

# 船用舵的改进

武汉水运工程学院 王献孚

在航空工程的发展过程中,人们创造了多种多样增加机翼升力的有效的装置,如使用各种襟翼、前缘缝翼和边界层控制等等。近年来,关于增加机翼升力的这些方法受到造船界的重视,试图用以改进船用舵的操纵装置。

普通船用舵是一种简单和有效的操纵装置,长久以来未进行过重大的改进,但是它存在着一些严重的问题,例如当操舵角大于 $35^\circ$ 左右时,即将使舵叶失速而丧失其操纵性;特别是在低速航行时舵效往往不足,回转性能很差。解决这些问题是当前改善船舶操纵性能的重要课题。国内外船舶设计人员正在应用增加机翼升力的一些方法来研制各种新式船用舵,如普通襟翼舵、射流襟翼舵、转动圆柱舵、开孔舵等等,并获得初步成果。这是当前船用舵技术革新中的新事物,值得我们重视。

**1. 普通襟翼舵** 襟翼是指舵叶后面可以左右转动的尾翼(图1)。襟翼转动后相当于增加舵叶翼型的有效拱度,因此可增加舵的升力和阻力。这是因为翼型的拱度比增大,该翼型的零冲角的绝对值也增大(零冲角通常为负值),对称翼型的拱度比为零,零冲角亦为零。很多翼型的零冲角度数的大小,在数值上约等于拱度比大小的百分数。所以襟翼转动后亦相当于增加舵叶的有效冲角,从而将增加舵叶的升力和阻力。

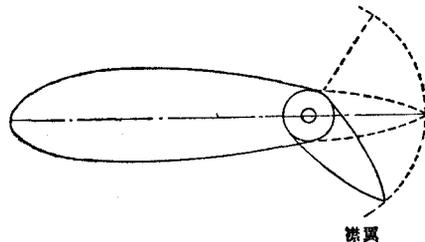


图 1

普通襟翼舵典型的升力曲线如图2所示。两条曲线的直线部分几乎平行,襟翼使升力系数增大 $\Delta C_l$ 。这是由于升力曲线的斜率主要与舵叶的展弦比有关,它随展弦比的增大而增大,虽然转动襟翼后的舵叶展弦比会增大一些(因弦长缩短,翼展长不变),如果增大不多,对升力曲线的斜率影响就不大,故襟翼转动前后的两条升力曲线的直线部分几乎是平行的。但使用襟翼后因零冲角的绝对值增大,故在同一操舵角之下襟翼的偏转(顺操舵角方向)可使舵叶的升力系数增大 $\Delta C_l$ 。根据试验,在使用襟翼后,

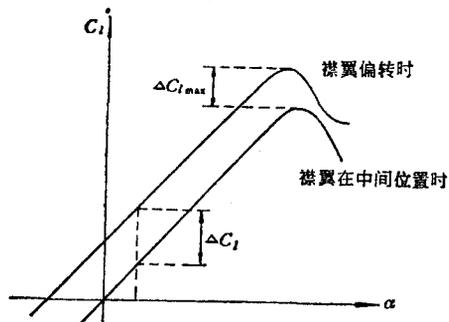


图 2

舵的失速角要减小几度(例如 $4^\circ-5^\circ$ 左右),最大升力系数的增加量 $\Delta C_{l_{max}}$ 亦略小于未失速前升力系数的增加量 $\Delta C_l$ 。襟翼的尺寸与主舵翼尺寸的比例,以及所使用的襟翼角的大小,都影响襟翼舵的性能。据日本造船学报1968年124期报道,对NACA 0020翼型用三组不同比例的襟翼进行了模型试验,认为最有利的襟翼配置是:襟翼弦长与舵的

总弦长之比为 0.25,使用襟翼角与操舵角之比为 2.

我国也建造了一批具有普通襟翼舵的船舶,实践证明其操纵性能是很好的,得到船员的欢迎. 但在这方面还需要进一步作许多研究工作.

**2. 射流襟翼舵** 这种舵可以从舵叶尾端的狭缝中向后喷射高速流体, 并且其射流方向可以控制. 当射流方向平行于翼弦方向时(图 3a), 它只产生推力. 当射流方向向下时

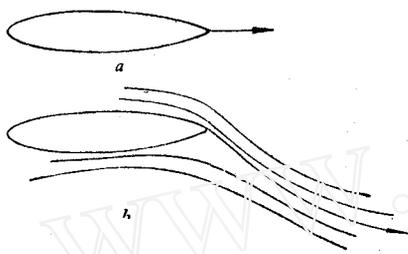


图 3

(图 3b), 它就象一个很大的普通尾襟翼, 能产生很大的升力系数. 根据初步试验表明, 使用其他形式的襟翼, 一般可使最大升力系数增加到 3 左右(或  $\Delta C_L \approx 1.4$ ), 而使用射流襟翼舵则可使最大升力系数达到 10 以上. 射流襟翼舵不仅可增加舵的法向力, 特别还能提高船在零速和低速时的操纵性能, 所以它有很大的优越性.

射流襟翼舵通常用水泵产生通过舵叶内部从尾缘射出的射流, 并利用射流控制装置使射流向左或向右喷射.

射流襟翼舵的作用原理如图 4 所示, 当射流从尾缘与来流成  $\theta$  角方向喷射时, 一方面高速射流可产生很大的反作用力, 此反作用力的分力将增大舵的升力, 另一方面从尾缘高速喷出的射流将带动沿翼型上表面的水流加速运动, 同时使沿翼型下表面的水流运动受到阻碍而减速, 从而使翼型上表面的压力降低, 使翼型下表面的压力增加, 结果就进一步增大了升力, 并使舵叶的失速现象延迟发生.

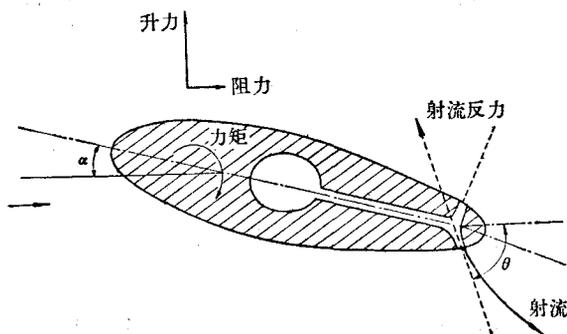


图 4

射流襟翼舵尚处于研究阶段, 有关情况, 可参阅英国东北海岸轮机 and 造船学会杂志 1972 年 12 月号.

**3. 转动圆柱舵** 把一个转动着的圆柱放在水流中, 它便产生一个垂直于水流方向的升力, 有人把这称为麦格努斯(Magnus)效应. 利用转动圆柱还可以控制边界层, 如将它放在机翼前缘(图 5), 它就会增加绕机翼的环流, 加速绕翼背的流动, 使升力增加, 并延迟失速的发生.

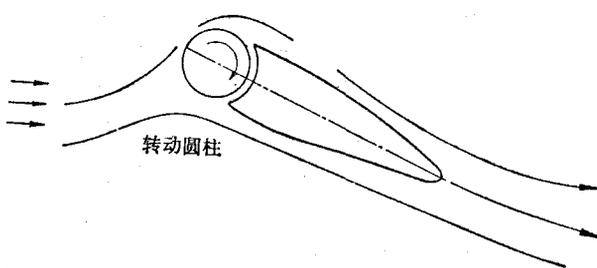


图 5

据 1971 年 7 月英国造船学报第 2 期报道, 英国国立物理实验室对转动圆柱舵——在普通舵叶前缘安装了一个转动圆柱的舵(图 6)——进行了船模试验研究, 认为可大大改进船舶操纵性能. 图 7 为转动圆柱舵与普通舵的回转性能比较曲线, 可以看出, 使用转动圆柱舵, 船舶回转直径显著减小, 甚至用小的操舵角亦可获得良好的船舶回转性能.

船模试验表明, 随着圆柱转速增加, 舵叶升力增大. 但转速大于某一比值时, 舵叶升

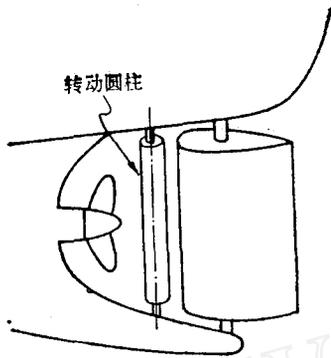


图 6

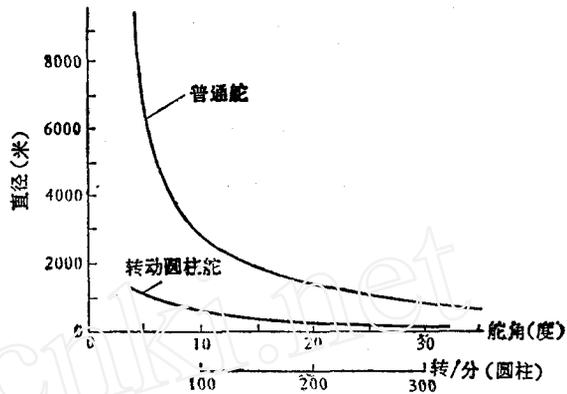


图 7

力不再增大，因此在设计转动圆柱舵时应选择最有利的圆柱转速。英国国立物理实验室的试验认为，最有利的圆柱线速度与来流速度之比大约为 3。

1972 年 10 月英国造船学报第 4 期又报道，英国国立物理实验室已将转动圆柱舵安装在“胜利 62 号”拖轮上进行了第一次海上实船试验，据称它在操纵性上仍表现出惊人的改善。“胜利 62 号”拖轮长 24.5 米，宽 6 米，吃水约 2 米(排水量 200 吨时)，转动圆柱舵由 6 马力电动机驱动，舵叶可左右转动各 90°。转动圆柱另用一个 300 伏直流电动机驱动，转速可在 600—900 转/分范围内变化，圆柱直径为 15.25 厘米。试验结果为：拖轮全速航行时，操舵角 80°，圆柱转速 600 转/分，操舵速度 4°/秒时，拖轮能在 12.2 米的圆周上回转；降低航速到 4.9 节<sup>1)</sup>时，使用操舵角 40°，圆柱转速 900 转/分，回转直径约为船长的 2 倍，回转时间不超过 2.5 分钟；全速时进行紧急刹车，拖轮能在 72 秒时间内绕以船长为直径的圆周上回转。这表明转动圆柱舵在操纵性能上比普通舵有了极大的改善，故已引起人们的普遍注意。

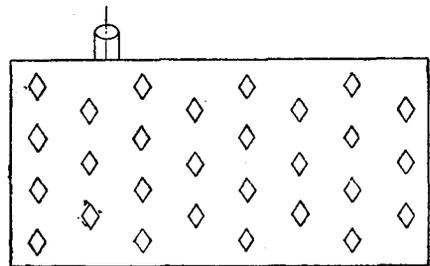


图 8



图 9

**4. 舵的开孔** 在舵面上开孔以改进船舶操纵性能的方法，我国劳动人民早已在航行实践中使用了，如珠江一带的木帆船上的舵，历来都在舵叶上开了许多孔(图 8)。据反映，舵叶开孔后，操舵力矩减小，舵效增加，船员们喜欢使用这样的舵，至今还在普遍使用着。至于在什么条件下开孔，开孔的大小、形式、数量及位置等怎样最好，有待我们去进行调查总结，进一步进行实验和理论研究。

60 年代初国外曾提出如图 9 所示的开孔的“反应舵”，舵内有两排上下交错布置的孔，一排由舵叶左面前缘斜向通到舵叶右面后缘，另一排由舵叶右面前缘斜向通到舵叶左面后缘，各孔在舵轴后面交叉。孔的总横截面积约占舵面积的 20%。采用这种形式的开孔舵(即所谓“反应舵”)可减小舵的阻力，增大舵的升力，因而可比普通舵相应地减小操舵角或舵面积。其作用原理可这样解释：开孔后，绕舵叶的水流有一部分通过这些孔从尾

1) 1 节 = 1 哩/小时 = 1854 米/小时。

部流出,从而改变翼型的压力分布,增加边界层的动能,起到延迟边界层分离的作用,因此获得减小舵的阻力和增大舵的升力的效果。

我国在 60 年代也曾对这种舵作过实船试验,舵效有明显增加,船的回转直径从原来用普通舵时的 2.5 倍船长减小为 2 倍船长;操舵力矩减小;操舵角从左  $32^\circ$  到右  $32^\circ$ ,所需时间从原来的 24 秒减小为 19 秒;船的航速亦有所增加。

## · 新书介绍 ·

### 《薄壳基础工程》

《薄壳基础工程》一书对我国文化大革命以来建筑技术领域中获得迅速发展的一项新技术——薄壳基础的工程实践作了概括的初步总结。

薄壳基础是空间薄壁结构在基础工程中的应用。这一新技术在我国八年来的实践中获得良好的经济技术效果,并在各种工业构筑物的基础工程中推广应用。这一新技术是广大设计技术人员、科研人员同现场广大工人三结合的产物,充分体现了走自己工业发展道路的方针。

全书约三十万字,十五章,包括三个基本组成部分。第一部分是设计施工,第二部分是设计理论,第三部分是试验研究。编写的重点在设计方面,主要面向设计与工程实践。

本书首先在绪论中叙述了薄壳基础的基本概念,薄壳基础的发展与应用的现状,附有工程图片。对各种形式薄壳基础,如正倒锥壳、球壳、“M”型壳、椭圆锥壳、折板等壳基础的受力性能,作了概要介绍。

第一部分介绍了各种壳基的设计选型、构造方法及施工工艺。列出了有关计算公式及简化计算图表,附有计算例题及工程设计实例。全部计算公式是半经验半理论的,在大量现场试验与设计经验基础

上建立计算公式,公式简单明了、实用。设计人员无论是否熟悉薄壳理论,都容易理解与运用这些公式。这反映了我国薄壳基础的设计特点。

第二部分介绍了计算公式的理论推导,包括壳体薄膜理论和材料力学方法,前者保持壳体理论的系统性,后者简单易懂。两种方法推导结果相同。理论中还对薄壳基础的有矩理论作了初步的探讨,对近似的边缘效应理论作了比较具体的分析与计算,附有试算例题。在有关基础与土壤共同作用关系上,是按“有剪力”假定推导的。

第三部分介绍了我国几年来一些大型试验和室内模型试验的研究成果,分析了地基反压力与壳体内力的分布规律。提出了一些数据供设计计算公式与设计构造时参考。

本书最后附有参考文献。

由于时间仓促,本书未能把我国薄壳基础全部成果都总结进去,还有不少遗漏。其次,本书在理论上和计算上还存在着严密性不够等缺点,有待今后在继续总结中改进。

《薄壳基础工程》一书由冶金工业部建筑研究院、鞍山焦化耐火设计研究院、鞍山矿山设计院、包头钢铁设计院、武汉钢铁设计院编写,科学出版社将于 1974 年第 4 季度出版。

(冶金工业部建筑研究院供稿)