

# 舵桨推进器水下箱体冰区强度数值模拟分析

陈永道,林富华,柳德君

(南京高精船用设备有限公司,江苏 南京 211103)

**摘要:** 鉴于极地冰区和波罗的海冰区的特殊要求,为保障冰区航行船舶配套的舵桨推进器的有效安全运行,需额外考虑外部冰载荷等相关影响因素。基于芬兰-瑞典冰级规范和挪威船级社设计规范,现以某科学考察船 PC2 冰区等级的舵桨推进器为例,结合冰区理论计算和有限元数值模拟分析,对舵桨水下箱体进行强度模拟分析计算,为冰区舵桨推进器后续研发、设计提供相关参考依据。

**关键词:** 舵桨推进器;冰区强度;有限元分析

**中图分类号:** TP391.9 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2019)06-0137-02

## Numerical Simulation and Analysis of Ice Area of Underwater Box of Azimuth Thruster

CHEN Yongdao, LIN Fuhua, LIU Dejun

(Nanjing High Accruate Marine Equipment Co., Ltd., Nanjing 211103, China)

**Abstract:** In view of the special requirements of polar and Baltic ice area, in order to ensure the effective safety of azimuth thruster for ships sailing in the ice area, more factors such as external ice load need to be considered. Based on the Finnish Swedish ice rules and DNV-GL rules, this paper takes the azimuth thruster applied to a scientific research ship for example and according to PC2 ice standard uses the theoretical calculation of the ice area with the finite element numerical simulation analysis to simulate and calculate the underwater box of azimuth thruster. The basis is provided for the subsequent research and design of azimuth thruster in the ice area.

**Keywords:** azimuth thruster; ice strength; finite element analysis

## 0 引言

随着全球气候变暖以及寒区油气田的开发、北极航线的开通,冰区船舶航行量逐年增加。对于在冰区航行的船舶,推进器水下箱体将受到外部不同厚度等级冰块的碰撞、铣削和阻塞,相关冰载荷分布多变且复杂,目前还未有公认的 IACS 极地冰区载荷计算公式与校核方法<sup>[1]</sup>。尤其在国内外冰区载荷对舵桨等特种推进器水下部分箱体作用应力的变形分析和研究相对较少。

本文以某极地冰区科考船为例,参照挪威船级社 DNV-GL 最新船规,针对冰块与推进器相互碰撞问题,建立冰桨碰撞数学模型和冰块受力方程,通过有限元方法求解冰桨碰撞方程<sup>[2]</sup>,分析推进器在冰区海况中冰块对舵桨推进器水下箱体碰撞载荷分布影响<sup>[3]</sup>;通过相关计算结果进行迭代优化,使水下箱体内部设计方案和整体布局更趋于合理。

## 1 船级社对冰区航行船舶的要求

目前,对冰区航行船舶的设计规范,主要有芬兰-瑞典冰级规范、国际船级社联盟 IACS 极地冰级规范和俄罗斯船舶检验局规范等<sup>[4]</sup>。各主要船级社也在芬兰-瑞典冰级规范和 IACS 极地冰级规范的基础上对船舶设计建造提出了相应的要求,其中针对外部冰区环境温度从

-30 °C ~ -50 °C 不同的冰级等级及外部冰块不同设计厚度提出相关要求<sup>[5]</sup>。关于舵桨推进器水下部分箱体的强度要求,芬兰-瑞典冰级规范对波罗的海冰级 Ice(1C) - (1A\*) 也提供了强度校核方法。大部分船级社规范对使用在冰区船舶上的舵桨水下部分箱体的要求基本与芬兰-瑞典冰级规范要求相同;挪威船级社(DNV-GL)在芬兰-瑞典冰级规范的基础上,与 ABB OY 共同研究提供了用于极地冰级 PC1-PC7 下舵桨及吊舱水下部分箱体在不同工况下强度的校核方法,舵桨强度要进行校核并满足相应船级社的要求方能投入生产与使用。DNV-GL 校核计算的工况如图 1 所示。

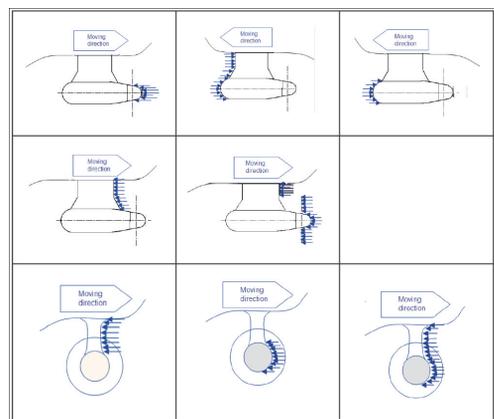


图 1 舵桨箱体工况示意图

**作者简介:** 陈永道(1962—),男,江苏扬中人,高级工程师,硕士,研究方向为机械设计制造及管理。

冰载荷计算公式如下:

$$F = \rho_0^{0.8} (AC)^{0.3} \exp C_1 C_2 C_3 C_4 \quad (\text{MN})$$

其中: $\rho_0$ 为冰压力,不同冰级对应的冰块厚度和压力值参考数见表1。 $A = 2H_{ice}^2$ ,为投影面积, $H_{ice}$ 为冰块厚度。

表1 冰块厚度和压力值参考表

冰级	$H_{ice}/\text{m}$	$\rho_0/\text{MPa}$
PC-1	4.00	6.00
PC-2	3.50	4.20
PC-3	3.00	3.20
PC-4	2.50	2.45
PC-5	2.00	2.00
PC-6	1.75	1.40
PC-7	1.50	0.25

## 2 计算分析

目标科考船为拉式舵桨的结构,原动机为柴油机,额定功率为3950kW,转速为750r/min,螺旋桨转速为145r/min,PC2冰区加强等级,可以航行于冰块厚度为3.5m的冬季北极的海浮冰区,桨叶直径3.6m,桨叶吃水深度约2.32m。利用有限元对舵桨在以下两种极限工况下的冰载荷进行计算<sup>[6]</sup>,舵桨机舱布置图及有限元模型如图2所示。

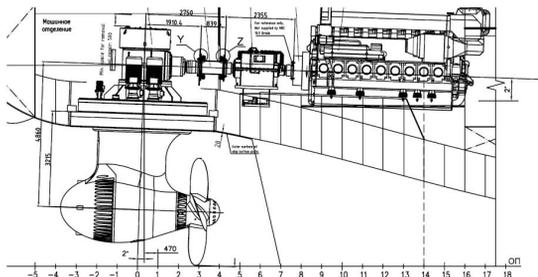


图2 拉式舵桨推进器机舱布置图及有限元模型

根据DNV船规的定义及冰载荷计算公式,当 $A > 1\text{m}^2$ 时, $\exp$ 取0.3,当 $A < 1\text{m}^2$ , $\exp$ 取0.85; $C_1 = 1.5$ ;  $C_2 = 1$ ;  $C_3 = 1.25$ ;  $C_4 = 1.2$ 。

工况一:整体轴向力,如图3所示。

投影面积 $A = 8.245\text{m}^2$ ,轴向 $F = 13\,354.85\text{kN}$ 。应力分布图如图4所示,计算结果如表2所示。

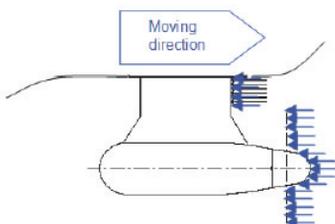


图3 轴向受力示意图

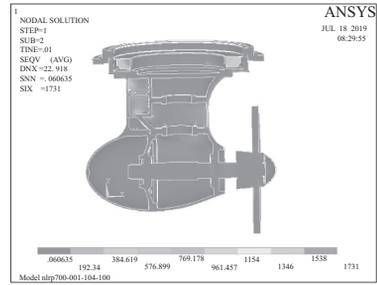


图4 工况一作用下舵桨箱体的应力分布

表2 工况一计算结果

工况一	零件	实际应力/ MPa	屈服强度/ MPa	安全系数 S
$F = 13\,354.85\text{kN}$	井箱	330	345	1.05
	下齿轮箱上部	260	300	1.15
	下齿轮箱下部	266	300	7.70

工况二:整体侧向力,如图5所示。

计算面积 $A = 12.5\text{m}^2$ ,侧向载荷 $F = 10\,087\text{kN}$ 。箱体应力分布如图6所示,计算结果如表3所示。

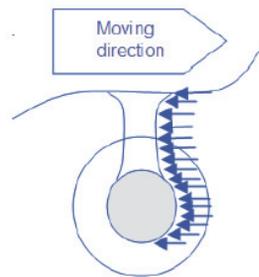


图5 侧向受力示意图

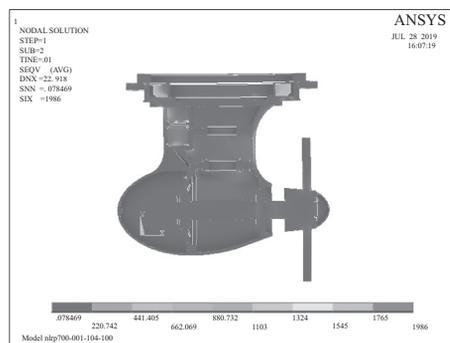


图6 工况二作用下舵桨箱体的应力分布

表3 工况二计算结果

工况二	零件	实际应力/ MPa	屈服强度/ MPa	安全系数 S
$F = 10\,087\text{kN}$	井箱	254	345	1.35
	下齿轮箱上部	256	300	1.15
	下齿轮箱下部	183	300	7.70

(下转第163页)