

基于B-L模型的粗糙翼型动态失速模型研究

孙海涛¹, 葛铭纬¹

1、华北电力大学新能源电力系统国家重点实验室, 北京, 102206

引言

叶片是风电机组关键的部件之一, 其气动特性对风电机组运行载荷和发电效率具有决定性作用。由于大气边界层风剪切、风速风向突变等原因, 风力机翼型常运行在非定常来流之中, 出现明显的动态特性, 产生了显著的非稳态的载荷。除此之外, 叶片运行时其经常遭受到灰尘、昆虫残骸、树叶等恶劣环境的影响, 造成叶片壁面粗糙, 进而影响翼型原有的非定常气动特性。但是目前缺乏有效的模型用于研究粗糙翼型的动态气动特性, 因此有必要开展风力机翼型动态失速研究, 提出适用于粗糙翼型的动态气动特性的预测方法, 对于整机发电效率和载荷评估具有重要意义。

验证算例

采用S814翼型对修正模型进行验证, 翼型的动态俯仰运动采用正弦形式, 如公式4所示。

$$\alpha(t) = \alpha_m + \Delta\alpha \cdot \sin(\omega t) \quad (4)$$

其中 α_m 表示平均攻角; $\Delta\alpha$ 表示振幅攻角; $\omega = 2UK/c$, K 表示缩减频率。

翼型	S814
平均攻角 α_m	8°、14°
振幅攻角 $\Delta\alpha$	10°
缩减频率 K	0.032、0.064、0.096
衰减系数 β	1、0.95、0.9、0.85、0.8

传统动态失速模型

B-L模型是经典的动态失速模型, 整个计算模型将动态失速过程分为三个阶段: 1) 附着流; 2) 分离流; 3) 动态涡。其分离流阶段公式如下^{[1][2]}:

$$C_{N_n} = C_{N_\alpha} \sin(\alpha_n - \alpha_0) \left(\frac{1 + \sqrt{f_{N_n}}}{2} \right)^2$$
$$C_{T_n} = C_{N_\alpha} (\alpha_n - \alpha_0) \tan(\alpha_n) \sqrt{f_{T_n}}$$
$$\alpha_n' = \frac{C_{N_n}^P - D_{P_n}}{C_{N_\alpha}}$$

考虑粗糙避免效应的动态失速模型

考虑到粗糙翼型非定常法向力系数滞后效应比光滑翼型更强等因素, 基于Leishman^[2]等人提出的有效攻角模型, 引入一个衰减系数 β , 提出修正的有效攻角公式如下:

$$\alpha_n' = \beta \cdot \frac{C_{N_n}^P - D_{P_n}}{C_{N_\alpha}}$$

其中 $C_{N_n}^P$, 表示附着流阶段法向力系数; β 表示衰减系数 ($0 < \beta < 1$), 其中当 $\beta = 1$ 时表示未衰减, 为光滑翼型的失速模型, $\beta = 0$ 时表示的是完全衰减, 现实运行情况下不存在; α_n' 表示有效攻角。

结果与讨论

图1显示的是粗糙S814翼型在不同平均攻角、振幅攻角和缩减频率下的动态气动特性, 其中散点表示美国可再生能源实验室的试验数据^[3]。从上图可以看出, 当 $\beta=1$ 时, 其下俯阶段模型预测值与实验值较接近, 但上仰的失速阶段预测值偏低, 模型整体的精确性较差; 而当衰减系数不断减小, 俯仰阶段的升力系数在增大, 其上仰阶段结果与实验值吻合良好; 但此时下俯阶段的结果会比实验值偏大。综合来看, 当衰减系数 β 为0.9时, 模型在整个俯仰运动阶段预测值与实验值吻合良好。之后利用 $\beta=0.9$ 时的失速模型, 计算了S809、S815和S825三种不同厚度翼型在不同平均攻角、振幅攻角和缩减频率下的动态气动特性, 其预测结果的精确性明显优于未考虑衰减系数时的模型。

结论

Beddoes-Leishman(B-L)半经验动态失速模型是翼型动态失速预测的经典方法, 但由于粗糙翼型非定常法向力系数滞后效应比光滑翼型更强, 该模型表现不佳。针对壁面粗糙翼型, 考虑法向、切向分离点的差异, 并在动态俯仰运动中引入衰减系数对有效攻角进行修正, 发展了一种新的动态失速修正模型。随后通过S814翼型对模型进行了验证, 结果显示, 在不同平均攻角、振幅攻角和缩减频率下, 该模型都可以很好的预测翼型的动态气动特性, 提高模型的预测精度。

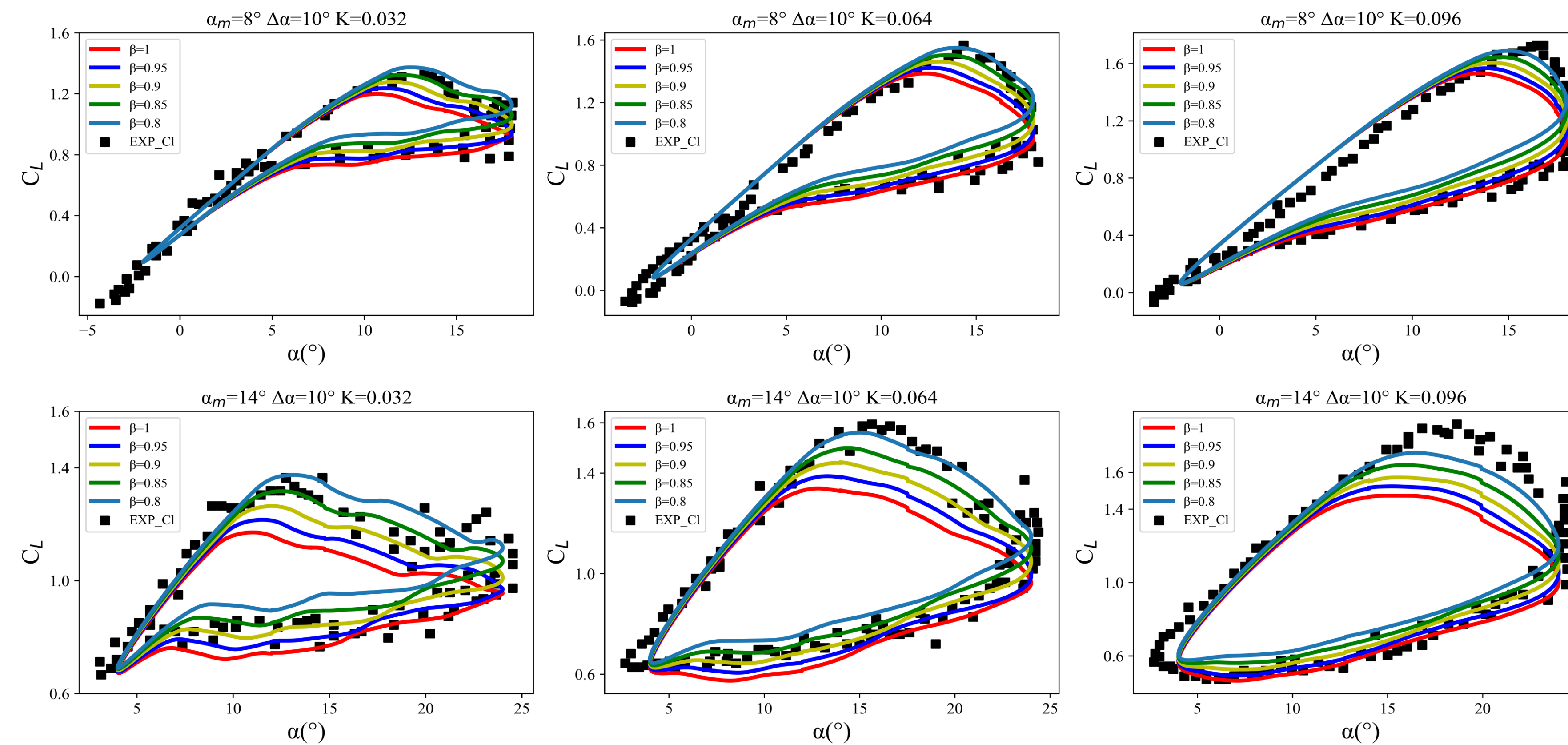


图1 不同衰减系数下S814翼型的动态升力曲线

作者信息

姓名: 孙海涛
单位: 华北电力大学新能源电力系统国家重点实验室
邮箱: sunhaitao@ncepu.edu.cn
电话: 18810923558

References

- [1] Liu X, Liang S, Li G, et al. An improved dynamic stall model and its effect on wind turbine fatigue load prediction[J]. Renewable Energy, 2020, 156.
- [2] Leishman J G, Beddoes T S. A Semi-Empirical Model for Dynamic Stall[J]. Journal of the American Helicopter Society, 1989, 34(3):3-17.
- [3] Janiszewska J M, Ramsay R R, Hoffmann M J, et al. Effects of grit roughness and pitch oscillations on the S814 airfoil[R]. 1996.