

基于代理模型的无人机旋翼气动外形优化设计

葛子玉*, 钱战森*, 魏闯*, 杨龙*

*中国航空工业空气动力研究院, 高速高雷诺数气动力航空科技重点实验室, 沈阳 110034

引言

多旋翼无人机在民用和军用领域有广泛的应用, 可以满足复杂工况、重复任务的需求。目前多旋翼无人机普遍采用电池—电机的动力系统, 其续航性能极大地受到电池储能容量和有效载荷的制约, 极大缩短了无人机的工作范围和飞行时限。本文通过对无人机螺旋桨的几何参数进行优化, 提高了螺旋桨的悬停效率。

叶素-涡量理论

项目组开发了一种螺旋桨快速评估软件, 基于叶素—涡量理论BET-V。通过美国 Army Aeromechanics Laboratory (AAL) 提供的标模对BET-V开展验证。该模型采用NACA0012翼型, 由2片等弦长无扭转桨叶组成(图1)。State1-3的桨叶安装角为 8° , State4-6的桨叶安装角为 12° , 分别验证两种构型在转速1250, 1750和2300rpm时的拉力系数与扭矩系数(图2)。

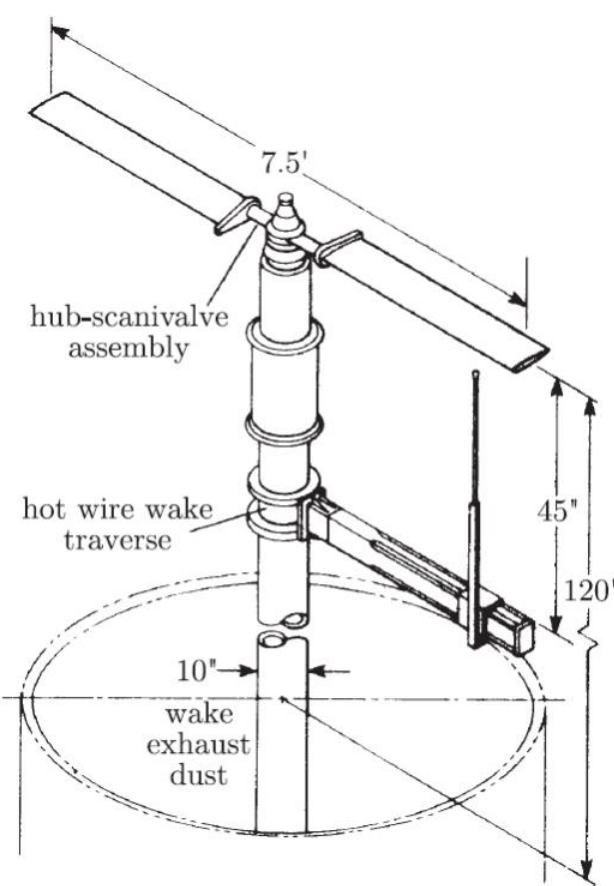


图1 AAL标模

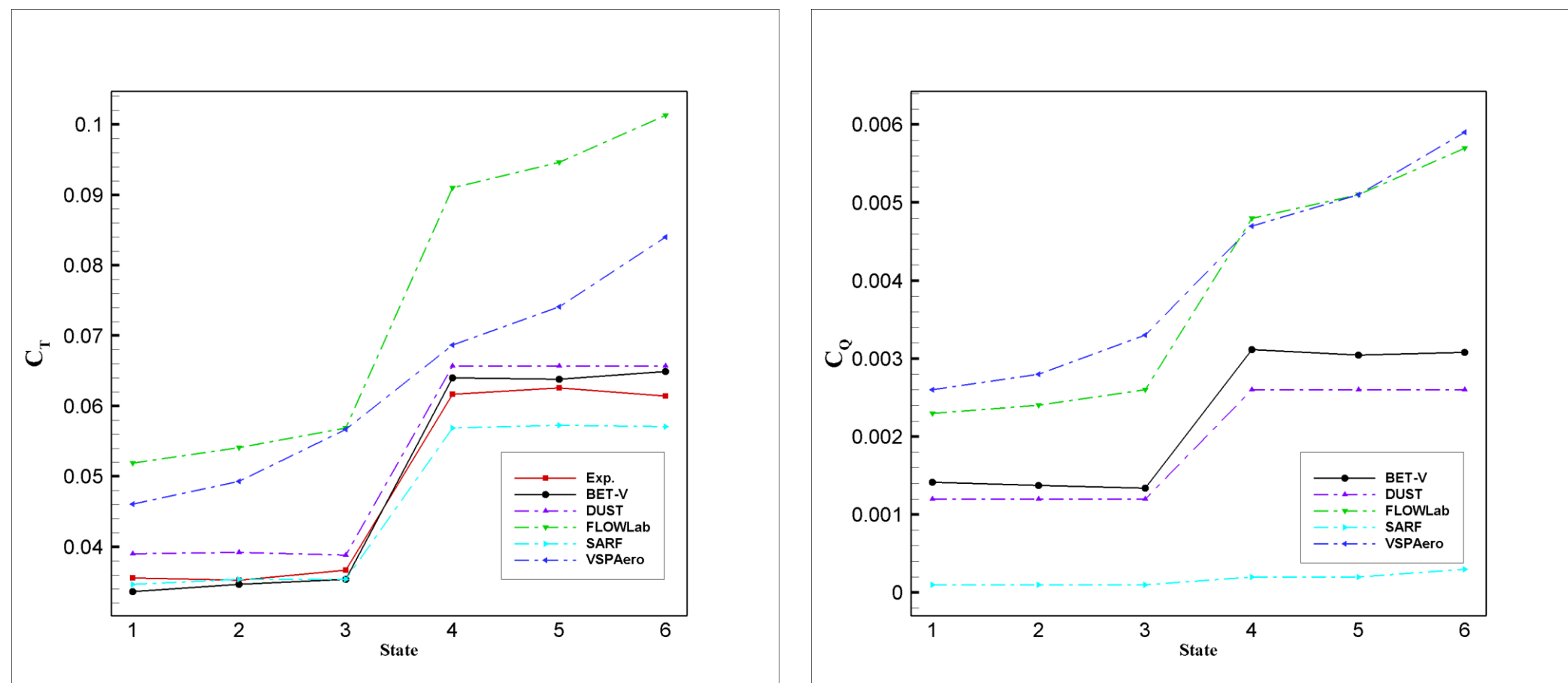


图2 AAL标模验证(左: 拉力系数, 右扭矩系数)

螺旋桨气动优化设计方法

螺旋桨主要的几何外形设计变量为桨叶的弦长与扭转分布, 通过CST方法进行参数化。本文采用的CST参数化方法中型函数选用3阶伯恩斯坦多项式, 因此弦长与扭转分布函数分别有4个设计变量, 共计8个设计变量。

验证计算评估结果准确性和完成几何外形参数化后, 将其与中国航空工业空气动力研究院研发的飞行器气动外形优化平台耦合(ARI_XunZhu, 图3)。螺旋桨外形优化问题采用基于代理模型的优化方法, 子优化问题采用遗传算法和EI+MSP加点方法。优化描述如下:

设计目标: $\max. FM \text{ at } 2500 \text{ rpm}$

设计约束: $40N < Thrust < 60N$

结果

经过300次样本点计算后得到桨叶几何参数与外形(图4、图5), 拉力和效率分别提高20.2%和3.05%(表1)。使用基于RANS的CFD软件对优化构型进行验证计算(表2), 螺旋桨效率提升8.32%。优化构型桨尖附近流场的压力分布(图6)显示驻点靠近下翼面, 说明优化构型在桨尖处攻角较大。从桨叶根、中和尖部表面的压力分布(图7)看出桨根截面的气动力与桨尖截面差异较大, 后期可针对根部翼型开展优化。

表1 BET-V优化结果

Con-figure	Thrust (N)	Torque (Nm)	Power (W)	FM (-)
Base	36.14	1.12	293.22	0.688
Opt.	43.43	1.43	374.38	0.709

表2 CFD优化结果校验

Con-figure	Thrust (N)	Torque (Nm)	Power (W)	FM (-)
Base	46.92	1.93	505.29	0.589
Opt.	68.87	3.17	829.93	0.638

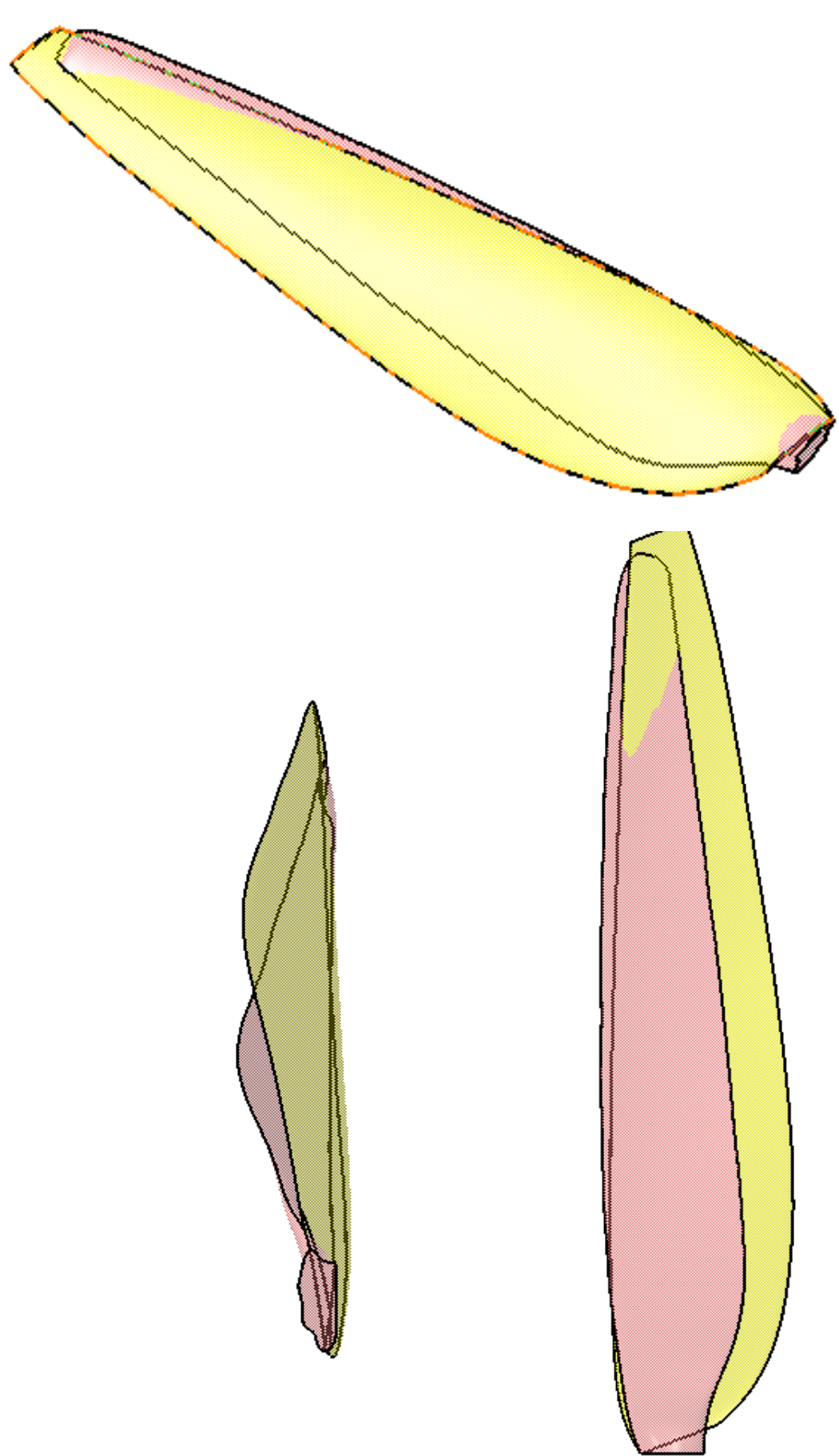


图5 优化前后外形变化



图3 优化平台ARI_XunZhu

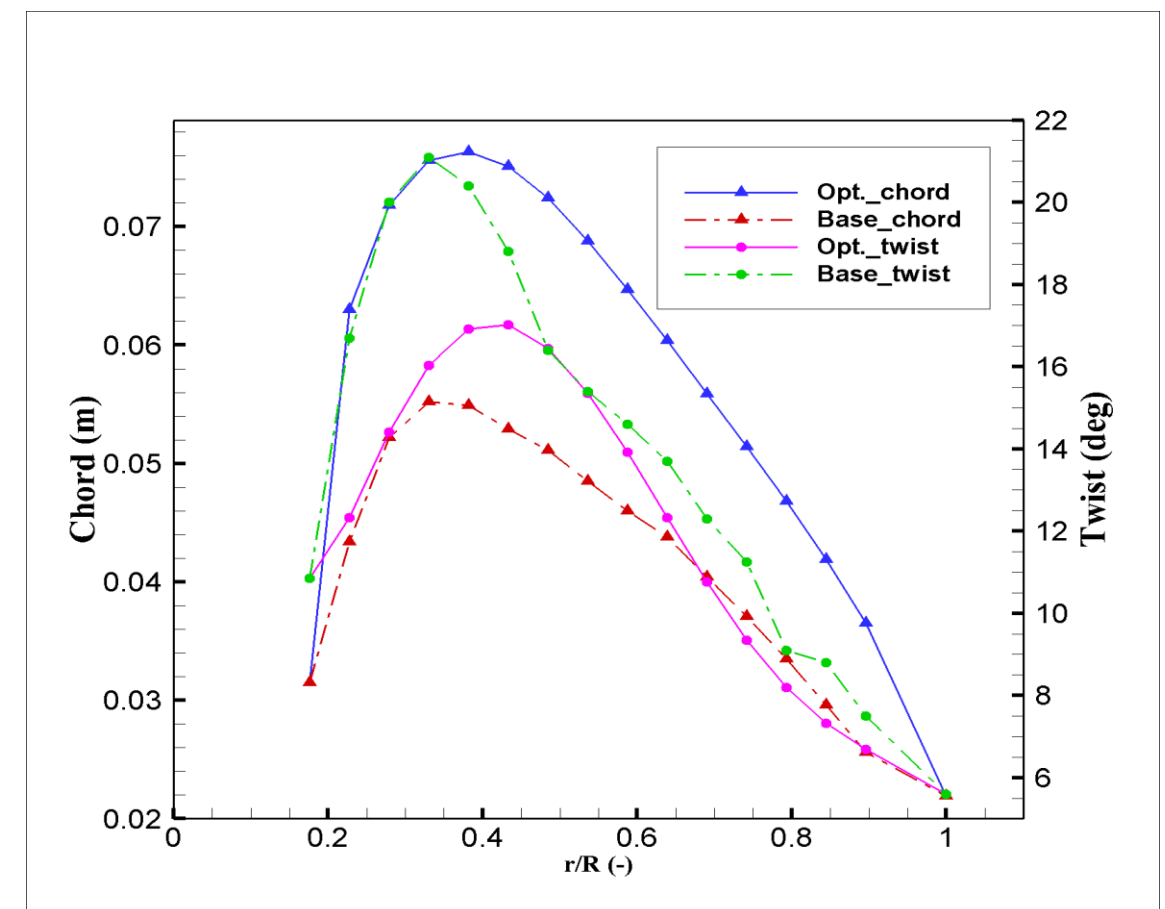


图4 优化前后弦长/扭转角分布

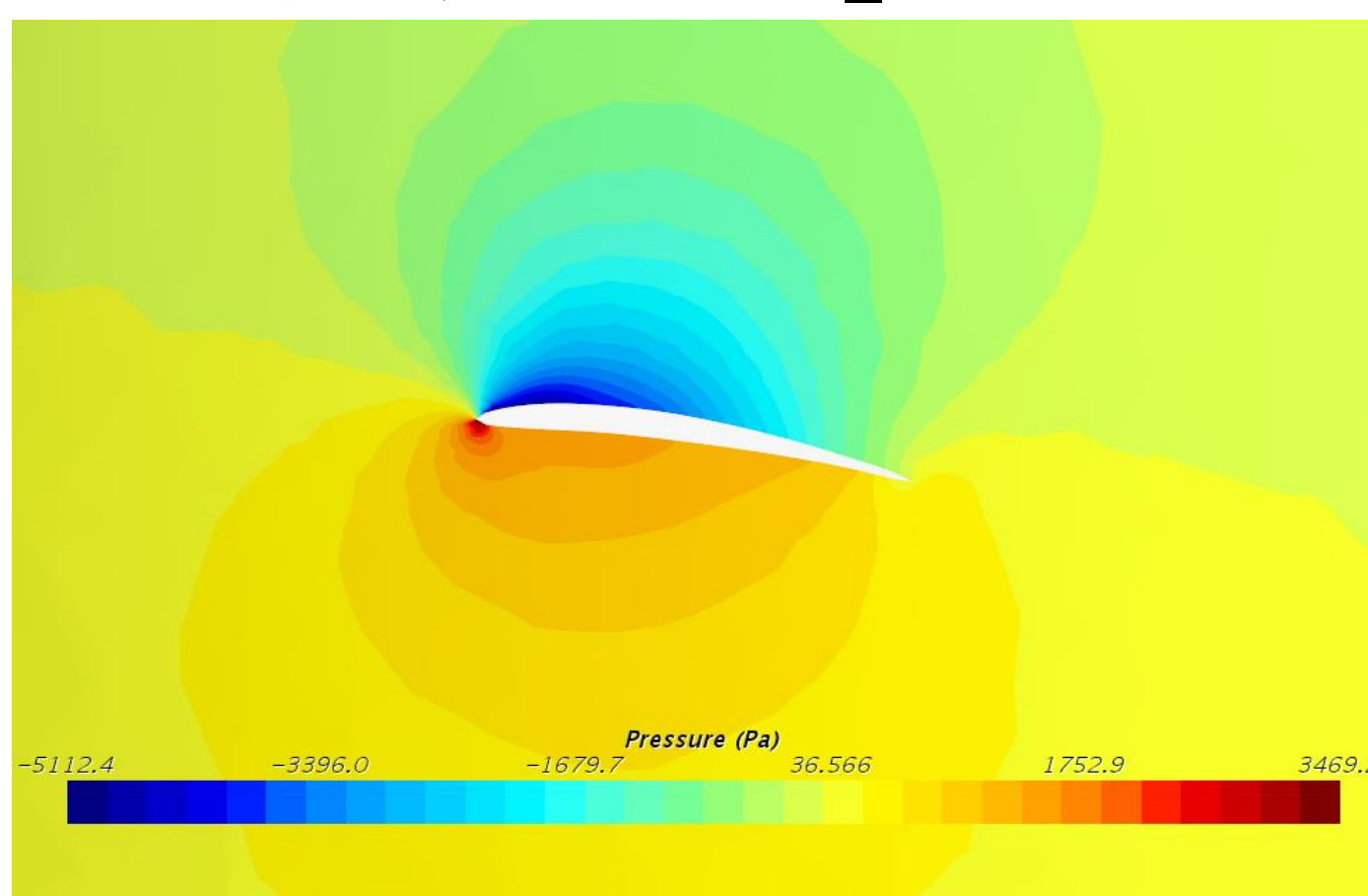


图6 桨尖流场压力分布

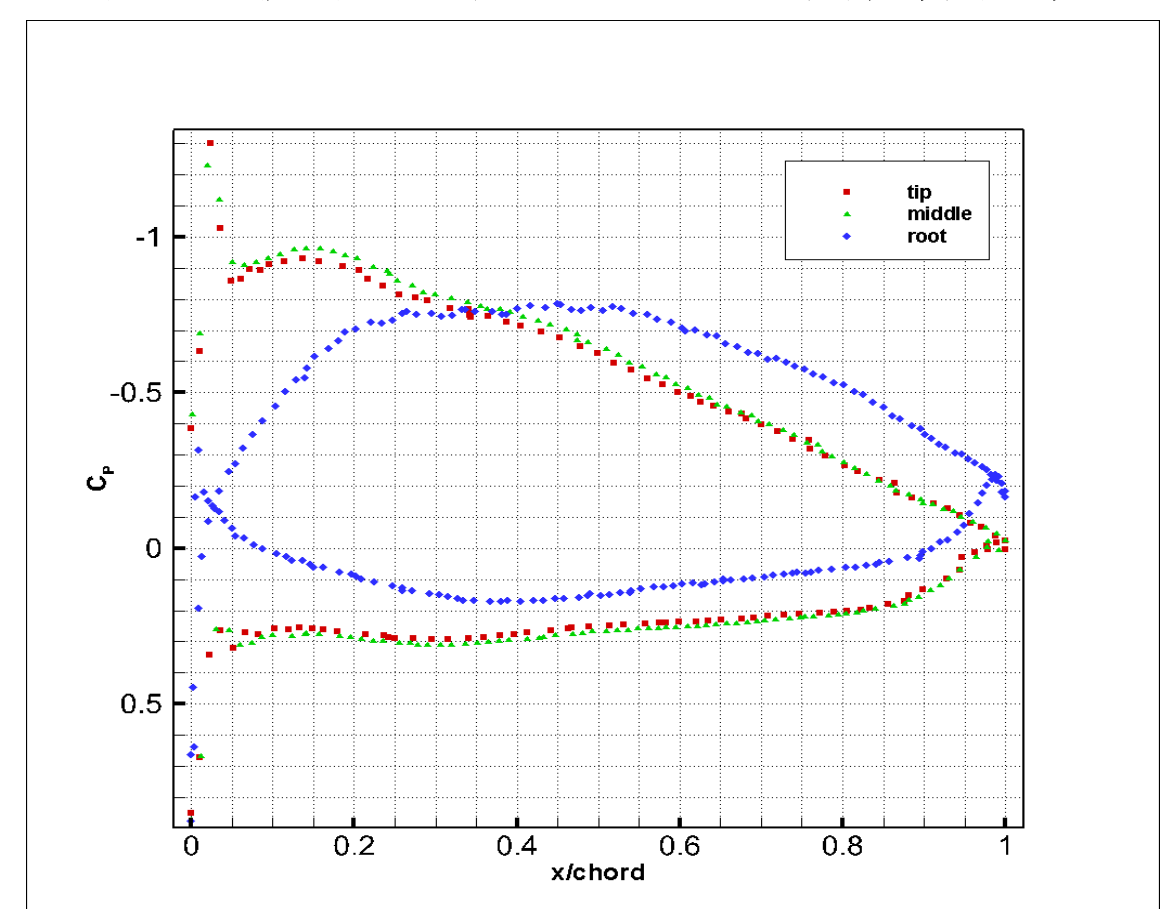


图7 桨叶不同站位表面压力分布

结论

基于叶素—涡量理论快速评估软件BET-V可以较准确地计算多种工况下螺旋桨的气动性能。对比优化前后构型可以看出悬停效率与桨叶扭转角和弦长分布有关, 均匀减小各站位扭转角、增大弦长可以使螺旋桨拉力增加、效率提高。