

# 小厚度比半悬挂舵整体式铸钢件舵叶 在支线集装箱船的应用

姜建伟 曲维平 黄浩良

宁波远洋运输股份有限公司 浙江 宁波 315040

**摘要：**本文介绍了一款国内航行1000TEU支线集装箱船上使用“小厚度比半悬挂舵舵叶缺口处的整体式铸钢件”技术，确保半悬挂舵舵叶缺口处的强度，同时解决现有的厚板焊接结构形式所带来的现场施工量巨大的问题。经过实船验证，取得了良好的效果。

**关键词：**小厚度比；整体式铸钢体；舵叶；支线集装箱船

## 引言

某公司开发的1000TEU支线集装箱船舵叶采用“小厚度比半悬挂舵舵叶缺口处的整体式铸钢件”技术，经实船验证，船舶操纵性满足法定建造要求。目前，中小型船舶出于减小船舶附体阻力以达到船舶节能目的的考虑，舵叶的厚度比有越来越小的趋势，这意味着舵叶的绝对厚度越小，舵叶缺口处的剖面模数也越小，其缺口处的强度问题更加显著，小厚度比半悬挂舵舵叶缺口处的整体式铸钢件”技术用于1000TEU支线集装箱船舵叶中，能有效地确保缺口处的强度及现有的厚板焊接结构形式所带来的现场施工量大的问题。

## 1 1000TEU 支线集装箱船技术要求

1000TEU支线集装箱船基本参数：总长：139.9米；垂线间长：133.6米；型宽：25.0米；型深：11.5米设计吃水：8.0米；设计航速：14节；主机功率：3762KW；主机型号：6S35ME-B9.5。

1000TEU支线集装箱船在船型上方形系数相比类似船舶明显偏大，与日韩航线的同类1000TEU级集装箱船相比，船长139.9m，比同类船148m缩短了近8m，船宽比国际上常规的1000TEU级箱船增加约2m，按照这样的主尺度，兼顾了空船重量的控制又很好的匹配了14kn及以下低航速的营运特点，更大的船宽，初稳性高度更大，船舶稳性同类更好，从而在主尺度上奠定了装箱量的增加，使得本船能够在初始投资、载重量、油耗上具有明显的优势<sup>[1]</sup>。

由于船舶设计短而宽，船舶转船力矩短，船舶操纵性变弱，在船舶型线已定，船舶设计航速低、主机配置功率小，对舵效影响大，为了增加船舶操纵性，在船舶设计时，对舵系进行优化设计，提出了“小厚度比半悬挂舵舵叶缺口处的整体式铸钢件”技术应用于本船的舵

设计中，用于提高船舶的操纵性能。

## 2 小厚度比半悬挂舵舵叶缺口处的整体式铸钢件技术说明

现有半悬挂舵的舵叶缺口处通常采用钢板焊接而成。由于舵叶缺口处剖面的剖面模数大大低于舵叶其他位置剖面，因此该处的抗弯能力弱，该处的主垂直隔板和舵旁板通常需要选用极大的板厚（40~50mm）才能满足强度的要求。目前采用一种将半悬挂舵的舵销承座铸钢件延伸至舵叶缺口处的整体式铸钢件。旨在通过合理设计，以铸钢件的形式替代现有半悬挂舵舵叶缺口处的厚板焊接的结构形式，以解决小厚度比半悬挂舵舵叶缺口处强度难以满足规范要求、现场施工量巨大的问题。

## 3 1000TEU 支线集装箱船舵系的优化设计与应用

舵是影响船舶操纵性的重要设备，同时，由于舵位于桨后，对螺旋桨推进效率也有一定影响。1000TEU支线集装箱船需要频繁出入内河等狭窄水道，特别是低速情况下的应舵性要求较高。1000箱级集装箱船通常采用厚度比为0.2的NACA0020翼型作为舵翼型，舵型为半悬挂舵<sup>[2]</sup>。NACA0020翼型的剖面厚度较大，便于结构设计和制造安装，但其舵效相对较低，对推进效率的影响也相对较大。为了提升舵的升力系数和减小舵对推进效率的影响，1000TEU支线集装箱船在详细设计过程中以保持半悬挂舵型不变为前提，将舵翼型优化为厚度比为0.18的NACA0018翼型。优化后，舵的最大厚度减小了约80mm（下部）~100mm（上部），优化前后的舵下部剖面形状。对NACA0020与NACA0018翼型舵的敞水水动力计算表明，在常用舵角范围内，NACA0018翼型舵的升力系数较NACA0020可提升5%~10%左右。这意味着NACA0018翼型舵在低速操纵时可以产生更大的转船力。

由于优化前后的舵叶厚度减小了约10%，舵叶剖面更

加修长,舵的“挡水”效应减弱,因此优化后的舵对提升螺旋桨的推进效率是有利的。舵的厚度比变小必然会带来结构强度的问题,特别对于半悬挂舵,舵叶缺口处的强度是小厚度比舵叶结构设计的关键<sup>[3]</sup>。为此,本船在舵叶缺口处设计了舵叶缺口与舵销承座一体式铸钢件,配合以该处大板厚的舵叶旁板,有效地保证了舵叶缺口处的强度,见图1。

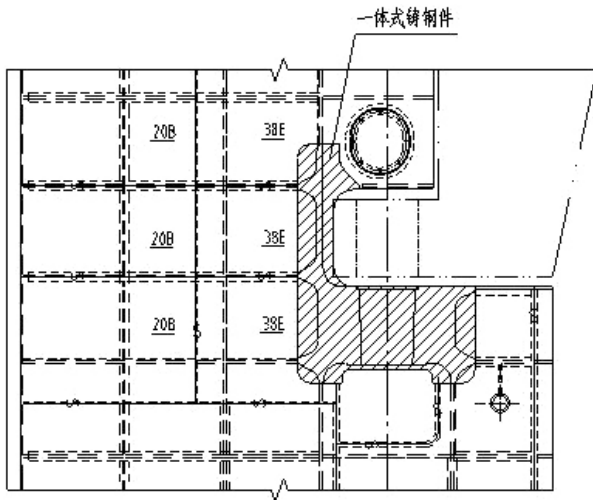


图1 舵叶缺口处结构设计

#### 4 1000TEU 支线集装箱船操纵性验证

1000TEU支线集装箱船操纵性在船舶试航时,由第三方对本船的实船进行船舶操纵性的测量。测试的评判按照国际海事组织颁布的MSC.137(76)船舶操纵性标准评判。

##### 4.1 惯性和急停测试

依据MSC.137(76)船舶操纵性标准,紧急倒车轨迹距离不应超过15倍垂线间长,本船紧急倒车距离不应超过 $133.6 \times 15 = 2004$ 米。惯性和急停测试数据见表1(摘自首制船试航报告):

表1 惯性与急停测试记录

工况	全速前进→ 半速倒车	全速倒车→ 全速前进	全速前进→ 停车
主机转速	122.6→-63	-89→101	122.6→0
起始航向(°)	359	173	323
起始速度(Kn)	14.69	1.32	14.13
结束航向(°)	324	92	299
结束速度(Kn)	0.97	0	4.84
试验时间(S)	536	54	449
开始反转时间(S)	288	/	/
试验距离(m)	1922	25	1871
横距(m)	457	13	458
纵距(m)	1816	16	1762

从测试结果可知,该船的惯性停车距离为1871米,紧急停船距离为1922米,小于2004米的标准要求,惯性和急停测试符合要求。

##### 4.2 全回转试验

根据MSC137(76)规定,回转试验的纵距不应超过4.5倍垂线间长,战术直径不应超过5倍垂线间长。经计算,本船回转试验的纵距不应超过601.2米,战术直径不应超过668米。全回转试验数据见表2(摘自首制船试航报告):

表2 全回转试验记录

主机转速	122.6rpm	122.6rpm
航向	左	右
舵角(deg.)	35	35
时间(90°)(s)	103	98
时间(90°)(s)	190	180
时间(90°)(s)	278	274
时间(90°)(s)	369	387
纵距(m)	460	407
横距(m)	221	232
试验时间(s)	597	621
战术直径(m)	384	420
回转直径(m)	325	376
最大横倾角(deg.)	2	2

测试数据表明:本船回转最大纵距为460米、最大战术直径420米,均满足标准要求。

##### 4.3 ZIG-ZAG Test Z形测试

保持船舶在90%MCR状态下全速前进,按下列步骤进行试验:舵角从零位转到右10/20°,稳住舵角,直至船的航向角改变达右10/20°;舵角从右10/20°转到左10/20°,稳住舵角,直至船的航向角改变至左10/20°;舵角从左10/20°转到右10/20°,稳住舵角,直至船的航向角改变达右10/20°;舵角从右10/20°转到左10/20°,稳定舵角,直至船的航向角与试验开始时的航向角一致。测试结果表明(摘自首制船试航报告):

当转舵10°时,实测第一超越角为3.7°,第二超越角为4.1°,根据MSC137(76)标准,第一超越角不应超过14.5°,第二超越角不超过31.8°,优于标准要求。

当转舵20°时,测试第一超越角为8.3°,根据MSC137(76)标准,第一超越角不应超过25°,明显优于指标要求。

##### 4.4 航向稳定性试验

船舶主机在122.6RPM全速前进时,保持舵角不变,每隔30秒记录航向,连续记录3分钟,顺流逆流各一次,要求最大操舵角5°。实测顺流状态下,船舶在122.6RPM

下航行,保持航向,在3分钟内操舵1次,最大操舵角 $1^{\circ}$ ;实测逆流状态下,船舶在122.6RPM下航行.保持航向,在3分钟内操舵1次,最大操舵角 $4.6^{\circ}$ (摘自首制船试航报告),顺逆流状态下,船舶航向差小于 $5^{\circ}$ ,满足标准要求。

通过上述操结果可以看出,本船的操作性满足IMO所颁布的船舶操作性标准。通过上述测试,1000TEU支线集装箱船舵叶采用“小厚度比半悬挂舵舵叶缺口处的整体式铸钢件”技术是成功的。

### 5 结束语

“小厚度比半悬挂舵舵叶缺口处的整体式铸钢件”技术在1000TEU支线集装箱船得到成功的应用,有效地解决了小厚度比舵结构的舵叶强度,使得这类大方形系

数、大载重量、低航速、低主机功率、有较好节能效能的1000TEU支线集装箱船在低速操纵时,可以产生更大的转船力,从而保证了船舶需要频繁出入内河等狭窄水道,对操纵性特别是低速情况下的舵性要求。对于相类似船舶设计应用具有参考价值。

### 参考文献

[1]陈嫦娥.某船支承管式悬挂舵舵叶掉落原因分析及改进[J].广东造船,2023,42(03):84-87.

[2]苏东方,刘奇.舵装置裂纹产生原因分析及修理方案[J].中国修船,2021,34(S1):13-15.

[3].南通远洋首制H3015高效全悬挂舵叶[J].中国水运,2016(05):76.