**项目名称：Navier-Stokes方程组线性化算法研究**

**推荐单位：**西安交通大学

**主要完成人：**何银年，李剑

**项目简介：**

本项目属于计算数学及计算流体动力学的交叉学科领域。

Navier-Stokes（N-S）方程组是描述流体运动的典型非线性方程组，在工程应用和非线性科学研究方面非常重要，并对人们认识和控制湍流及复杂流体动力学行为具有重大意义。然而人们对非线性现象本质的认识有限，这导致数值模拟成为一种十分重要的研究手段。但直接数值模拟N-S方程组有四大难题，即如何处理不可压缩约束条件 div u=0、强非线性、长时间区间积分和小粘性参数的问题。本项目针对在求解不可压缩N-S方程组中出现的上述四大难题，用有限元和有限体积元方法设计出高效稳定的数值格式，并进行了全面和系统的分析研究，建立了一套有关不可压缩N-S方程组数值模拟求解的完整理论分析和数值计算方法。主要发现点如下：

1. 提出了求解N-S方程组的低等阶元局部高斯积分稳定化方法，证明了数值解的适定性和最优收敛阶，解决了处理不可压缩约束条件div u=0的难题。欧洲科学院院士Alfio Quarteroni教授发表文章指出，“Li（项目第二完成人）和Chen提出的一种特殊的Petrov-Galerkin方法，推进了有限体积元方法的发展”。

2. 发现并证明了在初值光滑条件下求解非定常N-S方程组的线性化隐式/显式全离散有限元算法是几乎无条件收敛的，突破了传统意义上时间步长依赖网格尺度的苛刻约束条件限制，解决了如何处理强非线性和长时间区间积分的难题。美国三院院士Hughes教授、美国工程院院士Oden教授、法国科学院和欧洲科学院Glowinski教授及巴西科学院院士袁锦韵教授指出，“He（项目第一完成人）等人提出的线性化隐式/显式大时间步长格式属于当前非线性科学研究的热点领域，克服了显式格式对时间步长苛刻的约束条件，解决了求解强非线性和大时间区间积分的难题，并首次给出了线性化隐式/显式全离散有限元算法几乎无条件稳定和收敛的证明”。

3. 提出了求解定常N-S方程组的粘性相关迭代法和时空隐式/显式迭代算法，证明了数值解的稳定性和最优收敛阶，解决了求解定常N-S方程组时如何处理小粘性参数的难题。加拿大阿尔伯塔大学的资深教授Yaushu Wong评价：“该方法的解决了如何处理小粘性参数的难题”。

本项目共发表SCI文章110篇, 其中在计算数学和力学类国际顶尖期刊SIAM Journal on Numerical Analysis，Numerische Mathematik，Mathematics of Computation及Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering，Journal of Computional Physics发表文章20篇。110篇文章被SCI他引981次，10篇代表作被SCI他引299次，其中2篇为ESI高被引论文，分别被SCI引用91次和51次。He在ESI全球数学领域的高被引作者排名居前18%（281/1519），H指数为20，并于2014年入选爱思唯尔中国高被引学者榜单，He应邀在国际学术会议上作大会报告8次，并指导一名博士生获得2013年陕西省优秀博士学位论文奖1次。

**主要完成人情况表：**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 何银年 | 性 别 | 男 | 1 | 排 名 | 1 |
| 工作单位 | 西安交通大学 |
| 完成单位 | 西安交通大学 |
| 技术职称 | 教授11 | 1 |
| 曾获科技奖励情况 | “复杂约束条件气液两相与多相流及传热研究”获2007年国家自然科学二等奖（第五完成人） |
| 本人对本项目主要学术贡献：（限300字） |
| 本项目学术带头人，总的学术思想和理论体系的设计者，发现点1的主要贡献者及发现点2和发现点3的主要完成者。代表作【2,5,6,7,8,10】的第一作者，代表作【1,9】的通讯作者。投入该项目的工作量占本人工作量的80%。 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 李剑 | 性 别 | 男 | 1 | 排 名 | 2 |
| 工作单位 | 宝鸡文理学院 |
| 完成学校 | 宝鸡文理学院 |
| 技术职称 | 教授11 | 1 |
| 曾获科技奖励情况 |  |
| 本人对本项目主要学术贡献：（限300字） |
| 本项目主要贡献者，发现点1和发现点3的核心贡献者和完成者。代表作【1,3,4】的第一作者，代表作【2，10】的通讯作者。投入该项目的工作量占本人工作量的80%。 |

| 1.不超过10篇代表性论文、专著 |
| --- |
| **序号** | **论文、专著****名称/刊名/作者** | **影响因子** | **年卷页码****年(卷):页码** | **发表年月** | **通讯作者/第一作者****(中文名)** | **SCI****他引次数** | **他引****总次数** | **是否国内完成** |
| **1** | **A stabilized finite element method based on two local Gauss integrations for the Stokes equations/ Journal of Computational and Applied Mathematics/ Li，J；He，YN** | **1.266** | **2008年214卷58-65页** | **2008-04** | **何银年/李剑** | **69** | **114** | **是** | **1** |
| **2** | **A stabilized finite element method based on local polynomial pressure projection for the stationary Navier-Stokes equations/ Applied Numerical Mathematics / He，YN；Li，J** | **1.221** | **2008年58卷1503-1514页** | **2008-10** | **李剑/何银年** | **35** | **63** | **是** | **1** |
| **3** | **A new stabilized finite element method for the transient Navier-Stokes equations/ Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering/ Li，J；He，YN；Chen，ZX**  | **2.959** | **2007年197卷22-35页** | **2007-08** | **陈掌星/李剑** | **42** | **82** | **是** | **1** |
| **4** | **A new stabilized finite volume method for the stationary Stokes equations/ Advances in Computational Mathematics/ Li，J；Chen，ZX** | **1.487** | **2009年30卷141-152页** | **2009-02** | **陈掌星/李剑** | **18** | **37** | **是** | **1** |
| **5** | **On large time-stepping methods for the Cahn-Hilliard equation/ Applied Numerical Mathematics/ He，YN；Liu，YX；Tang，T**  | **1.221** | **2007年57卷616-628页** | **2007-05** | **汤涛/何银年** | **48** | **60** | **是** | **1** |
| **6** | **The Euler implicit/explicit scheme for the 2D time-dependent Navier-Stokes equations with smooth or non-smooth initial data/ Mathematics of Computation/ He，YN**  | **1.491** | **2008年77卷2097-2124页** | **2008-05** | **何银年/何银年** | **16** | **25** | **是** | **1** |
| **7** | **Stability and convergence of the Crank-Nicolson/Adams-Bashforth scheme for the time-dependent Navier-Stokes equations/ SIAM Journal on Numerical Analsis/ He，YN；Sun，WW** | **1.788** | **2007年45卷837-869页** | **2007-04** | **何银年/何银年** | **22** | **34** | **是** | **1** |
| **8** | **Convergence of three iterative methods based on the finite element discretization for the stationary Navier-Stokes equations/ Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering/ He，YN；Li，J** | **2.959** | **2009年198卷1351-1359页** | **2009-03** | **何银年/何银年** | **36** | **44** | **是** | **1** |
| **9** | **Some iterative finite element methods for steady Navier-Stokes equations with different viscosities/ Journal of Computional Physics/ Xu，H；He，YN** | **2.434** | **2013年232卷136-152页** | **2013-01** | **何银年/徐辉** | **7** | **10** | **是** | **1** |
| **10** | **Numerical comparisons of time-space iterative method and spatial iterative methods for the stationary Navier-Stokes equations/ Journal of Computional Physics/ He，YN；Li, J** | **2.434** | **2012年231卷6790-6800页** | **2012-08** | **李剑/何银年** | **6** | **8** | **是** | **1** |