

# 超高层建筑层风力空间相干函数研究——分析归纳法

黄东梅<sup>1,2,3</sup> 朱乐东<sup>2</sup>

(1. 中南大学土木建筑学院, 湖南长沙 410075; 2. 同济大学土木工程防灾国家重点实验室, 上海 200092;  
3. 中南大学高速铁路建造技术国家工程实验室, 湖南长沙 410075)

**摘要:**通过刚体模型测压试验对某一492m高、具有特殊体型的超高层建筑的层风力空间相干函数的特点进行研究,并给出其数学函数模型。首先,利用压力积分技术获得各测量层的风力系数时程;然后,对顺风向、横风向和扭转方向的各层风力系数的相干函数曲线进行分析,阐明不同位置、不同间距的两层风力相干性特点,由此,给出超高层建筑层风力空间相干函数的拟合公式;最后,对顺风向、横风向和扭转方向的典型层间的风力相干函数的试验结果进行最小二乘拟合,确定了各拟合参数的值,并根据参数值随不同位置、不同间距的变化特点,归纳出统一的参数表达式。

**关键词:**超高层建筑;刚性模型测压试验;空间相干函数;参数拟合

**中图分类号:** TU973.213 TU317.1 TU311.3 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-131X(2010)09-0032-08

## Study on spatial correlation functions of wind loads on a super-tall building ——analysis and induction method

Huang Dongmei<sup>1,2,3</sup> Zhu Ledong<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China;  
2. State Key Laboratory for Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;  
3. High-speed Railway Construction Technology National Engineering Laboratory,  
Central South University, Changsha, 410075, China)

**Abstract:** The characteristics of spatial correlation functions of wind loads on a 492m tall building of a special shape are studied via a rigid model wind tunnel test for pressure measurement, and a mathematical model is presented. Firstly, the time-histories of wind force coefficients are obtained using pressure integral technique. Then, the measured spatial correlation function curves of wind force coefficients in the across-wind, along-wind and torsional directions are analyzed and their variation features with different locations and different spacing are summarized. Mathematical formulas are proposed for fitting wind force spatial correlation functions. Finally, the measured spatial correlation functions of wind force coefficients in the across-wind, along-wind and torsional directions are fitted by using the least square method, and the fitting parameters, varying with different locations and different spacing, are induced to obtain unified parameter expressions.

**Keywords:** super-tall building; rigid model test of pressure measurement; spatial correlation function; parameter fitting  
**E-mail:** huangdm512@sina.com

## 引言

经济和现代城市的发展造就了许多有独特外形的超高层建筑,由于结构和外形的不对称和柔度的增加,双向多振型耦合风致振动响应越来越明显,风荷

载计算的准确度和风致振动响应计算的准确度等都将对超高层建筑的安全性指标、经济性指标和舒适性指标带来直接的和至关重要的影响。在抗风设计中,一般是基于准定常理论,直接根据风谱和风速空间相关性函数确定顺风向风荷载,而对于横风向风荷载,准定常理论不再适用,一般要通过试验来确定。目前获得风荷载的风洞试验方法有高频动态测力天平试验<sup>[1-2]</sup>和多点瞬态风压同步测量试验<sup>[3-5]</sup>,高频动态测力天平试验只能获得建筑基底内力,无法获得风荷载的空间分布情况,并且对结构的振型作了线性化的假

基金项目:上海市教育委员会曙光计划(04SG23)、中南大学自由探索计划(201012200035)和中国博士后科学基金(20100471227)

作者简介:黄东梅,博士,讲师

收稿日期:2009-04-16

设,不能考虑高阶振型和多振型耦合振动的影响,而通过多点瞬态风压同步测量试验则可以获得测量层的风力,对不同位置、不同距离的层风力进行频谱分析便可得到空间相干函数。

目前,对风速空间相干函数的研究较少,主要有 Davenport<sup>[6]</sup>、Shiotani<sup>[7]</sup>、ECCS<sup>[8]</sup> 提出的指数衰减函数, Hansen and Krenk (1995)<sup>[9]</sup> 提出的修正指数衰减函数,而研究风荷载空间相关性的文章则更少。文献 [10] 和文献 [11] 给出了横风向空间相干函数的表达式,但其表达式也仅是根据某两测量层风力相干函数曲线拟合得到的,没有对不同距离、不同位置的相干函数曲线进行更多的分析,并且所采用的结构体型也仅限于沿高度不变的标准矩形截面。鉴于此,本文以某一高 492m、具有特殊体型的超高层建筑为例进行刚性模型同步测压试验,研究超高层建筑层风力空间相干函数曲线的特点并给出了其数学函数表达式。

### 1 风洞试验概况

高 492m 的超高层建筑的刚性模型分组同步测压风洞试验在同济大学土木工程防灾国家重点实验室的 TJ-2 大气边界层风洞中进行,其平均风速剖面、紊流度剖面、风速谱、紊流积分尺度的模拟情况见文献 [12],另外,文献 [12] 中还对风速的竖向相干函数进行了详细的讨论。

该特殊体型的超高层建筑的立面外形、典型高度的横截面外形和测点布置见文献 [13]。其缩尺比、测点分布及分组情况、参考高度和风压、信号采样频率、模型方位、风向角及坐标轴定义等均同文献 [13]。

### 2 层风力竖向相干函数曲线分析

通过刚性模型同步测压风洞试验获得各测压点以试验参考点处的动压为参考风压的无量纲风压系

数时程后,便可通过积分求和得到各测量层的风力系数时程<sup>[13]</sup>,并由此计算出不同距离、不同位置的风力竖向相干函数,以下以 315° 风向角为例进行分析。

图 1 ~ 图 3 分别给出了 315° 风向角下 X 方向(横风向)、Y 方向(顺风向)、RZ 方向(扭转方向)不同测量层之间的相干函数,从图中可以看出,随着层间距离的增大,层风力系数间的相干函数基本上是减小的。从图 1 可以看出,X 方向(横风向)风力系数的相干函数除在相关性较差的开口边沿处的 34 和 38 测量层外,在结构漩涡脱落频率附近会出现比较明显的尖峰,在头部和主体结构的上部,尖峰在折算频率 0.18 ~ 0.27 之间,在主体结构的中部和下部,尖峰在折算频率 0.137 处;在层间距离相近的情况下,随着高度的降低,尖峰越明显,幅值越大,尖峰处的频带越窄,表示漩涡脱落能量越大,能量越集中;从图 2 可以看出,Y 方向(顺风向)层风力系数的相干函数基本上呈指数衰减规律,与风速的相干函数形状一致;从图 3 可以看出,RZ 方向(扭转)风力系数的相干函数与 X 方向(横风向)风力系数的相干函数特点比较相似,头部和主体结构的上部的尖峰折算频率大,约为 0.17,在主体结构的中部和下部,尖峰基本都在折算频率 0.137 处。

### 3 层风力竖向相干函数表达式

#### 3.1 X 方向(横风向)

改变图 1 的横坐标为  $f\Delta z/\bar{v}_z$ , 会使各相干函数曲线的各漩涡脱落峰值错列,因此难以像风速相干函数一样用指数衰减函数进行统一拟合,因此只能每一条曲线进行拟合,再寻找其规律,这就是所谓的分析归纳法。观察图 4 中的曲线可以看出,曲线可以由一条指数衰减曲线和一条波峰曲线叠加而成,因此,X 方向(横风向)的层风力相干函数曲线可以由下式进行拟合:

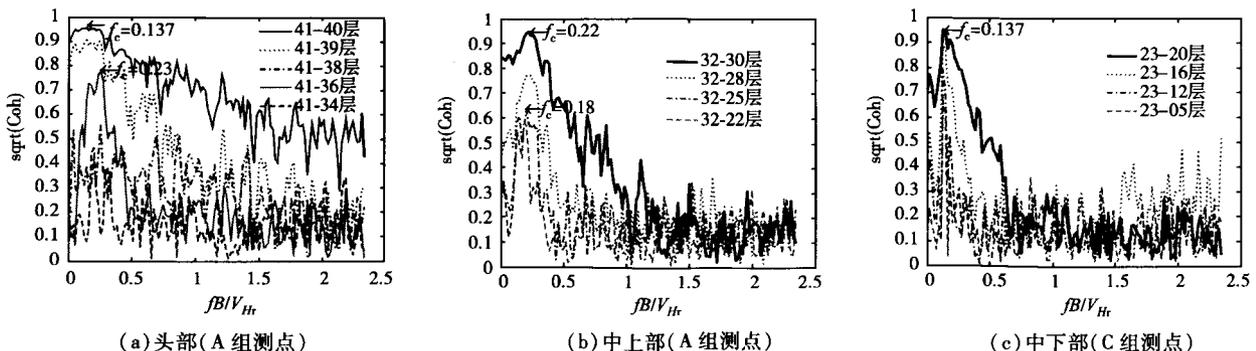


图 1 X 方向(横风向)层风力系数间的相干系数

Fig.1 Correlation coefficients for inter-drift X-direction (cross-wind) wind forces

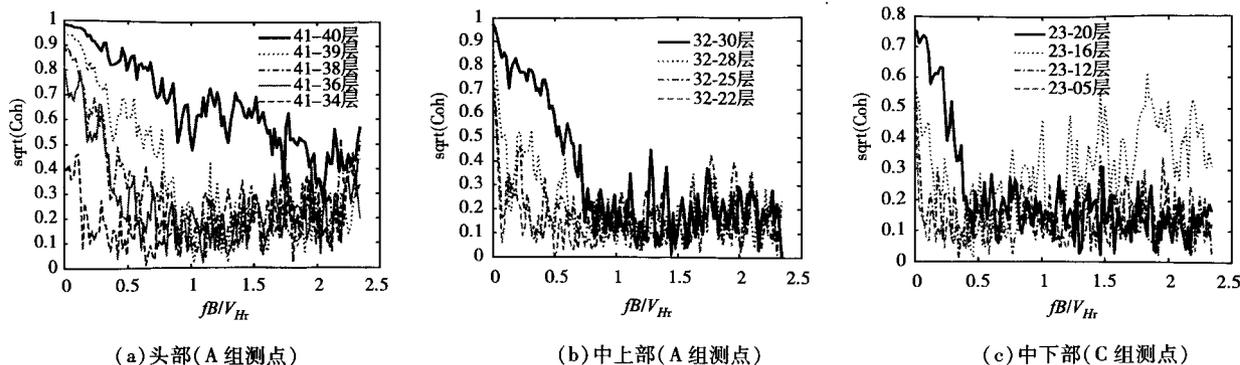


图2 Y方向(顺风向)层风力系数间的相关系数

Fig. 2 Correlation coefficients for inter-drift Y-direction (along-wind) wind forces

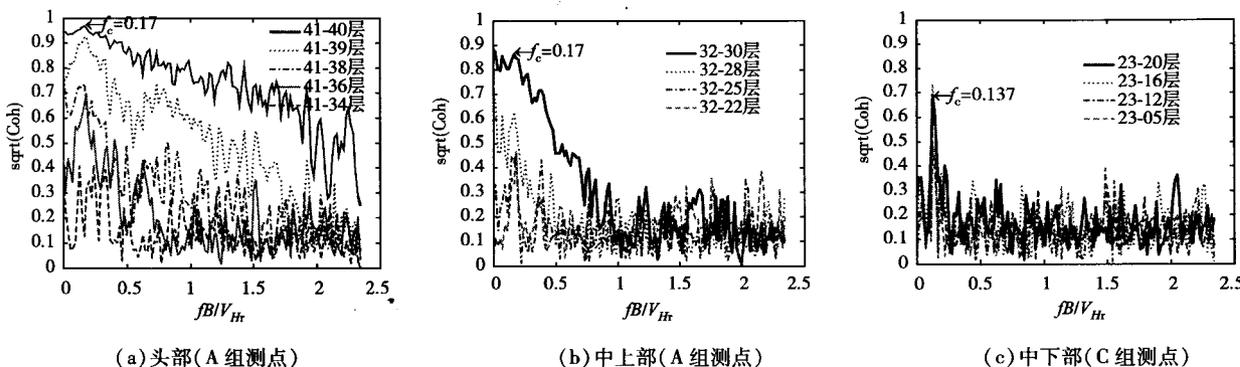


图3 RZ方向(扭转)层风力系数间的相关系数

Fig. 3 Correlation coefficients for inter-drift RZ-direction (torsional directions) wind forces

(注:图1~3中,  $f_c = fB/V_{Hr}$  表示折算频率,即横坐标,  $B$  表示垂直于  $Y$  轴向的特征宽度,  $V_{Hr}$  表示梯度风速)

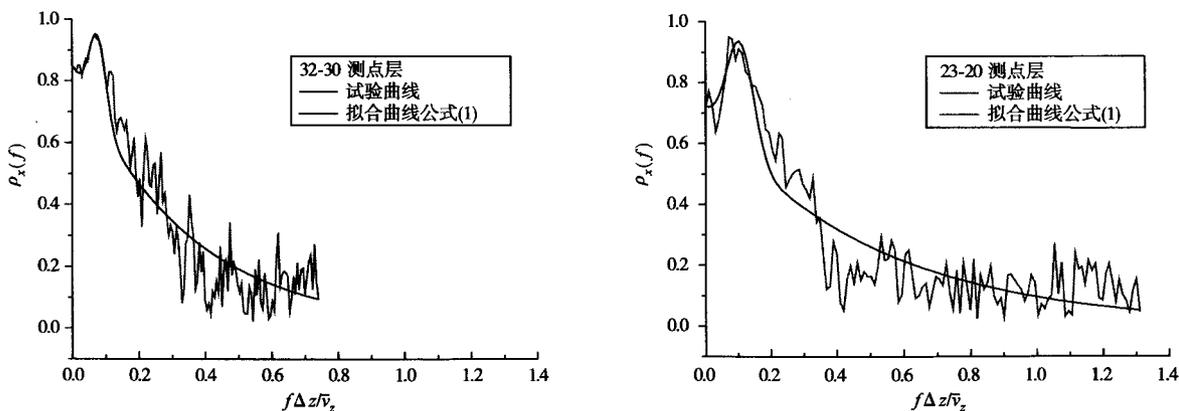


图4 315°风向角下 X 方向典型测量层间相关曲线拟合结果

Fig. 4 Curve-fitting of correlation functions for inter-drift X-direction typical measurement levels at wind azimuth of 315°

$$\rho(f) = A_1 \exp(-C_1 f_c) + A_2 \exp\left[-\left(f_c - S_1 \cdot \frac{\Delta z}{B} \cdot \frac{V_{Hr}}{v_z}\right)^2 / C_2\right] \quad (1)$$

式中:  $f_c = f\Delta z/\bar{v}_z$ ;  $S_1$  为漩涡脱落折算频率;  $V_{Hr}$  为大气边界层梯度风速;  $\bar{v}_z$  为两测量层之间的平均风速;  $B$  为特征宽度;  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  为 4 个拟合参数。

分别用式(1)进行 41-40、41-39、32-30、32-28、32-25、32-22、23-20、23-16、23-12、23-09、23-05 各测量层之间的相关函数曲线拟合,拟合得到的参数见表 1, 32-30、23-20 的拟合结果见图 4,从图 4 中可以看出,用式(1)进行拟合的结果是比较理想的。

表 1 各测量层之间 X 方向相干函数曲线拟合结果

Table 1 Fitting results of correlation functions of X-axis wind forces on typical measurement levels

方向	测量层	$\Delta z$ (m)	$\bar{v}_z$ (m/s)	$\bar{H}_z$ (m)	$S_1$	$A_1$	$A_2$	$C_1$	$C_2$
X 方 向	41-40	0.0150	9.0000	1.3904	0.23	0.9680	0.0500	4.4893	0.0070
	41-39	0.0300	9.0000	1.3829	0.23	0.9147	0.1089	5.3330	0.0186
	32-30	0.0660	8.9621	1.1878	0.23	0.8500	0.2700	3.0000	0.0360
	32-28	0.1597	8.8798	1.1409	0.23	0.5000	0.4100	1.8000	0.0840
	32-25	0.2735	8.7719	1.0840	0.21	0.3346	0.4300	0.9697	0.1100
	32-22	0.3815	8.6596	1.0300	0.17	0.2300	0.4100	0.4697	0.1200
	23-20	0.1080	8.2700	0.8213	0.19	0.7094	0.3600	2.0112	0.0590
	23-16	0.2589	8.0848	0.7459	0.16	0.4345	0.5030	0.9966	0.0850
	23-12	0.4037	7.8624	0.6734	0.15	0.3200	0.5400	0.9400	0.0880
	23-09	0.5151	7.6515	0.6178	0.15	0.1758	0.5600	0.2086	0.0890
23-05	0.6634	7.2709	0.5436	0.14	0.1400	0.5700	0.1000	0.0900	

把各条曲线的拟合参数结果放于同一个坐标下可得如图 5 所示的拟合结果。这样 5 个参数可分别由下式确定：

$$A_1 = e^{-3.96\Delta z/H_r} \quad (2a)$$

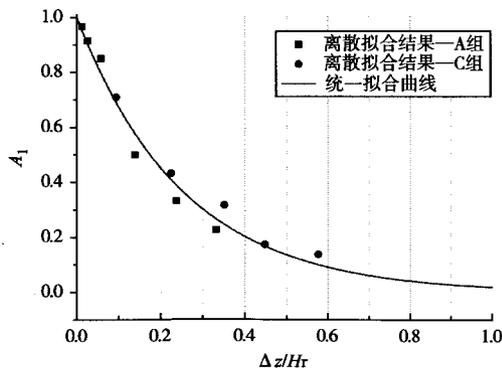
$$A_2 = 0.552(x^2 + 14.5x)/(x^2 + 13.7x + 1.07) \quad (2b)$$

$$C_1 = 5.37e^{-7.87\Delta z/H_r} \quad (2c)$$

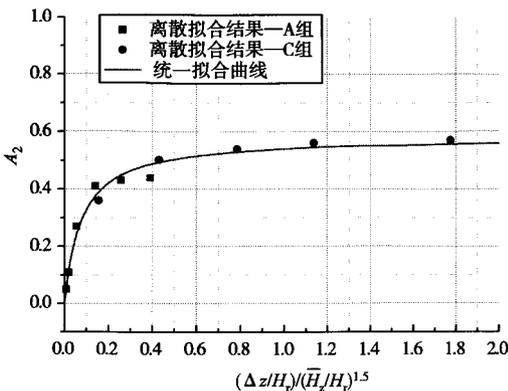
$$C_2 = e^{-1.73-0.112/(\Delta z/H_r+0.019)} (\bar{H}_z/H_r)^{0.7} \quad (2d)$$

$$S_1 = \frac{0.139 - 0.23}{1 + e^{(\bar{H}_z/H_r - 0.807)/0.132}} + 0.23 \quad (2e)$$

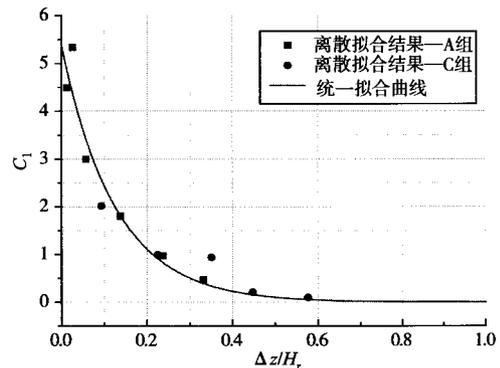
式中： $x = (\Delta z/H_r)/(\bar{H}_z/H_r)^{1.5}$ ， $H_r$  为梯度高度。



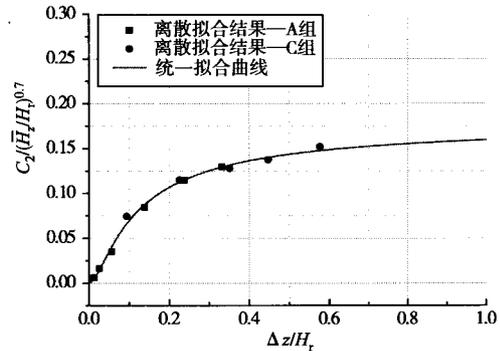
(a) 参数  $A_1$



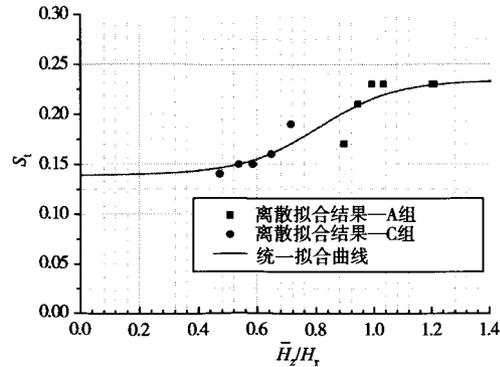
(b) 参数  $A_2$



(c) 参数  $C_1$



(d) 参数  $C_2$



(e) 参数  $S_1$

图 5 315° 风向角下 X 方向相干函数各参数拟合情况  
Fig. 5 Curve-fitting for parameters of various correlation functions of inter-drift X-direction wind forces at wind azimuth of 315°

对于头部开口处的测量层的相干函数可以偏于安全地近似取上式的计算公式进行计算。

### 3.2 Y 方向(顺风向)

改变图 2 的横坐标为  $f\Delta z/\bar{v}_z$ , 除低频外, 图形基本能够重合到一起, 因此可以用 Davenport 的指数衰减函数进行统一拟合, 拟合结果见文献[14], 这就是所谓的综合分析法。

从图 2 可以看出, 为了使低频处拟合结果更精确, 必须用修正的拟合公式对每一组数据进行拟合, 然后根据拟合得到的参数进行归纳总结。因此, Y 方向(顺风向)层风力相干函数的修正拟合公式为:

$$\rho(f) = A_1 \exp(-C_1 f_0) \quad (3)$$

式中:  $f_0 = f\Delta z/\bar{v}_z$ ,  $A_1$ 、 $C_1$  为待定参数。

分别用式(3)进行 41-40、41-39、32-30、32-28、32-25、32-22、23-20、23-16、23-12、23-09、23-05 各测量层之间的相干函数曲线拟合, 拟合得到的参数见表 2, 32-30、23-20 的拟合结果见图 6, 从图 6 中可以看出, 用式(3)进行拟合的结果是比较理想的。

把各条曲线的拟合参数结果放于同一个坐标下可得如图 7 所示的拟合结果。这样两个参数可分别由下式确定:

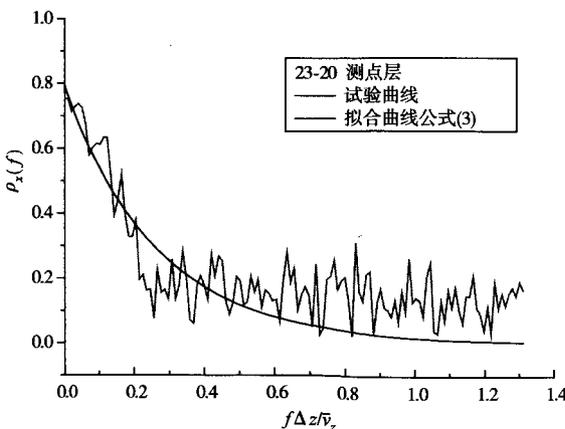
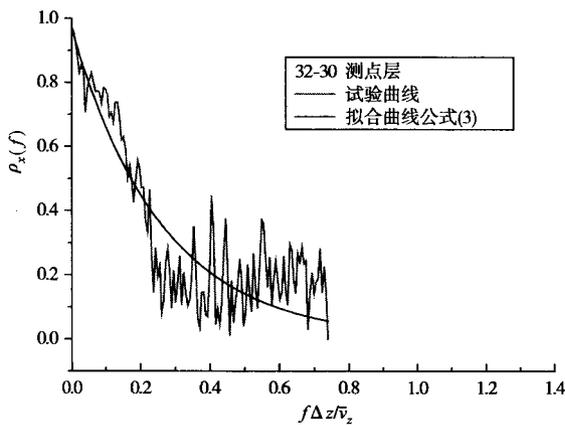


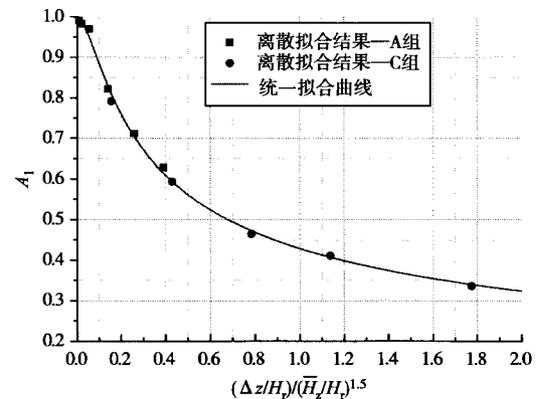
图 6 315° 风向角 Y 方向典型测量层间相干曲线拟合结果  
Fig. 6 Curve-fitting of correlation functions for inter-drift Y-direction typical measurement levels at wind azimuth of 315°

表 2 各测量层之间 Y 方向修正相干函数曲线拟合结果  
Table 2 Fitting results of revised correlation functions of Y-axis wind forces on typical measurement levels

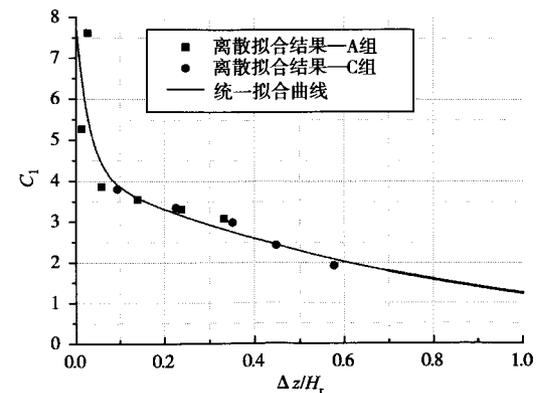
方向	测量层	$\Delta z$ (m)	$\bar{v}_z$ (m/s)	$\bar{H}_z$ (m)	$A_1$	$C_1$
Y 方 向	41-40	0.0150	9.0000	1.3904	0.991	5.270
	41-39	0.0300	9.0000	1.3829	0.9834	7.6237
	32-30	0.0660	8.9621	1.1878	0.970	3.859
	32-28	0.1597	8.8798	1.1409	0.822	3.545
	32-25	0.2735	8.7719	1.0840	0.712	3.3143
	32-22	0.3815	8.6596	1.0300	0.628	3.0763
	23-20	0.1080	8.2700	0.8213	0.7919	3.7992
	23-16	0.2589	8.0848	0.7459	0.5930	3.3477
	23-12	0.4037	7.8624	0.6734	0.465	2.9830
	23-09	0.5151	7.6515	0.6178	0.411	2.427
23-05	0.6634	7.2709	0.5436	0.3364	1.927	

$$A_1 = \{ 1.0 + 27.4 [ (\Delta z/H_r) / (\bar{H}_z/H_r)^{1.5} ]^{1.64} \}^{-0.253} \quad (4a)$$

$$C_1 = 4.22e^{-1.22(\Delta z/H_r)} + 3.57e^{-33.9(\Delta z/H_r)} \quad (4b)$$



(a) 参数  $A_1$



(b) 参数  $C_1$

图 7 315° 风向角下 Y 方向修正相干函数各参数拟合情况  
Fig. 7 Curve-fitting for parameters of various modified correlation functions of inter-drift Y-direction wind forces at wind azimuth of 315°

### 3.3 RZ 方向(扭转方向)

观察图 3 可发现 RZ 方向的相干系数和 X 方向有相似的特点,也是可以由一条指数衰减曲线和一条波峰曲线叠加而成,因此,RZ 方向的层扭转风力相干函数曲线也可以由下式进行拟合:

$$\rho(f) = A_1 \exp(-C_1 f_c) + A_2 \exp\left[-(f_c - S_1 \cdot \frac{\Delta z}{B} \cdot \frac{V_{Hr}}{v_z})^2 / C_2^2\right] \quad (5)$$

式中:  $f_c = f \Delta z / \bar{v}_z$ ,  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  为待定参数。 $S_1$  为漩涡脱落折算频率,  $V_{Hr}$  为大气边界层梯度风速,  $\bar{v}_z$  为两测量层之间的平均风速。

分别用式(5)进行 41-40、41-39、32-30、32-28、32-25、32-22、23-20、23-16、23-12、23-09、23-05 各测量层之间的相干函数曲线拟合,拟合得到的参数见表 3。

表 3 各测量层之间 RZ 方向修正相干函数曲线拟合结果

Table 3 Fitting results of revised correlation functions of RZ-axis wind forces on measurement levels

方向	测量层	$\Delta z$ (m)	$\bar{v}_z$ (m/s)	$\bar{H}_z$ (m)	$S_1$	$A_1$	$A_2$	$C_1$	$C_2$
RZ 方 向	41-40	0.0150	9.0000	1.3904	0.17	0.9781	0.025	4.3170	0.0070
	41-39	0.0300	9.0000	1.3829	0.20	0.9141	0.1169	5.3303	0.0142
	32-30	0.0660	8.9621	1.1878	0.20	0.7719	0.1332	3.3795	0.0362
	32-28	0.1597	8.8798	1.1409	0.14	0.3719	0.2700	1.1795	0.0662
	32-25	0.2735	8.7719	1.0840	0.15	0.2319	0.2700	0.9697	0.0762
	32-22	0.3815	8.6596	1.0300	0.17	0.1719	0.2900	0.2795	0.0662
	23-20	0.1080	8.2700	0.8213	0.19	0.4719	0.3840	1.8795	0.0302
	23-16	0.2589	8.0848	0.7459	0.14	0.2719	0.5040	1.0795	0.0292
	23-12	0.4037	7.8624	0.6734	0.14	0.1819	0.5250	0.3950	0.0292
	23-09	0.5151	7.6515	0.6178	0.14	0.1319	0.5600	0.2270	0.0292
23-05	0.6634	7.2709	0.5436	0.14	0.1190	0.5700	0.1570	0.0230	

把各条曲线的拟合参数结果放于同一个坐标下可得如图 8 所示的拟合结果。这样 5 个参数可分别由下式确定:

$$A_1 = e^{-5.72\Delta z/H_r} \quad (6a)$$

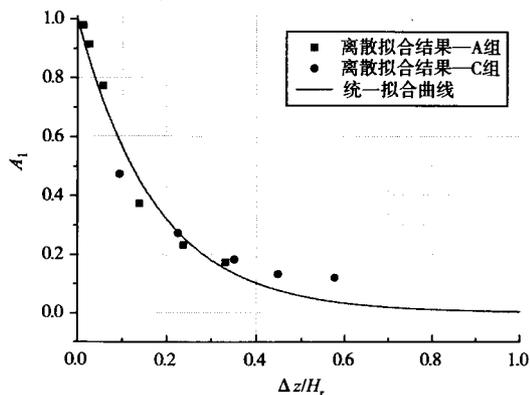
$$A_2 = 0.589(x^2 + 0.234x)/(x^2 + 0.783x + 0.00905) \quad (6b)$$

$$C_1 = 5.53e^{-8.94\Delta z/H_r} \quad (6c)$$

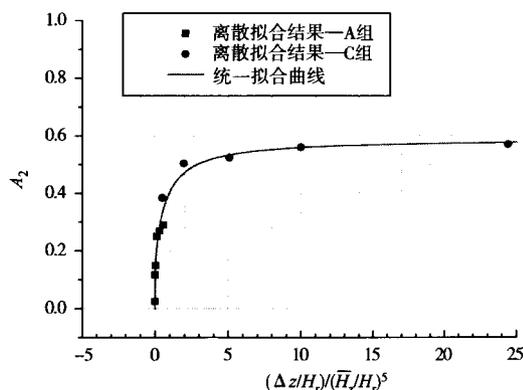
$$C_2 = e^{-2.19-0.0789/(\Delta z/H_r+0.00989)} (\bar{H}_z/H_r)^2 \quad (6d)$$

$$S_1 = 0.162 \quad (6e)$$

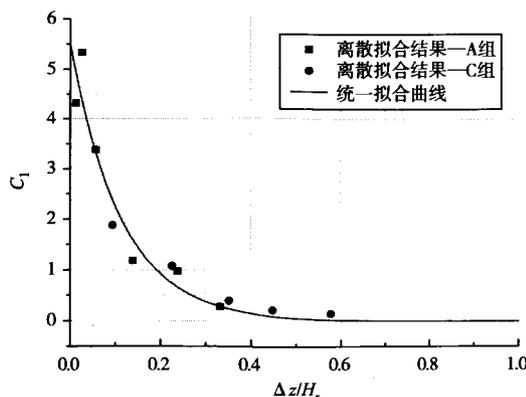
式中:  $x = (\Delta z/H_r)/(\bar{H}_z/H_r)^5$



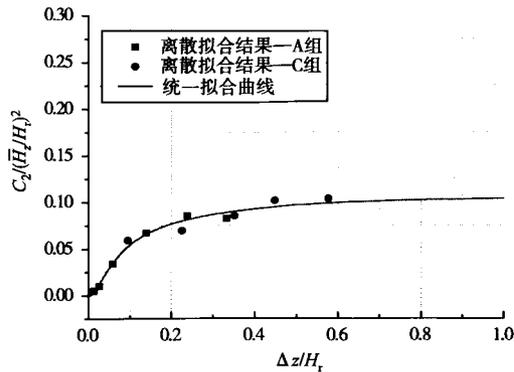
(a) 参数  $A_1$



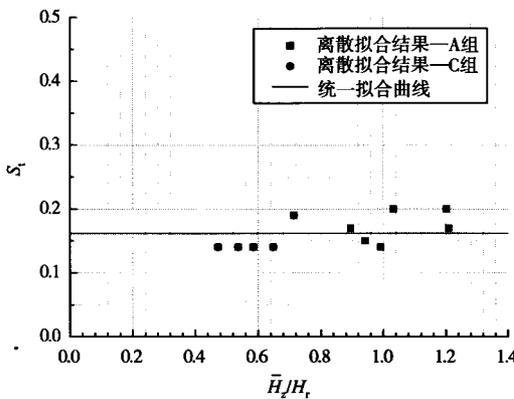
(b) 参数  $A_2$



(c) 参数  $C_1$



(d) 参数  $C_2$



(e) 参数  $S_1$

图8 315°风向角下RZ方向相干函数各参数拟合情况  
 Fig.8 Curve-fitting for parameters of various modified correlation functions of inter-drift RZ-direction wind forces at wind azimuth of 315°

### 4 结论

本文通过对315°风向角下层风力相干曲线的研究可以得到以下结论：

(1)总的来说,随着层间距离的增大,各层风力相干函数基本上是减小的。 $X$ 方向(横风向)层风力系数的相干函数除在相关性较差的开口边沿处外,在漩涡脱落频率附近会出现比较明显的尖峰,相干性较大,在层间距离相近的情况下,随着高度的降低,尖峰越明显,幅值越大,尖峰处的频带越窄,表示漩涡脱落能量越大,能量越集中; $Y$ 方向(顺风向)各层风力系数的相干函数基本上呈指数衰减规律,与风速相干函数的特点比较接近; $RZ$ 方向(扭转)风力系数的相干函数特征与 $X$ 方向(横风向)风力系数的相干函数特征比较相似。

(2)由本文给出的 $X$ 方向(横风向)、 $Y$ 方向(顺风向)和 $RZ$ 方向(扭转)层风力相干函数经验公式与通过刚性模型同步测压风洞试验直接获得的相干函数曲线吻合较好,证明了本文给出的超高层建筑层风力空间相关性函数表达式是有效的。

(3)本文通过对 $X$ 方向(横风向)、 $Y$ 方向(顺风向)和 $RZ$ 方向(扭转)的各层风力相干函数经验公式的拟合参数进行归纳总结,给出了统一的表达式,这样根据各相干函数公式及其参数取值便可方便的建立起该492m高的建筑在315°风向角下的风荷载互功率谱模型。

### 参考文献

- [1] Marukawa H, Ohkuma T, Momomura Y. Acrosswind and torsional acceleration of prismatic high rise buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1992, 42(1/2/3): 1139-1150
- [2] Gu M, Quan Y. Across-wind loads of typical tall buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2004, 92(13): 1147-1165
- [3] Liang S G, Liu S C, Li Q S, et al. Mathematical model of acrosswind dynamic loads on rectangular tall buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2002, 90(12): 1757-1770
- [4] Liang S G, Liu S, Gu M, et al. Mathematical model of torsional dynamic loads on rectangular tall buildings [J]. Journal of Wind Engineering, 2001, 89(2): 81-84
- [5] Lin N, Chris L, Yukio T, et al. Characteristics of wind forces acting on tall buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2005, 93(3): 217-242
- [6] Davenport A G. The relationship of wind structure to wind loading [C]//Proceedings of the Symposium on Wind Effect on Building and Structures. London, 1965:54-102
- [7] Shiotani M, Iwatani Y. Correlations of wind velocities in relation to the gust loading [C]//Proceedings of the 3rd Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. Tokyo, 1971:57-67
- [8] T12 Recommendations for the calculation of wind effects on buildings and structures [S]. ECCS Technical Committee, 1978
- [9] Hansen S O, Krenk S. Dynamic along-wind response of simple structures [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1999, 82(1/2/3): 147-171
- [10] 陈建兰, 金康宁, 杨子松, 等. 矩形截面高层建筑风力特性研究 [J]. 华中科技大学学报: 城市科学版, 2004, 21(3): 61-65 (Chen Jianlan, Jin Kangning, Yang Zisong, et al. Investigation on the characteristic of wind force toward tall building with rectangular intersection [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Urban Science Edition, 2004, 21(3): 61-65 (in Chinese))
- [11] 徐安, 谢壮宁, 葛建斌, 等. CAARC 高层建筑标准模型层风荷载谱数学模型研究 [J]. 建筑结构学报, 2004, 25(4): 118-123 (Xu An, Xie Zhuangning, Ge Jianbin, et

- al. Mathematical model research of power spectrum of wind loads on CAARC standard tall building model[J]. Journal of Building Structures, 2004, 25(4): 118-123 (in Chinese))
- [12] 黄东梅,朱乐东,丁泉顺. 大气边界层风速竖向相干函数实验研究[J]. 实验流体力学, 2009, 23(4): 34-40 (Huang Dongmei, Zhu Ledong, Ding Quanshun. Experimental research on vertical coherence function of wind velocities in atmospheric boundary layer wind field [J]. Experiments and Measure in Fluid Mechanics, 2009, 23(4): 34-40 (in Chinese))
- [13] 黄东梅,朱乐东,陈伟. 复杂体型超高层建筑层风力功率谱函数研究[J]. 土木工程学报, 2009, 42(11): 31-40 (Huang Dongmei, Zhu Ledong, Chen Wei. A study on the wind load power spectrum function of complex shaped super-tall buildings [J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(11): 31-40 (in Chinese))
- [14] 黄东梅,朱乐东. 超高层建筑层风力空间相关性数学模型—综合分析法[J]. 土木工程学报, 2009, 42(8): 26-36 (Huang Dongmei, Zhu Ledong. Mathematical model of spatial correlation of wind pressure coefficients for super-tall buildings: comprehensive analysis method [J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(8): 26-36 (in Chinese))

黄东梅(1976-),女,博士,讲师。主要从事结构抗风、抗震方面的研究。

朱乐东(1965-),男,博士,研究员。主要从事桥梁与建筑结构抗风方面的研究。