

基于CFD技术的超高层建筑室外气动噪声的研究

Research on the Environmental Aerodynamic Noise of Super High-rise Buildings with Computational Method of CFD

撰文 刘博 郭晋生 张晓亮 北京市绿色建筑与节能技术重点实验室、北京建筑工程学院

摘要 自然风遭遇建筑物阻碍时会产生室外气动噪声。通过对佛山某超高层建筑设计方案室外气动噪声的模拟分析及对策研究,探讨了CFD(计算流体力学模拟技术)在建筑环境风噪问题研究中的应用,为超高层建筑设计过程中对室外风噪的预估与控制提供了方法借鉴和数据参考。

关键词 超高层建筑 气动噪声 CFD技术

0 引言

自然风在流动过程中受到建筑物或建筑群体阻挡时,会形成气流扰动,使风向、风速发生变化,流体自身激发产生震动,当震动强度及频率达到一定程度时,向四周辐射形成环境噪声,对建筑室内的声环境产生影响。这种气动噪声会随着建筑高度增加而变大,因此在建筑设计中对超高层建筑室外气动噪声进行研究十分必要。

超高层建筑室外环境气动噪声研究的难点在于研究方法。引起气动噪声的成因十分复杂,因而经典声学中一些较为成熟的数值分析方法在解决具体实际工程问题时常常力不从心。随着计算机技术的发展,计算流体力学(Computational Fluid Dynamics,简称CFD)模拟技术已逐步成熟,并开始应用于气动噪声的分析。CFD技术是集流体力学、数值计算方法以及计算机图形学于一体的计算机模拟技术,目前国内较多运用于飞

机机体和高速列车车身表面气动噪声的研究,用于建筑室外气动噪声的研究尚未发现。本研究将CFD模拟技术引入超高层建筑室外环境气动噪声的分析预测,并在设计过程中提出改进建议,收到了比较理想的效果。

2 超高层建筑气动噪声模拟分析

2.1 项目简介

该项目拟建于广东省佛山市,是一个集交通枢纽、商业、办公、酒店、住宅为一体的大型综合体(图1)。该建筑由多栋塔楼组合而成,总建筑面积702 000m²,建筑平均高度近200m,属于超高层建筑。由于楼间距较近,且C座塔楼(图2)为超高层住宅(建筑高度180m),建筑立面较为复杂,在风速较高时,可能出现高风速引起的气动噪声问题,影响住宅的居住品质。为此,针对C座塔楼的两个建筑方案进行气动噪声模拟分析,以确定气动噪声影响较小的建筑平面形式和相应的建筑



图1 项目鸟瞰图



图2 C塔楼位置示意

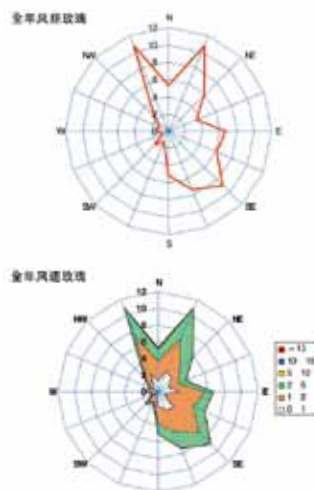


图3 佛山地区典型气象年风玫瑰图

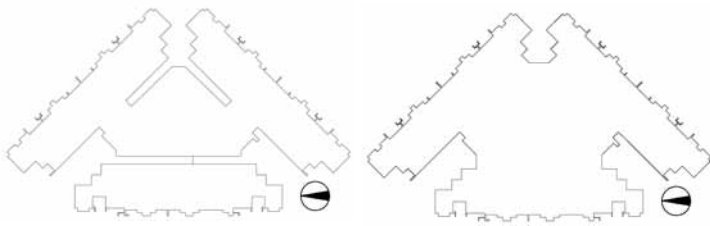


图4 开敞的建筑平面形式



图5 闭合的建筑平面形式

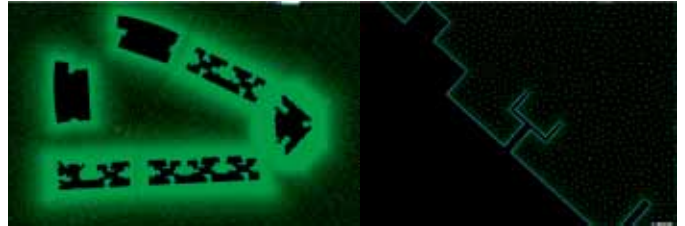


图6 计算机模型建模及网格划分精度示意图

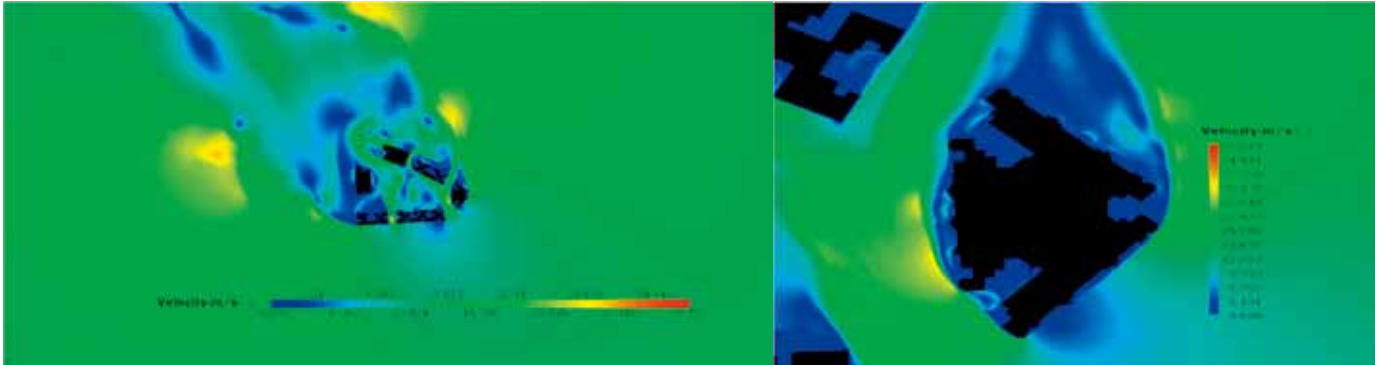


图7 夏季极端风速下顶层高度风压云图

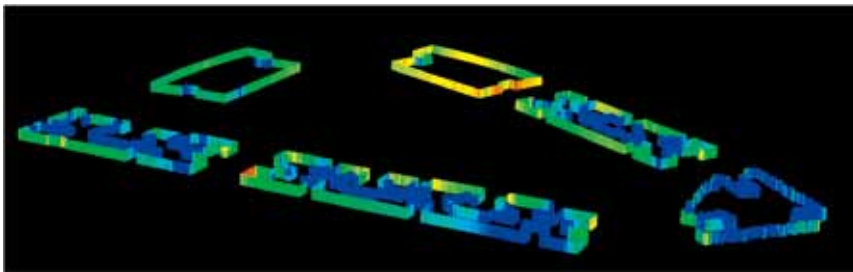


图8 夏季极端风速下顶层高度噪声分布分析图

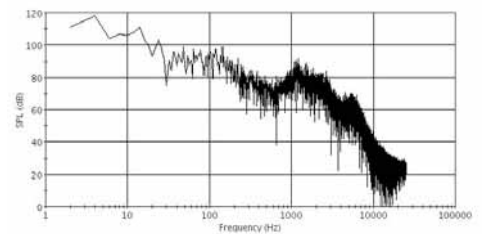


图9 计算区域某处气动噪声声压级模拟计算曲线

外隔声对策，使室内噪声水平满足国家相关规范要求。

2.2 研究思路

(1) 本项目所研究气动噪声由风流体引起，所以首先需要确定佛山地区各季节主导风向及环境风速（本项目取冬夏两季计算）。根据中国气象局提供的近30年气象数据记录（图3），分析佛山地区典型气象年的风玫瑰图，统计出各季节主导风条件，包括平均风速、最高风速等。

根据气象资料及业主提供的资料，确定以下几种风速风向条件：1) 夏季平均风速：10m高处2.29m/s，风向东南；2) 冬季平均风速：10m高处2.29m/s，风向西北；3) 夏季最高风速同时也是全年最高风速：10m高处7m/s，风向东南。

(2) C塔楼设计过程中暂定为开敞式走廊，其形式必然引起环境风的进入，形成风噪的隐患。为了比较不同建筑形体对噪声水平的影响，模拟中选用开敞和闭合两种C塔楼建筑平面（图4，5）；同时由于同样环境风情况下，高度越高，风速越大，所以模拟高度定义在顶层高度（180m），以模拟风噪产生的最大影响。

(3) 模拟计算采用的软件为CFD软件STAR-CCM+(Computational Continuum Mechanics)，通过建立能够满足声学运算精度的计算机网格模型（图6），借助大型服务器进行并行计算，预测建筑在不同季节风速条件、不同平面布局情况下建筑最高处的125~8 000Hz（人耳听力主要频段集中在125~4 000Hz左右）频段风噪声压级值。

(4) 分析计算结果，针对冬夏两季平均风速下及全年最大风速下各自模拟出的结果，提供基于保障及优化室内声环境的隔声设计措施及对策。

2.3 模拟结果

通过对C塔楼不同情况（冬夏季不同主导风向、不同建筑平面）下的气动噪声CFD模拟计算，生成直观可辨的伪彩图及曲线图（图7~9）。

通过比较分析，得出如下结论：

(1) 气动噪声声压级量值高的频段主要集中在低频（<1 000Hz），随着风速变大，中高频段的风噪声级随之增大。

(2) 当建筑平面采用开敞走廊形式，由于建筑轮廓更加

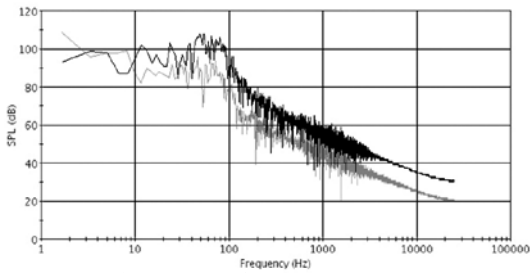


图10 同风环境下，同一部位开敞平面与闭合平面气动噪声声压级对比（浅色曲线表示闭合平面模拟结果，黑色曲线表示开敞平面模拟结果）

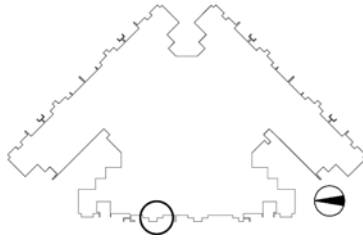


图11 建筑立面构件引起风场变化的计算机模拟示意

“尖锐”，更容易形成风噪；“开敞走廊形式”比“封闭走廊形式”风噪增加许多时（图10），阳台板、空调板等出挑的细杆件、薄板件也会在小范围内“劈开”气流，这也是气动噪声较严重的部位（图11）。

（3）不同季节由于风向不同，形成了不同的室外环境气动噪声（图12），这是由立面受风方向和周边建筑影响综合作用形成的，对不同的建筑需要具体问题具体分析。

（4）在极端风速下（7m/s），C楼建筑高处由于建筑遮挡，建筑物周围风速能够达到30m/s以上，可能会形成计权声级超过90dB的风噪（声学规范规定室外环境噪声计权声压级小于70dB，住宅室内允许噪声计权值小于45dB左右^[2]）；如果需要满足极端天气下室内不受高风噪的影响，需要有针对性地计算外围护隔声量。

致谢：本文在研究过程中，中国科学院力学研究所郭迪龙博士在CFD技术应用上给予了指导和帮助，特此感谢！

参考文献

- [1] 李全知. 城市建筑风环境的风洞模拟研究[J]. 华北水利水电学院学报, 1999 (9) .
- [2] GBJ118-88民用建筑隔声设计规范[S].
- [3] GBJ75-84建筑隔声测量规范[S].
- [4] GB3096-2008声环境质量标准[S].
- [5] GB/T19889.5-2006/ISO140-5:1998外墙构件和外墙空气声隔声的现场测量[S]. 北京：中国标准出版社，2006.
- [6] GB/T50121-2005建筑隔声评价标准[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2005.
- [7] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京：机械工业出版社，2002.

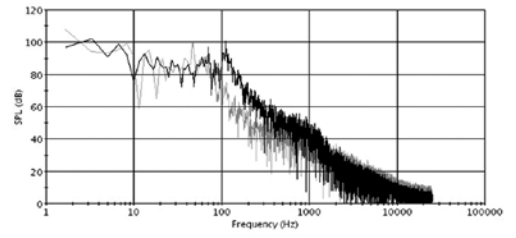


图12 不同季节（不同风向）、同一部位（图上圆圈位置）气动噪声声压级比较（黑色曲线表示夏季模拟结果，浅色曲线表示冬季模拟结果）

2.4 基于气动噪声隔声优化的设计建议

模拟研究表明：1）气动噪声对闭合平面的影响低于开敞平面；2）在极端风速下（7m/s），C楼建筑最高处可能会形成计权声级超过90dB的风噪；3）C座塔楼外围护的基本构造设计（外墙计权隔声量48dB，外窗计权隔声量22dB），其隔声性能能够满足各季节平均风速下对室外气动性噪声的有效屏蔽，使室内声压级控制在45dB以下，但为满足极端风速天气下建筑围护对室外气动噪声的隔挡，则需要对其隔声性能做进一步提升。通过模拟结论及相关隔声量测量计算方法^[2-5]，建议C座塔楼外墙需满足计权隔声量50dB，外窗满足34dB；4）除上述外，对建筑布局进行微调以降低其对各季主导风的遮挡，或者采取减小窗墙比等措施，也能达到同样的降低室外环境气动性噪声影响的目的。

3 结语

对于超高层建筑室外环境气动噪声的研究，CFD模拟技术是一个有效的方法，其研究成果对于超高层建筑风环境影响的分析、控制和合理利用以及实现绿色建筑的设计理念具有现实意义，值得我们进一步关注和探索。



第一作者简介

刘博，北京建筑工程学院建筑与城市规划学院讲师，天津大学建筑学院建筑技术科学专业博士。