研究述评

对《号称经典物理留下的世纪难题“湍流问题”的实质是什么?》一文的讨论

黄永念, 陈耀松*

北京大学工学院, 北京 100871

*联系人, E-mail: chenys@pku.edu.cn

收稿日期: 2012-03-19; 接受日期: 2012-03-27; 网络出版日期: 2012-04-18

摘要 湍流问题的研究长期以来一直是科技工作者非常关心的一个难题. 一百多年来一直没有一个普遍认同的共识. 每隔若干年就会引起人们的争论. 当然, 每次争论都会促使人们去进一步思考, 湍流问题的研究进展如何? 下一步的研究应该如何进行等等. 为此, 我们谈谈自己的一些看法, 仅供大家参考.

关键词 均匀各向同性湍流, 剪切湍流, 真实湍流, 基础研究, 准相似性

PACS: 47.27.N-, 47.27.nb, 47.27.De, 47.27.Gs

doi: 10.1360/132012-287

1 关于均匀各向同性湍流和真实湍流之间的关系

周恒先生和张涵信先生的论文(以下简称为周-张论文)^[1]从一开始在摘要中就把均匀各向同性湍流和真实湍流分割开来, 并一再强调两者之间存在“鸿沟”, 这是我们不能同意的. 我们认为均匀各向同性湍流也是一种特殊的真实湍流, 如风洞网格后形成的网格湍流, 又如高空大气中存在的晴空湍流, 都可以近似认为是一种均匀各向同性湍流. 能与均匀各向同性湍流并论的(或能与之比较的)是剪切湍流, 而不是真实湍流. 事实上前两种湍流都是真实湍流.

周-张论文把均匀各向同性湍流的研究作为基础研究而把真实湍流的研究划为应用研究的分法也是很科学的. 我们认为基础研究是要研究各种湍流

流动中具有共性的东西, 是要寻找较为普遍的规律. 而应用研究则是利用已经比较成熟的理论研究工作去解决具体的流动问题, 两者之间是有不同分工的, 基础研究同样需要依赖实验测量来证实其可靠性, 又例如: 二维机翼是三维机翼的一个特例, 在二维分析中由于有解析函数的成果可以利用, 儒可夫斯基推得了机翼的举力公式. 这在航空发展史上的地位是少有的. 这一公式不但定性的找到了机翼升力的来源, 而且举力的大小基本也符合实际的, 可以作为工程设计的根据. 相比之下普朗特的三维举力线理论意义虽然也伟大, 但它离不开儒可夫斯基定理. 三维举力线理论是以儒可夫斯基定理为基础加上涡丝诱导定理建立起来的. 机翼的二维理论和三维理论都属于机翼基础理论研究, 分属理论发展的不同历史阶段. 如果一定要比较两者对航空空气动力学基

引用格式: 黄永念, 陈耀松. 对《号称经典物理留下的世纪难题“湍流问题”的实质是什么?》一文的讨论. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2012, 42: 445–447
Huang Y N, Chen Y S. On the discussion about the “What is the essence of the so-called century lasting difficult problem in classic physics, the “problem of turbulence”?” (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2012, 42: 445–447, doi: 10.1360/132012-287

础研究的贡献, 至少我们认为前者比后者要更大.

2 关于均匀各向同性湍流的理论研究

首先要强调一下的是均匀各向同性湍流的定义是在统计平均意义下均匀各向同性, 其研究的目的是要了解这种特殊的湍流流动的统计平均规律. 在 20 世纪 50 年代以前, 由于电子计算机还没有发展起来, 非线性偏微分方程组的数值计算工作无法进行, 主要的研究手段是靠解析推导来进行. 英国科学家泰勒在 20 世纪 30 年代创建的湍流统计理论就是在这种背景下提出来的. 这个理论提出了几个重要概念, 其中包括两点脉动速度相关和湍流能谱函数. 需要指出的是正是这种统计理论的提出促使了 20 世纪 30 年代研究风洞网格湍流而发明了测量脉动速度的热线探头, 紧接着又出现了速度相关仪和谱仪等测量仪器, 使理论研究的结果可以用实验测量来检验. 而且这些测量手段一直沿用至今, 所以在湍流问题的研究历史过程中, 确实有过一个非常重要的研究均匀各向同性湍流的阶段.

周-张论文的一个主要论点是把均匀各向同性湍流的研究看成是背离真实湍流研究的方向, 这一点我们也不能认同. 不妨考察一下我们所开展的湍流研究工作. 我们从 20 世纪 50 年代开始从事均匀各向同性湍流的研究. 当时人们已经发现湍流研究从雷诺开始就提出了先平均后求解的方法, 因而造成雷诺平均运动方程的不封闭的根本性困难. 而我们则是为了彻底解决这种不封闭性困难而提出了先求解后平均的理论分析方法^[2]. 这是完全走的另一条研究途径. 顺便指出今天的直接数值模拟和格点波尔兹曼方法均是属于这种研究途径的范畴. 这个理论模型是从物理学的角度出发, 认为湍流是由许许多多涡旋组成的. 寻找湍流运动中典型的涡旋解是其中的关键所在. 为此, 提出了一个涡旋特征长度和特征速度之间存在有一种准相似性的条件^[3], 由于新的理论模型的提出需要用实验测量来检验, 故而首先研究最简单的均匀各向同性湍流问题并与网格湍流的实验作比较则是非常必要的第一步研究工作. 事实也证明了这个理论模型得到了最多实验测量结果的支持^[4]. 顺便指出均匀各向同性湍流的许多概念在今天的模式理论和大涡模拟中都被广泛使用着.

3 湍流研究的历史发展

20 世纪 90 年代美国科学家勒姆莱曾指出在湍流研究一百多年的发展过程中有四个早期的伟人是值得人们尊敬的. 他们是: 泰勒、冯·卡门、柯尔莫哥洛夫和周培源先生^[5]. 很巧的是这四个伟人都曾研究过均匀各向同性湍流, 周-张论文中并没有提及柯尔莫哥洛夫和周培源先生, 不管是什么原因, 其提法是有缺陷的. 柯尔莫哥洛夫提出的局部均匀各向同性湍流理论是在湍流界被引用次数最多的一个理论.

当然这些伟人的湍流研究工作绝不仅限于某一方面, 他们大都是在多方面进行探索, 以求取得实质性的突破. 研究均匀各向同性湍流只是其中一个阶段^[6,7]. 均匀各向同性湍流的研究工作不是为真实湍流问题的解决建立起一个鸿沟, 而是为它搭起了一座桥梁.

最后还需要指出一点的是我们的均匀各向同性湍流的研究工作是受到美籍华人林家翘先生在 20 世纪 40 年代发表的一篇论文启发下进行的^[8]. 林家翘先生不仅跟冯·卡门作过均匀各向同性湍流的研究工作, 而且还在《物理大全》第 8 卷中发表过“湍流统计理论”的总结性文章^[9].

4 结论

湍流问题至今没有得到解决, 也还没有被大家普遍公认的理论模型. 因此我们认为在目前的研究阶段还不能完全否定某种研究途径或方向. 重要的是应该比较现有的不同研究方法的优缺点, 用大量实验观察的结果来检验理论研究的成果. 这里需要强调的是我们作基础研究工作的一个目的是要寻找湍流流动中可能存在的各种典型的瞬时结构和普适的统计规律. 不管具体湍流流动问题有多么复杂, 他们之间总会存在一些共性的东西.

实事求是的讲我们的理论模型没有得到普遍的认可, 说明这个理论模型还存在有不足之处, 需要不断加以改进和继续进行探索. 例如各种不同的剪切湍流中的涡旋解如何寻找? 如何体现出湍流流场中出现的多尺度结构? 找到解(一般来说是数值解)后又如何进行统计平均? 这些问题都有待有识之士去进一步开展研究工作. 回顾历史, 展望未来, 希望在不久的将来能看到湍流问题的实质性的突破.

参考文献

- 1 Zhou H, Zhang H X. What is the essence of the so-called century lasting difficult problem in classic physics, the “problem of turbulence”? (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2012, 42(1): 1–5 [周恒, 张涵信. 号称经典物理留下的世纪难题“湍流问题”的实质是什么? *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2012, 42(1): 1–5]
- 2 周培源, 蔡树棠. 均匀各向同性湍流在后期衰变时的涡性结构. *力学学报*, 1957, 1: 3–14
- 3 Chou P Y, Huang Y N. On the statistical vorticity structure theory of homogeneous isotropic turbulence. *Sci Sin*, 1975, 18(2): 199–222
- 4 Huang Y N, Zhou P Y. On the solutions of Navier-Stokes equations and the theory of homogeneous isotropic turbulence. *Sci Sin*, 1981, 24(9): 1207–1230
- 5 Chou P Y, Chou R L. 50 years of turbulence research in China. *Annu Rev Fluid Mech*, 1995, 27: 1–15
- 6 Zhou P Y. On the condition of pseudo-similarity and the theory of turbulence. *Sci Sin Ser A-Math Phys Astron Tech Sci*, 1985, 28(4): 405–421
- 7 Zhou P Y, Chen S Y. On the theory of turbulence for incompressible fluids. *Sci Sin Ser A-Math Phys Astron Tech Sci*, 1987(4): 369–380
- 8 Synge J L, Lin C C. On a statistical model of isotropic turbulence. *Trans R Soc Canada*, 1943, 37: 1–35
- 9 Lin C C, Reid W H. *Handbuch der Physik*, Bd. VIII/2. Berlin: Springer-Verlag, 1963. 484

On the discussion about the “What is the essence of the so-called century lasting difficult problem in classic physics, the “problem of turbulence”?”

HUANG YongNian & CHEN YaoSong*

College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China

For the long time, turbulence is a very difficult problem for researchers in basic and applied science. Over one hundred year, there exists no solution which is generally accepted. From time to time, there always appear some arguments. Of course, each argument urge people for further consideration. What are the research advances of the problem of turbulence? How the people proceed the next research work? On this account, we will give some viewpoint, which can offer a reference.

homogeneous isotropic turbulence, shear turbulence, real turbulence, basic research, pseudo-similarity

PACS: 47.27.N-, 47.27.nb, 47.27.De, 47.27.Gs

doi: 10.1360/132012-287