

极地海域撬冰式破冰拖轮关键技术的应用研究

朱彬

(江苏大津重工有限公司, 江苏镇江 212221)

[摘要]: 针对破冰船的破冰结构和船体艏艉线型形状对破冰效率的影响问题, 本文通过对船体形状及破冰结构形式的研究和探索, 提出了船体结构上撬冰式冰刀破冰的思路, 同时, 阐述了船体艏艉形状对破冰效果的影响, 论证了两种方法用于常规动力破冰拖船的实际效果, 得出了通过对船体结构形式和船体艏艉形状的优化设计能够达到破冰目的的结果, 并取得了较好的实船效果。

[关键词]: 船体艏艉型线和形状、撬冰式冰刀结构形式;

Application and research of key technology for Polar sea region ice prying type icebreaking tug

Zhu bin

(Jangsu Dajin Heavy Industry Co., LTD , Jiangsu 212221, China)

Abstract: Referring to how influential the ice-breaking structure and the shape of hull body at the end of bow and stern for icebreaking vessel are, this article offers a way from prying-type ice blade breaking on hull structure by researching and studying body shape and icebreaking structural pattern. Meanwhile, it states the influence of the shape of the bow and stern in hull for icebreaking effects. It also demonstrates the actual effects of two ways applied to conventional power icebreaking vessel. It turns out that it was a successful result through optimizing design about hull structural type and the shape of bow and stern of hull body, and obtained the better practical effect.

Keywords: the shape of hull bow and stern, the ice prying-type structure form;

0、引言

二战后至今, 长久的和平时期至使得全球经济得以持续、高速的发展, 世界各国对能源的需求大幅度的增长, 现代经济竞争已演变为能源争夺战。地质探测发现极地蕴藏丰富的石油、天然气等资源, 北极地区蕴藏全球未勘探油气资源的 25%, 南极地区蕴藏全球 72% 的淡水资源, 对未来经济发展有着不可估量的作用。

1959年12月1日由美、苏、英、日等国联合签署了《南极条约》，冻结所有领土权的主张，明确其地区仅用作联合科学考察。但北极处于亚、欧、美三洲交汇处，环北极国家极多，各国对北极主权和资源的争夺从未停止。环北极国家通过扇形原则、环北极八国、五国机制试图将其他国家排除在外，全球共管机制又被所有环北极国家反对。近年，全球气候变暖导致的冰川融化以及迅猛发展的科学技术使北极开发成为可能，极地领域的竞争愈发激烈，权益争端也不断加剧。而近北极机制应运而生，使得更多国家可以参与北极开发。

相比于丰富的石油、天然气等资源，“北极航线”未来实现全线通航具有更大的经济价值和重要的战略意义。“北极航线”一旦开通，将太平洋与大西洋之间的运输距离缩短30%，航行时间约节省15%，在国际油价高居不下的情况下，将大大的降低海洋运输的成本。中国对外贸易90%依赖海路运输，按照中国海运费用支出一般占出口总额的10%左右预算，以2020年对外贸易总额5.3万亿美元计算，海运费用约为5300亿美元，如果利用“北极航线”则可以节省614亿至1468亿美元。同时，新航道的开辟也将为国家的能源战略提供进一步的保护。

各国先后出台了北极主权和资源开发问题的政策和法律文件，并积极为资源开发做技术准备，以防在北极利益竞争中落后。2018年1月26日，国务院新闻办公室发表《中国的北极政策》白皮书。

极地破冰船是各国实施两极战略布局、拓展战略空间的关键力量。担负着极地的科学考察以及实现对极地考察站等进行物资补给任务，是到达极地核心区域开展极地科考作业的基本条件。同时也是冰区海运船舶航道开拓、维护，保证极地航线畅通以及开辟新航线的重要工具。中国作为传统的北极理事会永久观察员国，发展破冰船技术已迫在眉睫。

破冰船是用于破碎水面冰层，开辟航道，保障舰船进出冰封港口、锚地，或引导舰船在冰区航行的船舶，分为江河、湖泊、港湾或海洋破冰船，通常一些地处极区与寒区或高纬度地区港湾或海面经常冰封，航道受阻，而冰对船舶运行产生破坏和影响，因此，为了确保冰海航行的畅通，破冰船就成为了必不可少的工具。

长期以来，破冰船的研发都由北欧地区的国家主导，并引领着技术水平的发展方向，在冰级等级划分和破冰能力的设计上，占据世界的绝对领先地位。目前在世界上设计和建造破冰船能力最强的国家主要有：俄罗斯、芬兰、瑞典、德国、美国、挪威、丹麦、加拿大等。尤其是以环北冰洋的几个国家设计和建造能力最强。中国的破冰船研究还处于“跟

跑”阶段，和这些国家还有很大的差距，据估计，约在 10 年以上。

目前，国内有研究破冰船总体布置、线型设计领域方向的^[1]，也有研究带破冰功能全回转拖轮设计方向的^[2]，本文针对破冰船的结构及形状研究，在船体艏艉型线和形状、撬冰式冰刀结构形式上提供了一种新的研究方向和思路。并在实船俄罗斯破冰护航拖轮（VITYAZ）上进行了应用，取得了较好的实际效果。

1、本设计船舶的概述

本船是无限航区，双机、全回转导管桨，艏部一台侧推；具备多种工作功能：锚作拖带、护航 Aframax 级油轮靠泊港口及 SPM（单点系泊）、运输和传送物品或人员登乘及撤离 SPM 和 MOB、污油回收及应急响应、破冰、对外消防和救助等。本船主要服务于俄罗斯远东地区的港口，如萨哈林海域^[3]，为该区域的油气设施、装备提供以上所述及的服务，大大提高该海域的设备利用率，工作效率随之有大幅改善。

2、破冰船艏艉形状设计研究

撬冰式破冰拖轮船体结构的艏部斜外板与水平面的夹角为 $\beta = 25^\circ$ ，在冰区航行时，船艏斜外板首先接触冰层并对冰层产生下压力，使冰层被船底部冰刀撞碎，同时前倾式的船艏有利于碎冰顺利进入船底部经过尾部排出。本船艉部斜外板与水平面的夹角为 $\alpha = 17^\circ$ ，艉部为半排冰船艉，推进装置设置在艉部斜外板的过渡段处，过渡段与水平面的夹角小于 17° ，过渡段加长了艉部长度，由于艉部有长而浅向上倾斜的纵剖线，有利于碎冰沿艉部斜外板在推进装置的螺旋桨前方顺利排出，防止碎冰脱离船体外板对推进装置的螺旋桨造成干扰和破坏；本撬冰式破冰拖轮船体结构满足俄罗斯船级社（RMS）对 Arc8 & Arc9 破冰等级的强度要求。

本船体结构的长宽比为 3.73: 1，长宽比是利用芬兰 Aker Arctic 冰池试验对船体长宽比进行研究，并对冰区加强进行计算，获取的最佳方案，该长宽比有利于提高船舶在浮冰区机动灵活性，并且防止冰层对艏艉区域压力矩过大造成船体结构受损。本船船体结构的艏部斜外板的厚度为 17.5mm，艉部斜外板的厚度为 13.5mm，符合船体对外板强度的要求，保证了破冰拖轮船体的整体结构强度。

本实例的撬冰式破冰拖轮船体结构的冰带区域外板板厚计算公式：^[4,5]

$$t = 667 s \sqrt{P / (f_2 \sigma_y)} + t_c (\text{纵骨架式结构})$$

以上公式中符号含义如下：

s=扶强材间距，Sqrt 表示平方根计算，P=推进器功率， f_2 =系数， σ_y =钢板屈服强度（高强钢取 355MPa）， t_c =钢板腐蚀值（一般取 2mm）。

本实例的撬冰式破冰拖轮船体结构的艏艉部斜外板所用钢材的牌号为 AH36。

如图 1 船体纵向剖面结构剖面图；

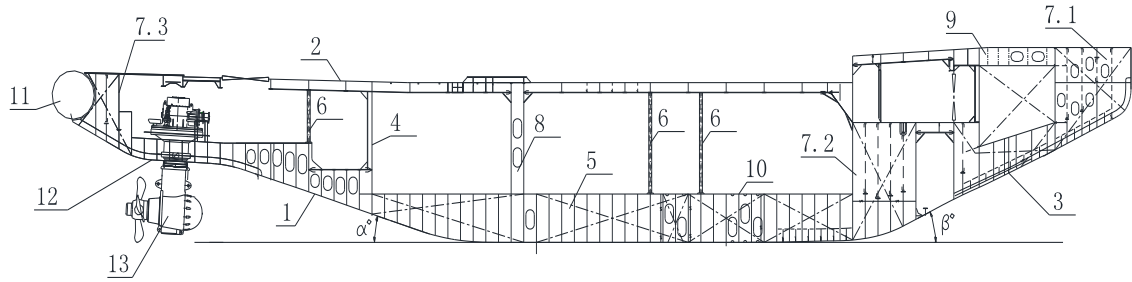


图 1 船体纵向剖面结构剖面图

3、破冰船冰刀结构设计研究

破冰船的破冰冰刀，涉及破冰船技术领域，安装于破冰船底部的船体外板上作为一个附体，包括一块底板和两块对称设置的侧板，侧板、底板与船体外板通过全焊透焊接形成全封闭结构；采用贯穿破冰船全船的连接结构，艏部具有尖艏，朝艉采用渐宽过渡到平直的结构，且每档肋位设有框架板，框架板一侧设有用于焊接固定侧板的塞焊面板。通过有限元计算分析，选取合适和优良的焊接材料与焊接工艺，提高了破冰冰刀的整体结构强度，增加了破冰的厚度，提高了破冰效率，开辟出更加经济的航道，提高了对被困船只的救助速度。

破冰船的原理有两种^[6]：一是利用船体本身的重量压载在冰面上，通过重力方式将冰层压碎；二是利用船舶本身的动力，通过冰面的冰上冲撞挤压将冰层破碎，从而开凿海面。通常都采用第一种方式为主，该方法是利用船体本身重力来实现破冰，但该方法存在以下几个缺点：船体体型大、破冰缓慢、能耗高，效率低等；且以往的破冰厚度均较薄，一般厚度都在 0.3m 左右，这样会造成在开辟航道时经常遭遇卡冰现场，破冰效率不高，主要原因还是在于破冰结构的设计不能满足破冰要求，和破冰船本身的设计难以提高破冰效率，造成一定的资源损失和浪费。

为了解决以上技术问题，本实例提供一种用于破冰船的破冰冰刀设计，安装于破冰船底部的船体外板上，包括一块底板和两块对称设置的侧板，侧板、底板与船体外板通过全焊透焊接形成全封闭结构；冰刀为附属在船体中内龙骨外且沿船长方向布置的连续箱体结构，艏部与中线呈单面 12° 倾角，朝艉采用渐宽过渡到平直再变窄的结构，每档肋位设有连接一侧侧板的框架板，框架板一侧与侧板之间设有用于焊接固定两者的塞焊面板。

一方面，通过每档肋位设置框架板，作为破冰冰刀横向的加强结构，通过框架板一侧

与侧板之间设有塞焊面板，作为用于最后焊接侧板的钢衬垫，从而提高整体为全封闭结构的破冰冰刀的整体结构强度；另一方面，本设计船型冰刀为贯穿全船的连续结构，艏部尖艏便于船首破冰时提供强大的应力点，朝艏逐渐变宽再过渡到平直再变窄的结构方便在船倒车时破冰，同时有利于碎冰的排出，向艏贯穿全船，可以提高航向稳定性。由此可见，通过科学的结构设计，解决了破冰船卡冰和结构强度不足的技术问题，从而增加了破冰的厚度，提高了破冰效率，节约了资源。

破冰船的破冰冰刀，朝艏方向 5m 范围内通过圆弧过渡使得宽度增加至 2m，在 4m 范围内圆弧过渡至宽度 0.8m 并保持平直延续至艏部，在艏部末端 2m 范围以单面 12° 倾角交于中线。破冰冰刀底板、侧板、框架板与塞焊面板均采用屈服强度 355MPa 以上的高强度钢。

艏部冰刀竖直外板板厚计算方式：[4,5]

$$t = 667s \sqrt{\frac{f_1 Ppl}{\sigma_y}} + t_c \text{ (横骨架式),}$$

其中，s 为扶强材间距；

$$f_1 = 1.3 - \frac{4.2}{(\frac{h}{s} + 1.8)^2}, \text{ 最大值为 } 1.0;$$

Ppl 为载荷， $Ppl = 0.75P$ ，P 为推进功率；

$\sigma_y = 355\text{MPa}$ ；

$t_c = 2\text{mm}$ 。

如下表：

冰刀竖直外板计算选值表

序号	符号/肋位	FR60-FR68	FR68-艏
1	Ppl	1.0(Forefoot)	1.0(Forefoot)
2	s	0.6	0.75
3	f_1	0.561	0.483
4	t	17.9	20.5
5	Adopted （选用）	18.0 DH-36	21.0 DH-36

该冰刀设计的效果是；

（1）本冰刀首尾尖锐的结构设计有利于高效破冰，艏部肥大设计既能增强艏部冰刀的强

度，同时又能引导碎冰向左右两侧分散，防止碎冰积蓄在艏部，保障船舶能够持续高效破冰；

（2）根据破冰冰刀计算方法可以高效、精准地选取合适的厚度并通过软件建模，对冰刀在破冰工况下的强度进行有限元分析验证，得到满足设计要求的板厚数据，从而保证破冰冰刀的工况有效性；

（3）选用耐低温、高强度的钢材，进一步加强了破冰冰刀的整体结构强度和耐用性。

如图 2 为冰刀结构的立体示意图；

如图 3 为冰刀典型节点图；

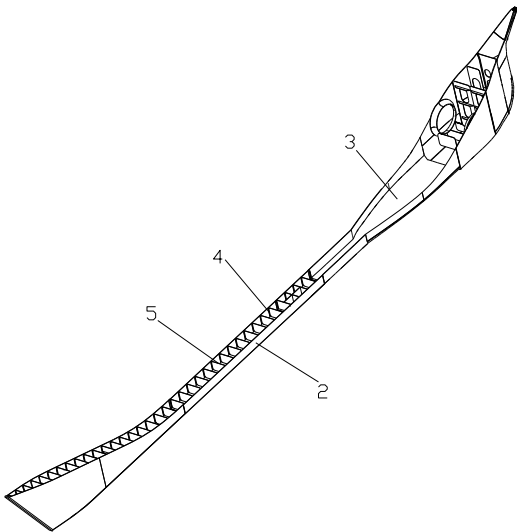


图 2 冰刀结构的立体示意图

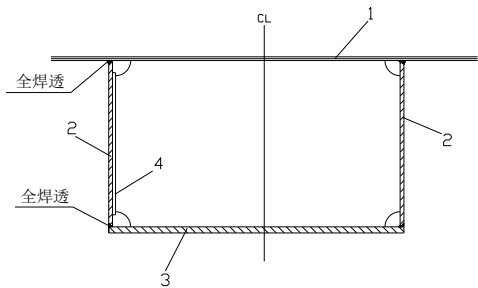


图 3 冰刀典型节点图

4、结语

本设计用于航行于北极圈及俄罗斯远东海域的破冰船，并成为开辟经济航道、救助被困船只的特种船舶的破冰利器。本设计的成功实践表明：（1）、该设计提高了小吨位船舶的破冰等级，降低了同级别破冰船的投资成本；（2）、有利于提高船底碎冰的排出速度，增加了主船体的结构强度和破冰效率，（3）、提高了船舶的航向稳定性；（4）、使以破冰为基本功能的各类海洋工程船具备多功能的特点，满足复合功能的市场使用要求，开拓了新型的破冰船应用领域。

目前，该两项技术通过了发明专利审核，技术成果转化为实际应用，相应于国际社会针对北极海域航道的开发利用，具有广阔的市场前景。

朱彬（1972- ），男，学士，高级工程师，从事船舶工程设计及建造工艺研究；

参考文献：

- [1] 周国平.破冰型多功能海洋工程船研发设计综述[J].船舶设计通讯,2005(1): 5-10.
- [2] 刘林伟.带破冰功能全回转拖轮的设计[J]. 江苏船舶, 2017,34(6):13-14, 24.
- [3] Pekka Juuti. Comparative model scale study of various azimuthing propulsions for ice management purposes[D]. Helsinki: Faculty of Engineering and Architecture Department of Applied Mechanics, Helsinki Univ. of Technology, 2009.
- [4] Russian Maritime Register of Shipping, Rules for the classification and construction of sea-going ships Part II Hull[S]. St. Petersburg, Russian Federation, 2018.
- [5] Finnish Maritime Administration, Finnish-Swedish Ice Class Rules[S]. Helsinki, Finland, 2002.
- [6] 沈权,赵炎平. 破冰船技术及几种破冰方法[J]. 航海技术, 2010(1): 5-7.



江苏船舶微信公众号



江苏船舶网上投稿系统

论文仅供交流