

现代流体力学研究的若干基本问题与速度场和压力场“耦合模型”的初步探索

Several Basic Problems of Modern Fluid Mechanics and Preliminary Study of Coupled Mathematical Model of Velocity and Pressure Field

杨本洛/YANG Ben-luo

上海交通大学自然科学基础研究组, 上海 200240

Natural Science Foundation Research Group, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

编者按：这篇论文是上海交通大学科技处推荐给本刊的。该处在推荐信中指出：“我校杨本洛教授长期倾心基础研究，在学校的资助下出版了 6 本研究专著，发表了一系列属于他自己的独立研究成果。学校本着慎重而积极的态度，鼓励教师努力使用严格科学语言进行严肃科学意义下的探讨。今推荐给你们的这篇论文，对流体力学理论中的一些基本问题提出了自己的观点，以达到百家争鸣、促进学科发展的目的。至于这些观点是否正确，还有待从事流体力学、应用数学、工程热物理等领域研究工作的专家、学者充分讨论，在实践中加以验证。”本刊编辑部委托的审稿专家对杨教授从哲学的角度谈流体力学基本问题的研究方法提出了异议，认为流体力学的 Navier-Stokes 方程是一个数学和物理定义完好的方程，大量的实验也证明它是正确的，而杨教授事实上对流体的物理描述有一些误解，与主流力学的观点有很大出入。审稿专家同时认为，作为杨本洛教授的个人观点，此文发表可以让本领域的学者了解非流体力学专家对流体力学中最重要的 Navier-Stokes 方程等是如何认识的。鉴于上述事实，本着学术争鸣和鼓励原创研究的初衷，我刊特在“学术争鸣”栏目发表杨本洛教授的这篇文章，以期引起更多的专家学者讨论、争鸣。

[摘要] 提出了现代流体力学研究需要考虑的若干基本问题，并且在 Navier-Stokes 方程合理重构和提出符合物理实在的动力学边界条件的基础之上，构造了一个能够大致刻画速度场和压力场 2 个独立宏观物理量、处于彼此耦合之中的数学物理模型，进而为绕流体最佳型线的数值模拟提供了可能。

[关键词] 粒子本质, Navier-Stokes 方程基础, 动力学边界条件, 速度场, 压力场, 场的定解问题, 最佳型线

[中图分类号] O351.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-7857(2006)02-0060-07

Abstract: It is proposed several basic problems needed to be considered in modern fluid mechanics research, and upon the base of the reasonable reconstruction for Navier-Stokes equation and dynamic boundary condition according to physical reality, it is constructed as a mathematical-physical model, which can approximately describe the separated and coupled macro physical quantity about velocity field and pressure field. Furthermore, it provide possibility to numerical simulation of streamline body.

Key Words: particle essential, Navier-Stokes equation basement, dynamic boundary condition, velocity field, pressure field, definition problem, streamline

CLC Number: O351.1 **Document Code:** A **Article ID:** 1000-7857(2006)02-0060-07

1 引言

现代流体力学的理论基础，仍然大体反映 19 世纪中叶西方科学家曾经做出的开拓性工作。限于人类认识的历史现状和水平，相关陈述系统必然存在某些需要人们重新认识的问题。作为一门“宏观”学科，流体力学本质上隶属于“经验科学”的范畴。为了能够与流体力学研究面对愈益复杂的物理实在进一步吻合，此文提出现代流体力学研究需要解决的若干基本问题以及报告其中几个命题的研究结果。

事实上，除了经典理论中许多基本概念需要重新严格化以外，不难发现如下所述的一系列基本概念和基础问题需要予以

澄清和解决。

1) 其实，现代西方科学世界已经对 Navier-Stokes 方程“合理性和可解性”的问题重新明确地提出了某种质疑^[1]。但是，如果能理性地意识到流体力学必须的“经验”基础，那么，对 Navier-Stokes 方程的质疑本身需要进一步准确化的同时，合理认识流体力学中一个实际使用的形式表述的根本途径在于：什么是这个实际上普遍应用形式表述得以存在的物理基础？或者说，人们需要提供构造该形式表述一个在数学上相对更为严格、物理上更为与物质对象吻合的途径，从而在此基础上努力解决该方程中不同形式量实际蕴含的“物理内涵”到底是什么的问题。

收稿日期：2005-11-22

作者简介：杨本洛，男，上海闵行区东川路 800 号上海交通大学自然科学基础研究组，教授，主要研究方向为基础数学和基础物理；

E-mail: blyang@sjtu.edu.cn

2) 需要重新解释“物质导数与表观应力动量运输机制”间的矛盾,期望用以表现复杂运动的 Reynolds 方程,却能够从表现简单现象的简单方程逻辑推导之中明显存在逻辑倒置等许多相关问题。

3) 涡(Vortex)属于流体运动中普遍存在的重要物理真实。但是,直观表象意义上的涡无以穷尽。正如无需且无法穷尽流场的表观真实一样,无法也无需穷尽涡的表观真实。因此,什么是形形色色“涡”现象共同具有的“共性”特征以及蕴含的“物质”内涵、需要怎样抽象定义和形式地描述涡的问题,自然成为现代流体力学研究必须解决的前提性命题。当然,困扰科学界一个多世纪之久的“湍流及其转捩”也自然会随之得到解决。(相应涉及什么是“变形”和什么是“流动”等基本概念具有形式意义的准确定义;边界层理论中“主流区”的物理本质是什么,为什么能够并且必须使用和 Navier-Stokes 方程完全不同的 Euler 方程加以描述,如何恰当定义主流区;涡的动力学分析为什么能够大概揭示某种“动力学”物理真实等许多基本问题。)

4) 在经典流体力学的“定解问题”模型中,只包括具有“独立”物理意义的“速度”边界条件,而从来没有考虑需要被赋予“客观”意义的“力”的边界条件。因此,在需要把速度和压力分布视为 2 个独立的宏观物理量的时候,流体力学一个完备的“数学模型”实际上至今并没有建立,导致无法刻画“压力场和速度场彼此耦合”的真实流场。(在任何定解问题中,偏微分方程本质上是对物质对象共性特征的抽象描述,而边界条件则对应于特定行为的个性特征。但是,无论是泛定方程还是边界条件的确定,都必须被赋予满足“客观性”要求的物质基础。)

对于以上所述现代流体力学的一系列基本问题,除了为“速度场以及压力场处于耦合之中的流场”如何构造“恰当数学模型即恰当定解问题”这样一个经典理论,而实际上一直没有论及的基础性命题以外,文献[2, 3]已经进行了比较充分然而只是基本的分析。此处,首先需要大致交待“根据流体粒子本质构造流体力学基本方程”的主要途径,并且以此为基础,大致探讨如何为“速度场和压力场处于耦合之中的流场”构造恰当数学物理模型的问题。

2 Navier-Stokes 方程形式基础和物理内涵的重新界定

只要客观地承认宏观物质的“粒子”本质,并且,借助于数学上具有严格定义的“覆盖”方法构造属于整个流场的“宏观表象”分布,那么,以这个与物质对象保持本质一致的“理想化”模型为依据,无需添加任何与粒子本质相悖的“人为”假设,仅仅以粒子系统的“动量方程”作为唯一基础,借助于解析延拓,即可推导出一个“一般性”的流体力学动力学方程。进而,以这个一般性方程作为形式基础,提出能够大致刻画“独立经验事实”的人为认定,最终构造出与经典理论实际使用的 Navier-Stokes 方程在形式上保持大体一致的形式表述。这样才能较为准确地揭示流体力学基本方程中各形式量的实际物理内涵、方程的相关应用条件,以及 Euler 方程的物质基础和独立意义等经典理论没有解决,甚至从未认真考虑过的理论基础问题。

2.1 粒子系统“一般性动力学方程”的重新构造

首先,暂时将运动中流体视为一个“自由粒子”系统,即粒子系统中所有粒子都允许在整个系统所占据的几何空间之中作“自由运动”的理想化粒子系统。考虑流场中的一个任意空间域 V 以及 δt 对应的时间间隔,相应存在如下所示“离散意义”上的动量方程:

$$\delta t: \delta \sum_V (m_i v_i) \sim \sum_{\delta V: \sum \delta v_i, \delta A_j} (m_j v_j) \quad A \sim \partial V \quad (1)$$

式(1)表示,与时间间隔 δt 对应,式左所示任意体积元 V 中

粒子动量和的变化,对应于该时间间隔中流入该体积域的粒子动量的代数和。显然,一旦引入“离散分布”的概念,无法将体积域中某物理量的变化直接与该物理量在边界上的“流”形成简单对应。式右所示,与时间间隔 δt 一致,那个由即将流入体积域 V 的流体粒子所对应的空间域 δV ,大致地与流经边界面积元 δA_j 的流体粒子在该时间间隔中位移矢量 $\delta t v_j$ 标量积的代数和形成对应。随着时间间隔 δt 趋于零,需要将本质上只能属于 δV 中的求和运算“形式地折算到”对边界域 A 上的一种和式运算:

$$\delta t \rightarrow 0: \delta \sum_V (m_i v_i) \sim \sum_{\delta V: \sum \delta v_i, \delta A_j} (m_j v_j) \quad \mapsto \quad (2)$$

$$\delta V \rightarrow 0: \delta \sum_V (m v) \sim \sum_A \frac{1}{A} \left[\sum_{\delta V: \sum \delta v_i, \delta A_j} (m_j v_j) \right] \sim \delta t \sum_A \left(\frac{\sum m_j}{\delta V} v_j \right)$$

在从 δV 中求和变换到边界域 A 上的求和时,使用了 $\delta V_j / \delta A_j \sim \delta t v_j$ 的关系;与此同时,仍然将质量和 $\sum m_j$ 定义在 δV 之中,从而保证了粒子集合必须遵循的“离散分布”本质。

这样,自由粒子系统的动量方程可以写为

$$\frac{\partial (\sum m_j v_j)}{\partial t} = - \lim_{\delta V \rightarrow 0} \sum_A \left(\frac{A}{\delta V} v_j \right) \quad (3)$$

原则上,人们并没有给出任何超越 Newton 经典力学的人为约定。

此外,再引入定义于流场中任意一点 x 之上,并且与“覆盖(covering)”该点、一个与“测量精度”大体一致的“有限大”的“单位”体积元 v 相对应的“宏观表象”速度分布

$$\begin{cases} u(x, t) = \frac{1}{\rho} \sum (m_j v_j) \\ \rho(x, t) = \sum m_i \end{cases} \quad i \in n, x \in v \subset V \quad (4)$$

当然,此处构造的质量密度 ρ 和宏观表象速度 u ,成为流体力学形式系统中的 2 个最基本的物理量。

如果仅仅从形式表述的“表观”角度考虑,此处构造宏观表象的方法似乎与“统计力学”通常使用的方法有许多一致之处。然而,两者在物理内涵上却存在本质差异。在经典的统计力学中,粒子系统是纯粹“虚构”的,空间任意一点处“允许且必须”存在“无穷多”粒子,相应讨论该点处“无穷小”体积元中“无穷多”粒子的统计行为。但是,此处所说的粒子集合则是“真实”的,只可能属于几何空间中一个“稀疏”的离散分布。人们相应需要考虑覆盖流场任意一点处一个“有限大(不是无穷小)”的,并且实质上与相关物理“测量精度”形成逻辑对应单位体积元之中“有限多(不是无穷多)”粒子的统计平均行为。因此,如果流场之中粒子分布过分稀疏,那么,根据这个“客观”存在的物理真实(而不再仅仅判据研究者的“主观”意志),以上为流场构造的“宏观表象”自然失效,需要人们重新使用“粒子系统”的分析方法研究流体运动规律。

继而,采取与统计力学一致的方法(实际上需要视为一种人为约定),将本质上仍然是“离散”的粒子速度分布 v_i 延拓为定义于整个空间域的“连续可微”速度分布 v 。于是,与离散动力学方程式(3)保持一致,建立在由粒子速度延拓而成的连续分布之上,但仍用以表现“粒子系统动量守恒”关系的“动力学方程”形式表述变为:

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} = - \nabla \cdot (\rho v v) \quad (5)$$

引入如下所示的速度差

$$w(x, t) = v - u \quad x \in V \subset R^3 \quad (6)$$

表示粒子真实运动速度 v 与宏观表象速度 u 的差异。相对于“宏观表述”系统而言,可以将 w 称之为粒子的“无规运动”速度。此时,存在形式上与式(5)保持等价的动力学方程:

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = - \nabla \cdot [\rho (u w + w u)] - \nabla \cdot (\rho w w) \quad (7)$$

显然,该方程本质上刻画的仍然只是“粒子系统”的一种“动

量守恒”关系。考虑到除了引入宏观力学“场描述”必须的“连续可微”条件以外,此处没有提出任何其它假设。因此,对于如何构造流体力学动力学基本方程的问题,定义于“自由粒子”系统之上的这个形式表述,可以成为进一步推导或分析的基础。

顺便指出,虽然3种速度 v, u, w ,在数学上被同样定义于空间域 V 中的任意一点 x 之上,但是它们在物理上所陈述的“物质对象”并不相同:解析延拓而得的 v 和 w 直接对应于 x 点处“真实或者假想”的单个粒子,而 u 只能和“覆盖”几何点 x 的“单位体积元” v 中真实存在的“粒子集合”统计平均行为形成逻辑对应关系。正因为此,如果比较以上两式,人们不难发现,尽管它们在数学表述上严格一致,但是随着形式表述实际陈述对象可能发生变化,相关的物理内涵也将相应地发生根本变化。事实上,如果直接以“粒子集合”中许许多多“单个粒子”作为陈述对象,那么,式(5)依然可以视为这些“粒子动量”需要遵循“守恒关系”的一种等价性表述。但是,对于必须以单位体积元中“粒子集合”作为陈述对象的宏观表象而言,考虑到式(7)的左侧不等于零,即:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) \neq 0 \quad (8)$$

因此,对于“宏观表象”速度 u 描述的“宏观物质”已不再满足动量守恒关系,尽管并没有改变宏观物质的粒子本质。此时,按照宏观力学的通常解释,动量方程(7)右侧中的

$$-\nabla \cdot [\rho(uw+wu)] \neq 0 \quad (9)$$

成为对宏观物质运动“耗散机制”的具体描述,或者刻画了流体力学通常所说宏观物质“无规运动”所引起“宏观动量”的一种输运效应。这样,粒子系统的“动量守恒”和本质上同为粒子系统的宏观物质的“耗散效应”不再需要被当作纯粹的人为认定对待,两种看似相反的物理特征能够彼此逻辑相容地并存于物理学的“理性陈述”之中。

此外,如果仍然仿照经典宏观力学的分析方法,应重新考虑粒子系统的“质量守恒”关系。事实上,与式(3)所示的动量方程完全一致,相应存在属于离散粒子系统的质量守恒方程

$$\frac{\partial(\sum m_i)}{\partial t} = -\lim_{\delta V \rightarrow 0} \sum_A \left(\frac{\delta V}{\delta V} v_j \right) \quad (10)$$

并且,当离散粒子系统的速度分布 v_i 被解析延拓为定义于整个空间域的“连续速度分布 v ”时,相应存在“连续性”方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (11)$$

当然,由于“不恒为零”无规速度 w 的存在,可以立即推知如下所示,经典理论之中习惯使用的连续性方程其实是一个“不当”的数学表述:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (12)$$

或者说,为了保证粒子系统中粒子不生不灭,式(11)对流体力学通常使用的“质量守恒方程”已经构成逻辑否定。除非在无规速度 w 等于零的特定条件下,定义于宏观表象速度 u 之上,式(12)所示与经典表述连续性方程完全一致的“附加约束”方程才可能存在。

进而,如果将经典表述的连续性方程视为一种“人为”约定,那么,经过简单运算,不难严格地推得如下等价性表述:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) \quad (13)$$

也就是说,在承认经典表述“连续性方程”允许无条件存在的前提下,式(7)所示的动力学方程还可以进一步表示为:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla \cdot [\rho(uw+wu)] - \nabla \cdot (\rho w w) \quad (14)$$

于是,这个形式表述与经典流体力学习惯使用的 Navier-Stokes 方程,乃至 Reynolds 湍流方程在形式上更为接近。但是,必

须注意,这个形式表述的存在必须以经典的连续性方程作为逻辑前提,而这个必须的逻辑前提其实并不是真实的。至于经典理论中连续性方程的“不真实性”,以及如何保证“质量守恒”的问题,将在后续分析中进一步讨论。

此外,从一般哲学理念和严格形式逻辑的角度考虑,人们必须自觉接受这样一个近乎自然、简单而又极其重要的基本判断:永远不可能从只能描述简单物理现象的“简单”方程出发,演绎地推导出能够用以描述复杂物理现象的“复杂”方程。进一步讲,如果从 Navier-Stokes 方程出发,原则上永远也不可能逻辑地推导出用以描述更复杂流动现象的 Reynolds 方程。正因为此,虽然 Reynolds 的湍流研究首先提醒人们注意到“平均量”这个对于整个宏观力学都具有重要意义的基本概念,但是,由于认识前提的不当,不仅无法揭示湍流的真实物理内涵,构造出一个跨越一个多世纪的“湍流之谜”,而且使得整个湍流研究从其开始就无意识地陷入了形形色色的“循环论证”结构之中。

2.2 流体力学“宏观表象”方程

无论是动力学方程(7),还是以“并不必要、甚至并不恰当”的连续性方程为基础推导而得的形式表述(14),在本质上仍然只属于“粒子系统”的范畴或者超越了“宏观表象理论”允许陈述的范围,需要使用“宏观”物理量取代出现于基本方程中那些只能隶属于“粒子系统”的物理量。此外,考虑到作为宏观物质的一般流体与“自由粒子系统”之间的差异,引入如下所示的2个宏观物理量:

$$p \stackrel{\text{def}}{=} \rho w w + p' I \quad (15)$$

与

$$\Sigma \stackrel{\text{def}}{=} -[\rho(uw+wu)] + \mu_{\text{Newton}} \nabla u \quad (16)$$

显然, p 和 Σ 分别对应于宏观经典理论通常所说的压力场和粘性表观应力张量。

这样,以上那些原来只能由属于粒子自身的物理量所构造的动力学方程,可以借助于此处引入的宏观物理量,写为属于宏观物质的宏观表象方程

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = \rho f - \nabla p + \nabla \cdot \Sigma \quad (17)$$

相应成为流体力学分析的重要形式基础。显然,这个形式表述虽然与经典理论中人们“实际使用”的基本方程保持大体一致,但是需要特别注意的是,除了借助于数学上具有严格定义的“覆盖”方式,人为引入了满足“连续可微”条件的宏观物理量分布以外,整个形式表述的物理基础仍然是宏观物质自身蕴含的“粒子”本质,并且根本改变了因模仿而得经典理论中形式量往往缺乏确定物理意义的反常状态,形式系统中的不同物理量相应获得了真正属于自己的确定物质内涵。

首先,对于流体运动中的真实“粒子集合”而言,此处提出的动力学方程,原则上仅仅具有形式意义,相应属于一个“过分粗糙”的形式表述,并且,仍然根本渊源于粒子系统的“一般性”动量方程。其中,除了本质地隐含“压力 p ”和“速度 u ”2个待定形式量以外,作为宏观形式量而引入的 p 和 Σ 分别表现2种不同的“独立”物理真实,只允许依赖于相关“经验事实”而确定。如果与经典理论相比,此处以宏观物质“粒子本质”为基础的形式表述,则明确地揭示出不同形式量实际蕴含的物理内涵。对于表观压力 p 而言,除了 $\rho w w$ 直接与统计力学中所描述“自由粒子”一种纯粹的“碰撞作用”相对应以外, p' 用以表示“非自由粒子”系统的宏观物质对任何“体积变化”的反抗;同样,在表观粘性应力张量 Σ 的形式表述之中,除了 $p(uw+wu)$ 直接与经典理论通常所说的“动量输运”机制形成逻辑关联,用以表现大数粒子系统之中粒子无规运动的影响以外,曾经为 μ_{Newton} 最先提出,并且与上述动量输运机制的作用倾向完全相反的“粘性应力”机制,同样属于真实存在的物

理实在, 此处往往可以被视之为由“物性参数”的粘性系数 μ_{Newton} 所描述。

宏观表述本质上是“构造性”的, 人们不可能采取纯粹“演绎逻辑”的方法, 从简单物质模型推导出宏观表象方程以及宏观表象参数。但是, 如果某一个宏观表象的形式表述能够与其所描述物质对象的物理本质对应, 那么, 在该形式表述可能较好地揭示某一类宏观现象共同蕴含的“抽象同一性”特征的同时, 就相应成为描述这一类宏观现象一个较好的数学物理模型。当然, 与此处基本分析保持严格逻辑相容, 并且吻合于几乎所有的现代流体力学实验, 流体力学中极大部分“宏观表象参数”只能是相关数学物理模型之中、决定于“整个压力场和速度场”的泛函, 而不能延续近两个世纪前人们过分简单的认识, 将它们视为仅仅反映流体“物质属性”的不变常数。如果沿用“经典宏观力学”的习惯语言, 将如何表述宏观表象参数的问题与通常所说的“状态方程”, 或宏观力学一般使用的“本构方程”构成一致逻辑关联的话, 那么, 作为自然科学体系“由简单到复杂”的历史必然, 流体力学中需要研究的这些经验方程已经从“静态分析”的范畴变化为远为复杂的“动态分析”范畴; 与其对应, 相关的形式表述也从一般“代数方程”变化为“场的泛函”的形式。当然, 这同样是许多现代流体力学文献中, 表现粘性系数不再仅仅是常数, 而几乎总与 Reynolds 数相关联的缘故。

既然表现应力张量 Σ 被定义为流场的泛函, 并且正如它的形式定义式(16)直接显示的那样, 该二阶张量明显表现出流场任意一点处“方向性——各向异性”特征以及不同空间点处的“非均匀性”特征。但是, 必须自觉承认大数粒子集合自身蕴含“复杂性”的物理真实。因此, 在许多实际应用场合, 仍然可以合理地提出“各向同性”和“均匀性”假设, 据此而引入仅仅具有“形式意义”的表现粘性系数 μ 。这样, 流体力学动力学方程又可以写为一个较为简单的形式:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) \approx \rho f - \nabla p + \mu \nabla^2 u \\ \rho I = \rho w w + p' I \\ \Sigma = \mu \nabla u \\ = -\rho(uw + wu) + \mu_{Newton} \nabla u \end{cases} \quad (18)$$

如果允许使用式(10)所示, 经典理论关于“连续性方程”一个并不恰当的习惯约定, 那么, 上述动力学方程可以表述为:

$$\begin{cases} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) \approx \rho f - \nabla p + \mu \nabla^2 u \\ \rho I = \rho w w + p' I \\ \Sigma = \mu \nabla u \\ = -\rho(uw + wu) + \mu_{Newton} \nabla u \end{cases} \quad (19)$$

于是, 与经典流体力学“实际应用(并非初原)”的 Navier-Stokes 方程在形式上取得一致。

事实上, 一旦意识到宏观物质的粒子本质, 就并不难做出符合理性的判断或者逻辑上严格的证明: 在一般流场的某些“局部域”之中, 流体集合中不同流体粒子允许处于“曾经相邻粒子继续相邻”这样一种被赋予“确定物质内涵而不再是纯粹主观认定”的“有序集合”状态, 处于该“局部域”中流体粒子的“无规运动”速度 w 恒为零, 动力学方程进一步退化为:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla \cdot u \approx \rho f - \nabla p \\ \rho I = p' I \end{cases} \quad (20)$$

当然, 该方程就是经典理论中的 Euler 方程。并且, 对于处于“有序状态”的“局部域”流体集合而言, 那个普遍的 Navier-Stokes 方程并不真实, 相反, 这个拥有确定物质内涵的 Euler 才可能被视为真正合理的物理学陈述, 进而为 Prandtl 边界层理论所指“主流区只能吻合于 Euler 方程”的人为认定提供了具有物质内涵的

可信基础。

总之, 对于以上所构造流体力学动力学基本方程的不同形式, 它们的存在都本质地依赖于运动中物质对象自身蕴含的物质结构。并且, 也仅仅于此, 才可能遵循“演绎逻辑”必须严格服从“从一般到特殊、从复杂到简单”的基本原则, 不可能出现由简单 Navier-Stokes 方程推导复杂 Reynolds 方程, 或随意使用 Euler 方程取代 Navier-Stokes 方程那样一些明显存在“认识悖谬”的行为。

当然, 对于建立在粒子系统之上, 式(7)所示的动力学方程, 作为因变量的速度分布 v 本质上对应于粒子系统中属于粒子的一种真实运动。因此, 正如汤川秀树曾经深刻指出的“大自然就是合理物理学陈述的解”那样, 如果粒子的真实运动 v 可以被合理地视为这个合理动力学陈述的解, 那么, 由于使用宏观表象速度 u 取代粒子的真实速度分布 v 以及不恒为零的无规速度 w 的存在, 对于一个被习惯称之为 Navier-Stokes 方程动力学方程(19)而言(更何况, 这个实际使用的方程流体力学中的理论方程并不完全一致), 人们可以做出具有严格逻辑意义的推断: Navier-Stokes 方程严格数学意义上的解“必然”不可能存在。并且, 逻辑上也不能由此得到“逆命题”普遍成立的推论, 即: 不能因为无规速度 w 等于零而推断 Navier-Stokes 方程的严格解存在。必须牢牢地树立一种理性的自我约束: 仅仅作为一种经验陈述, 当人们只允许使用几个宏观参数去描述一个“大数粒子”系统时, 任何一个流体力学基本方程充其量只能被视为某种较好的近似。同样, 只是为了明确表现这样一种“内蕴”于宏观物质自身的本质特征, 上述宏观表象方程特地使用了“ $\approx$ ”这个近似符号。

事实上, 对于此处做出的这个基本判断, 不仅仅与物理学中一切宏观理论的“经验表述”基础保持严格一致, 而且还需要形成一种“理性”意识, 即面对 10^{23} 以上的大数粒子系统, 谈论流体力学基本方程是否具有严格数学解的问题本身就不具本质意义, 或者说任何谈论“严格解”的命题必然隐含逻辑判断的不当, 哲学上只能大致归类于“形而上学”简单思维的范畴。正因为如此, 人们才可以合理地相信, 面对如此多的粒子, 尽管这个宏观动力学方程谈不上绝对合理, 相应也不可能存在数学意义上的严格解, 但是, 如果能够吻合于物质对象主要的物理真实, 那么这个大体真实的形式表述不仅合理存在, 而且也不可能发现更好的替代方程。进一步说, 对于文献[1]所提出的问题, 其实已经构成一个并不恰当的科学命题。人们不可能无视形式表述得以存在的物质基础, 凭借单纯的形式逻辑, 针对自身已经隐含大量逻辑不当的形式表述, 提出并且回答“是否有解甚至光滑解”的问题。逻辑仅仅保证“推论(Consequent)”与“前件(Antecedent)”之间严格逻辑相容, 永远不能告诉任何超越“逻辑前提”的独立事实。

3 流体力学“动力学速度边界条件”的重新提出

许许多多的流体力学文献都表明: 流场的“固壁”处不仅真实地存在流体的“滑移”运动, 而且, 一些现代流体力学实验就是以“测量固壁处流体滑移速度”作为命题的。当然, 如果从理论基础或形式逻辑的角度考虑, 黏附性边界条件与宏观表象速度内蕴的“统计平均”不仅在逻辑上形成冲突, 而且更为严重的问题是不能满足“力必须严格遵守的连续性——作用力和反作用力相等”这样一个“自然存在”的基本要求。因此, 对于流场的速度场 u 而言, 边界条件需要代之以

$$\begin{cases} u(x) = u_0, & x \in \partial V_1 \\ n \cdot u(x) = 0, \mu \frac{\partial u(x)}{\partial n} = -\beta p u, & x \in \partial V_2 \end{cases} \quad (21)$$

也就是说, 除了某些自由表面需要直接满足速度的连续性以外, 在流场的固壁处, 应该代之以更为真实、更为自然的动力学边界条件。其实, 固壁处动力学边界条件的表述, 原则上属于 Stokes

最初曾经做出的工作^[4]。考虑到 Poiseuille 流动的实验结果,那个时代的流体力学研究者最后不得已放弃了这个明显合理的动力学边界条件。但是,如果真正认识到流体的“粒子”质,那么,Stokes 动力学边界条件和 Poiseuille 流之间存在矛盾的问题并不难得到重新解释^[2]。当然,固壁处动力学边界条件中被视为经验常数的摩擦系数 β ,不仅仅决定于流体,还应该与固壁表面的实际物理状况有关^[2]。

与此同时,对于流场中同样需要被赋予“独立意义”的压力分布 p 而言,相应存在

$$\begin{cases} p(x)=p_{\infty} & x \in \partial V_1 \\ \frac{\partial p(x)}{\partial n}=0, & x \in \partial V_2 \end{cases} \quad (22)$$

其中的第 2 种边界条件表示:在流场固壁处,流体的法向分量 u_n 恒等于零,因此,与法线方向上没有动量流的物理真实一致,在允许不计体积力的特定场合,压力项的净作用效果 $\partial p/\partial n$ 恒为零^[4]。

此处的边界条件无疑是自然的,只是普通物理所述物理真实的简单重复。从数值计算的角度考虑,对于速度场的边值问题,使用第 3 类边界条件取代通常并不真实或过分严格的第 1 类边界条件,可望更方便于求解。

4 绕流体“最佳型线”的提出

根据经典的黏附性边界条件,由于固壁处没有流体的运动,固壁和流体之间逻辑上不允许存在任何形式的功率传递。因此,一个过分严格的黏附性边界条件显然存在物理失真。与此同时,仅仅在引入吻合物理真实的“动力学”边界条件以后,才可能给予绕流体“最佳型线”以确定的形式定义:

$$\min: w = \oint_b u_i \cdot t_i dA \quad (23)$$

并且,仅仅在动力学边界条件的基本认定基础之上,对于流场中绕流体由于表面上过大速度滑移引起的“表面烧蚀”问题,才可能相应建立与物理真实大概一致的数值计算模型。

5 压力场和速度场耦合流场恰当数学模型 (定解问题) 的重新构造

将重新提出的动力学边界条件直接与一般性动力学联系,并且,只是为了与人们通常使用的方式一致,仍然采取式(19)所示关于 Navier-Stokes 方程的习惯表述形式。在初始条件不显示地写出来的情况下,存在如下所示的定解问题:

$$\begin{cases} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = \rho f - \nabla p + \mu \nabla^2 u \\ u(x) = u_{\infty}, & x \in \partial V_1 \\ n \cdot u(x) = 0, \mu \frac{\partial u_n(x)}{\partial n} = -\beta p u_n, & x \in \partial V_2 \end{cases} \quad (24)$$

在这个特定的数学模型之中,不妨将压力 p “暂时”仅仅视为一个“可调整”的参量^[6]。

但是,正如前面分析以及几乎所有流体力学研究希望表明的那样,宏观意义的压力 p 具有独立的物理内涵。因此,只将压力 p 定义为速度场 u 某种形式的因变量乃至泛函,在物理内涵上都是不充分的,不能反映压力作为独立宏观物理量自身蕴含的物理内涵。或者说,除了式(22)赋予压力场分布以具有独立意义的边界条件以外,还需要为独立的压力场构造具有独立意义的泛定方程,以刻画压力场自身需要遵循的“共性”特征。

需要特别注意的是,前面的分析曾经明确指出:对于仅仅具有形式意义,而且在具体表述形式上实际上已经被修正的 Navier-Stokes 方程,即

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = \rho f - \nabla p + \mu \nabla^2 u \quad (25)$$

并不是纯粹的“理论”方程,只是用以大致刻画“大数粒子集合”宏观表象,一个用于预测某一类流动现象的“近似”计算模型。或者说,这个宏观表象方程,形式上仍然根本渊源于粒子系统的“一般性”动量方程,而物理内涵上则需要决定于相关的经验事实。因此,当宏观表象意义的“压力 p ”和“速度 u ”同样蕴含于这个一般性方程的同时,确定这 2 个“独立”宏观物理量的泛定方程,即刻画 2 个不同宏观物理量各自“抽象同一性”的形式表述,仍然只可能“共同”形式地渊源于此处的形式表述。

事实上,考虑到一阶微分方程不能在三维 Euclid 空间 R^3 中构造恰当的定解问题,因此,对于刻画宏观压力分布 p 抽象特征的泛定方程而言,源于原动力学方程的一个允许形式只能是原方程的散度方程

$$\nabla^2 p = -\nabla \cdot [\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) - \rho f] + \mu \nabla^2 \theta \quad (26)$$

式中, θ 为速度场 u 的散度。于是,相应存在

$$\begin{cases} \nabla^2 p = -\nabla \cdot [\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) - \rho f] + \mu \nabla^2 \theta \\ p(x) = p_{\infty} & x \in \partial V_1 \\ \frac{\partial p(x)}{\partial n} = 0, & x \in \partial V_2 \end{cases} \quad (27)$$

该数学模型为以压力分布 p 为待定物理量,与刻画宏观物质“粒子”本质的“一般性”动量方程保持“大体”逻辑相容;另一个希望具有独立意义的定解问题,并且,对于此处关于压力 p 所构造的定解问题,它所必须的“独立性”基础还逻辑地渊源于只可能凭借独立“经验事实”而确定的“动态”状态方程或本构方程

$$p(x) = p(\rho, u) \quad (28)$$

如果允许或者需要将密度 ρ 视为一个常数,则压力 p 成为速度场 u 的泛函。

上述 2 个定解问题共同渊源于粒子系统的一般动力学方程,互为“耦合”地存在着:前者以速度 u 为因变量、以压力 p 为参量;后者则以压力 p 为因变量、以速度 u 为参量。因此,对于“压力和速度处于耦合之中”的流场,在无需满足“连续性方程”这个并不真实的附加约束方程,即需要重新使用式(18)所述的动力学方程形式时,一个数学上可计算的完整物理模型(定常情况)为:

$$\begin{cases} \mu \nabla^2 u = \nabla \cdot (\rho u u) - \rho f + \nabla p \\ u(x) = u_{\infty}, & x \in \partial V_1 \\ n \cdot u(x) = 0, \mu \frac{\partial u_n(x)}{\partial n} = -\beta p u_n, & x \in \partial V_2 \\ \nabla^2 p = -\nabla \cdot (\rho u u) + \nabla \cdot (\rho f) + \mu \nabla^2 \theta \\ p(x) = p_{\infty} & x \in \partial V_1 \\ \frac{\partial p(x)}{\partial n} = 0, & x \in \partial V_2 \\ p = p(\rho, u) \end{cases} \quad (29)$$

在这个耦合模型之中,除了无渗漏的法向速度边界条件以外,固壁边界上的其它定解条件相应形成关于“力的连续性条件”的一个完整描述。

对于气体流动,在边界层不存在“脱体”现象的时候,往往还可以直接使用 Euler 方程,转化为相对简单形式:

$$\begin{cases} \rho u \cdot \nabla u = -\rho f + \nabla p \\ \nabla^2 p = -\nabla \cdot [\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u - \rho f \right)] \\ u(x) = u_{\infty}, & x \in \partial V_1 \\ n \cdot u(x) = 0, \mu \frac{\partial u_n(x)}{\partial n} = -\beta p u_n, & x \in \partial V_2 \\ p(x) \approx p_{\infty} - \frac{1}{2} \rho u^2, & x \in \partial V \\ p = p(\rho, u) \end{cases} \quad (30)$$

式中使用了“恒温”条件下的 Bernoulli 方程。

6 压力和速度泛定方程的“独立性”要求以及连续性方程“失真问题”的补充分析

以上分析构造了处于耦合之中的定解问题。这个数学模型表面上要复杂一些,而且目前尚没有进行初步的数值模拟计算,由此可以推测,随着研究的继续深入肯定还会暴露许多需要进一步探讨或者深化考察的问题。

毋庸置疑的是,流场中的压力分布和速度分布,应该被合理地视为2种被赋予独立物理内涵的独立物理量。因此,以上的基本分析应该是大体合理的,特别是除了承认现代流体力学分析必须的“宏观表象连续可微”假设,借助于“覆盖”操作将其与流体的“粒子本质”构造逻辑关联,并且一再强调理论模型必须的经验基础以外,从形式逻辑的角度考虑并没有提出任何独立的人为假设。但是,正如初步探讨以及初步交流实际表明的那样,为了保证该数学模型所描述的压力场和速度场具有希望被赋予的独立意义,必须认真对待2个泛定方程是否具有“独立性”这个基本问题;同时,还需要对实际上已经不再考虑“连续性方程”的事实做出合理解释。

首先,值得指出的是,如果仅仅从“形式表述”而无视相关物理内涵的角度考虑,那么,

$$\nabla^2 p = -\nabla \cdot [\rho(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u - f)] + \mu \nabla^2 \theta \quad (31)$$

与式(26)所示的数学表述基本保持一致。但是,关于压力 p 的泛定方程早已为人们提出,因此,与本文所考虑问题的逻辑前提以及物理基础都完全不同,相关分析的全部基础仍然只是经典流体力学的Navier-Stokes方程,以及经典表述的黏附性边界条件。如果以文献[5]中的相关讨论为例,不难看出在其所考虑的“不可压缩流”的“压力场”分布时,讨论问题的全部基础是:

$$\begin{cases} \rho(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u \\ \nabla \cdot u = 0 \\ u(x) = u_b, x \in \partial V \end{cases} \quad (32)$$

也就是说并没有为压力场提出任何具有独立意义的泛定方程和边界条件,只不过考虑到泛定方程仅仅存在压力梯度 ∇p 的表述,无法为其构造 R^3 中恰当“边值问题”这个纯粹属于形式逻辑方面的问题,才借助于对Navier-Stokes方程的散度运算构造属于压力场的泛定方程。在散度恒为零的特定条件下,逻辑地推导出:

$$\begin{aligned} \nabla^2 p &= -\nabla \cdot [\rho(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u - f)] + \mu \nabla^2 \theta \\ &\xrightarrow{f, \theta=0} \\ \nabla^2 p &= -\nabla \cdot (\rho u \cdot \nabla u) \end{aligned} \quad (33)$$

与此同时,并没有提出具有独立意义压力场边界条件,只是Navier-Stokes方程在边界上的法向分量投影:

$$n \cdot \nabla p = \frac{\partial p}{\partial n} = -\nabla \cdot (\frac{\partial u_n}{\partial t} + u \cdot \nabla u_n) \quad (34)$$

相应并不具有任何独立的物理意义。当然,这正如一些学者早已指出的那样,此时的压力梯度 ∇p 仅仅是“被动的力”,本质上只是为了满足“散度恒为零”这个附加“约束条件”而必须补充的“起调节作用”的形式量而已。因此,以上针对压力分布 p 所构造的定解问题不具任何独立物理内涵,或者说没有真正改变经典流体力学理论体系中压力只能作为“从属量”而存在的物理本质^[6]。

但是,式(26)所示的压力方程虽然与式(31)形式上保持一致,并且似乎都是从动力学方程演绎推导而得,其实两者的物理内涵与物理基础完全不同。事实上,正如此处的讨论一再指出的那样,宏观表象意义的动力学方程(18)仅仅具有“形式”意义,或者只是为流场预测提供了一个“计算格式”而已,完全不同于经典

理论对Navier-Stokes方程作为“理论方程”的那种习惯理解。在这个特定的“计算格式”中,存在式(15)和式(16)所定义的2个宏观物理量,即 $p \stackrel{\text{def}}{=} \rho u w + p' I$ 和 $\Sigma \stackrel{\text{def}}{=} -[\rho(uw + wu)] + \mu_{\text{Newton}} \nabla u$ 。

由于该定义式中的无规运动速度 w 超越了形式系统可能表述的范畴,此处的这个“动力学方程”并不真的满足“自变量必须与因变量一一对应”这样一个需要为一般“数学方程”必须满足的基本要求。如果更明确和准确地说,与上述2个宏观物理量,即压力 p 和表观应力张量 Σ 只可能依赖于相关“独立经验事实”而存在的基本判断形成严格逻辑对应,此处只能被称之为某种特定“计算格式”的宏观表象方程(18)在逻辑上是“欠定”或者“不完备”的。因此,根本不可能、也不允许对该计算格式允许蕴含的不同“独立经验事实”构成逻辑否定。

需要形成一种“自觉”的理性意识,面对“大数粒子系统”需要表现的“复杂”宏观物理实在,任何一种形式表述系统都只可能是“欠定、条件存在、有限真实”的。在这个意义上,流体力学中的所有“基本方程”与经典热力学理论中状态方程形形色色的不同“数学表述形式”相仿,只不过提供了某种特殊的、与物理实在相对更为接近一些的“计算格式”而已。事实上,在描述复杂流动现象时之所以必须提出不同的“湍流”模型,从单纯形式表述的角度考虑,同样只是因为那个原来的“计算格式”变得过分简单,已经无法对流场之中“局部域流动结构”的真实影响做出有效刻画;而从物理本质考虑,则是那个源于流体“粒子本质”的动力学方程,即方程(7)才更真实。而习惯称作的Navier-Stokes方程,充其量不过是这个一般性方程在特定“条件约束”下构造的“像”方程而已。与其一致,根本不可能由描述简单流动现象的Navier-Stokes方程逻辑地推导出用于描述复杂流动现象的Reynolds方程。正因为此,在此处所讨论“各向同性和流场均匀化假设”的前提下,以速度场 u 为因变量以及以压力场 p 作为因变量的2种泛定方程,即

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = \rho f - \nabla p + \mu \nabla^2 u \quad (35)$$

和

$$\nabla^2 p = -\nabla \cdot [\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) - \rho f] + \mu \nabla^2 \theta \quad (36)$$

一方面被赋予必须的“独立”意义,分别刻画与压力 $p(\rho, u)$ 和表观应力张量 $\Sigma(u)$ 相对应的两种不同独立经验事实;另一方面,又因为它们源于相同的计算格式,而自然地处于“彼此耦合”之中。

此外,式(21)和式(22)所表示速度和压力边界条件,根本不是逻辑地渊源于某一个“形而上学”意义上的基本方程,而被赋予与不同基本物理实在一致的独立性意义。这样,使得式(24)和式(25)所示的两类定解问题被赋予了必须的“完整”独立性,实际上构成一个处于“耦合”之中、相对更为“复杂”的定解问题。

至于式(10)所示的“连续性方程”实际舍弃不用“是否合理”的问题,除了需要注意推导该形式表述所必须的逻辑前提以外,一个基础性的前提认识在于:连续性方程仅仅逻辑地隶属于“连续介质”模型,仅仅对于那个并不真实存在的连续介质,才需要满足被Eringen将“连续性公理”生动地称之为“不可切入公理”时,所提出“相连的始终相连,不相连的不得相连”的基本要求。也就是说,对于与“实数空间”抽象同一的连续介质而言,在其所占据的几何空间中既不得存在“孔隙”,也不允许发生“质量重叠”现象。当然,也仅仅因此,现代“理性力学家”才会提出“连续介质只能在作为六维Euclid空间 R^6 子空间的三维流形 M^3 中运动”的推断^[7]。

但是,物质世界是粒子的。粒子系统的几何本质,恰恰在于对“连续性”要求形成完全逻辑否定的“离散”特征。粒子系统充满孔隙,完全谈不上连续介质力学所说“连续性公理”得以存在的物质基础和逻辑前提。众所周知,即使对于某些认同连续介质力学的

“理性力学家”们,也早已深刻指出“连续介质无论怎样分割也不可能变成粒子;而粒子无论怎样也拼凑不出连续介质”这个具有根本意义的事实。因此,连续性方程在逻辑上是完全多余乃至不真实的。而且,如果许多从事流场数值计算的研究者熟知“泛定方程采取守恒格式更便于计算”的时候,一个隐含于这个表现事实中的物理本质或许正在于“连续性方程内蕴的不真实性”之中。至于一切物理学陈述通常必须的“质量守恒”要求,实际上已经由速度场的“无渗透”边界条件得以保证。对于“粒子系统”而言,只需要在整体意义上满足质量守恒条件,在一个到处“充满孔隙”的几何空间内部,无需,也根本谈不上“局部”意义上的质量守恒。

7 结束语

随着人类理性认识的逐步深化,期望表述的物理实在愈益丰富,相关的形式系统也自然会在一定程度上变得复杂起来。无视形式表述所描述“物质对象”的准确认定,却始终纠缠于某一个缺乏恰当“物质基础”,以及形式逻辑明显存在大量不当的形式系统,进行同样不讲究逻辑严谨性的“无穷演绎”,肯定是没有出路的。

一个具有本质意义的基本判断首先在于:形式系统的复杂性根本决定于被描述物质对象自身内蕴的复杂性。当面对一个大数粒子系统,希望做出相对更为真实,也拥有格外丰富信息的描述的时候,人们必须形成一种自觉意识:形式系统不可能凭借纯粹的演绎逻辑推导出来,必然永恒差异于那个希望描述的物质对象;经验事实是构造形式表述的唯一基础。从另一个角度说,一个相对更为真实、更为合理的数学物理模型,只不过与某一类大致相仿的物理真实更吻合罢了;而这个相对较好的数学物理模型相

应成为这一类物理实在内蕴抽象同一性的较好描述的同时,也能够为人们的理性思考提供物质基础。

因此,与上述基本判断一致,同样需要形成一种理性意识:对于流体力学构造的任何一组“恰当”定解问题,只不过是展现“某一类”流动现象某种“共性”特征提供了一个“可计算”的模型而已。因此,在研究流动现象时,需要以不同的特定“计算格式”作为基础,首先通过流场的实际测量“反算”出该特定计算格式中的主要参数,继而再将它们应用于与其“大致相仿”的流体运动场合。当然,任何探讨 Navier-Stokes 方程是否存在“严格、光滑”解的命题,本质上都是一种形而上学范畴的不恰当命题。

参考文献(References)

- [1] CHARLES L. Fefferman, existence & smoothness of the Navier-Stokes equation [M]. Princeton Univ., Department of Mathematics. Princeton, N J, 2000, 08 544-1 000.
- [2] 杨本洛. 湍流及理论流体力学的理性重构 [M]. 宏观物理学的哲学和数学反思(第一卷). 上海:上海交通大学出版社,2003.
- [3] 杨本洛. 理论流体力学的逻辑自洽化分析——源于湍流的哲学和数学思考[M]. 上海:上海交通大学出版社,1998.
- [4] LAMB H. Hydrodynamics[M]. Sixth Edi. Cambridge Univ. 1932.
- [5] JULIO R CLAEYSEN, RODRIGO B PLATTE, ELBA BRAVO. Simulation in primitive variables of incompressible flow with pressure Neumann condition[J]. International Journal for Numerical Method in Fluids, 1999,30: 1 009-1 026.
- [6] 吴望一. 流体力学,下册[M]. 北京:北京大学出版社,1983.
- [7] A C 爱林根. 连续统力学[M]. 北京:科学出版社,1991.

(责任编辑 李慧政)

·读者·作者·编者·

《以科学发展观促进科技创新 ——中国科协 2005 年学术年会论文集》出版

2005 年 8 月 18 日-23 日,以“科学发展观与资源可持续利用”为主题的中国科协 2005 年学术年会在新疆召开。本届学术年会除进行为期两天的大会报告外,还设立了 51 个分会场,并专门组织了 12 个新疆专题论坛;5 000 多名来自全国各地科研、教学、生产、管理第一线的科技工作者,分别在乌鲁木齐市、石河子市和昌吉州 3 地的有关科研院所开展了学术交流;其中 16 位领导、著名科学家和技术专家作了大会报告,1 000 余名参会代表在各自的分会场、专题论坛上作了学术报告。为确保学术交流的质量,本届年会要求各分会场主办单位组织学术委员会审定其所负责分会场的所有参会论文,评审通过的论文作者才能获得参会代表的资格和报告交流的机会。

在对参会论文的结集出版问题上,本届学术年会也尝试了下述改革:① 论文出版遵循“论文作者自愿,出版费用自理”的原则;② 年会召开前不出版论文摘要集,而是在年会结束后再陆续出版全文论文集;③ 虽向年会提交了论文但却没有到会的作者,其论文原则上不予收入文集出版;④ 各分会场主办单位自行组织编辑并联系出版论文集,无条件的主办单位统一交由中国科协科技导报社组织编辑并联系出版其分会场的论文集。

受中国科协学会学术部委托,本届年会共有 21 个分会场的论文交由我社编辑出版。年会结束后,我社将 21 个分会场审核合格的 419 篇学术论文编辑成《以科学发展观促进科技创新——中国科协 2005 年学术年会论文集》图书,分上、中、下 3 册交中国科

学技术出版社出版,使其成为中国科协 2005 年学术年会论文集全集的重要组成部分。《以科学发展观促进科技创新》上册收录第 43 分会场论文 126 篇,中册收录第 9、第 23、第 38、第 46、第 47、第 48 共 6 个分会场论文 147 篇,下册收录第 4、第 8、第 15、第 17、第 21、第 27、第 28、第 29、第 34、第 35、第 40、第 41、第 44、第 45 共 14 个分会场论文 146 篇。

《以科学发展观促进科技创新》2006 年 1 月出版,全书定价 360 元,上、中、下各册分开购买每册 120 元。我社将给每篇论文作者免费寄送一本收录有其论文的单册图书(作者若多于一人,将只免费寄送通讯作者)。欲购买本图书者,请直接汇款我社邮购(北京市学院南路 86 号科技导报社年会论文集办公室,邮政编码 100081),并在汇款单留言上注明数量和册种。2006 年 3 月 31 日前购买者(以汇款日期为准),全书可按 300 元、单册可按 100 元优惠价邮购。

(本刊编辑部)

