

Random Wind Load Law Analysis Based on Experiment

Weirong Li, Decai Tang, Ping Liu*, Xin Liu, Yuan Jiang, Xi Yang, Mengru Gao

School of Civil Engineering and Architecture, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu
Email: a786815605@sina.com, *liupinghaiyan@163.com

Received: Mar. 1st, 2019; accepted: Mar. 15th, 2019; published: Mar. 27th, 2019

Abstract

In recent years, with the development of economy, people put forward higher requirements on all aspects of buildings. The influence of wind on buildings is not negligible, especially in large buildings, such as Bridges and other long-span structures. Therefore, the wind resistance of the structure is studied. In this paper, through theoretical derivation, it is concluded that the effect of air on the structure is proportional to the square of the vibration velocity of the structure when the air is static and the structure is vibrating. The proportional coefficient is the product of the air density and the resistance coefficient, $p = \rho_0 c \cdot v$. In order to verify the correctness of the theoretical conclusion, this paper designed a single pendulum experiment to measure the attenuation law of its displacement in the swing process, carried out theoretical research on the movement of single pendulum with the help of MATLAB calculation software, and drew and compared the law curve. Through the comparison between theoretical analysis and experiment, it is shown that the value of wind load during structural vibration should take time into consideration, and it is suggested that the value of load can be selected according to the formula deduced in this paper. The analysis results of this paper can provide reference for the wind load values of Bridges, long-span structures and high-rise buildings.

Keywords

Wind Load, Wind Field, Time Effect, Random Wind Load, Simple Pendulum Experiment

基于实验的随机风荷载规律分析

李威榕, 唐德才, 刘平*, 刘鑫, 蒋媛, 杨玺, 高梦茹

江苏科技大学土木与建筑学院, 江苏 镇江
Email: a786815605@sina.com, *liupinghaiyan@163.com

收稿日期: 2019年3月1日; 录用日期: 2019年3月15日; 发布日期: 2019年3月27日

*通讯作者。

摘要

近年来,随着经济的发展,人们对建筑物的各方面提出了更高的要求。其中风对建筑的影响是不可忽略的,尤其对大型建筑,如桥梁等大跨度结构。也由此建立了结构抗风的研究。本文经理论推导,得出在假设空气静止、结构振动时,空气对结构的作用与结构振动速度的平方成正比,比例系数为空气密度与阻力系数的乘积,即 $p = \rho_a c \cdot v$ 。为了验证理论结论的正确性,本文设计了一项单摆实验测量其在摆动过程位移的衰减规律,借助MATLAB计算软件进行单摆运动的理论研究,绘制并对比规律曲线。通过对理论分析与实验对比,说明结构振动时的风载取值应当考虑时间因素,建议可按本文所推导公式选取荷载取值。本文的分析结果可为桥梁、大跨结构及高层等设计的风荷载取值提供参考。

关键词

风荷载, 风场, 时间效应, 随机风荷载, 单摆实验

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

风载的计算问题是风工程领域中的关键问题。目前对风载的考虑——尤其是一些非规则形状——很多时候凭借经验与风洞试验,把非定常问题当作定常问题。对于风荷载的研究由来已久,最主要的成果为 Bernoulli 在定常流下的压力速度公式。在定常流中流场压力与流场动压力之和沿流线不变, Bernoulli 的压力速度公式是适用的[1]。根据这一结果,可以直接由流体速度求解出流场压力。对于定常流而言,由于流线不变,因此在计算和应用上非常方便,也是目前世界范围内关于风荷载的理论计算依据。但是, Bernoulli 公式的应用前提在于流场(风场)与时间无关,但是在多数情况下,风场风压是随时间的变化而变化的。因此,在计算风载时候,不得不考虑时间因素。然而目前不管是国内还是国外,工程界对于随机风荷载的研究都很少,工程案例也都基本没有考虑这一因素。偶尔需要论证的如美国哈斯大桥(2013年建成)也是将非定常风压等效为定常风压。因此,直接研究风载的时间效应是很有必要的。

本文将通过考虑空气的非定常压力问题的实验结果可以直接进行随机风荷载的取值与计算,不需要做额外的转化与近似。研究成果不仅对空气动力学理论进行了丰富与补充,也能够为实际工程的应用提供有效指导。

2. 实验模型

实验道具: 不同边长的球(根据球直径将球分为大球 15 cm、中球 12 cm、小球 11 cm), 不锈钢丝绳, 直流电电源, 激光位移传感器, 数据采集卡, 计算机。

实验内容:

- 1) 利用吊车用不锈钢丝绳将球悬垂于室内, 使球作单摆运动;
- 2) 在球的单摆运动稳定后, 使用激光位移传感器测定它的振动幅度随时间的变化的数据;
- 3) 通过数据采集卡记录到电脑内, 完成数据的采集。

此实验测定了三组不同直径的球分别在三种不同高度的条件下的振动幅度随时间的变化的数据。

对实验数据进行整理, 该实验测定了大球、中球、小球这三种球在三种不同高度的条件下(及不同摆角)的振动幅度随时间的变化的数据。激光位移传感器的采样频率为 100 Sps/s (每秒取 100 个点), 横坐标是样点数, 纵坐标是振幅, 最终得到两者之间的曲线关系。

3. 实验结果

本次试验大球单摆运动下的结果见下图 1 所示。从图中可见, 摆球幅度近似呈指数递减而振动频率而变化则变化很小。由本文所采用的理论可知[2], 空气阻力与摆球速度成正比, 也就是说空气阻力的作用效果相当于阻尼[3]; 而 Bernoulli 公式则是阻力与速度的平方成正比, 阻力效果相当于附加质量。定性的看, 试验结果更相当于阻尼效果。由于篇幅限制, 本文没有展示其它试验结果, 下章阐明数据分析方法, 但是不对结果进行更详细的分析与讨论。

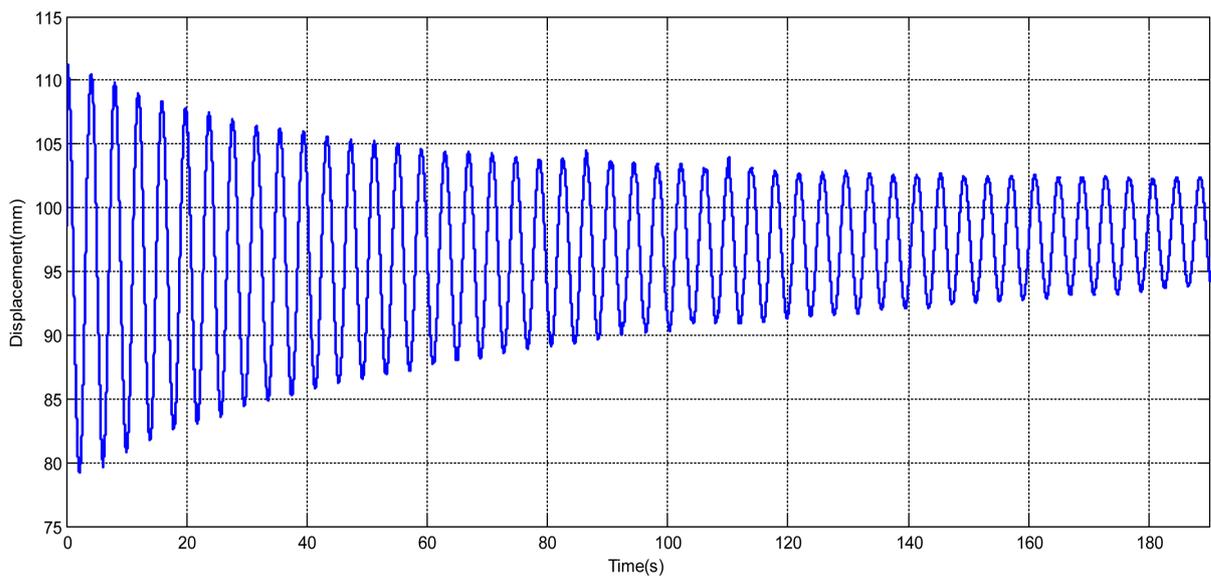


Figure 1. Vibration displacement time history data under working condition 1 (large cuboid)

图 1. 工况 1(大球)下的振动位移时程数据

4. 实验结果分析

实验单摆的运动轨迹与 MATLAB [4]所绘运动规律曲线有较大出入, 考虑摆绳受到的空气阻力、摆球受到的空气阻力、摆球受到的空气浮力[5], 对实验结果予以修正。参考综合因素作用下单摆运动分析中关于单摆摆绳和摆球受阻力, 摆球受到的空气浮力得到各个力之间的相互关系如图 2 所示。

摆绳和摆球系统对悬点的转动惯量为:

$$I = \frac{2}{5}mR^2 + m^2l + \frac{1}{3}m_0(l-R)^2 \quad (1)$$

式中: $m = \frac{4}{3}\pi\rho_a R^3$ ——摆球的质量;

ρ_a ——摆球的密度;

$m_0 = \frac{1}{4}\pi d^2 \rho_l l$ ——摆绳的质量;

ρ_l ——摆绳的密度。

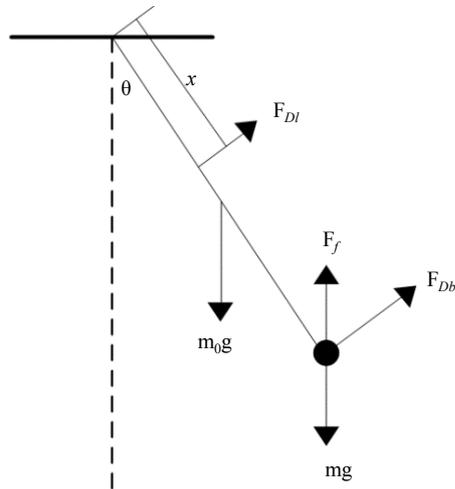


Figure 2. Schematic diagram of single pendulum force

图 2. 单摆受力示意图

根据转动定理，修正后的单摆运动的动力学方程为：

$$\ddot{\theta} = -mgl \sin \theta - \frac{1}{2} m_0 g (l - R) \sin \theta + F_f l \sin \theta + F_{Db} l + \frac{3}{4} F_{Dl} l \quad (2)$$

利用 MATLAB 软件，选择特定初始摆角，采用数值方法求解方程(2)，得到单摆摆角的变化曲线，该曲线更符合实验单摆的运动轨迹。

5. 结论

本文设计并进行了单摆空气阻力实验，来验证理论推导结果。通过理论值[6]和实测值的对比，表明空气静止时，单摆所受到的空气阻力效果为阻尼力而不是附加质量，阻尼力为 $p = \rho_0 c \cdot v$ 。这项结果可以推广到其它结构的振动过程。本文的分析结果可为桥梁、大跨结构及高层等设计的风荷载取值提供参考。

参考文献

- [1] 范学伟, 徐国彬, 黄雨. 工程结构的风灾破坏和抗风设计[J]. 中国安全科学学报, 2001, 11(5): 76-79.
- [2] 刘平, 吴刚. 考虑空气可压缩时空间结构耦合振动分析[J]. 上海交通大学学报, 2016, 50(11): 1732-1736.
- [3] 鞠衍清, 张风雷. 综合因素作用下的单摆运动分析[J]. 辽东学院学报(自然科学版), 2010, 17(2): 151-153.
- [4] 李硕, 赵彤帆, 李根全. Matlab 软件在单摆自由振动中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(11): 65-68.
- [5] 万明理, 何金娜. 基于 MATLAB 下对单摆实验中大摆角问题的讨论[J]. 大学物理实验, 2010, 23(6): 75-77.
- [6] 鞠衍清, 张风雷. 基于 MATLAB 的单摆周期近似解的比较[J]. 大学物理, 2007, 26(3): 6-9.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2328-0557，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ijfd@hanspub.org