

工程热物理所水平轴风力机厚翼型设计取得进展

风能是最具发展前景的可再生能源，风力发电是风能利用的主要形式。海上和低风速区域风电场的开发，使多兆瓦级水平轴风力机的应用成为主流。而研发出性能优异的专用翼型族是提高水平轴风力机叶片能量捕获率的关键。

基于风力机叶片的内在需求，自二十世纪八十年代以来，科研人员研发出一系列专用翼型族取代航空翼型在水平轴风力机上的应用。上述翼型相对厚度较小，对于适合于叶片根部区域的翼型设计是有限的。随着新装风力机叶片尺寸的显著增加以及运行环境愈加复杂恶劣，高性能大厚度翼型的研发成为必需。

厚翼型采取钝尾缘设计可以有效改进其气动性能和结构强度，Timmer, Hoerner, van Dam等人对此做了大量的研究，包括厚尾缘的造型方法以及尾缘钝化后的效果。但目前厚翼型的设计准则不能贴近多兆瓦级风力机的运行需求，也缺乏可用的大厚度钝尾缘翼型族。

中科院工程热物理研究所自2007年开始研发适合中国风资源分布特征的风力机专用翼型族。其中包含四种相对厚度为45%到60%的大厚度翼型。但这些早期的大厚度翼型尾缘厚度较小，且采用XFOIL设计，无法准确地预测出大攻角下的性能。近期，研究人员结合一个5兆瓦级风力机的运行特征系统研究了大厚度钝尾缘翼型的设计准则、设计方法并成功开发出四种新的大厚度钝尾缘翼型。

研究表明，45%-60%相对厚度的翼型主要适用于叶片内侧10%-20%处。由于叶跟扭角的限制，该部分攻角偏大，流动多为湍流边界层状态，显著区别于叶片中部和外侧的翼型流动，须重新确定设计攻角域和设计雷诺数。基于参考的5MW风力机的计算结果，该部分翼型的实际运行攻角范围在 15° - 25° ，远高于其失速攻角；运行雷诺数随着相对厚度不同有所差异，据此确定了符合MW级风力机运行特征的设计攻角域和设计雷诺数，如表1所示。

在气动性能方面，创新地提出以运行攻角范围内的升力系数水平为大厚度翼型的设计指标，以该攻角内升力系数的平缓特征和升力曲线的变工况稳定性为主要约束。这是由于多兆瓦级叶跟翼型相对厚度通常大于45%，导致其失速攻角远较薄翼型提前，与实际的运行攻角范围有很大的距离。此时最大升力系数显然不能再有效表征对大厚度翼型的性能需求。而升力系数随攻角变化平缓，随Re变化稳定可以有效地保证风力机的输出稳定。

表 1 新翼型的设计准则

相对厚度	设计雷诺数	设计攻角域($^{\circ}$)	最大厚度位置	尾缘厚度
45%	4.0E+06	15-30	30%-35%	0.07
50%	3.5E+06	15-30	30%-35%	0.09
55%	3.0E+06	15-30	30%-35%	0.12
60%	2.5E+06	15-30	30%-35%	0.16

由于厚翼型的流动攻角较大，流动多处于湍流边界层甚至分离流条件下，对于厚翼型流动的预测，尤其是关于流动转捩和分离点的预测始终是制约大厚度翼型气动设计的关键问题。因此在设计之前，通过在北京航空航天大学D-4风洞的测量验证了（相对于一般CFD方法）对于45%厚度的翼型RFOIL可以较准确地给出直到 25° 攻角范围的升力特征。故以RFOIL采用混合设计方法进行设计。在设计过程中通过保证翼型的基本几何特征（前缘半径，相对弯度，最大相对厚度位置）相近来保证翼型族的几何兼容性；通过延迟湍流边界层的分离或者延缓分离点从尾缘向前缘移动的速度来实现高且平缓的升力特征。设计结果如下图1所示。

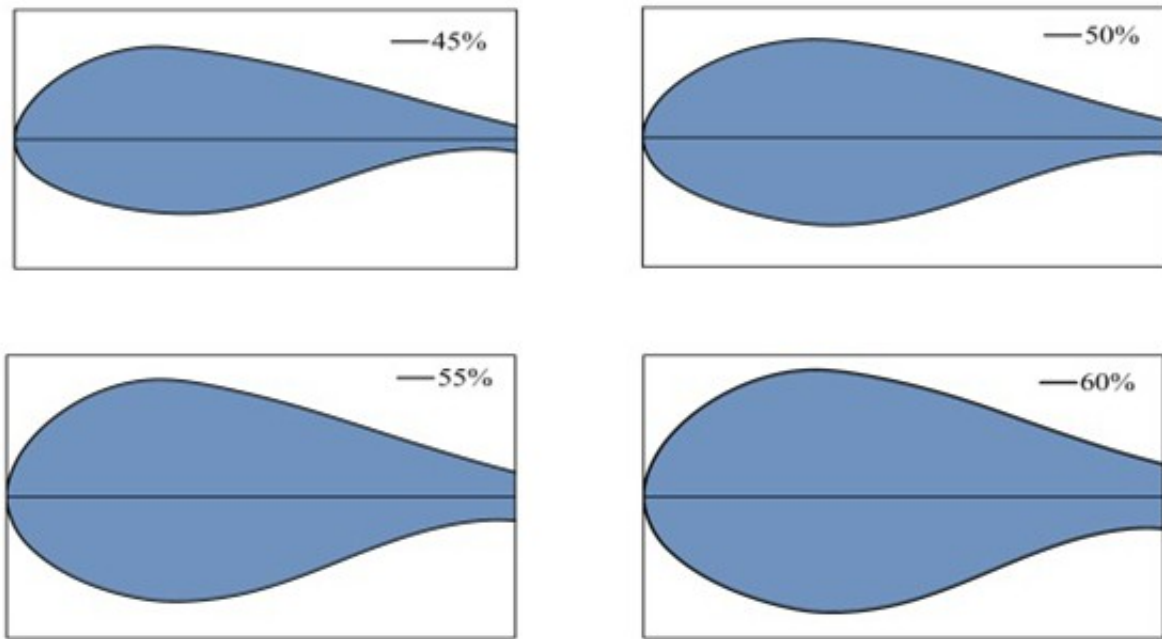


图 1 四种大厚度钝尾缘翼型的几何轮廓

基于RFOIL气动分析表明，这族大厚度钝尾缘翼型在大攻角范围内，升力系数持续稳定上升并处于较高水平：在 15° 到 30° 攻角之间，该翼型族的升力系数大致在1.0到1.7之间近似线性变化，同时在该攻角范围内具有优异的雷诺数稳定性，有利于风力发电机获得更高效和稳定的输出，实现了设计目标。采用风电叶片研发中心提出的翼型综合评估方法表明，对于MW级风力机叶片内侧需求而言，新的45%相对厚度翼型的综合性能优于广泛使用的荷兰代尔夫特大学开发的DU00-W2-401翼型。因此，研究人员已经使用该翼型在兆瓦级风力机叶片研发时进行了替代设计，目前正在进行关于该翼型族的风洞测量实验。

以上研究工作得到了国家“863”计划项目“大厚度、钝尾缘、低噪声翼型设计应用技术”（No.2012AA051303）的支持，相关研究成果已在中国工程热物理学会2013年学术会议（呼和浩特）上展示，并将发表在《工程热物理学报》上。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/57024.html>