

关于“平板边界层中湍流的发生与混沌动力学之间的联系”一文中的注记

李睿劬¹⁾ 李存标^{2)†}

¹⁾清华大学工程力学系, 北京 100084)

²⁾北京大学湍流与复杂系统研究国家重点实验室, 北京 100871)

(2004 年 9 月 30 日收到)

经过进一步地研究, 发现在本刊 2002 年 8 月的“平板边界层中湍流的发生与混沌动力学之间的联系”一文中, 尚存在着一些数据处理上的问题, 对此做了修正.

关键词: 湍流发生, 混沌动力学, 分形

PACC: 4725C, 4715C, 4715F

1. 引 言

该文章^[1]的主旨在于将平板边界层中湍流发生的过程^[2-6]和混沌动力学的相似之处联系起来, 其方法即计算在平板边界层湍流发生过程中测量数据所对应的可能存在的分形维数. 在如何处理这些数据, 以便准确求出它们对应的分形维数, 并进而确定奇怪吸引子的存在与否的过程中, 关于分形计算的程序存在着一些问题, 这导致部分计算结果与正确结果略有差别, 但是该文的基本结论仍然是正确的. 下面阐述原文中出现的一些问题.

第一, 在由单变量时间序列计算分维的过程中, 原文只计算了嵌入维数等于 2 的情况. 正确的方法是计算 $\ln(C) - \ln(r)$ 曲线中直线部分斜率的变化, 若随着嵌入维数的增加, 该斜率基本趋向于一个固定的值, 那么该单变量时间序列才存在分维, 即存在吸引子.

第二, 按照前面所述的方法, 我们重新计算得到的结果(见图 1)与原文中结果有较大不同. 我们仍然在每个测量点上使用 2×10^4 个数据进行计算, (考虑由数据量引起的计算误差后, 认为 2×10^4 是足够的.) 得到图 1 中的 $d-X$ 曲线. 这条曲线在 $X = 350\text{mm}$ 和 450mm 之间以及 $X = 550\text{mm}$ 和 650mm 之间存在两次较大的分维变化. 这与前文最后结论中

一次变化略有不同. 对应于具体的物理过程, 新的计算结果似乎更为合理, 因为这两次大的变化分别对应于涡环链的产生以及各结构相互作用而破碎两个过程. 另外, 新的计算结果最小分维值约为 $1.09(X = 300\text{mm})$, 最大分维值约为 $2.92(X = 650\text{mm})$, 这与前文从 1.04 到 1.80 的变化略有不同, 但这个不同是由计算方法本身造成的, 而不是实验数据的问题.

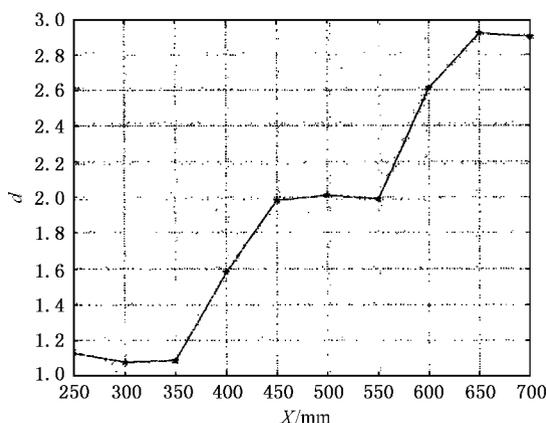


图 1 分维相对于流向位置的变化曲线. 该曲线存在的两个较剧烈的变化区间($350\text{mm} < X < 450\text{mm}$ 和 $550\text{mm} < X < 650\text{mm}$) 在显示结果里, 对应着湍流发生的两个主要过程, 这正说明湍流发生过程是混沌的

第三, 尽管新的计算得到的定量结果表明前文的结果存在着一些问题, 然而, 这只是定量上的不同,

† 通讯作者.

并不影响定性分析得到的结果的本质上的正确性,即平板边界层中湍流的发生(尤其指 K 型转捩)可能是一个确定的、符合混沌动力学特性的过程,其关系可由分形维数相对于流向位置(对应于流向 Re

数)的变化(见图 1)来表征.

感谢北京大学的刘式达教授、蔡庆东副教授在本文工作中的指导和帮助.

- [1] Lee R Q , Lee C B 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1743 [in Chinese] 李睿劬、李存标 2002 物理学报 **51** 1743]
 [2] Kachanov Y S 1994 *Annu. Rev. Fluid Mech.* **26** 411
 [3] Lee C B 2000 *Phys. Rev. E* **62** 3659

- [4] Lee C B 2001 *Experiments Fluids* **30** 354
 [5] Lee C B 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 182 [in Chinese] 李存标 2001 物理学报 **50** 182]
 [6] Lee C B 2003 *Exp. Meas. in Fluid Mech.* **17** 57

Problems in the paper “ A link between chaos dynamics and the onset of turbulence in a transitional boundary layer ”

Lee Rui-Qu¹⁾ Lee Cun-Biao²⁾

¹⁾ (*Department of Engineering Mechanics , Tsinghua University , Beijing 100084 , China*)

²⁾ (*State Key Laboratory for Turbulence and Complex Systems Research , Peking University , Beijing 100871 , China*)

(Received 30 September 2004)

Abstract

Further investigation on the calculation of the fractal dimensions of the attractors reveals that some problems about the data processing existed in the paper “ A link between chaos dynamics and the onset of turbulence in a transitional boundary layer ”. Here they are improved or revised.

Keywords : onset of turbulence , chaos dynamics , fractal

PACC : 4725C , 4715C , 4715F