

并列弹性双圆柱在均匀流场中的 流体激励力的研究

姚熊亮 陈起富 徐文景 李维扬

(哈尔滨船舶工程学院, 哈尔滨 150001)

提要 实验研究了并列弹性双圆柱体在均匀流场中的水动力特性, 其中包括柱表面稳态及脉动压力系数, 稳态阻力及升力系数, 脉动阻力和升力系数. 结果表明: 在 $V_r > V_{rc}$ 时, 柱的振动对其流体激励力有明显影响.

关键词 涡激振动, 双柱, 旋涡, 表面压力, 水动力, 雷诺数

一、引 言

并列圆柱体结构广泛存在于海洋工程、军事工程及核反应堆等工程领域中. 在一定来流速度的情况下, 圆柱背后的卡门涡发放会引起柱的振动, 甚至产生强烈的振动而引起结构的破坏. 这一问题很早就受到人们的关注. 由于围绕并排弹性圆柱体的流场非常复杂, 使得这一问题一直得不到很好地解决, 特别是实际工程领域所需的一种能预报并排弹性柱涡激振动响应的方法至今也未能提出, 其中流体激励力的匮乏是该问题迟迟得不到解决的关键.

本文实验研究了并列双圆柱在均匀流场中的涡激振动, 测试了柱表面的压力, 分析得到了作用于柱上的各类流体动力系数, 为预报并列弹性双圆柱在均匀流场中的涡激振动打下了基础.

二、实验模型和测试方法

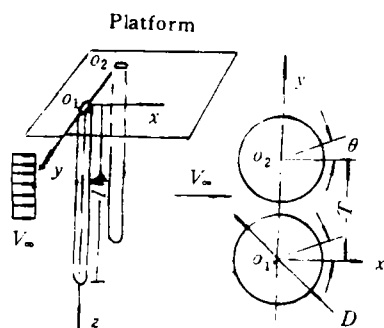


图 1 圆柱各参数定义示意图
Fig.1 Schematic drawing of
circular cylinders arrangement

实验是在哈尔滨船舶工程学院船模实验水池中进行的, 水池尺寸为 $108 \times 7.0 \times 3.5(\text{m})$, 实验时水温为 14.9°C . 实验模型由黄铜管加工制成, 表面光滑, 长 130cm , 外径 4.0cm , 内径 3.2cm . 在拖车下方建立一刚性平台, 模型、平台、车体三者之间刚性连接. 为了消除吸气效应对柱的影响, 将柱端倒置于水中. 实验模型及参数定义见图 1. 两柱在静水中的固有频率相等, 为 11.2Hz .

本文于 1992 年 10 月 9 日收到第一稿, 1993 年 1 月 4 日收到修改稿.

在距离柱自由端 4 倍直径的横截面上沿两柱周向分别布置 4 个压力传感器, 其位置 $\theta = 0^\circ$ 、 67.5° 、 225° 、 292.5° (θ 如图 1 所示). 对于每一来流速度, 将两柱转动 4 次, 每次转动 90° , 这样每根柱可得 16 个测压点. 另在上述横截面内沿流向和横向分别布置加速度传感器. 压力传感器是日本共和公司生产的 PS 型超小型应变式压力传感器, 加速度传感器是航空航天部 625 所生产的 SHQ-30 型压电式加速度传感器. 所测压力信号经动态电阻应变仪、加速度信号经电荷放大器后同时记录在同一磁带机上, 然后在英国 Solantron 公司生产的 1200 信号处理机上进行分析处理.

对压力传感器的标定采用了水听器动态标定技术, 结果表明在脉动压力频率小于 40Hz 时, 脉动压力标定值与静态压力标定值基本一致. 加速度传感器的标定是在标准振动台上进行的. 实验记录时间不小于 15 秒.

实验范围: $4.19 \times 10^4 < Re < 9.1 \times 10^4$, $T/D = 1.75$ 、 2.5 、 3.5 .

三、实验结果分析

柱表面任意一点的瞬时压力 $p(z, \theta, t)$ 可表示成时间平均压力 $\bar{p}(z, \theta)$ 和对应于不同频率的脉动压力 $p'_i(z, \theta, t)$ 之和, 即

$$p(z, \theta, t) = \bar{p}(z, \theta) + \sum_{i=1}^n p'_i(z, \theta, t)$$

其中: $\bar{p}(z, \theta) = \frac{1}{T} \int_0^T p(z, \theta, t) dt$ (T 为记录时间). 通常用稳态压力系数 $C_{p0}(z, \theta)$ 和脉动压力系数 $C'_{pi}(z, \theta)$ 来表示柱表面压力分布

$$C_{p0}(z, \theta) = (\bar{p}(z, \theta) - p_\infty) / \frac{1}{2} \rho V_\infty^2$$

$$C'_{pi}(z, \theta) = \sqrt{[p'_i(z, \theta, t)]^2} / \frac{1}{2} \rho V_\infty^2$$

1. 柱的稳态压力系数

图 2 给出了 1 柱稳态压力系数沿柱周向的分布. 无论 T/D 如何取值, 柱边界层分离为层流分离; 在 $135^\circ < \theta < 225^\circ$ 之间, C_{p0} 随 V_r 的增加而增加. 而且 C_{p0} 的分布不对称, 不对称性随 T/D 的减小而变得明显. 其原因是由于两柱之间存在着间隙流, 使得两柱内外两侧的流动不同. 另外 C_{p0} 的不对称性随 V_r ($V_r = V_\infty / (f_n D)$, f_n 为柱在静水中的固有频率) 的增加而变弱, 而 V_r 的增加, 柱的横向振动增大, 可见柱的横向振动会改变两柱间隙流动的性质.

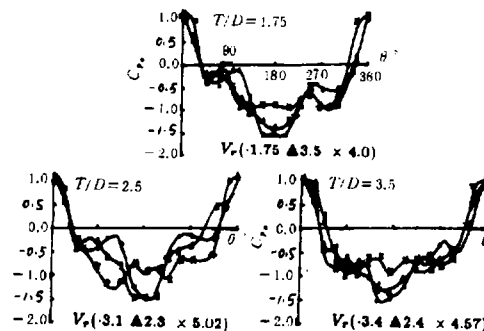


图 2 稳态压力系数的分布

Fig.2 Steady pressure coefficient distributions

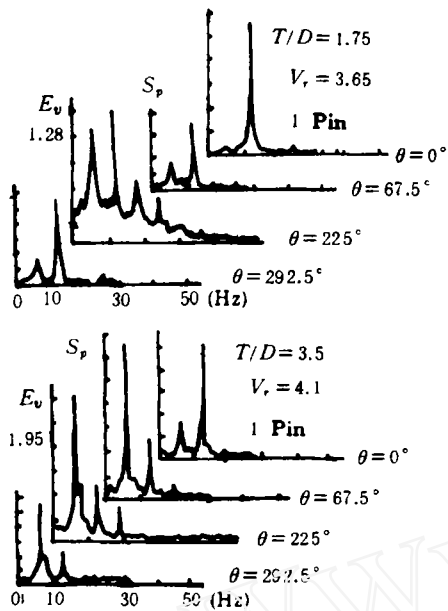


图 3 柱表面压力自功率谱

Fig.3 Power spectrum of pressure on the surface of cylinder one

2. 柱的脉动压力系数

柱表面脉动压力自功率谱见图 3. 它基本上是线谱, 但含有多种频率成分. 若记 V_{rc} 表示柱进入锁定区时所对应的约化速度 V_r (在本文实验范围内 $V_{rc} = 3.8 - 4.1$). 当 $V_r < V_{rc}$ 时, 脉动压力主要包括如下频率成分: 涡放频率, 柱的湿模态固有频率, 涡放频率与柱湿模态固有频率之和, 以及 2 倍的柱的湿模态固有频率. 当 $V_r > V_{rc}$ 时, 脉动压力频率成分发生变化, 其主要包含: 涡放频率 (此时涡放频率不再随 V_{rc} 的增加而增加, 而是保持在 $(0.75-0.8)f_n$, 这说明柱的振动控制了旋涡发放), 柱的湿模态固有频率, 以及 2 倍和 3 倍的涡放频率.

由于柱面脉动压力中始终含有柱的固有频率成分, 因此柱表面脉动压力不仅与旋涡发放有关, 且还与柱的振动有关, 后者是柱的振动对流体激励力的反馈.

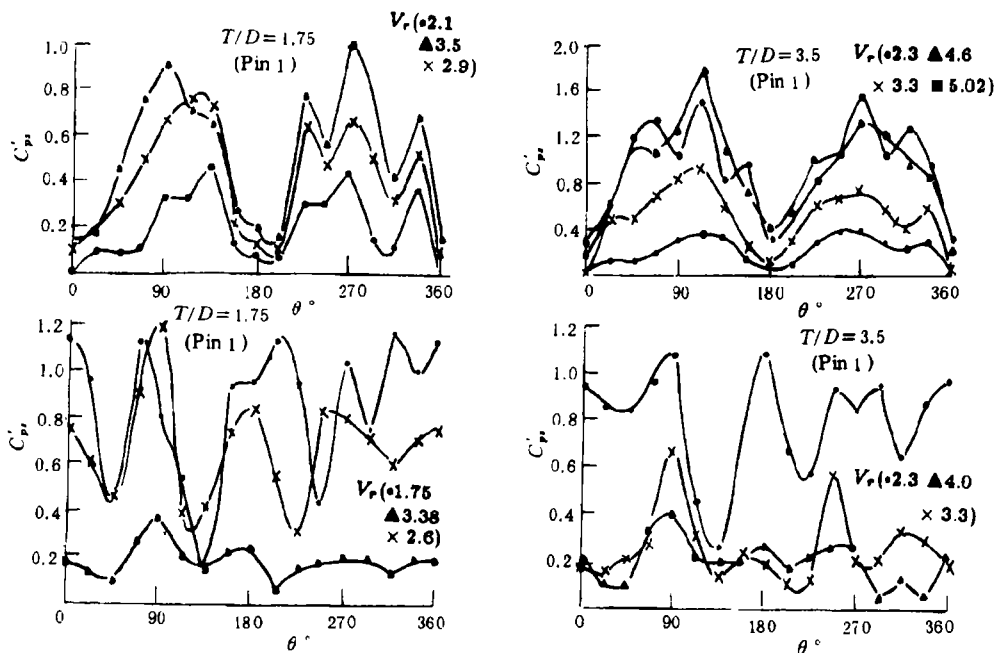
图 4 脉动压力系数随 θ 的变化

Fig.4 Rms fluctuating pressure distribution along the surface of cylinder one

各种频率的脉动压力系数沿柱周向的分布规律并不相同. 本文仅给出了与涡放频率对应的脉动压力系数 C'_{ps} 及与柱湿模态固有频率对应的脉动压力系数 C'_{pn} 沿柱

周向的分布 (见图 4).

在 $135^\circ < \theta < 225^\circ$, $T/D = 1.75, 2.5$ 时, C'_{ps} 的最小值并不出现在 $\theta = 180^\circ$ 的位置上, 而是略偏向于两柱的内侧边缘, 但在 $T/D = 3.5$ 时, 这种偏向现象消失; 而且随着 V_r 的增加, 无论 T/D 取值如何, 这种偏向现象也逐渐消失. 以上事实说明两柱之间的间隙流动对 C'_{ps} 有影响, 但这种影响程度随着 T/D 的增加和 V_r 的增加 (即柱的横向振动的增加) 而减弱. 对任意测压点, 其脉动压力系数 C'_{ps} 随 V_r 的增加而变大. 但当 V_r 增加到某一值 (该值大于 V_{rc}) 之后 C'_{ps} 增加缓慢. 从图中我们还可以看到 C'_{pn} 随 V_r 的增加而变小, 它与 C'_{ps} 沿柱周向的分布迥然不同.

四、柱的水动力系数

1. 稳态阻力系数和稳态升力系数

在图 1 的坐标系中稳态阻力系数 C_{D0} 和稳态升力系数 C_{L0} 由下式给出

$$C_{D0} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_{p0} \cos \theta d\theta$$

$$C_{L0} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_{p0} \sin \theta d\theta$$

图 5 给出了 C_{D0} 随 V_r 的变化趋势. 在耦合涡街区中, 两柱 C_{D0} 相等, 且在 $V_r > 3.5$ 时, 随 V_r 增加而略有增大. 在双稳态区中, 当 $V_r < 3.5$ 时, 两柱 C_{D0} 有明显的差异, Bearman^[1] 在实验中也发现了同样的现象; 当 $V_r > 3.5$ 时, 两柱 C_{D0} 趋于一致. 以上说明柱的振动对两柱的稳态阻力系数有不可忽视的影响, 一则它使两柱 C_{D0} 增加, 二来使两柱 C_{D0} 趋于一致.

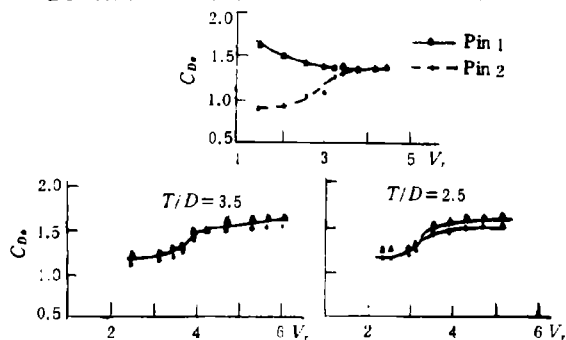


图 5 稳态阻力系数 C_{D0}
Fig.5 Steady drag coefficients (C_{D0})

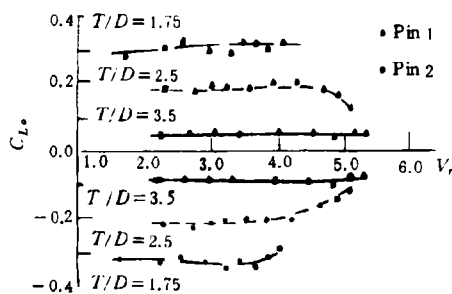


图 6 稳态升力系数 C_{L0} 随 V_r 的变化趋势
Fig.6 Steady lift coefficients (C_{L0})

图 6 给出了稳态升力系数随 V_r 的变化趋势. 可以看到 C_{L0} 随 T/D 的增加而减小. 在 $T/D = 1.75$ 时, $|C_{L0}| = 0.29 - 0.34$, 这一结果与 Price^[2] 对并列刚性双圆柱的实验值相吻合. 在 $T/D = 2.5, 3.5$ 时, C_{D0} 减小至 $0.04 - 0.10$ 之间; 另外只有在 $V_r > 4.5$ 时, C_{L0} 略有下降. 由此可知 C_{L0} 对柱的振动不敏感, 弹性柱 C_{L0} 与刚性柱相差无几. 从图中我们还可看到两柱稳态升力始终反向. 这再一次说明两柱内外两侧流动状态不同.

2. 脉动升力系数和脉动阻力系数

由于柱表面压力不仅与旋涡发放有关, 而且与柱的振动有关, 为此假设柱表面

任意一点的脉动压力系数 $C'_p(z, \theta, t)$ ($C'_p(z, \theta, t) = (\sum_{i=1}^n p'_i(z, \theta, t)) / \frac{1}{2} \rho V_\infty^2$) 为

$$C'_p(z, \theta, t) = a_1 \sin \omega_s t + a_2 \cos \omega_s t + a_3 \sin 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + a_4 \cos 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + f(\ddot{u}, \ddot{v}, \dot{u}, \dot{v}, u, v) \quad (1)$$

式中: $\omega_s = 2\pi f_s$, $\ddot{u} = \frac{d^2 u}{dt^2}$, $\ddot{v} = \frac{d^2 v}{dt^2}$, $\dot{u} = \frac{du}{dt}$, $\dot{v} = \frac{dv}{dt}$. u 、 v 分别为在纵坐标为 z 的横截面上的流向和横向位移.

Chen^[3] 通过势流理论研究了柱表面脉动压力系数与加速度的关系, 发现二者基本上是线性的. 这样可将 (1) 式进一步展开为

$$\begin{aligned} C'_p(z, \theta, t) = & a_1 \sin \omega_s t + a_2 \cos \omega_s t + a_3 \sin 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + a_4 \cos 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + a_5 \ddot{u}_0 + a_6 \ddot{v}_0 \\ & + a_7 u_0 + a_8 u_0 |u_0| + a_9 u_0^3 + a_{10} \dot{u}_0 + a_{11} \dot{u}_0 |\dot{u}_0| + a_{12} \dot{u}_0^3 + a_{13} v_0 + a_{14} v_0 |v_0| \\ & + a_{15} v_0^3 + a_{16} \dot{v}_0 + a_{17} \dot{v}_0 |\dot{v}_0| + a_{18} \dot{v}_0^3 + a_{19} \dot{u}_0 |\dot{v}_0^3| + a_{20} u_0 v_0 + a_{21} \dot{u}_0 \dot{v}_0 \end{aligned} \quad (2)$$

其中: $u_0 = u/|u|_{\max}$, $\dot{u}_0 = \dot{u}/|\dot{u}|_{\max}$, $v_0 = v/|v|_{\max}$, $\dot{v}_0 = \dot{v}/|\dot{v}|_{\max}$

利用正交筛选法^[4] 对 (2) 式进行参数筛选和识别, 最终可得 $C'_p(z, \theta, t)$ 的表达式

$$\begin{aligned} C'_p(z, \theta, t) = & a_1 \sin \omega_s t + a_2 \cos \omega_s t + a_3 \sin 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + a_4 \cos 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} \\ & + a_5 \ddot{u}_0 + a_6 \ddot{v}_0 + a_{16} \dot{v}_0 + a_{17} \dot{v}_0 |\dot{v}_0| |_{V_r > V_{rc}} + a_{18} \dot{v}_0^3 + a_{21} \dot{u}_0 \dot{v}_0 \end{aligned} \quad (3)$$

对 (3) 式中各项系数, 经多次重复实验和计算后发现它们仅与 V_r 、 T/D 、 Av/D ($Av = |v|_{\max}$) 有关. 故只要同时测量 $\dot{u}_0$ 、 $\dot{v}_0$ 、 $\ddot{u}_0$ 、 $\ddot{v}_0$ 与 $C'_p(z, \theta, t)$, 经正交筛选法求出各项系数是确定的, 不随时间而变. 这一现象为实验研究圆柱涡激振动的脉动升力和阻力带来了方便.

圆柱脉动升力 F'_L 和脉动阻力 F'_D 为

$$\left. \begin{aligned} F'_L(z, t) &= \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 D \int_0^{2\pi} C'_p(z, \theta, t) \sin \theta d\theta \\ F'_D(z, t) &= \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 D \int_0^{2\pi} C'_p(z, \theta, t) \cos \theta d\theta \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

由 (3) 式代入 (4) 式经整理得

$$\left. \begin{aligned} F'_L(z, t) = & A_1 \sin \omega_s t + A_2 \cos \omega_s t + A_3 \sin 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + A_4 \cos 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + C_{Lm} \ddot{v} \\ & + C_{um} \ddot{u} + C_{v1} \dot{v} + C_{v2} \dot{v} |\dot{v}| |_{V_r > V_{rc}} + C_{v3} \dot{v}^3 + C_{u1} \dot{u} + C_{u2} \dot{u} |\dot{u}| + C_{u3} \dot{u} \dot{v} \\ F'_D(z, t) = & B_1 \sin \omega_s t + B_2 \cos \omega_s t + B_3 \sin 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + B_4 \cos 2\omega_s t|_{V_r > V_{rc}} + C_{Dm} \ddot{u} \\ & + C_{vm} \ddot{v} + C_{D1} \dot{v} + C_{D2} \dot{v} |\dot{v}| |_{V_r > V_{rc}} + C_{D3} \dot{v}^3 + C_{f1} \dot{u} + C_{f2} \dot{u} |\dot{u}| + C_{f3} \dot{u} \dot{v} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中

$$\begin{aligned}\langle A_1, A_2, A_3, A_4 \rangle &= \frac{1}{4} \rho V_\infty^2 D \int_0^{2\pi} \langle a_1, a_2, a_3, a_4 \rangle \sin \theta d\theta \\ \langle B_1, B_2, B_3, B_4 \rangle &= \frac{1}{4} \rho V_\infty^2 D \int_0^{2\pi} \langle a_1, a_2, a_3, a_4 \rangle \cos \theta d\theta\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{v1} &= -\frac{1}{2} \rho V_\infty D \alpha_1, & C_{v2} &= \frac{1}{2} \rho D \alpha_2, & C_{v3} &= \frac{1}{2 V_\infty} \rho D \alpha_3, & C_{u1} &= -\frac{1}{2} \rho V_\infty D \alpha_4 \\ C_{u2} &= -\frac{1}{2} \rho D \alpha_5, & C_{u3} &= \frac{1}{2} \rho D \alpha_6, & c_{Lm} &= -\frac{\rho \pi D^2}{4} \alpha_7, & C_{um} &= \frac{\rho \pi D^2}{4} \alpha_8 \\ C_{D1} &= -\frac{1}{2} \rho V_\infty D \beta_1, & C_{D2} &= \frac{1}{2} \rho D \beta_2, & C_{D3} &= -\frac{1}{2 V_\infty} \rho D \beta_3, & C_{f1} &= -\frac{1}{2} \rho V_\infty D \beta_4 \\ C_{f2} &= \frac{1}{2} \rho D \beta_5, & C_{f3} &= \frac{1}{2} \rho D \beta_6, & C_{Dm} &= -\frac{\rho \pi D^2}{4} \beta_7, & C_{vm} &= \frac{\rho \pi D^2}{4} \beta_8\end{aligned}$$

而系数 $\alpha_1, \dots, \alpha_8, \beta_1, \dots, \beta_8$ 由下式给出

$$\begin{aligned}\langle \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8 \rangle &= \frac{1}{4} \rho V_\infty^2 D \int_0^{2\pi} \left\langle \frac{2a_{16}}{\rho V_\infty D |\dot{v}|_{\max}}, \frac{2a_{17}}{\rho D |\dot{v}|_{\max} \dot{v}_{\max}}, \frac{2V_\infty a_{18}}{\rho D |\dot{v}|_{\max}^3}, \frac{2a_7}{\rho D V_\infty |\dot{u}|_{\max}}, \right. \\ &\quad \left. \frac{2a_8}{\rho D |\dot{u}|_{\max} \dot{u}_{\max}}, \frac{2a_{21}}{\rho D |\dot{u}\dot{v}|_{\max}}, \frac{4a_6}{\rho \pi D^2 |\ddot{v}|_{\max}}, \frac{4a_5}{\rho \pi D^2 |\ddot{u}|_{\max}} \right\rangle \sin \theta d\theta \\ \langle \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_8 \rangle &= \frac{1}{4} \rho V_\infty^2 D \int_0^{2\pi} \left\langle \frac{2a_{16}}{\rho V_\infty D |\dot{v}|_{\max}}, \frac{2a_{17}}{\rho D |\dot{v}|_{\max} \dot{v}_{\max}}, \frac{2V_\infty a_{18}}{\rho D |\dot{v}|_{\max}^3}, \frac{2a_7}{\rho D V_\infty |\dot{u}|_{\max}}, \right. \\ &\quad \left. \frac{2a_{18}}{\rho D |\dot{u}|_{\max} \dot{u}_{\max}}, \frac{2a_{21}}{\rho D |\dot{u}\dot{v}|_{\max}}, \frac{4a_5}{\rho \pi D^2 |\ddot{u}|_{\max}}, \frac{4a_6}{\rho \pi D^2 |\ddot{u}|_{\max}} \right\rangle \cos \theta d\theta\end{aligned}$$

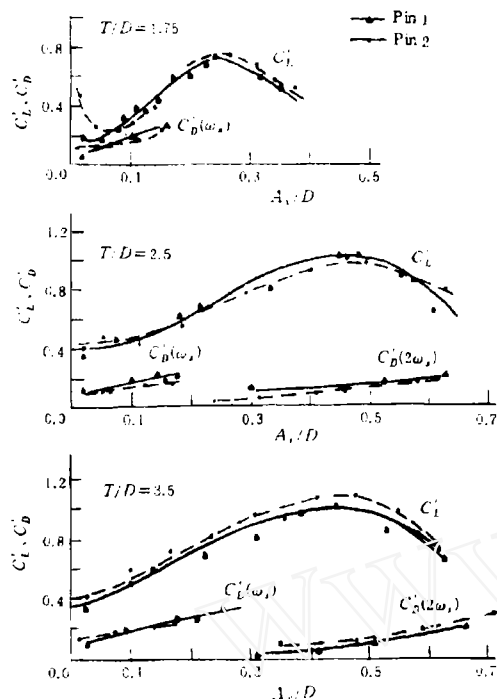
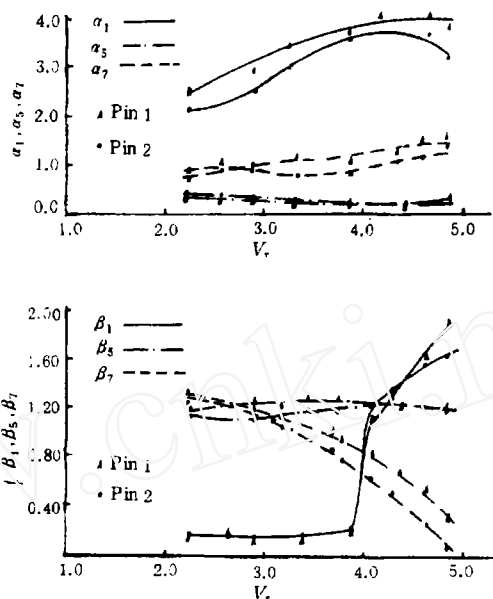
忽略一些较小的量, 经进一步整理得

$$\left. \begin{aligned}F'_L(z, t) &= \frac{1}{2} \rho D V_\infty^2 C'_L \sin(\omega_s t + \varphi_L) + C_{Lm} \ddot{v} + C_{v1} \dot{v} + C_{v2} \dot{v} |\dot{v}|_{V_r > V_{rc}} \\ &\quad + C_{v3} \dot{v}^3 + C_{u1} \dot{u} + C_{u2} \dot{u} |\dot{u}| + C_{u3} \dot{u} \dot{v} \\ F'_D(z, t) &= \frac{1}{2} \rho D V_\infty^2 C'_D \sin(\omega_d t + \varphi_D) + C_{Dm} \ddot{u} + C_{D1} \dot{v} + C_{D2} \dot{v} |\dot{v}|_{V_r > V_{rc}} \\ &\quad + C_{D3} \dot{v}^3 + C_{f1} \dot{u}_1 + C_{f2} \dot{u} |\dot{u}| + C_{f3} \dot{u} \dot{v}\end{aligned} \right\} \quad (6)$$

计算表明 $\alpha_1, \dots, \alpha_7, \beta_1, \dots, \beta_7$ 之间有如下的关系

$$\begin{aligned}\alpha_1 &\approx \alpha_6 \approx 2\alpha_3 & \alpha_5 &\approx 2\alpha_2 \approx \frac{1}{2} \alpha_4 \\ \beta_1 &\approx \beta_6 \approx 2\beta_3 & \beta_5 &\approx 2\beta_2 \approx \frac{1}{2} \beta_4\end{aligned}$$

图 7 给出了实际工程部门所关心的 C'_L 、 C'_D 随 Av/D 的变化趋势。 C'_L 与 Av/D 呈非线性关系, 在耦合涡街区中, 当 $0.35 < Av/D < 0.45$ 时 C'_L 达到峰值。此后随 Av/D 的增加而下降。这一特征与孤立弹性柱脉动升力系数随柱横向振幅变化的趋势^[5]一致, 并且在数量上也比较接近。无论 T/D 取何值, C'_D 与 Av/D 几乎是线性的。这与 King^[6] 有关孤立弹性柱的脉动阻力系数研究结果一致。

图 7 C'_L 、 C'_D 随 V_r 的变化趋势Fig.7 C'_L 、 C'_D as a function of V_r 图 8 系数 α_1 、 α_5 、 α_7 和 β_1 、 β_5 、 β_7 随 V_r 的变化趋势
Fig.8 Coefficient α_1 、 α_5 、 α_7 and β_1 、 β_5 、 β_7 as a function of V_r

α_1 、 α_5 、 α_7 和 β_1 、 β_5 、 β_7 随 V_r 的变化趋势见图 8. 仅给出了 $T/D = 2.5$ 时的情形, 其余间距与之类似. 图中 α_7 、 β_7 分别表示柱的横向和流向附加质量系数. α_7 在耦合涡街区中随 V_r 的增加而增加, 在双稳态区中几乎不随 V_r 变化, 保持常值为 1.0; β_7 在 $V_r > 3$ 时随 V_r 的增加而下降. α_7 、 β_7 的这一变化规律恰好说明文献 [7] 所发现的柱的横向湿模态固有频率在耦合涡街区中随 V_r 的增加而略有下降, 而流向湿模态固有频率随 V_r 的增加而增加的现象.

五、结 论

通过实验结果的分析, 主要结论如下:

1. 柱的振动对其稳态升力和阻力系数有影响, 尤其是对稳态阻力系数影响显著. 在双稳态区中, 两柱的振动会改变间隙流的双稳态性.
2. 脉动压力含有多种频率成分, 其自功率谱为线谱. 各种频率的脉动压力系数沿柱周向的分布不同.
3. 柱表面各点脉动压力系数与旋涡发放和柱的振动参数有直接的关系, 如 (3) 式所示. 式中各系数在 V_r 及 T/D 一定的情况下, 仅是 θ 的函数而与时间无关.
4. 在耦合涡街区中, 两柱脉动升力系数与孤立柱脉动升力系数基本一致.

参 考 文 献

- [1] Bearman PW and Wadcock AJ. The Interaction between a Pair of Circular Cylinders Normal to a Stream. *Journal of Fluid Mechanics*, 1973, 61, Part 3:499-511
- [2] Price SJ and Paidoussis MP. The Aerodynamic Forces Acting on Groups of Two and Three Circular Cylinders when Subjected to a Cross-Flow. *Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1984, 17:329-347
- [3] Chen SS. Crossflow-Induced Vibrations of Heat Exchanger Tube Banks. *Nuclear Engineering and Design*, 1978, 47:67-86
- [4] 冯康等著. 数值计算方法. 北京: 国防工业出版社, 1978
- [5] Blevins RD. Flow-Induced Vibration. VNR, 1977
- [6] King R. An Investigation of the Criteria controlling Sustained Self-Excited Oscillation of Cylinders in Flow Water. Proceeding of the Symposium on Turbulence in Liquids, University of Missouri Roela, 1977
- [7] 陈起富等. 弹性双圆柱在均匀流场中动态响应实验研究, 振动工程学报, 1992, (1):84-89

EXPERIMENTAL RESEARCH FOR FLUID FORCE OF TWO ELASTIC CIRCULAR CYLINDERS IN SIDE BY SIDE ARRANGEMENTS WHEN SUBJECTED TO UNIFORM CROSSFLOW

Yao Xiongliang Chen Qifu Xu Wenjiang Li Weiyang
(Harbin Shipbuilding Engineering Institute, Harbin 150001, China)

Abstract This paper presents the experimental investigation into hydrodynamic force of two elastic circular cylinders in side by side arrangements under various gap ratios T/D in the range of $4.19 \times 10^4 < Re < 9.1 \times 10^4$. The steady and fluctuating pressure distributions, steady drag and lift and fluctuating drag and lift force were obtained. The results show that as $V_r > V_{rc}$, the oscillations of the cylinders affect not only the steady drag and lift coefficients, but fluctuating drag and lift coefficients as well. There were abrupt changes for hydrodynamic force when T/D is within the critical spacing ratios.

Key words vortex-induced vibration, two cylinders, vortex, surface pressure, hydrodynamic force, Reynolds number