

学术报告

应我校数学与系统科学学院邀请，清华大学航空航天学院副院长任玉新教授将于2018年8月27日—30日来访并做系列学术报告。以下是学术报告信息及任玉新教授简介。欢迎广大师生前往聆听。

报告题目：求解不可压缩流动的高精度投影方法

报告时间：2018年8月28日 10:00-12:00

报告地点：数学楼 2#-207 会议室

报告摘要：

在数值求解原始变量形式的非定常、不可压缩 N-S 方程的方法中，投影方法凭借计算高效的优点，已成为当前研究的热点。目前，绝大多数不可压缩数值方法，在时间方向上都仅仅停留在一阶或不完整的二阶精度。因此，我们从提高数值方法计算精度入手，构造了高阶时间精度的投影方法，并将投影方法推广到非交错网格和一般坐标系及动网格中。

在高阶精度投影方法的研究方面，开展了如下工作：(1) 提出了连续投影方法的概念，从而避开了半离散和全离散形式投影方法在理论分析中遇到的一些困难。(2) 通过局部截断误差分析的方法，推导了连续投影方法具有二阶、三阶时间精度的充分条件，并得到了两类具有完全二阶和三阶时间精度的投影方法。(3) 根据连续投影方法为二阶、三阶时间精度的充分条件，有力地说明了投影方法的人工边界条件与采用的估计压力有密切联系，并对投影方法的精度有重要影响，从而澄清了投影方法精度与人工边界条件的相关争议。(4) 通过稳定性的启示性分析表明，本文提出的二阶、三阶投影方法是稳定的；压力更新公式对三阶或更高阶精度投影格式的稳定性有重要影响，采用相容压力更新公式的投影格式是稳定的，否则将是不稳定的。这些结论也得到了数值实验的验证。

在非交错网格上的投影方法研究方面，提出了两种避免压力奇偶失连的技术：(1) 通过引入几何网格雷诺数和考虑压力奇偶失连程度的自适应系数，对 Armfield 近似投影方法^[7]进行了改进，拓宽了它的应用范围和提高了它的精度。(2) 提出了一种基于压力滤波的精确投影方法，该方法具备交错网格一些重要特征，适用于高雷诺数流动的计算。

学术报告

应我校数学与系统科学学院邀请，清华大学航空航天学院副院长任玉新教授将于2018年8月27日—30日来访并做系列学术报告。以下是学术报告信息及任玉新教授简介。欢迎广大师生前往聆听。

报告题目：非结构网格高精度紧致有限体积方法

报告时间：2018年8月28日 16:00-18:00

报告地点：数学楼 2#-207 会议室

报告摘要：

非结构网格高精度数值方法，在提高复杂工程流动问题精细模拟的计算效率方面具有很大的潜力。非结构网格高精度有限体积方法存在重构模板过大的瓶颈问题，限制了其在实际流动问题中的应用。我们的主要目标是克服高精度有限体积方法重构模板过大的瓶颈问题，发展紧致高精度有限体积方法，并应用于可压缩流动问题的数值模拟。

紧致高精度有限体积方法的核心是紧致高精度重构。我们提出了能够在紧致模板上达到任意高阶精度的“紧致最小二乘重构”和“变分重构”方法。“变分重构”克服了紧致最小二乘方法在重构矩阵奇异性和边界处理方面的不足，通过求解全局泛函极值问题，得到一个“最光滑”的分片多项式分布。相比于传统重构和紧致最小二乘重构，变分重构最大的优势是其重构矩阵具有对称正定特性，因此重构矩阵是非奇异的，变分重构有唯一解。另外，紧致最小二乘需要在边界单元上降一阶，而变分重构在边界单元上无需降阶，能够达到全场一致高阶精度。

我们提出了“重构和时间推进耦合迭代方案”来避免重构迭代造成的额外计算量，提高基于隐式重构的有限体积方法的计算效率。我们将重构迭代和隐式双时间步法的迭代相耦合，在每个虚拟时间步只进行一次重构迭代。重构和时间积分这两个相互耦合的过程最终会一起收敛。

另外，我们进一步完善非结构网格高精度有限体积方法求解体系，包括高阶网格变换、基于特征变量的限制器、粘性通量、高阶隐式时间推进等方面。通过大量的数值算例验证了非结构网格紧致高精度有限体积方法的精度、效率和激波捕捉能力，以及相对于二阶方法的优势。

学术报告

应我校数学与系统科学学院邀请，清华大学航空航天学院副院长任玉新教授将于 2018 年 8 月 27 日—30 日来访并做系列学术报告。以下是学术报告信息及任玉新教授简介。欢迎广大师生前往聆听。

报告题目：求解可压缩流动的色散最小、耗散可控的高分辨率格式及其应用

报告时间：2018 年 8 月 29 日 10:00-12:00

报告地点：数学楼 2#-207 会议室

报告摘要：

可压缩湍流问题是超声速、高超声速先进飞行器气动设计中的关键问题之一。随着航天航空技术的发展，可压缩湍流问题的研究越来越引起人们的重视。而随着计算流体力学和大型并行计算机的迅速发展，数值模拟成为研究可压缩湍流的重要手段之一。我们的主要工作是发展改进湍流直接数值模拟的算法，并应用于可压缩槽道湍流流动及其控制。

我们发展了一类耗散可控的低色散有限差分格式。首先推导了半离散有限差分格式具有独立耗散和色散的充分条件，此充分条件能够保证差分格式的耗散和色散分别优化，且格式耗散特性的改变不会影响其色散特性，这是以往格式所不具备的；其次，为了使格式具备激波捕捉能力，把优化格式的系数作为 WENO 格式的线性部分，非线性部分借用一种改进的 WENO 格式的权重系数；最后，把这两种格式进行混合，构造了一类适用于可压缩湍流的直接数值模拟的混合格式。此类混合格式在光滑区域具有很好的谱特性，而在间断附近有很好的激波捕捉能力。数值实验表明该格式在保持高精度，高分辨率的同时，计算量比 WENO 格式更小。

利用直接数值模拟研究了马赫数对可压缩槽道湍流的影响，主要分析并且比较了 $Ma_m = 0.33, 0.8, 1.5, 4.0$ 时可压缩槽道湍流的湍流统计量、近壁区的相干结构以及湍动能的输运。结果表明，在 $Ma_m \leq 1.5$ 的范围内，压缩性对平均速度的影响不大，在考虑到可压缩修正后，平均流向速度分布符合不可压缩槽道湍流速度分布。但在 $Ma_m = 4.0$ 时，密度脉动占到平均密度的 28%，温度脉动约为壁面温度的 50%，Morkovin 假定失去其成立的基础，已不再有效。马赫数对湍流近壁区的相干结构有较大的影响。随着马赫数的升高，近壁区的条带结构在流向变长，在展向变宽，条带更加稳定，近壁区的涡结构减少。

在本文研究的马赫数范围内，可压缩相关项只在湍动能输运中占很小的比例，对湍动能输运的影响很小。但可压缩相关项为负，说明压缩性对湍动能有抑制作用，并且随着马赫数的升高，这种抑制作用逐渐增强。

对可压缩槽道湍流进行了主动减阻控制研究。在槽道下壁面布置一系列可以智能运动的凹坑，通过相应的控制方案对凹坑进行控制，以减小壁面的摩擦阻力。研究发现，为了有效的减阻，凹坑的尺寸在展向应该与条带结构的尺寸相当或者更窄，而在流向应该拉长。利用反向控制和实际的智能凹坑，对 $Ma_m = 0.33$ 和 $Ma_m = 1.5$ 的槽道湍流分别得到了约 15% 和 12% 的减阻效果。这说明根据不可压缩槽道湍流发展的减阻控制方案在可压缩槽道湍流中仍然有效。同时，对减阻的机理进行了研究，智能凹坑对湍流脉动的抑制和对近壁区平均流向速度梯度的削弱是摩擦阻力减小的主要原因。

“天山学术论坛”学术报告

应我校数学与系统科学学院邀请，清华大学航空航天学院副院长任玉新教授将于2018年8月27日—30日来访并做学术报告。以下是学术报告信息及任玉新教授简介。欢迎广大师生前往聆听。

报告题目：多物质界面失稳及湍流混合的数值模拟方法及机理分析

报告时间：2018年8月29日 16:00-18:00

报告地点：数学楼 2[#]-207 会议室

报告摘要：

The interaction between the shock wave and the Air-SF₆-Air gas curtain, and the associated instability of the reshocked interface are numerically studied using high resolution finite volume method with Minimum Dispersion and Controllable Dissipation reconstruction. To improve the efficiency of the three-dimensional numerical simulation, the moving grid algorithm based on the Arbitrary Lagrangian–Eulerian formulation is adopted. A region with finer grid covering the mixing zone moves in a suitable velocity to guarantee the flow structures produced by the interfacial instability can be computed with sufficient resolution during the whole process of the numerical simulation.

The evolution of flow structures shows that, although the initial perturbation of interface is two-dimensional, the reshock process will lead to an asymmetrical instability and enhance the mixing of fluids dramatically. The exponential scaling laws for the growth of mixing width are observed both before and after the reshock. The nearly homogeneous fluids mixing at the late stage after the reshock is confirmed by the temporal asymptotic behaviors of mixing parameters such as local anisotropy and density-specific volume correlation. Both the decoupled length scales as well as the broadened inertial range of turbulent kinetic energy spectrum and density fluctuation spectrum imply that the turbulent mixing transition is triggered at the late stage.

Just after the reshock, the energy transfer in Fourier space indicates there is intense backscatter in the transportation of kinetic energy and at the later stage, the forward scatter quickly becomes dominant. Additionally, the approximately constant energy transfer in inertial range, which is analytically reported by Aluie (PRL 106: 174502, 2011) and numerically manifested by Chen for compressible single-component turbulence flow (PRL 110: 214505, 2013), is also achieved in the shock driven multi-component turbulent mixing flow in the present study. The extended inertial range of approximately constant energy transfer is highly consistent with the broadened range of wave numbers with decaying law of $k^{-5/3}$ of turbulent kinetic energy, which also indicates the appearance of turbulent mixing. The analysis of SGS energy transfer also manifests the above properties of energy cascade in physical space. Furthermore, the investigation on the role of coherent structures in SGS energy transfer indicates that the backscatter of SGS energy is most prominent in the regions with washing motion induced by nearly 2D vortical structures. However, the intense forward scatter of SGS energy occurs in the regions where two washing motions collide with each other leading to highly 3D motions.

任玉新教授简介

任玉新，教授，清华大学航天航空学院副院长。

学术兼职： 中国空气动力学会副理事长，
空气动力学报副主编

研究领域： 计算流体力学，空气动力学



长期从事计算流体力学研究，研究方向为结构网格、非结构网格高精度格式，湍流模拟及控制，飞行器动导数研究等。其中在高精度格式的色散、耗散控制，非结构网格保精度限制器，非结构网格高精度紧致有限体积方法、飞行器动导数计算方法等方面取得了一系列的原创性成果。现任中国空气动力学会副理事长，《空气动力学报》副主编，国际计算流体力学大会（ICCFD）科学委员会委员。曾任力学学会流体力学专业委员会委员、CFD 专业组组长，*Computer & Fluids* 中国区编辑。获得过力学学会青年科技奖，中国核工业总公司、华能电力集团等科技进步奖。