

双向潮流能发电机组翼型研究

杨雪林¹,李 龙¹,陈仲省¹

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 采用 NACA4409 翼型半部分为基本翼型,借助设计变量 θ ,以抛物线构造 S 形母线。通过 θ 的变化构造出不同的母线形状,与基本翼型厚度叠加得到不同的 S 形翼型。利用 Gambit 软件建模,在来流速度为 1.5 m/s,2 m/s,2.5 m/s,3 m/s 的条件下,用 Fluent 软件对各翼型水力性能进行比较分析,选取性能最好的翼型。计算结果表明, $\theta = -4^\circ$ 时所得 S 形翼型升阻比较高,水力性能较好,该翼型最佳冲角约 8° 左右。

关键词 可逆式潮流能发电装置 S 形叶片 升阻比

中图分类号 TP743.3 ; TM311 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2009)S1-0041-03

目前,我国在能源利用方面面临着环境和经济两大压力,因此必须着重开发新能源和可再生能源,走适合国情,有利于社会、经济、环境的可持续发展之路。而地球表面的 71% 都是海洋,蕴藏着巨大的可再生清洁能源。如何廉价、安全、有效地将其开发利用是非常有意义的问题。潮流能发电装置即是利用海流动能进行发电的新型能源机械系统^[1]。与风力发电和潮汐发电相比,潮流能发电有如下优势:

a. 潮流能发电的发电原理和风力发电机相似,几乎任何一个风力发电装置都可以改造成潮流发电装置。由于海水密度约是空气密度的 820 倍,潮流能的能流密度比风能密度要大若干倍,而且流速的变化比较有规律,变化平稳,几乎没有超载危险。流速在 2 ~ 4 m/s 的潮流,其能流密度相当于 20 ~ 40 m/s (即 9 ~ 12 级以上)的风能的能流密度^[2]。

b. 与潮汐电站相比,潮流发电机组不需要建大坝,在发电的同时还可以保持良好的生态环境。由于潮流发电机组布置在水下,受天气变化影响较小,也不会影响当地的环境景观。唯一影响的是渔业和航道,但也是可以控制的。

因此,潮流发电机组具有非常可观的开发价值。目前,潮流能发电技术已在世界范围内被广泛研究。2004 年,英国海流发电机有限公司(MCT)制造了第 1 台并网型、额定容量 300 kW 的水平轴螺旋桨式海流能发电机组。美国 Verdant Power 公司 2005 年在军方的资助下,于纽约东海岸建成 6 台 35 kW 的潮流

能发电机组。2006 年初,由我国浙江大学研制的装机容量 5 kW、叶轮半径为 1 m 的“水下风车”样机在岱山县海域发电成功。在各种影响因素下,为保证弯矩,所采用的叶片应较短且稍厚^[3]。经比较,NACA4409 翼型厚度较为适合,故本文 S 形翼型的构造以 NACA4409 翼型为基本翼型,通过设计变量 α 构造出不同的母线形状,与 NACA4409 翼型的厚度叠加,构造出新的 S 形翼型,通过 Fluent 软件计算,对各 α 值下翼型升阻比进行比较分析,得到最佳翼型。

1 潮流能发电原理

潮流能发电在本世纪初才在国际范围内被研究,其结构、工作原理与现代风力机发电基本相似。机组主要由桨叶、轮毂、传动机构、密封、机舱、制动器、发电机、整流励变控制器、对水机构、塔架等关键部件组成,其中 2 片或 3 片桨叶安在轮毂上构成叶轮,传动机构、控制器、发电机、整流励变控制器和对水机构都密封于机舱内,叶轮与机舱完全浸没在水中,塔架对机舱起支撑固定作用^[1]。机组通过叶轮捕获海流能,当海水流经桨叶时产生垂直于水流方向的升力,使叶轮旋转,通过机械传动,变速机构驱动发电机转动,发出电能。其输出功率为

$$N = \frac{1}{2} \rho |V|^3 \eta C_p A \tag{1}$$

式中: ρ 为海水密度,与海域、季节、水温等因素有关,可收集当地资料,取平均值; V 为潮流流速,机组

的额定流速一般设定在 2 m/s 左右; η 为效率, $\eta = \eta_m \eta_e$, η_m 为传动效率, η_e 为电机效率; C_p 为能量利用系数; A 为过流面积。

2 叶片的构造及各翼型比较

叶片翼型的升阻特性直接影响着潮流发电装置的性能, S 形叶片由于几何形状对称, 在正反向工况下均具有较好的水力性能。由于潮汐流每 6.25 h 就会改变 1 次方向^[3], 目前, 潮流能发电装置一般都采用对水机构来调节叶轮方向, 使其始终保持正面迎着水流。实际上, 对于湾口处由于两岸的约束作用, 只存在往复流, 基本上不出现回旋流。因此, 潮流能发电装置可采用 S 形叶片, 也可实现涨潮和落潮时双向发电。相对于自动控制、电动调向的双向潮流能发电装置^[4], S 形叶片潮流发电装置具有以下优点 ①S 形叶片结构简单, 设备较少, 可减少自动控制系统和伺服电机的投资, 节约成本; ②由于潮流能发电装置安装在海底, 检修困难, 海上作业的检修成本相对较大, 这就要求机组能够在无人值守的情况下长期稳定地运行, S 形叶片结构简单, 性能可靠, 可减少在运行过程中出现的故障。

根据文献 [5], 本文 S 形叶片的构造以 NACA4409 翼型为基础(图 1), 由于叶片前半段的弧线对水力性能影响较大, 可采用其前半部分, 将后半部分去掉, 前半部分翼型绕中点旋转 180°, 得到基本 S 形翼型。基本 S 形翼型在性能方面一般不能满足使用需求, 需对其加以改进。将 NACA4409 翼型旋转 180°后, 其母线为一朵“~”形母线(如图 2 所示), 母线左右两端斜率相等, 中间斜率为零, 近似为抛物线。现令母线两端切线与水平轴夹角为 θ , 以抛物线构造母线公式, 则有

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2|x|\tan\theta}{l} \quad x \in \left(-\frac{l}{2}, \frac{l}{2}\right) \quad (2)$$

式中 x, y 分别为翼型母线的横坐标和纵坐标。对式(2)积分, 得

$$x^2 = \frac{l}{\tan\theta}|y| \quad x \in \left(-\frac{l}{2}, \frac{l}{2}\right) \quad (3)$$

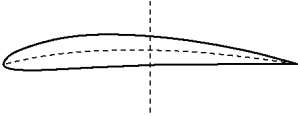


图 1 NACA4409 翼型

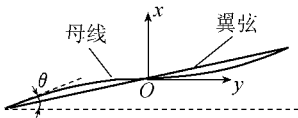


图 2 S 形翼型母线与翼弦示意

利用 NACA4409 翼型的厚度, 与“~”形母线进行叠加, 即可得图 3 所示的 S 形叶片。由式(3)可以看出, θ 的取值决定了母线的形状, 这里 θ 作为设计变量, 可分别取 $-10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ 构造翼型进行比较。

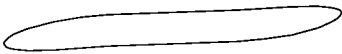


图 3 S 形翼型示意图

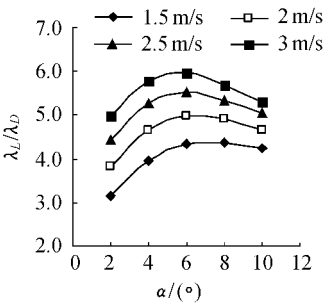


图 4 NACA4409 不同冲角下各流速升阻比比较

考虑到流动的充分发展和计算的收敛性, 翼型计算区域的进出口边界取为 10 倍的翼弦长、上下边界为 8 倍的翼弦长(图 5)^[6]。由于流体绕过翼型时的流动较为复杂, 翼型表面附近网格应进行局部加密。计算域的进口边界条件采用速度入口, 出口边界条件采用自由出流, 其余各表面均采用壁面边界条件。Fluent 计算采用 $k-\epsilon$ 湍流模型、Segregated 算法, 在各 θ 角度下分别取来流速度为 1.5 m/s, 2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s, 通过比较, 由图 5 可以看出, 当 $\theta = -5^\circ$ 左右时, 升阻比相对较大。采用同样的方法对 θ 值做进一步分析, 分别取 θ 为 $-6^\circ, -5^\circ, -4^\circ, -3^\circ, -2^\circ, -1^\circ$ 进行比较, 不难发现, 当 $\theta = -4^\circ$ 时所获得的升阻比较大。如图 7 所示, 当来流冲角 $\alpha = 8^\circ$ 时最大升阻比约为 3.4。

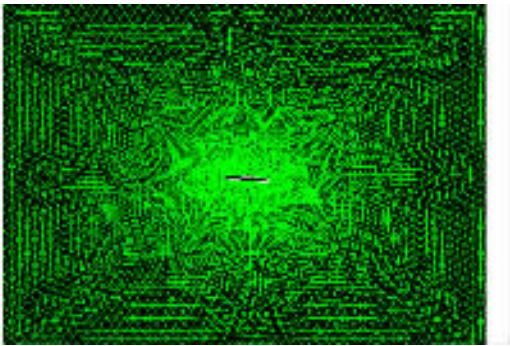


图 5 翼型计算区域

3 结果分析与讨论

综合图 6、图 7, 在同一设计变量 θ 下, 以 NACA4409 为基本翼型的 S 形翼型, 在冲角 $\alpha < 8^\circ$ 时升阻比随着冲角的增大而增大; 但当冲角 $\alpha > 8^\circ$ 时,

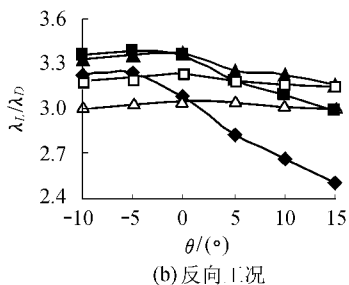
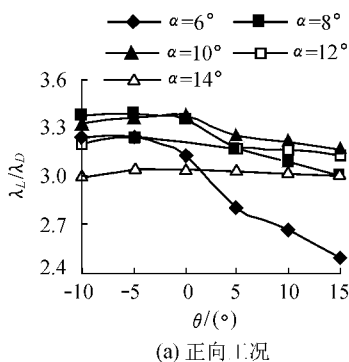


图6 流速 2 m/s 时不同 θ 值各冲角 α 的升阻比比较

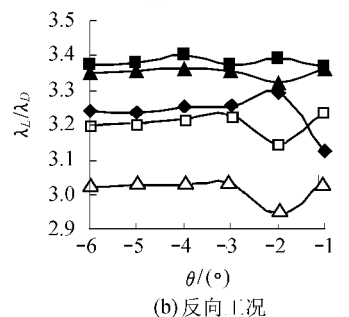
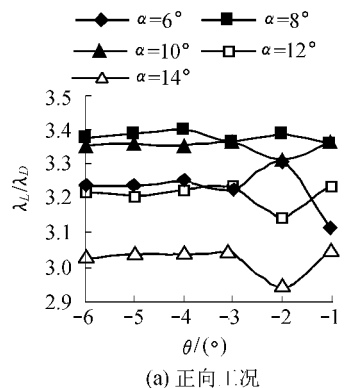


图7 不同 θ 时各冲角 α 的升阻比比较

随着冲角的进一步增大,升阻比反而减小。此系列 S 形翼型的最佳冲角 $\alpha = 8^\circ$ 。因为翼型上弧弯拱、下弧较平,增大冲角可使上弧流线越加密集,下弧扩开,上、下表面压力差增大,升力增大,升阻比也随之增大,但随着冲角的进一步增大,翼型迎流面积增大,阻力上升,反而会导致升阻比减小。

设计变量 θ 实际上影响的是 S 形翼型的弯度,由式(2)可以看出,在横坐标值不变的情况下, θ 值越大, $|y|$ 值也就越大。综合图 6、图 7,当冲角相同时,在 $\theta < -4^\circ$ 时,随着 θ 值的增大,翼型弯拱程度

加大,上弧流线密集,压力降低;下弧流速减小,压力增大,上、下表面的压力差增加,升阻比也随之增大。但当弯度进一步增大($\theta > -4^\circ$)后,翼型迎流面积也加大,导致阻力增加,升阻比反而随 θ 值的增大而减小。

4 结 论

比较图 4 和图 7 不难发现,以 NACA4409 为基本翼型构造的 S 形翼型,其最佳升阻比要比基本翼型的小,但由于其对称性,在正、反向 2 种工况下,水力性能相差不大,均可工作。设计变量 θ 主要对翼型弯度产生影响, θ 值越大,翼型弯度也就越大。增大弯度将导致翼型上、下弧流速差加大,升阻比增大,但弯度增加也会导致翼型迎流面积增大,阻力增加。因此,找出位于‘平衡点’的 θ 值是设计 S 形翼型的关键。通过 Fluent 计算分析,在 $\theta = -4^\circ$ 左右时翼型性能较好,具有较高的升阻比。此翼型最佳冲角为 8° 左右,可通过设计叶片的扭转角和调整安放角等使叶片的迎流角在 8° 附近。

参考文献:

- [1] 李伟,林勇刚,刘宏伟,等.水下风车海流能发电技术[J].浙江大学学报(工学版),2008,42(7):1242-1246.
- [2] 郑源,张乐平,鲁靖华,等.山东省海洋能资源评估研究报告[R].南京:河海大学,2007.
- [3] FRAENKEL P. Windmills below the sea: A commercial reality soon? [J]. Refocus, 2004, 5(2): 46-48.
- [4] MARSH G. Energy from the sea: UK positions itself to lead marine renewables [J]. Refocus, 2005, 6(6): 30-32.
- [5] 黄典贵. S 形叶片可逆式轴流风机的全三维优化设计[J].机械工程学报,2005,41(12):182-185.
- [6] 岑美.翼型弯度对其正反向性能的影响[D].南京:河海大学,2008.

(收稿日期 2009-02-23 编辑 高建群)

