

压电材料执行器在NACA0020翼型流场主动控制中的应用

高南 副教授

大连理工大学航空航天学院

2011 年 8 月 24 日



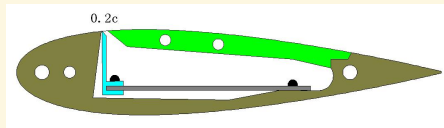
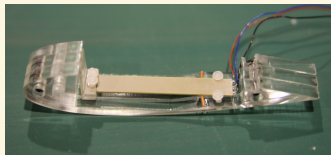
研究目标

- 制造安装在小型无人驾驶飞行器上的流场主动控制系统
 - 特点：降低飞行阻力、质量轻、耗能少
 - 进程规划：
 - 第1步：设计压电材料执行器，测试其特性
 - 第2步：研究闭环控制方法
 - 目前只进行了初步研究



压电材料执行单元

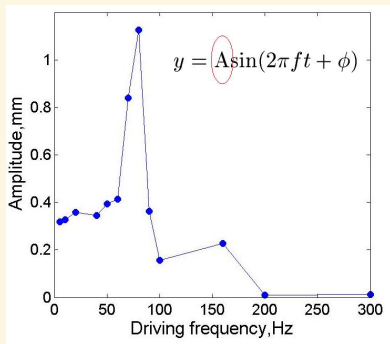
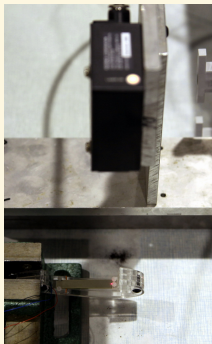
- 流向涡发生器；
- Noliac CMBP07双层陶瓷片,50x7.8x0.7mm,悬臂梁*；
- 驱动电源, 哈尔滨芯明天科技XE501, 驱动电压 $\pm 100\text{V}$,最大电流40mA
- 执行单元为有机玻璃制, 弦长 $c=10\text{cm}$,宽1.5cm, 陶瓷片末端连接宽1cm扰流器；



* Barth et al. (2011) AIAA J., Vol.49, pp.921

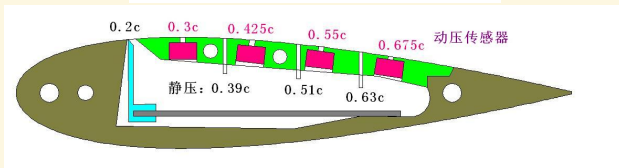
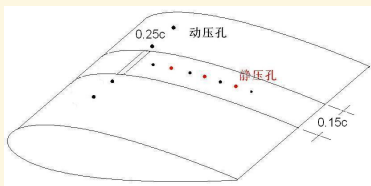
压电材料执行器器频响特性

- ① Keyence激光位移传感器测量执行器末端位移
- ② 使用振幅100V正弦电压驱动，频率5-300Hz，80Hz振幅最大



实验方法

- 翼型展向长30cm, 展弦比 $AR=3$
- 目前只使用一个压电材料执行单元
 - 平均压强: 内径0.7mm测压孔接压力传感器
 - 脉动压强: 内径1mm长2mm以下测压孔接松下WM60麦克风



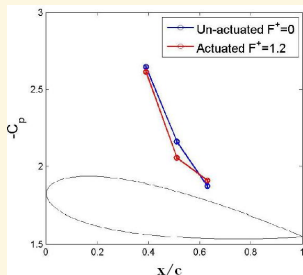
实验方法

- 低速直流风洞，实验段30cm边长正方形截面
- 实验流速 $U=1 \sim 15 \text{ m/s}$



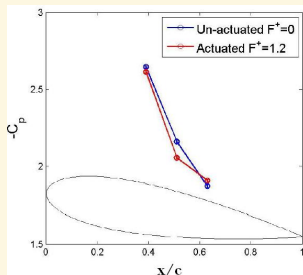
开环控制：对壁面平均压强的影响

- 攻角 10° , $Re=42000$, f_c/U 或者 $F^+ = 1.2$ (80Hz)



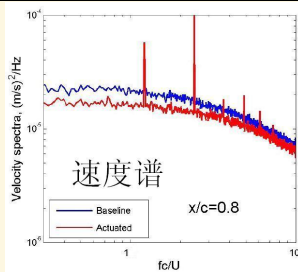
开环控制：对流场发展的影响

- 单丝热线, $x/c=0.8$, 距壁面 $0.08c$



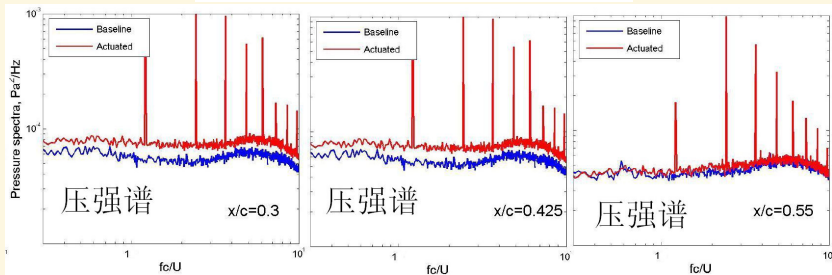
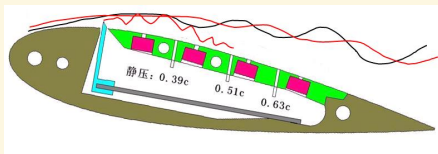
开环控制：对流场发展的影响

- 剪切层脉动速度强度在扰动下降低



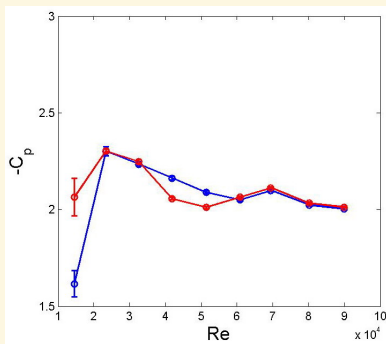
开环控制：对壁面脉动压强的影响

- 壁面压强脉动强度在扰动下升高



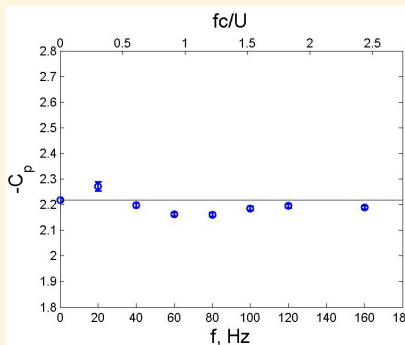
开环控制：Re对静压的影响

- 攻角 10° , f_c/U 或者 $F^+ = 1.2$ (80Hz)
- $Re=10\,000$ 到 $100\,000$ ($Re=Uc/\nu$)
- $x/c=0.51$



开环控制：执行器频率对静压的影响

- 攻角 10° , $Re=42000$ ($U=6.7\text{m/s}$)
- $F^+ \approx 0$ to 1.5
- $x/c=0.51$



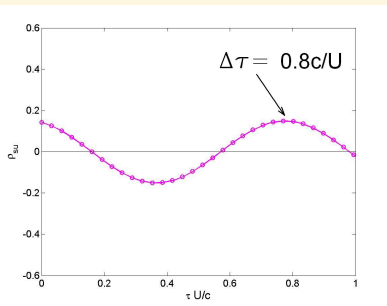
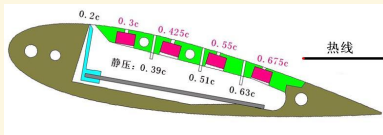
开环控制：扰动和脉动速度的关系

相关系数：

$$\rho_{su} = \frac{\overline{V_s(t)u(x, y, t + \tau)}}{\overline{V_s' u'(x, y)}}$$

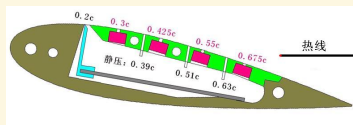
执行器驱动信号：

$$V_s = 100\sin(160\pi t)$$



闭环控制方案

- 根据壁面压强估测流场某点流速信息
- 利用流速信息决定扰流片位置



Linear Stochastic Estimation* (LSE)

$$v_e(x_\alpha, y, t + \tau) = \sum_{\beta=1}^N B_\beta(x_\alpha, y) p(x_\beta, t). \quad (1)$$

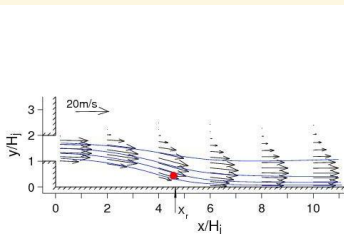
$$R_{vp}(x_\alpha, x_\beta, y, \tau) = \sum_{\beta=1}^N B_\beta(x_\alpha, y) R_{pp}(x_\alpha, x_\beta). \quad (2)$$

$$R_{vp}(x_\alpha, x_\beta, y, \tau) = \overline{v(x_\alpha, y, t + \tau) p(x_\beta, t)}, \quad (3)$$

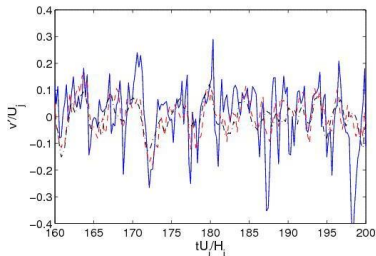
$$R_{pp}(x_\alpha, x_\beta) = \overline{p(x_\alpha, t) p(x_\beta, t)}. \quad (4)$$

* Adrian, R.J., Physics of Fluids, 22, 2065-2070, 1979

Linear Stochastic Estimation



Re=44000 平面贴附射流



实测流速和利用壁面压强估测流速的对比

- *高南, “应用最小均方误差估计技术研究流体涡旋结构”, 中国力学学术大会2009
- *高南, “应用最小均方误差估计技术研究流体涡旋结构”, 《气体物理-理论与应用》4, 2009
- *Gao and Ewing, "Investigation of large scale structures in an offset attaching jet using spectral linear stochastic estimation", AIAA Paper 2010-1290

总结和未来安排

● 总结

- 设计制作了轻小的压电材料执行器
- 通过实验手段发现压电材料执行器通过扰动流场可以改变剪切层的速度脉动强度和壁面压强脉动强度
- 仅在部分 Re , 扰动频率, 攻角条件下能产生有益效果

● 未来工作计划

- 开环控制
 - 更多测压孔, 压强分布, 升阻力
 - 更多攻角, 频率, 扰动点选择组合
 - 详细的速度场测量, 相位平均等
 - 多组执行器
- 闭环控制
 - 统计估测的方法利用壁面压强信息估测速度场
 - 设计控制方案