. 4 The outlined drawing of the large ferry of Japan named “Falcon” launched in 1995

“隼鸟”号大型铝合金渡轮的技术参数:总长

100 m,型线宽度19.98 m,型线深度12.60 m,最大吃水深度3 m,自身质量640 t,载客数460人,载车数94辆(乘人轿车),最大航速35 knot。

日本21世纪建造了高技术超级喷水铝合金班轮,分为上下两层:上部船体全长72.0 m,宽37.0 m;下部船体总长85.0 m;水轮翼推进时的吃水深度9.6 m,非喷水行驶时吃水深度14.0 m。此种客轮有两种:A型全长127 m,宽27.2 m,为细长形设计;F型扁宽形设计。这种高速超级班轮是全铝合金的。

铝合金船体的质量可比钢的轻50%左右。在日本2013年的约2100艘普通旅游船中,铝合金的约占32%,在约350艘高速旅游船中,铝合金船占74%,即约259艘。游船的发展趋势是高速化与大型化。

1.2.2.2 渔船

日本各县的渔业监理船多为高速铝船。

日本2013年登记的60万艘渔船中,铝合金的只有2520艘,占总数的0.42%,其中比较大的是49GT型拉网式渔轮。大部分铝合金渔轮是小型的,占80%以上,多为惯性的,以V型为基本。船体结构以横骨式为主体,纵向有小肋骨作为加强小隔板,以防船体铝板变形。渔轮可用板材也可以用挤压大型材建造。

渔船的平均使用期限15 a。由于渔船以小型的为主,在日本铝合金渔船的平均铝材用量约4 t左右。

1.2.2.3 液化天然气(LNG)运输船贮罐

1960年日本开始进口液化天然气,均用LNG船运输(图5、6)。运输船上的LNG罐有摩司型(Moss)的球形;隔板型棱柱罐(SPB)。球罐直径41 m,质量900 t,是用5083铝合金变断面厚板焊接的,板的最薄处30 mm,最厚处170 mm。

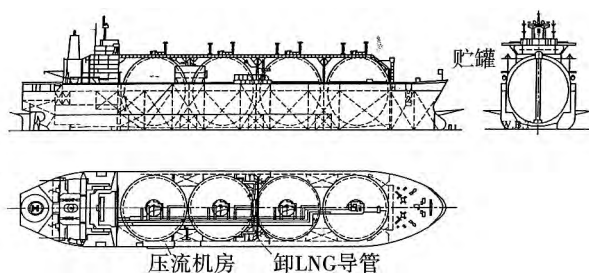


图5 日本的125 km³的球形贮罐(摩司型)LNG船

Fig. 5 Japan's LNG vessel with a spherical tank (Mosi type) of 125 km³

天然气的主成分为甲烷,在-163℃液化,液化

后的体积仅为气态时的 1/600。每艘船上有 4 个罐,球罐的容积 31 250 m³,SPB 型方罐的容积 32 000 m³。罐的外表包以绝热性能很强的厚厚的保温层,每个球罐有 6 000 块保温板,这是一种三层保温材料,中间为绝热板,表面为薄铝板,能确保罐内液化气的气化率不大于 0.1% / d 的世界最小等级。

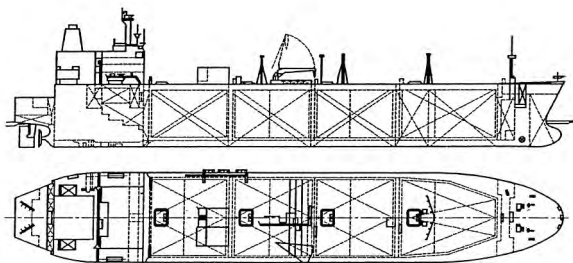


图6 日本的 128 km³ 方形贮罐(棱柱型) LNG 船

Fig. 6 Japan's LNG vessel with a rectangular tank

(prismatic type) of 128 km³

LNG 的运输线路见图 7。陆地贮罐有地上式的(图 8),也有地下式的(图 9)。所用的低温材料有 5083 铝合金、含 9% Ni 的钢、不锈钢与铜等。 8×10^4 kL 贮罐的铝材用量见表 1。贮罐分内外两层,中间为保温层,地上式每个铝材用量 1 100 t,地下式的用量为 100 t 左右。



图7 液化天然气输送线路示意图

Fig. 7 The sketch of convey lines for liquefied natural gas

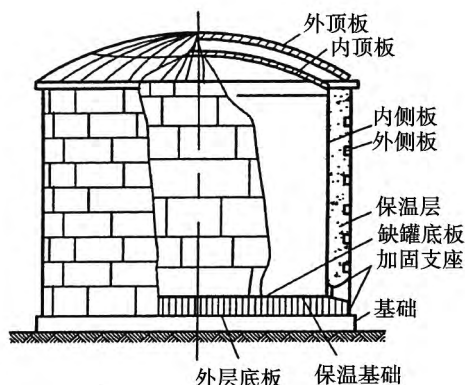


图8 地上式铝合金双层液化天然气贮罐

Fig. 8 The over-ground two-layer aluminum alloy tank for storage of liquefied natural gas

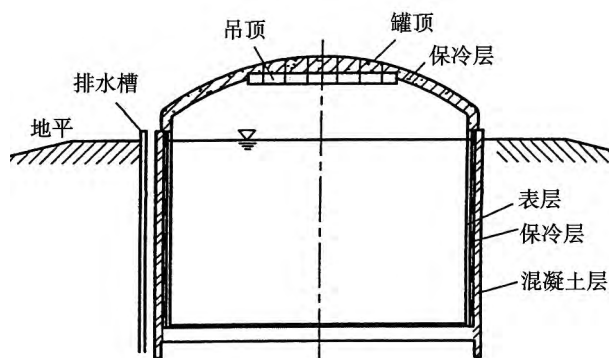


图9 地下式铝合金液化天然气贮罐

Fig. 9 The underground aluminum alloy tank for storage of liquefied natural gas

表1 液化天然气铝合金贮罐及铝材用量

Tab. 1 The aluminum alloy tank for storage of liquefied natural gas and its consumption of aluminum materials

	部位	品种、规格	用量/t
地上式	内壳侧板	10 mm ~ 70 mm	650
	内壳顶板	10 mm ~ 50 mm	150
	内壳底板	6 mm ~ 25 mm	100
	内壳顶骨架	型材	100
	零件及附件	焊接管、铸件、锻件	50
	合计		1 100
地下式	板材	50 mm ~ 100 mm	50
	其他	型材、锻件、铸件	50
	合计		100

1.2.3 在中国

(1) 游艇与游轮

中国从 1958 年开始建造小型铝合金(使用 2A12 铝合金)水翼船与快艇等,到 2013 年可以建造各种中小型铝船艇到大型的 LNG 船、豪华旅游船。中国制造的部分铝船见表 2。

图 10 为上海中华造船厂为香港建造的“东方皇



图10 中华造船厂建造的“东方皇后号”豪华长江旅游船

Fig. 10 The “Oriental Queen” luxurious tourist ships on Yangtze river built by Zhonghua Shipbuilding Plant

后号”豪华长江旅游船,上层结构及舱内设施用了约 650 t 铝材,2011 年中国首款按五星级标准打造的“总统旗舰号”于 4 月份起航行三峡水库,是一艘万吨级涉外游轮,使用铝材约 550 t。目前中国可生产铝合金游船的企业不少于 35 家,主要者见表 3。

表 2 中国建造的典型铝合金船艇^[5]
Tab. 2 Typical aluminum alloy ships and boats built by China^[5]

年度	船名	制造公司	最大长度/m	最大宽度/m	船速/knot
1958	“长江水翼客艇”1 号水翼艇				
1960	“昆仑”号内河客轮				
60 s	水翼快艇				
80 s	海港工作艇“龙门”号		7	2	
1990	喷水推进自控水翼高速客船	求新造船厂			
1994	铝合金全焊接型高速客船	南辉高速船制造有限公司			
1992	双体气垫客船(迎宾 4 号)	广州黄埔造船厂			
1992	双体气垫船	江辉玻璃钢船厂			
2004	双体海洋勘探艇	镇江波威船舶工程设计有限公司	7	4	22
2005	全铝豪华游艇	英辉南方造船有限公司	38.6	8.08	
2009	铝合金豪华游艇	青岛北海船舶重工有限责任公司		5.12	
2009	铝合金穿浪双体试验船	武昌船舶重工有限责任公司	60	18	38
	铝制快速客渡船	英辉南方造船有限公司	85	21	22

表 3 中国可制造铝合金游船的主要企业
Tab. 3 China's main enterprises who can build tourist ships of aluminum alloy

企业	主要产品
青岛北海船舶重工有限公司游船分厂	玻璃钢艇、铝合金艇及艇机艇架设计与制造、游艇建造
青岛华澳船舶制造有限公司	专业生产铝合金游艇
江西江新造船厂	玻璃钢豪华游艇、铝合金快速艇
江西罗伊尔游艇工业有限公司	生产 11 m ~ 36 m 的快艇、日光浴船、单舱艇等系列豪华游船
无锡东方高速艇发展公司	生产 50 m 以内各类中小型船艇、中高档游艇
太阳岛游艇股份有限公司	游艇 15 个规格 40 种型号;商务艇(从 10 m 到 60 m) 18 个规格 55 种型号;特种艇(从 6 m 到 100 m) 16 种规格 30 种型号
武汉南华高速船舶工程股份有限公司	高速公务船、高速客船、超级游艇的设计、研发与制造
英辉南方造船(广州番禺)有限公司	大型铝合金高速客船
显利(珠海)造船有限公司	玻璃钢豪华游艇、铝合金质高速船
广州佛山宝达游艇有限公司	各类高速客船、水翼船、政府公务船、环保旅游观光船、玻璃钢金枪鱼延绳吊船、超高速巡逻艇、大、小型豪华游艇等金属和非金属船舶系列产品
深圳市海斯比船艇科技股份有限公司	产品涵盖了船长 25 m 以内高速、高性能艇
杰腾造船股份有限公司	Selene 长距离巡航游艇,Artemis 系列游艇
佛山市南海珠峰造船有限公司	保洁船、执法船、海监船等
东莞市兴洋船舶制造有限公司	主要有各种豪华游艇、高速客船、环保旅游观光船、政府公务船、高速巡逻艇、海军工作艇、玻璃钢渔船、快艇等系列产品
东海船舶(中山)有限公司	钢质主体及铝合金上层建筑相结合的大型豪华游艇
广东江门船厂有限公司	游艇
北京远舟高速船发展有限公司	高速船

1960 年中国造的“昆仑”号内河客轮,首次采用铝合金作为上层建筑。该船总长 84 m,最大宽度 16 m,型深 5.8 m,设计吃水 2.4 m,排水量 1 712 t。该船上甲板以上各层甲板及围壁都用 3.5 mm~6 mm 厚的 2A12 铝合金板制成,共用 93 t 铝合金。该船 1962 年出厂,1972 年改装,1979 年经过修理后,至 1985 年仍在营运中。在万吨级远洋货轮舾装及装饰件施工中也应用了铝合金。用铝合金材料制造水密门、舱口盖、油、水柜等已相当普及。

2012 年广东中山江龙船舶有限公司自行设计建造了国内首艘铝合金玻璃钢双体高速客船,船体用 5083 铝合金,上层建筑用玻璃钢,满载试航速度 25 knot,具有良好的适航性、快速性和可操纵性。

广州番禺英辉南方造船有限公司与荷兰达门公司于 2013 年建造了一艘铝合金双体高速客船,总长 36.28 m,型宽 9.7 m,设计航速 27 knot,可载客 195 人。英辉南方造船有限公司与达门公司建造的 10 艘铝合金客渡船已全部出口到迪拜道路交通局(RTR),用于旅游观光,2010 年及 2011 年各交付

5 艘。

海南省儋州市海渔集团修造船厂在建的百吨级铝合金渔政船于 2014 年秋建成下水,最高航速 16.7 knot,比一般渔船的速度快得多。该船设计总长 38 m,型宽 6.6 m,高 8 m,航速为 16.7 knot,甲板为铝合金焊接结构,单底、单壳双机、双桨都用铝合金制造,具有良好的操纵性能和回转性能。

山东丛林集团有限公司下辖的丛林铝合金船舶有限公司是中国最大的小、中型铝合金船艇专业制造企业,与芬兰劳模水上工程公司通过技术合作,引进德国先进的铝合金焊接、加工设备,研发铝合金特种工程船、游艇、冲锋舟等,产品主要应用于江河湖海的油田开采、港口管理、水上清污作业以及旅游观光、休闲、抢险救灾、边防缉私、军队巡逻等领域。

丛林船舶有限公司生产的功能船已形成系列(表 4,图 11)。此种多功能船适于水面运输、冲滩抢险、水域清污、河道港口等领域,有使用灵活方便、承载能力强等特点。



图 11 丛林铝合金船舶公司生产的多功能铝合金船

Fig. 11 Multi-function aluminum alloy ships produced by Conglin Aluminum Alloy Vessel Company

表 4 丛林铝合金船舶公司多功能铝合金的技术参数

Tab. 4 Technical data of multi-functional aluminum alloy used by Conglin Aluminum Alloy Vessel Company

类型	LC6500	LC7500	LC7500W	LC9000W	LC10500WSD
总长/m	6.5	7.5	7.5	9.0	10.5
总宽/m	2.2	2.5	2.5	3.0	3.3
含发动机吃水线深/m	0.72	0.68	0.69	0.82	1.1
最大负载吃水深度/m	0.82	0.92	0.92	1.02	1.3
质量/kg	650	1 030	1 330	1 900	5 000~7 000
含发动机质量/kg	750	1 200	1 500	2 300	6 000~8 000
发动机功率/kW	63.4~104.4	67.1~111.9	82.1~111.9	104.4~335.7	167.9~335.7
负载/kg	700	2 600	2 300	4 500	5 500

丛林铝合金船舶公司生产的 16 m 豪华商务游艇,船体为 5083-O 铝合金焊接结构,内部装修豪华(图 12)。其基本技术参数:总长 16.0 m,型宽 3.57 m,型深 1.60 m,舦宽 2.90 m,发动机功率 2×239 kW,最大航速 46 km/h。

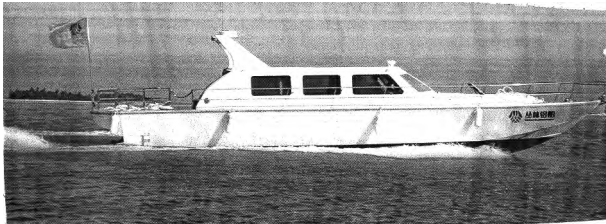


图 12 丛林铝合金船舶公司生产的铝合金豪华商务游艇
Fig. 12 The aluminum alloy luxurious commercial yacht produced by Conglin Aluminum Alloy Vessel Company

丛林铝合金船舶制造的全铝休闲艇的设计航速高达 135.2 km/h,可在近海海上航行,是海水浴场休闲游玩和垂钓的理想工具,也是近海域营救的完美工具。全铝休闲艇的技术参数:总长 6.5 m,型宽 2.3 m,型深 1.2 m,吃水 0.5 m,最大航速 135.2 km/h,定员 6 人。

丛林铝合金船舶公司 2012 年向澳大利亚出口长 3.4 m(质量 60 kg)、3.9 m(质量 110 kg)的休闲艇 40 艘;同年 10 月初又与菲律宾一客户签订 8 艘铝合金休闲、抢险船销售合同。

丛林船舶公司生产的铝合金近海域消防船能够灵活快速做出反应,设计航速 61.1 km/h,可迅速到达事故海域,基本技术参数:总长 7.5 m,型宽 2.5 m,吃水 0.6 m,最大航速 61.1 km/h,发动机功率 76.14 kW ~ 149.20 kW,定员 4 人。

拖船是内河运输、港口作业和救助作业必需的

工作船,丛林铝合金船舶有限公司制造的全铝拖船具有推拖能力强、工作灵活等特点,其基本技术参数:总长 18.35 m,型宽 5.3 m,甲板面积 $3.5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$,吃水 2.55 m,装载能力 5 t,空航最大航速 12 knot,发动机功率 242.45×2 kW。

1.2.4 海洋钻探平台与钻探管

海洋钻探平台的甲板、直升机停机台、内部设施等可以用一些铝材,钻探管可用铝合金制造。美国在 20 世纪 60 年代开始采用 2014 和 7075 铝合金管钻探石油与天然气。以铝合金管代替钢管有以下优点:①质量轻,用同样的设备可以提升更长的钻杆,用于提升的燃料消耗可以减少 15% ~ 20%,每台设备运送的总长度可增加 60%,钻机能力可以提高 50% ~ 100%;②可靠性大,不会发生火花,在有腐蚀性的钻井中,比传统钻探钢管的抗蚀性要高;③钻探性能良好,钻井深度可增加 30%;④耐热性强,可钻到 8 km,井底温度为 204℃ 时,仍运转良好;低温性能好。图 13 为铝合金钻探管的主要结构形式,表 5 为常用铝合金钻探管的规格。

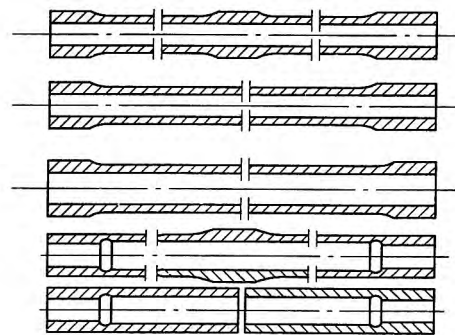


图 13 常用铝合金钻探管的主要结构形式
Fig. 13 Main structure of common aluminum alloy drilling tubes

表 5 常用铝合金钻探管的规格尺寸

Tab. 5 Dimensions of common aluminum alloy drilling tubes

外径/mm	端头加厚部分 壁厚/mm	主截面壁 厚/mm	主截面壁厚的极限公差/mm		端头加厚部分长度/mm	
			标准精度	高精度	$L_1^{+1.00}_{-0.50}$	$L_2^{+1.00}_{-0.50}$
$54^{+0.6}_{-0.6}$	$13^{+1.3}_{-1.3}$	7.5	± 0.7	± 0.4	150	150
$64^{+1.5}_{-0.5}$	$13^{+1.5}_{-1.0}$	8.0	± 0.8	± 0.4	200	200
$73^{+1.5}_{-0.5}$	$16^{+2.0}_{-1.0}$	9.0	± 0.9	± 0.4	300	300
$90^{+1.5}_{-0.5}$	$16^{+2.0}_{-1.0}$	9.0	± 0.9	± 0.4	300	300
$95^{+1.6}_{-0.5}$	$26^{+2.0}_{-1.0}$	9.0	± 0.9	± 0.4	740	330

续表 5

外径/mm	端头加厚部分 壁厚/mm	主截面壁 厚/mm	主截面壁厚的极限公差/mm		端头加厚部分长度/mm	
			标准精度	高精度	$L_1 \begin{smallmatrix} +1.00 \\ -0.50 \end{smallmatrix}$	$L_2 \begin{smallmatrix} +1.00 \\ -0.50 \end{smallmatrix}$
$103 \begin{smallmatrix} +1.5 \\ -1.0 \end{smallmatrix}$	$15 \begin{smallmatrix} +1.5 \\ -1.0 \end{smallmatrix}$	8.0	± 0.8	± 0.4	250	250
$108 \begin{smallmatrix} +1.5 \\ -1.0 \end{smallmatrix}$	$27 \begin{smallmatrix} +2.5 \\ -1.5 \end{smallmatrix}$	8.0	± 0.8	± 0.4	750	450
$114 \begin{smallmatrix} +2.0 \\ -1.0 \end{smallmatrix}$	$15 \begin{smallmatrix} +2.0 \\ -1.5 \end{smallmatrix}$	10	± 0.10	± 0.5	1 300	250
$129 \begin{smallmatrix} +2.0 \\ -1.0 \end{smallmatrix}$	$17 \begin{smallmatrix} +2.5 \\ -1.5 \end{smallmatrix}$	11	± 1.1	± 0.5	1 300	250
	$15 \begin{smallmatrix} +2.0 \\ -1.0 \end{smallmatrix}$	9	± 0.9	± 0.4		
	$17 \begin{smallmatrix} +2.5 \\ -1.5 \end{smallmatrix}$	11	± 1.1	± 0.5		
$147 \begin{smallmatrix} +2.0 \\ -1.0 \end{smallmatrix}$	$20 \begin{smallmatrix} +2.5 \\ -1.5 \end{smallmatrix}$	13	± 1.3	± 0.5	1 300	250
	$22 \begin{smallmatrix} +2.5 \\ -1.7 \end{smallmatrix}$	15	± 1.5	± 0.5		
	$24 \begin{smallmatrix} +2.8 \\ -1.7 \end{smallmatrix}$	17	± 1.7	± 0.5		

阻碍铝合金管在钻探中大量应用的主要因素:人们对其应用与性能还不熟悉;价格约比钢管的贵50%。从2013年起美国铝业公司为俄罗斯大石油公司 OJSC Rusnao 生产钻探铝合金管,在萨马拉冶金(美铝)厂生产,其上涂有一层美国铝业公司新近研发的纳米级涂料,可在极端严峻的腐蚀条件下工作,使用寿命比没有涂层管的长30%~40%。

至2013年中国还不能生产铝合金钻探管,但正在建设有关此产品的项目,可于2014年四季度或2015年投产,但纳米级防腐涂料还不能生产。辽宁

忠旺集团于2013年12月与墨西哥埃夫雅公司(EVYA)达成合作研发生产铝合金海上钻井平台、直升机停机台。

1.2.5 铝合金船配产品

船舶舰艇用的铝合金配件种类繁多,主要的有:普通矩形窗、舷窗、小块艇窗、天窗、百叶窗、提窗、舱口盖、移门、风雨密门、舱室空腹门、跳板、座椅、沙发、梯,等等。广东省番禺市桥联铝窗厂是中国较大的船舶铝配件生产企业之一。

(待续)

美国铝业公司扩大欧洲铝车轮产能

美国铝业公司投资USD13M 扩建在匈牙利的独资子公司的锻造铝车轮的生产能力一倍,可于2015年完工,以满足货车与公共汽车轻量化对铝车轮的需求。扩建项目将生产经‘Dura-Bright EVO’表面处理的车轮,这种车轮在现有的路况下行驶时抗盐分、混浆、气候等的抗腐蚀性能比常规表面处理车轮的大9倍,可大大减少维护工作量与费用,延长使用期限。这种新的表面处理技术是美国铝业公司独创的。

经Dura-Bright 工艺处理后的车轮经数年使用后仍可保持亮丽的表面,不需要再抛光,即使用自来水与肥皂水冲洗数百次后仍亮晶晶的。这种车轮是一个铝合金整体锻件,不但比钢车轮的轻,而且其强度比钢车轮的大5倍,可显著提高汽车的载量与燃油效率。

(王祝堂)