

序号	奖种	项目名称	第一完成人
1	自然科学	非线性波动方程解的适定性	周忆

项目名称：

中文名：非线性波动方程解的适定性

英文名：Well-posedness of Solutions to Nonlinear Wave Equations

提名意见：

该项目研究艰深的非线性波动方程解的适定性理论，项目完成人取得了一系列国际领先的原创性成果，特别是：

1. 在波映照方程弱解的研究方面取得了国际同行（包括 ICM 报告人 Shatah 和 Struwe）公认的重要贡献；关于量子场论中描述基本粒子相互作用的 Faddeev 方程小初值经典解的工作被同行称为“首次”，并被评价为“最引人注目的成果”之一、在其专著中整章节引用；
2. 为 Strauss 猜想的完满解决画上了句号；得到了拟线性波动方程径向对称低正则性解的整体存在性。
3. 用构造性的方法建立了 2 维和 3 维非线性波动方程解的局部精确边界能控性。

这些研究成果得到了包括 Fields 奖得主陶哲轩及 ICM 一小时报告人 Perthame 等国内外众多著名数学家的高度评价，促进了偏微分方程的相关理论研究和学科发展。项目第一完成人周忆曾获国家杰青、长江学者等荣誉，第二完成人雷震曾获国家杰青、上海市自然科学牡丹奖、优博、优青、青尖、青年长江等荣誉。

项目简介：

非线性波动方程是一类重要且难度很高的偏微分方程，爱因斯坦方程、规范场理论中的杨-米尔斯方程及波映照方程等均属于其研究范畴。本项目系统研究了非线性波动方程解的适定性理论，取得了一系列国际领先的原创性成果，对多个重要问题做出了贡献。项目的主要科学发现和创新点包括：

一、波映照方程作为经典场论中 Sigma 模型的特例，是双曲方程领域极具挑战性的研究对象之一，其弱解的存在性这一基础性的困难问题曾备受关注。周忆提出了构造弱解的粘性逼近法并在目标流形为齐次空间情形证明了弱解的整体存在性。该方法被 Shatah 和 Struwe（均为 ICM 报告人）在专著中称为“周忆的粘性逼近法”，被作为一种奠基性的方法在波映照方程解的适定性理论的后续研究中广泛应用。Müller 和 Struwe 等正是基于此粘性逼近法克服了国际上公认的构造波映照方程近似解这一“巨大的技术困难”，证明了紧目标流形情形弱解的整体存在性。对量子场论中描述基本粒子相互作用的 Faddeev 方程（波映照方程的推广），项目完成人“首次”证明了小初值经典解的整体存在性。该成果被 Geba 和 Grillakis

在其专著中称为“最引人注目的成果之一”，与陶哲轩（Fields 奖获得者）及 Tataru（Bocher 奖获得者）、Rodnianski 等 ICM 报告人的成果并列介绍且以 24 页的篇幅引用。

二、著名的 Strauss 猜想旨在研究半线性波动方程解的适定性与其非线性指标之间的关系。“具临界指标情形的解在有限时间内破裂”为该猜想的最后最困难部分，曾长期悬而未决。周忆发现了线性波动方程负齐次径向对称解的恒正性质，进而完成了 Strauss 猜想当时未解决部分的证明。这一成果被国际同行称为“证明了 Strauss 猜想的最后最困难部分”。

三、李大潜院士等于本世纪初系统地建立了 1 维拟线性双曲系统的精确边界能控性理论，但“高维非线性情形的结果非常少”且亟待研究。项目完成人用一种可同时提供计算格式的构造性方法，对 2 维和 3 维非线性波动方程具三种常见边值的系统统一建立了解的局部精确边界能控性，进一步完善了李大潜院士等关于非线性双曲系统的精确边界能控性理论。

四、研究非线性色散方程具低正则性的解是得到一般解的重要基础，Fields 奖获得者 Bourgain、陶哲轩等均投入大量精力于此困难领域。项目完成人发现了三维拟波动方程径向对称解所满足的加权 Strichartz 端点估计，将向量场理论、调和分析中的极大函数与经典的特征线法融为一体建立了研究低正则性解的新方法，证明了三维拟线性波动方程径向对称 $H^2 \times H^1$ 解的整体存在性。这推进了 Bocher 奖获得者 Tataru 等人局部适定性的重要工作，Hidano 等在其论文中称该结果是拟线性情形低正则性解整体存在性方面“显著的改进”。

该项目的成果对非线性波动方程的理论研究做出了贡献，得到了菲尔兹奖得主陶哲轩、美国科学院院士 Klainerman、ICM 报告人 Perthame（1 小时）、Müller、Shatah、Struwe、张旭等同行多次引用和好评。

客观评价：

该项目所取得的成果得到了国内外同行在重要学术刊物、专著及会议等公开场合的评价和引用。

一、有关“波映照的粘性逼近法和 Faddeev 方程解的整体存在性”成果的评价：

波映照方程成果的部分他人评价情况：

(1) 菲尔兹奖获得者陶哲轩在其专著《Nonlinear Dispersive Equations: Local and Global Analysis》中指出，“尽管这些解的正则性、唯一性、甚至能量的守恒性是困难的，但是周忆等从一个截然不同的角度(In a rather different direction)，用粘性消失法和先验估计建立了整体弱解的存在性”；

(2) Shatah 和 Struwe（均为国际数学家大会 45 分钟报告人）在其专著《Geometric Wave Equations》中称此方法为“周忆的粘性逼近方法”(the viscous approximation method of Yi Zhou)；

(3) Müller 和 Struwe（均为国际数学家大会 45 分钟报告人）在论文[Topol. Methods Nonlinear Anal. 1996]中正是利用该方法克服了“巨大的技术困难”，进而证明了 1+2 维波映

照弱解的整体存在性 (a serious technical problem is to find suitable approximate problems.... We follow Yi Zhou and use the viscous approximation);

(4) Struwe 在著名的《Nonlinear Partial Differential Equations in Geometry and Physics: The 1995 Barrett Lectures》中指出: 利用其惩罚性方法(Penalty Method)不能证明强收敛性(we cannot (yet) use...), 而要利用周忆的粘性逼近法 (using... and the viscosity approximation suggested by Yi Zhou); Freire 在其文章[Manuscripta Math. 1996]中写道, “当 $d=2$ 时, 最近周忆用完全不同的方法得到上面的结果” (Recently the result above was obtained by Yi Zhou when $d=2$, by a completely different method)。

Faddeev 方程成果的部分他人评价情况: Geba 和 Grillakis 以 24 页的篇幅整节引用在其专著《An Introduction to the Theory of Wave Maps and Related Geometric Problems》中, 与陶哲轩 (Fields 奖得主)、Shatah-Struwe (ICM 报告人)、Sterbenz-Tataru (Bocher 奖得主、ICM 报告人)、Raphael-Rodnianski (ICM 报告人) 等的结果并列进行介绍。他们在专著中称 “由于方程复杂的结构, 依赖时间情形的研究相当少。最引人注目的成果(the most notable results)为……本书将介绍其中的两个 (其中一个项目完成人的)”。在说明为何介绍项目完成人的工作时, 作者指出 “Lei-Lin-Zhou 的证明依赖于庞加莱群的无穷小生成元, 这使得他们既得到了解的能量估计, 又得到了解的时间衰减估计。我们相信该方法对非线性方程特别是拟线性方程是相当强有力的(quite powerful)”。

二、有关 “半线性波动方程的 Strauss 猜想” 成果的部分他人评价情况:

日本学者 Takamura 和 Wakasa 等在他们的系列论文[J. Differ. Equ. 2011; J. Differ. Equ. 2010; Differ. Integral Equ. 2012]中多次提到: “Strauss 猜想的最后未解决部分, 被 Yordanov-Zhang 及周忆各自独立地解决……这样, 该猜想就画上了句号”(The final open part of Strauss' conjecture...was solved by Yordanov and Zhang (2006), or Zhou (2007) independently.... In this way, the open part of the conjecture has been disappeared)。

三、有关 “高维非线性波动方程解的精确能控性” 成果的部分他人评价情况:

张旭教授在国际数学家大会 45 分钟报告[Proc. Int. Congress Math., India 2010]中引用该项目有关的精确能控性成果, 并在其会议论文及合作论文[Contemporary Appl. Math. 2010; J. Syst. Sci. Complex 2010]中指出 “高维情形控制方面相应的结果, 可以参考周忆-雷震等人的结果”; 中科院姚鹏飞教授在其专著《Modeling and Control in Vibrational and Structural Dynamics》中也引用了该项目的该成果, 并在其论文[Appl. Math. Optim. 2010]中认为 “高维拟线性情形的结果很少, 周忆-雷震等对人精确能控性给出了相关结果”。

四、有关 “非线性波动方程低正则解的适定性” 成果的评价:

(1) 美国科学院院士 Klainerman 在其论著《Progress in Nonlinear Differential Equations and Their Applications Vol. 29》中指出, 周忆关于 Yang-Mills 方程低正则性解的工作在 “2 维时是最优的” (While his result in R^{2+1} is sharp...);

(2) 菲尔茨奖得主 Tao 及其合作者在论文[Int. Math. Res. Notices 1998]中指出, 关于 1+1 维波映照方程解的无条件唯一性, “在此之前已由周忆得到”(We have recently learned that for $s \geq 1$, the result appears in [Zhou]);

(3) Bournaveas 和国际数学家大会 1 小时报告人 Perthame 在其论文[J. Math. Pures Appl. 2001]中指出: “这种类型的加权 Sobolev 空间, 我们称为双曲 Sobolev 空间, 被广泛应用于波动方程等, 见[周忆] (关于半线性波动方程低正则性解的工作) 等论文及其引文”;

(4) Selberg 和 Tesfahun 在其论文 [Commun. Partial Differ. Equ. 2010] 中两次提到: “关于 Maxwell-Klein-Gordon 方程无条件唯一性本质上已经被周忆所证明” (For MKG, unconditional uniqueness was proved essentially by Zhou)[Commun. Math. Phys. 2003]; Hindano-Wang-Yokoyama 在其论文 [Adv. Differ. Equ., 2012] 中, 称该项目关于三维拟线性波动方程径向对称低正则性解的整体存在性工作为 “显著的进展 (A significant improvement)”。

代表性论文专著目录:

1. 周忆, Global weak solutions for 1+2 dimensional wave maps into homogeneous spaces. Annales de l'Institut Henri Poincaré-Analyse non linéaire, 16 (4), 1999, 411-422.
2. 周忆, Uniqueness of weak solutions of 1+1 dimensional wave maps. Mathematische Zeitschrift, 232 (4), 1999, 707-719.
3. 雷震; FangHua Lin; 周忆, Global solutions of the evolutionary Faddeev model with small initial data. Acta Mathematica Sinca-English Series, 27 (2), 2011, 309-328.
4. 周忆, Blow up of solutions to semilinear wave equations with critical exponent in high dimensions. Chinese Annals of Mathematics Series B, 28 (2), 2007, 205-212.
5. 周忆; 雷震, Local exact boundary controllability for nonlinear wave equations. SIAM Journal on Control and Optimization, 46 (3), 2007, 1022-1051.
6. 周忆; 雷震, Global low regularity solutions of quasilinear wave equations. Advances in Differential Equations, 13 (1-2), 2008, 55-104.
7. 周忆, Local existence with minimal regularity for nonlinear wave equations. American Journal of Mathematics, 119 (3), 1997, 671-703.
8. 周忆, Uniqueness of generalized solutions to nonlinear wave equations. American Journal of Mathematics, 122 (5), 2000, 939-965.

主要完成人情况:

1. 姓名: 周忆

排名: 1

行政职务：无

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：提出了构造 $1+2$ 维波映照方程弱解的“粘性逼近方法”，证明了 Faddeev 方程小初值经典解的整体存在性；证明了临界指数情形的有限时间破裂定理，最终完成了 Strauss 猜想最后最困难部分的证明；用构造性的方法建立了高维非线性波动方程解的局部精确能控性理论；得到了拟线性波动方程径向对称低正则性解的整体存在性。主要贡献于本项目发现点一至四，代表性论文 1 至 8；参与本项目的工作量占个人工作量的 80%。

2. 姓名：雷震

排名：2

行政职务：复旦大学数学科学学院副院长

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：证明了 Faddeev 方程小初值经典解的整体存在性；用构造性的方法建立了高维非线性波动方程解的局部精确能控性理论；得到了拟线性波动方程径向对称低正则性解的整体存在性。主要贡献于本项目发现点一、三和四，代表性论文 3、5、6；参与本项目的工作量占个人工作量的 60%。

完成人合作关系说明：

本项目完成人为周忆和雷震。自项目执行开始至今，周忆为复旦大学数学科学学院博士生导师。2011 年 9 月 1 日至 2006 年 6 月 30 日，雷震为复旦大学数学科学学院博士研究生，周忆为其博士导师。雷震博士毕业之后，任职于复旦大学数学科学学院。项目完成人之间现为同事关系。

知情同意证明：

many fundamental topological solitons which are energy minimizing, hence stable. The arguments also led to a universal energy growth law with respect to the topological charges, similar to the stability of matter as described by Thomas-Fermi model. However, this static theory does not imply anything for the evolutionary models as originally proposed by Skyrme and Faddeev. And the latter motivated this joint work I did with Zhen Lei and Yi Zhou.

I learned and enjoyed a great deal from working with both of them as I would not view myself as an expert on nonlinear hyperbolic partial differential equations, and they are without question. The article was dedicated to 100th birthday of the late Professor Hua Lou-Geng, and I am very happy this article has been valued highly in the field though it was published in a Chinese math journal. Let me emphasize again, though I brought this important problem to them, Dr. Lei and Zhou's contributions in our joint work are absolutely essential.

Sincerely,



Fanghua Lin
Silver Professor of
Mathematics
Courant Institute, NYU

can not be fixed using the set of ideas there. In my works with Yisong Yang, we introduced a new approach and finally established existence of infinitely

序号	奖种	项目名称	第一完成人
2	自然科学	高比能量电化学电容器电极反应机理和性能研究	夏永姚

项目名称：高比能量电化学电容器电极反应机理和性能研究

提名意见：

该项目通过提升电极材料比容量和体系工作电压，有效解决了电化学电容器能量密度有限的瓶颈问题。发明了具有自主知识产权的活性炭/LiMn₂O₄ 高比能量混合型水系电化学电容器，克服了传统电化学电容器电解质溶液消耗的问题；揭示了水系锂离子电池容量衰减的原因，提出了有效的解决方案，将水系锂离子电池大幅提升至了商业化水平；阐明了锂离子在纳米碳层缺陷中快速传输的机制，采用“纳米+碳包覆”的策略，实现了混合型电化学电容器和储能锂离子电池钛酸锂负极材料的高倍率特性。提出了有序介孔离子传输、微孔储能相结合的策略，制备了一系列具有高比容量以及高功率双重特性的有序介孔/微孔碳电化学电容器复合电极材料。项目研究兼顾了基础和应用基础，通过深入的学术研究，阐明、总结、发展了电化学电容器的储能理论，在 *Nature Chemistry* 等学术期刊发表多篇具有国际影响力的科学论文，为该方向的未来发展提供了有效的理论依据。在理论研究的基础上，积极开展应用基础研究，通过“产-学-研”相结合的模式，实现学术研究成果向市场化应用的转化，所发明的水系锂离子电池电化学电容器为我国首个具有基本知识产权的化学电源体系，其成功产业化也为大型储能提供了新的绿色方案，丰富了未来的储能市场。特此，推荐该项目申请 2018 年国家自然科学奖。

项目简介：

电化学电容器是介于蓄电池和传统电容器之间的一种新型储能装置，它具有功率大、寿命长、工作温限宽、免维护等特点，在电子产品、电动汽车、电力峰谷调节和风力、太阳能发电能量储存等领域得到了广泛应用。电化学电容器根据储能机制主要分为电化学双层电容器、赝电容器和混合型电容器（电池电容器），但都存在着能量密度低的缺点。我们的研究以高比能量电化学电容器为主线，根据电化学电容器能量计算公式 $E = 0.5CV^2$ ，主要通过提高电极材料的比电容（C）和体系的工作电压（V），从而提升电化学电容器的能量密度。我们的研究思路是通过研究电化学电容器电极材料的电化学反应规律和储能机制，构筑由电池电极和电容器电极组合的混合型超级电容器，以及调控电极材料尺度和几何形貌，降低电容器电极的等效串联阻抗，包括离子和电子的阻抗，从而提高体系的工作电压（V）。另一方面通过研究多孔电极材料的储能机制，设计、合成了一系列纳米多孔碳材料和赝电容电极材料，通过孔结构优化提升有效比表面积，从而提升电极材料的比电容（C）。依照上述研究思路，研究工作的主要科学发现介绍如下：

1. 揭示了水溶液中锂离子和质子的竞争嵌入反应机理，发现两者的竞争嵌入反应与锂离子嵌入化物正极材料的结构和溶液的 pH 值有关。发明了具有自主知识产权的活性炭/LiMn₂O₄ 混合型水系电化学电容器。这种电容器克服了传统超级电容器电解质溶液消耗的问题，具有高比能量、长寿命、低成本的特点。应用基础研究的成果开发的电池电容器，已成功用于北

京奥运村太阳能路灯，2015 年专利已转让给企业，进行规模化生产，美国 Aquion Energy 也正在规模化生产这类电容器

2. 首次从理论和实验上证实在水和氧气存在的条件下，作为水系锂离子电池（或混合型电容器）的锂离子嵌入化合物负极材料会被氧气氧化是造成容量衰减的主要原因。并通过消除氧（电池密封）、控制 pH 值和选择合适的碳包覆电极材料，大大地提高了循环性能。突破了近 20 多年来水系锂离子电池的循环寿命差的瓶颈（ $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3/\text{Li}_2\text{SO}_4/\text{LiFePO}_4$ 电池 10 分钟倍率充放电 1000 次，容量维持率在 90% 以上）。研成果发表在《自然·化学》。

3. 揭示了锂离子在纳米碳层缺陷中快速传输的机制，采用“纳米+碳包覆”的策略，解决了有机系混合型电容器钛酸锂负极材料存在电子导电性差和锂离子扩散系数小导致的倍率特性差的缺点，实现了混合型电化学电容器和储能锂离子电池钛酸锂负极材料的高倍率特性。发明的具有自主知识产权的碳包覆纳米钛酸锂电极材料技术，2010 年 11 月通过教育部的鉴定，该技术制备的钛酸锂电极材料达到国内领先、国际先进水平。

4. 首次提出了介孔离子传输，微孔储能的新概念，研究多孔电极材料的储能机制，设计、合成了一系列新概念的多孔纳米电极材料。制备的介/微多级孔结构实现了 146 F/g 高容量（活性炭的 100 F/g）；采用介孔碳定向控制生长聚苯胺纳米线，实现了 900 F/g 的超大容量；以天然生物螃蟹壳（主要为碳酸钙）为模板，合成有序介孔碳纳米线阵列簇，兼有高比表面积和高电子导电性的特点，提升电容器的综合性能。

通过上述研究，阐明了电化学双层电容器碳材料孔结构与容量的关系，发展了集中大容量的电极材料；在混合型电池电容器方面，揭示了提高电极材料的循环稳定性和大电流特性的关键科学问题，并提出了有效的解决方案；发明了一种新型高比能量电容器。研究成果为研发高性能电化学电容器提供了重要的理论和技术指导。

客观评价：

电化学电容器（超级电容器）是介于电池和传统电容器（电解电容器）的一种新型储能器件，它的工作原理不同于电池（体相反应），主要利用离子在材料表面的非法拉第离子吸附和脱附，或在材料表面、近表面的法拉第反应，理论上作为电化学电容器的电极材料必须具备大的比表面积。目前，具有大的比表面积（ $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ ）的活性炭是电化学电容器的广泛采用的电极材料。按双层电容的理论，其在有机电解液中的理论比电容应为 200 F/g（按 $10 \text{ F}/\text{cm}^2$ 计算），但实际只有 100 F/g 左右，利用率仅为 50%，主要是绝大部分微孔均为封闭孔或者楔形孔，不具备完整而连续的孔连接，大大降低了比表面的利用率，从而影响了电化学电容器的比电容。相比之下，介孔碳材料具有较窄的孔径分布以及一致的孔径，我们是国际上最早研究、最系统研究介孔碳电容行为的课题组，我们首次阐明了电容器电极材料合适的孔径大小，提出了介孔离子传输，微孔储能的新概念，制备的介/微多级孔结构实现了 146 F/g 高容量（明显高于活性炭的 100 F/g），达到单一微孔碳的水平（140 F/g, J. Chmiola, et al., Science, 313, 1760 2006）。并且具有很好的倍率特性。Breu et al. (Angew. Chem. Int. Ed., 51, 12892-12896, 2012) 认为“有序的介孔有利于电解液的渗透和传输。这些孔结构是开发高性能电化学电容器的关键因素”。为提高碳纳米线的比表面积，以天然生物螃蟹壳（主要为碳酸钙，不同于氧化铝模版，很容易溶于稀酸除去）为模板，合成有序介孔碳纳米线阵列簇，其比表面积为 $1270 \text{ m}^2/\text{g}$ ，具有 152 F/g 的较高比电容。相关成果发表在 J. Mater. Chem. 20, 4223, 2010。研究成果被“Highlights in Chemical Technology”，多孔

碳专家 Dr. Ru Zhang (Shanghai Institute of Technology) 认为“螃蟹壳硬模版不仅具有多孔结构，而且很容易去除”。许多综述文章介绍了我们的工作(Stein et al. Chem. Soc. Rev., 2013, 42, 3721—3739; Dai et al. Adv. Mater. 2011, 23, 4828-4850; Yuan et al., Chem. Soc. Rev. 2013, 42, 3977-4003)。首次采用介孔碳定向控制生长聚苯胺纳米线，实现了 900 F/g 的超大容量。文章他引用 603 次，作为超级电容电极材料设计合成的经典案例，该文已被 Chem. Soc. Rev., Adv. Mater., Chem. Commun. 等 10 篇综述性文章大篇幅介绍。如 Prof. Sheng Dai (Oak Ridge National Laboratory, USA) 认为“介孔碳和聚苯胺的结合是一种有效地方法提高聚苯胺的掺杂/去掺杂过程”(Dai et al., Adv. Mater. 2011, 23, 4828-4850)。这方面的研究工作合计被他人引用 1065 次。

对于混合型的电化学电容器，我们提出的混合型 AC/LiMn₂O₄ 水溶液锂离子电容器，克服了传统电化学电容器电解质溶液消耗的问题。相关研究结果先以通讯的方式发表 Electrochem. Commun. 上，后以系列文章连载方式 (I, II, III) 发表在 J. Electrochem. Soc. 上，相关研究成果发表的文章已经被引用 467 次。审稿人给予了非常高的评介，认为 “This technology may be possible to commercialize” “This is an excellent paper, LiMn₂O₄ makes it an ideal low cost material for supercapacitors” “This manuscript contains very interesting experimental results based on new concept on hybrid capacitors. The proposed system is using rocking-chair type reactions on charging and discharging. This is a novel hybrid capacitor”。西班牙的 M. Sevilla 教授认为“传统的双电层电容器和混合电容器往往存在阴阳离子分离造成的电解液消耗问题，而王和夏等报道的新型混合电容器只涉及锂离子在两极的转移，恰好解决了这一问题”(M. Sevilla et al., Energy Environ. Sci. 2014, 7, 1250-1280)。上海某公司应用我们基础研究的成果开发的电池电容器，已成功用于北京奥运村太阳能路灯和洋山港太阳能航标灯。2015 年专利已转让给企业，正在进行产业化生产。美国 Aquion Energy 也正在规模化生产这类电容器。

采用高离子导电率水溶液电解质被认为是一种提高锂离子电池的安全性和电池功率密度的有效途径（电池电容器化）。许多研究集中在采用不同的电极材料以提高循环性能，但近 20 多年研究始终没有重大突破，循环 100 次容量维持率仍小于 50%。我们首次从理论和实验上证实：在水和氧气存在下，作为电池负极的电极材料会被氧气氧化是造成水系锂离子电池容量衰减的主要原因。并通过消除氧（电池密封）和选择合适的电极材料，大大地提高了电池的循环性能（容量维持率在 90% 以上）。研究成果发表在 Nat. Chem. 2, 760-765, 2010. Chemistry World, NPG's Asia Materials Research 等对给工作进行了介绍和评述。如 Dr. Yi Cui (an expert in battery design at Stanford University in California, US.) 认为“虽然水系锂离子电池相对于有机电解质的锂离子电池能量较低，但在成本和安全性方面非常有优势，虽然无法代替现在用在移动电话的有机系锂离子电池，但在规模储能领域具有很好应用前景”。国际知名锂离子电池专家、美国工程院院士、A123 电池公司创始人、美国 Massachusetts Institute of Technology 的 Yet-Ming Chiang 教授认为：“夏研究组的工作已经将水系锂离子电池的循环寿命提升到了商业化应用的水平 (Chiang et al., Adv. Energy Mater. 2013, 2, 290-294)。

首次提出了“纳米+碳包覆”的策略（夏永姚，程亮，“电化学超电容器用导电性碳包覆

钛酸锂电极材料及其制备方法”，授权号： ZL 200510030998.0），详细地研究了碳包覆层的结构与电化学性能的关系，发表了一系列有关纳米钛酸锂离子以及钛酸锂包覆技术的学术论文，共被他人引用 1029 次，引起国际同行的关注 (Chem. Commun. 2012, 48, 1201-1217; Journal of Physics and Chemistry of Solids 2010, 71, 1236-1242)。例如，碳包覆相关结果 2007 年文章发表在 J. Electrochem. Soc., 154, A692, 2007 (Carbon coated $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ as a high rate electrode material for electrochemical supercapacitors)。这种方法被很多研究组采用，他引 153 次，包括 Adv. Energy Mater. 1, 212-220, 2011; Adv. Funct. Mater. 21, 4349-4357, 2011; Adv. Energy Mater. 2, 691-698, 2012; Nanoscale 3, 3967-3983, 2011 等。法国亚眠大学 (Université de Picardie Jules Verne), Jean-Marie Tarascon 教授（国际著名锂离子电池专家）等认为碳包覆是提升钛酸锂电极性能的有效方法之一 (Chem. Mater. 2010, 22, 2857-2863)。2010 年 11 月通过教育部的鉴定，该技术制备的钛酸锂电极材料达到国内领先、国际先进水平。

代表性论文专著目录:

序号	论文专著名称/ 刊名/作者	影响 因子	年卷 页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间	通讯作 者	第一 作者	国内 作者	SCI 他引 次数	他引 总次 数	是否国 内完成
1	Ordered Whisker-Like Polyaniline Grown on the Surface of Mesoporous Carbon and its Electrochemical Capacitance Performance/ ADVANCED MATERIALS/ Wang, YG(Wang, Yong-Gang); Li, HQ(Li, Hui-Qiao); Xia, YY(Xai, Yong-Yao)	18.96	2006 年 18 卷 2619-2623 页	2006-10-04	夏永姚	王永刚	Wang, Yong-Gang/ Li, Hui-Qiao/Xia, Yong-Yao	603	603	是
2	General Synthesis of Carbon-coated Nanostructure $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ as a High Rate Electrode Material for Li-ion Intercalation/JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY/ Cheng, L(Cheng, Liang); Yan, J (Yan Jing); Zhu, GN (Zhu, Guan-Nan); Luo, JY (Luo,	6.626	2010 年 20 卷 595-602 页	2009-11-20	夏永姚	程亮	Cheng, Liang/ Yan Jing/Zhu, Guan-Nan/Luo, Jia-Yan/Wang, Cong-Xiao/ Xia, Yong-Yao	175	175	是

	Jia-Yan); Wang, CX (Wang, Cong-Xiao); Xia, YY (Xia, Yong-Yao)									
3	Hybrid Aqueous Energy Storage Cells using Activated Carbon and Lithium-intercalated Compounds I. The C/LiMn ₂ O ₄ System/JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY/Wang, YG(Wang, Yong-Gang); Xia, YY(Xia, Yong-Yao)	3.014	2006 年 153 卷 A450-454	2006-01-11	夏永姚	王永刚	Wang, Yong-Gang/ Xia, Yong-Yao	126	126	是
4	B-doped Carbon Coating Improves the Electrochemical Performance of Electrode Materials for Li-ion Batteries/ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS/Wang, C (Wang, Cong); Guo, ZY (Guo, Zi-Yang), Shen W(Shen, Wei); Xu, QJ (Xu, Qun-Jie); Liu, HM (Liu, Hai-Mei); Wang, YG (Wang, Yong-Gang)	11.381	2014 年 24 卷 5511-5521 页	2014-09-17	刘海梅; 王永刚	王聪	Wang, Cong/ Guo, Zi-Yang/Shen, Wei/Xu, Qun-Jie/Liu, Hai-Mei/Wang, Yong-Gang	38	38	是

5	Raising the Cycling Stability of Aqueous Lithium-Ion Batteries by Eliminating O ₂ in the Electrolyte/NATURE CHEMISTRY/Luo, JY (Luo, Jia-Yan); Cui, WJ (Cui, Wang-Jun); He, P (He, Ping) ; Xia, YY(Xia, Yong-Yao)	27.893	2010年2卷760-765页	2010-08-08	夏永姚	罗家严	Luo, Jia-Yan/Cui, Wang-Jun/He, Ping/Xia, Yong-Yao	226	226	是
6	Highly Ordered Mesoporous Carbon Nanofiber Arrays from a Crab Shell Biological Template and its Application in Supercapacitors and Fuel Cells/JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY/Liu, HJ (Liu, Hai-Jing); Wang, XM (Wang, Xiao-Ming); Cui, WJ (Cui, Wang-Jun); Dou, YQ (Dou, Yu-Qian); Zhao, DY (Zhao, Dong-Yuan) ; Xia, YY(Xia, Yong-Yao)	6.626	2010年20卷4223-4230页	2010-04-08	夏永姚	刘海晶	Liu, Hai-Jing/Wang, Xiao-Ming/Cui, Wang-Jun/Dou, Yu-Qian/Zhao, Dong-Yuan/Xia, Yong-Yao	135	135	是
7	Nano-sized Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ Nanoporous	25.427	2011年4卷416-40	2011-08-08	夏永姚	朱冠楠	Zhu, Guan-Nan/Li	182	182	是

	Micro-sphere as Anode Material for High-Rate Lithium-ion Batteries/ ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE/ Zhu, GN (Zhu, Guan-Nan); Liu, HJ (Liu, Hai-Jing); Zhuang, JH (Zhuang, Ji-Hua); Wang, CX (Wang, Cong-Xiao); Wang, YG (Wang, Yong-Gang); Xia, YY (Xia, Yong-Yao)		22 页				u, Hai-Jing/Zhuang, Ji-Hua/Wang, Cong-Xiao/Wang, Yong-Gang/Xia, Yong-Yao			
8	Ordered Hierarchical Mesoporous/Microporous Carbon Derived from Mesoporous Titanium-Carbide /Carbon Composites and its Electrochemical Performance in Supercapacitor ADVANCED ENERGY MATERIALS/ Liu HJ (Liu, Hai-Jing); Wang, J (Wang, Jie); Wang, CX (Wang, Cong-Xiao); Xia,	15.23	2011 年 1 卷 1101-1108 页	2011-09-12	夏永姚	刘海晶	Liu, Hai-Jing/Wang, Jie/Wang, Cong-Xiao/Xia, Yong-Yao	99	99	是

	YY (Xia, Yong-Yao)									
合计								1584	1584	

主要完成人情况:

3. 姓名: 夏永姚

排名: 1

行政职务: 无

技术职称: 教授

工作单位: 复旦大学

完成单位: 复旦大学

对本项目技术创造性贡献: 项目负责人, 负责项目的总体设计, 试验方案的制订, 结果的讨论, 文章和专利的撰写等。代表作 1-3, 5-8; 专利 1-5; 参与本工作的工作量占本人工作 80%。

4. 姓名: 王永刚

排名: 2

行政职务: 无

技术职称: 教授

工作单位: 复旦大学

完成单位: 复旦大学

对本项目技术创造性贡献: 1. 设计合成了多种赝电容电极材料, 并有效提升了电化学电容器的综合性能。采用介孔碳定向控制生长聚苯胺纳米线, 实现了 900 F/g 的超大容量; 采用硬模板法制备了有序介孔氧化镍, 并研究了其电化学电容行为。2. 将锂离子嵌入-脱嵌机制与电化学电容的双电层机制协调组合于一个储能器件中, 发明了全新概念的混合型水系电化学超级电容器。代表作 1、3、4; 专利 1; 参与本工作的工作量占本人工作 60%。

5. 姓名: 刘海梅

排名: 3

行政职务: 无

技术职称: 教授

工作单位: 上海电力学院

完成单位：上海电力学院

对本项目技术创造性贡献：设计合成了硼掺杂碳包覆电极材料。代表作 4。

参与本工作的工作量占本人工作 50%。

6. 姓名：王丛笑

排名：4

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：多孔碳材料的设计、制备，提高多孔碳电极材料的比电容；碳包覆纳米钛酸锂材料的制备和电化学性能研究，提高混合型电化学电容器的比能量和功率特性。代表作 2、7、8；参与本工作的工作量占本人工作 50%。

7. 姓名：徐群杰

排名：5

行政职务：环境与化学工程学院院长

技术职称：教授

工作单位：上海电力学院

完成单位：上海电力学院

对本项目技术创造性贡献：设计合成了硼掺杂碳包覆电极材料。代表作 4。

参与本工作的工作量占本人工作 50%。

完成人合作关系说明：

复旦大学的主要完成人夏永姚教授、王永刚教授和王丛笑副教授为同一课题组研究成员，课题组组长为夏永姚教授；上海电力学院的主要完成人刘海梅教授和徐群杰教授主要和夏永姚教授课题组联合开展“掺硼碳包覆”方面的研究工作，并联合发表相关学术论文。

知情同意证明：

项目：高比能量电化学电容器电极反应机理和性能研究

项目完成人：夏永姚 王永刚 刘海梅 王丛笑 徐群杰

第一作者申明	申明人	签名
本人知晓并同意我署名的第一作者论文（论文2）作为夏永姚、王永刚、刘海梅、王丛笑、徐群杰的项目《高比能量电化学电容器电极反应机理和性能研究》申报2018年度国家自然科学基金，特此申明。	程亮	程亮
本人知晓并同意我署名的第一作者论文（论文4）作为夏永姚、王永刚、刘海梅、王丛笑、徐群杰的项目《高比能量电化学电容器电极反应机理和性能研究》申报2018年度国家自然科学基金，特此申明。	王聪	王聪
本人知晓并同意我署名的第一作者论文（论文5）作为夏永姚、王永刚、刘海梅、王丛笑、徐群杰的项目《高比能量电化学电容器电极反应机理和性能研究》申报2018年度国家自然科学基金，特此申明。	罗家严	罗家严
本人知晓并同意我署名的第一作者论文（论文6、8）作为夏永姚、王永刚、刘海梅、王丛笑、徐群杰的项目《高比能量电化学电容器电极反应机理和性能研究》申报2018年度国家自然科学基金，特此申明。	刘海晶	刘海晶
本人知晓并同意我署名的第一作者论文（论文7）作为夏永姚、王永刚、刘海梅、王丛笑、徐群杰的项目《高比能量电化学电容器电极反应机理和性能研究》申报2018年度国家自然科学基金，特此申明。	朱冠楠	朱冠楠

序号	奖种	项目名称	第一完成人
3	自然科学	瞬态新奇分子的光谱、成键和反应研究	周鸣飞

项目名称：瞬态新奇分子的光谱、成键和反应研究

提名意见：本项目属于分子光谱和化学反应动力学研究领域，是物理化学学科的基础前沿课题。项目利用自行研制的具有世界先进水平的基于串级飞行时间质谱技术的选质量离子红外光解离光谱和脉冲激光溅射-低温基质隔离红外光谱等实验装置，并结合高水平的量子化学理论计算，实验与理论紧密结合，在瞬态新奇分子的产生和光谱探测及其结构、成键和反应特性等方面的研究取得了系列重要成果：实验证实了气相四氧化铱正离子中的铱处于+IX 氧化价态，从而首次确定了元素周期表中元素可以形成的最高氧化价态为+IX 价； 在低温稀有气体基质中制备了首个具有 $B \equiv B$ 三键的 OCBBCO 分子，成键分析表明 B_2 和 CO 之间通过类似于过渡金属羰基化合物的 σ - π 配键方式结合，为零价或低价主族化合物的合成提供了一种新的策略；系统研究了金属原子及氧化物分子与小分子的反应，观察到了一些新的反应通道，阐明了反应机理，得出了一些反应规律。

相关成果发表在Nature、JACS和ACIE等杂志上。“发现铱元素+IX价态”被美国C&EN杂志评选为2014年度十大化学研究。“不稳定反应中间体和自由基的光谱、成键和反应研究”获得2007年度上海市自然科学奖一等奖。

本项目推荐材料真实有效，相关栏目填写符合要求，公示期间无异议。经专家评审，建议推荐该项目为国家自然科学二等奖。

项目简介：创造新的、有用的分子物种，从而造福人类是化学科学的核心研究内容。除了大量可宏观合成的分子物种以外，还存在许多无法宏观合成、通常条件下不能稳定存在的瞬态分子物种。这些瞬态分子物种往往是一些化学反应过程中的重要反应中间体和自由基。对这些瞬态物种的探测不仅是揭示相关化学反应微观机理的关键，对它们的结构、成键和反应特性等的研究还可以丰富人们对化学键的认识、为宏观合成提供新的思路，从而促进相关学科的发展。由于瞬态新奇分子物种不稳定、反应活性高以及浓度低，实验研究非常具有挑战性。本项目利用自行研制的具有世界先进水平的分子光谱探测仪器，同时紧密结合量子化学理论计算开展瞬态新奇分子的产生和光谱探测研究，取得了以下主要成果：

1. 发展建立了基于串级飞行时间质谱技术的高灵敏红外光解离光谱实验装置，通过对脉冲激光溅射-超声分子束载带技术制备的贴附了 1-4 个氩原子的气相四氧化铱正离子络合物的红外光解离光谱研究，实验证实了气相四氧化铱正离子具有正四面体结构，其中的铱处于+IX 氧化价态，从而首次确定了元素周期表中元素可以形成的最高氧化价态为+IX 价。

2. 在低温稀有气体基质中制备了首个具有 $B \equiv B$ 三键的 OCBBCO 分子。成键分析表明 B_2 和 CO 之间通过类似于过渡金属羰基化合物的 σ - π 配键方式结合，为零价或低价主族化合物的合成提供了一种新的策略。

3. 发展了将脉冲激光溅射与低温基质隔离相结合的实验技术，通过对反应过程中生成的瞬态中间体的捕获和光谱探测，系统研究了金属原子及简单氧化物分子与 H_2O , N_2 , CH_4 和 CH_3OH 等小分子的反应。观察到了一些新的反应通道，阐明了反应机理，得出了一些反应规律。

相关成果发表在 *Nature*、*JACS* 和 *ACIE* 等杂志上。项目完成人应邀在 *Chem. Rev.* 和 *Int. Rev. Phys. Chem.* 等刊物上撰写综述文章，并在重要国际会议上作大会邀请报告 10 多次。8 篇代表性论文 SCI 他引 269 次。*Chem. & Eng. News*, *Science News*, *Chemistry World*, *Nature Chemistry*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 以及 *Sci. China Chem.* 等项目工作多次进行了亮点评述和专题报道。“发现铱元素+IX 价态”被 *Chem. & Eng. News* 评选为 2014 年度十大化学研究。“不稳定反应中间体和自由基的光谱、成键和反应研究”获得 2007 年上海市自然科学奖一等奖。

客观点价：

1. *Chem. & Eng. News*, *Science News*, *Chemistry World*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 以及 *Sci. China Chem.* 等杂志对本项目中发现铱元素+IX 氧化价态工作（代表性论文1）进行了专题或亮点报道（见他证3, 5, 6, 9, 他引论文2）。*Chem. & Eng. News* 杂志将该项研究选为“2014年度十大化学研究”（Top ten chemistry research, 见他证2）。*Science News* 评论认为该项工作“这一发现为许多工业化学反应开辟了新的可能性，更新了成键规则，改变了所有教科书的内容”。（“The finding opens new possibilities for myriad industrial chemical reactions as well as rewriting the rules of bonding. It changes all the textbooks”）（见他证3）；

伦敦帝国学院 D. Payne 在 *Nature Chemistry* 的文章中（见他引论文1）指出“77 号元素最近在化学领域发布了重要成果新闻，在 $[\text{IrO}_4]^+$ 化合物中铱具有迄今为止最高的+9 氧化价态”（“Recently element 77 had also made the news in chemistry through the isolated compound $[\text{IrO}_4]^+$, which features iridium in the highest oxidation state observed so far, +9.”）芬兰赫尔辛基大学著名理论化学家 P. Pyykko 教授在 *Angew. Chem. Int. Ed.* 杂志撰写了亮点评论文章（见他引论文2）。他指出“新的被大家接受的氧化价态比新元素更稀有。元素处于+IX 氧化价态一直难以找到，直到最近王等人的报道”（New, well-documented oxidation states are rarer than new elements. Examples of elements in the next positive oxidation state of +IX remained elusive until the very recent report by Wang et al.）。此外，美国化学会的 *Chem. & Eng. News* 杂志对铱元素+VIII 价态的工作（代表性论文2）也以“Unprecedented Iridium(VIII) Seen”为题做了亮点报道（见他证1）。

2. 德国维尔茨堡大学的 Braunschweig 教授等人采用本项目制备具有 $\text{B}=\text{B}$ 三键的 OCBBCO 分子（科学发现点2）同样的配位成键策略，利用比 CO 更大的有机卡宾配体成功合成了室温条件下稳定的具有 $\text{B}=\text{B}$ 三键特性的 $\text{NHC}-\text{B}=\text{B}-\text{NHC}$ 化合物分子，相关结果发表于 2012 年的 *Science* 杂志上（见他引论文3、4）。在他们

的引文中指出“B₂通过两个路易斯碱稳定下来的OCBBCO分子在2002年通过激光溅射硼原子与CO反应在8K氩基质中隔离下来。该发现激起了一阵风似的对B≡B三键分子的理论研究”。“In 2002 the molecule OCBBCO, ostensibly a B₂ molecule stabilized by two Lewis bases, was isolated in an argon matrix at 8 K by the reaction of laser-vaporized boron atoms with CO. This finding prompted a flurry of theoretical studies of molecules with B-B triple bonds”。

Brauchweig教授在Angew. Chem. Int. Ed.杂志上的综述文章中（见他引论文5）高度评价了本项目B≡B三键的工作：“2002年，周、徐和合作者提出了另一种概念，即采用激光蒸发硼原子和CO碱基稳定的方法。该方法影响了后来对该类分子的常规室温合成。”“However in 2002, Zhou, Xu, and coworkers demonstrated an alternative concept, namely base stabilization, using laser-vaporized boron atoms and CO. This method was later to influence the conventional ambient temperature synthesis of such molecules.”

英国爱丁堡大学P.L. Arnold教授在Nature杂志的新闻和观点文章中（见他引论文6）也提出“双原子硼单元最初是由光谱实验首先观察到”。“Diatomic boron units were originally observed in spectroscopy experiments as thermally unstable adducts containing two CO molecules”。

3. Nature Chemistry杂志对本项目过渡金属原子与甲醇自发反应产生氢气工作（科学发现点3.1）进行了专门的亮点报道，认为“该工作发现了一条意想不到的制氢反应路线，为甲醇催化制氢提供了新的方向”（见他证4）。“Now Jun Li at Tsinghua University, Mingfei Zhou at Fudan University and colleagues have uncovered an unexpected reaction route for the production of hydrogen from the reaction of methanol with early transition metal atoms. This gives a possible new direction for research on catalytic hydrogen production from methanol.”

4. 捷克物理有机化学教授D. Schröder教授在Chem. Rev.杂志上发表的综述文章中（见他引论文7）将本项目金属氧化物分子连续活化甲烷C-H键的工作（科学发现点3.2）作为一个金属氧化活化甲烷的范例：“作为基础研究的一个范例，这里我们介绍一个中性TiO的基质隔离研究工作。漂亮的光谱实验表明可见光照下中性TiO可以活化甲烷，.....和大部分离子尤其是后过渡金属氧化物物种相比，C-H键活化没有发生在金属-氧键上而是只发生在金属上”。“as an example for fundamental studies, here we refer to a matrix isolation study of a TiO, a neutral oxide of an early 3d metal. In elegant spectroscopic studies, neutral TiO was shown to be able to activate methane upon irradiation with visible light (Scheme 11). In comparison to most ionic species, in particular with respect to oxides of later transition metals, the C-H bond activation does not occur across the metal-oxygen bond but only takes place at the metal with the oxo-ligand

acting as a mere spectator.”

5. 著名的美国理论化学家P. R. Schleyer教授在J. Am. Chem. Soc. 杂志上发表的论文中（见他引论文8）将本项目金属二聚体活化氮气生成笼状金属氮化物的机理工作（科学发现点3.3）作为氮气络合物结构、成键和反应特性研究的代表工作之一：“自从1965年首次发现氮气络合物以来，无机和金属有机化学家们对结构、成键模式以及反应特性贡献了大量的基础知识”。代表性论文7是文献5之一。

“Since the first discovery of a dinitrogen complex in 1965, inorganic and organometallic chemists have contributed much fundamental knowledge on structures, binding modes, and reactivity patterns (5)。”

6. 本项目科学发现点3.4首次报道的多种瞬态中间体的光谱数据被美国国家标准局收录入数据库：J. Phys. Chem. Ref. Data Vol. 32 (2003)（见他证8）。

代表性论文专著目录：

1. Identification of an iridium-containing compound with a formal oxidation state of IX, Guanjun Wang, Mingfei Zhou*, James T. Goettel, Gary J. Schrobilgen*, Jing Su, Jun Li, Tobias Schloeder, Sebastian Riedel*, *Nature*, **2014**, 514, 475-478.
2. Formation and characterization of the iridium tetroxide molecule with iridium in the oxidation state +VIII, Yu Gong, Mingfei Zhou*, Martin Kaupp, Sebastian Riedel*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2009**, 48, 7879-7883.
3. OCBBCO: A neutral molecule with some boron-boron triple bond character, Mingfei Zhou*, Nobuko Tsumori, Zhenhua Li, Kangnian Fan, Lester Andrews, Qiang Xu*, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, 124, 12936-12937.
4. B₄(CO)₂: A new, observable σ - π diradical, Mingfei Zhou*, Qiang Xu*, Zhixiang Wang, Paul von Rague Schleyer*, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, 124, 14854-14855.
5. Chemistry on single atoms: Spontaneous hydrogen production from reactions of transition-metal atoms with methanol at cryogenic temperatures, Guanjun Wang, Jing Su, Yu Gong, Mingfei Zhou*, Jun Li*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, 49, 1302-1305.
6. Methane activation by titanium monoxide molecules: A matrix isolation infrared spectroscopic and theoretical study, Guanjun Wang, Yu Gong,

Mohua Chen, Mingfei Zhou*, *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, 128, 5974-5980.

7. Remarkable dinitrogen activation and cleavage by the Gd dimer: From dinitrogen complexes to ring and cage nitrides, Mingfei Zhou*; Xi Jin, Yu Gong, Jun Li*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, 46, 2911-2914.
8. Reactions of group IV metal atoms with water molecules. Matrix-isolation FTIR and theoretical studies, Mingfei Zhou*, Luning Zhang, Jian Dong, Qizong Qin, *J. Am. Chem. Soc.* **2000**, 122, 10680-10688.

主要完成人情况:

8. 姓名: 周鸣飞

排名: 1

行政职务: 无

技术职称: 教授

工作单位: 复旦大学

完成单位: 复旦大学

对本项目技术创造性贡献: 该项研究的学术带头人, 负责整个项目的研究方向确定, 指导实验研究工作和共同撰写论文。对本项目所有科学发现作出了创造性贡献, 是所有 8 篇代表论文的作者。

9. 姓名: 李 隼

排名: 2

行政职务: 无

技术职称: 教授

工作单位: 清华大学

完成单位: 清华大学

对本项目技术创造性贡献: 该项目理论研究的学术带头人, 指导和从事理论研究工作及共同撰写论文。是第 1,5 和 7 篇代表论文的作者。

10. 姓名: 王冠军

排名：3

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：该项研究的主要参与人，负责本项目研究所涉及的红外光解离光谱仪器的研制，是第 1,5 和 6 篇代表论文的作者。

11. 姓名：陈末华

排名：4

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：该项研究的主要参与人，主要参与本项目研究所涉及的低温基质隔离红外仪器的研制，是第 6 篇代表论文的作者。

12. 姓名：龚昱

排名：5

行政职务：研究室副主任

技术职称：研究员

工作单位：中国科学院上海应用物理研究所

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：该项研究的主要实验参与人，是第 1,5, 6 和 7 篇代表论文的作者。

完成人合作关系说明：

主要完成人周鸣飞、王冠军、陈末华和龚昱为复旦大学同一课题组成员，其中周鸣飞为课题负责人，全程参与了项目研究，负责整个项目的研究方向确定，指导研究工作和论文撰写。王冠军为项目的主要骨干，从 2004 年作为周鸣飞课

题组的博士研究生开始参与本项目研究工作，2007 年博士毕业后留校工作，继续开展研究工作，主要负责本项目研究所涉及的红外光解离光谱仪器的研制，开展相关研究工作。陈末华为该项目的研究骨干，2001 年进入复旦大学工作开始参与本项目的研究工作，主要参与本项目研究所涉及的低温基质隔离红外仪器的研制，协助指导研究生开展相关研究工作。龚昱为项目主要参与人，2005 年作为周鸣飞课题组的硕博连读研究生开始参与本项目研究工作，主要开展本项目中低温基质隔离红外光谱的实验研究工作。

主要完成人李隽为清华大学教授，主要从事理论与计算化学研究，从 2006 年开始与复旦大学周鸣飞课题组开展合作研究，是本项目理论研究的学术带头人，指导理论研究工作和撰写论文。

完成人之间的合作关系主要以合著论文的形式体现。周鸣飞是代表性论文 6, 8 的通讯作者，代表性论文 1, 2, 3, 4, 5, 7 的共同通讯作者；李隽是代表性论文 5, 7 的共同通讯作者，代表性论文 1 的共同作者；王冠军是代表性论文 1, 5, 6 的共同作者；陈末华是代表性论文 6 的共同作者；龚昱是代表性论文 2, 5, 6, 7 的共同作者。

知情同意证明：

(1) Identification of an iridium-containing compound with a formal oxidation state of IX, Guan-Jun Wang, Ming-Fei Zhou*, James T. Goettel, Gary J. Schrobilgen*, Jing Su, Jun Li, Tobias Schloeder, Sebastian Riedel*, *Nature*, 2014, 514, 475-478.

作者：王冠军，周鸣飞*，James T. Goettel, Gary J. Schrobilgen*，苏静，李隽，Tobias Schloeder, Sebastian Riedel*

We (Gary J. Schrobilgen and Sebastian Riedel), the co-corresponding authors of the above listed representative paper fully agree that we are not included as the nominees for the National Science Award of China.

Gary J. Schrobilgen, Professor
Department of Chemistry,
McMaster University,
1280 Main Street West, Hamilton, Ontario L8S 4M1, Canada

Sebastian Riedel, Professor
Institut für Chemie und Biochemie – Anorganische Chemie,
Freie Universität Berlin,
Fabeckstrasse 34-36, D-14195 Berlin, Germany

(2) Formation and Characterization of the Iridium Tetroxide Molecule with

Iridium in the Oxidation State +VIII. Yu Gong, Mingfei Zhou*, Martin Kaupp, Sebastian Riedel*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2009, 48, 7879-7883.

作者：龚昱，周鸣飞*，Martin Kaupp, Sebastian Riedel*

I, Sebastian Riedel as the co-corresponding author of the above listed representative paper fully agree that I am not included as the nominee for the National Science Award of China.

Sebastian Riedel, Professor
Institut für Chemie und Biochemie – Anorganische Chemie,
Freie Universität Berlin,
Fabeckstrasse 34-36, D-14195 Berlin, Germany

(3)OCBBCO: A neutral molecule with some boron-boron triple bond character, Mingfei Zhou*, Nobuko Tsumori, Zhenhua Li, Kangnian Fan, Lester Andrews, Qiang Xu*, *J. Am. Chem. Soc.* 2002, 124, 12936-12937.

作者：周鸣飞*, Nobuko Tsumori, 李振华, 范康年, Lester Andrews, Qiang Xu*

(4)B₄(CO)₂: A New, Observable σ - π Diradical, Mingfei Zhou*, Qiang Xu*, Zhi-Xiang Wang, Paul von Rague Schleyer*, *J. Am. Chem. Soc.* 2002, 124, 14854-14855.

作者：周鸣飞*, Qiang Xu*, Zhixiang Wang, Paul von Rague Schleyer* (Schleyer 教授于 2014 年去世)。

I, Qiang Xu, the co-corresponding author of the two above listed representative papers fully agree that I am not included as the nominee for the National Science Award of China.

Qiang Xu, Professor
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,
1-8-31 Midorigaoka, Ikeda, Osaka 563-8577, Japan

序号	奖种	项目名称	第一完成人
4	自然科学	动物丝仿生制备及丝蛋白多元化应用中的关键问题	邵正中

项目名称：动物丝仿生制备及丝蛋白多元化应用中的关键问题

提名意见：

该项目首次发现了在特定条件下得到的蚕丝其综合力学性能可与蜘蛛丝媲美，认识到蚕茧丝的力学性能远不如蜘蛛丝的本质原因为蚕的“8”字型吐丝行为及由此导致的分子链聚集态结构层次上所产生的缺陷，并指出对于丝蛋白这一类的结构性生物大分子，其材料的最终性能是由分子链的化学结构和制备过程共同影响的聚集态结构所决定的。这不仅对于人工模拟生物纺丝具有方向性的指导意义，而且为发掘丝蛋白这类非生理活性天然高分子的多元化应用潜力提供了理论

基础。综合以上研究，该项目在利用蚕丝蛋白作为基础物质而开展的高性能人工丝纤维的实验室纺制已获得突破，并且制备出一系列具有不同形状和功能的丝蛋白基材料。项目涉及高分子科学、材料科学以及生物学等多学科交叉领域，研究内容和结果具有鲜明特色及很强的创新性。

项目简介：

1. 发现动物的宏观纺丝行为和微观成丝机理对丝纤维聚集态结构及由此决定的超常力学性能具有举足轻重的作用，提出“动物丝及丝蛋白一类结构性生物大分子，其最终性能不仅取决于蛋白质的氨基酸序列，而更可能依赖于材料生成时的条件和分子链聚集态结构”的观点，打破了“要仿制蜘蛛丝般‘超级纤维’首先需要制备类蜘蛛丝蛋白”的定式思维，指出能利用丰产的蚕丝蛋白作为原料，以再生的方法制备高性能丝纤维，在分子链聚集态结构的层次上为高性能动物丝的仿制提供了理论基础。

2. 发现了同步辐射和时间分辨红外光谱及圆二色谱等多种光谱手段对动物单丝（蛋白）结构表征及构象转变进行实时跟踪的方法，突破了以往只能对丝蛋白结构的始/终态进行静态测定的局限，由此能够系统地了解多种外源性因素如溶剂、离子、pH 值和应力等对丝蛋白构象变化的影响。在提出了动物丝成丝机理即“丝蛋白由剪切力或拉伸流动所诱导并具有成核依赖性的纤维化聚集”的同时，发明了一种制备高浓度且稳定丝蛋白水溶液的方法，并在实验室成功纺出综合力学性能超过天然蚕茧丝的再生丝蛋白纤维，以实践验证了生产出与天然蜘蛛丝性能相近的“超级蚕丝蛋白纤维”的可行性。

3. 从高分子物理化学的基础角度揭示并解决了动物丝蛋白的分子链在各种外源性条件制约下的构象转变、相互作用、定向凝聚及凝聚态结构等一系列关键问题，并制备出一系列具有不同形状和功能的丝蛋白基材料，由此发掘出这类非生理活性天然高分子的多元化应用潜力，进而在生物医用和生物矿化等领域得到了具体的体现。

本项目在包括 *Nature* 和 *Nature Materials* 在内的学术期刊上发表多篇论文；8 篇代表性论文被 SCI 刊物他引 759 次；获中国发明专利授权 8 件。

本项目的工作被评价为“能够引起从事动物丝工作的生物学家、想以基因工程的方法得到人造类丝蛋白的材料学家和生物技术学家的浓厚兴趣”、“真正强调了纤维形成条件的重要性”以及“表明通过改变拉丝的方式，能获得更强韧且性能接近蜘蛛主腺体丝……这成为了复兴丝类材料的基础”。不仅成为了高分子科学和仿生科学之间的桥梁，并在很大程度上推动了众多相关学科的发展。

客观评价：

国内外众多科学杂志曾对本项目“有关强拉蚕丝的优异力学性能的工作”作出专题评论和摘要，如 *Science News* 援引当时 *Biomacromolecules* 杂志副主编 D. Kaplan 教授等同行专家对此的评价不仅为“clever”，而且“真正强调了纤维形成条件的重要性”；国家自然科学基金委亦在其网站上撰文称“我国学者在天然丝与超

高强度纤维方面取得重要进展”，并认为“有可能影响今后国内外丝（蛋白）问题上的研究工作重点”；著名高分子物理学家 E. Atkins 教授在 2003 年 *Nature* 杂志上发表的对另一篇相关文章的评论时，特别提到了本项目的工作，指出“在（性能）调控方面，Shao 和 Vollrath 已经表明通过改变拉丝的方式，能获得更强韧且性能接近蜘蛛主腺体丝.....这成为了复兴丝类材料的基础”

有关对蜘蛛主腺体丝在水中发生超收缩行为的原因探索文章发表两年后，*Nature China* 对其进行了专题报道；而在物理学的重要杂志 *The European Physics Journal E* 上的文章（2007, 24: 193—199），其主要内容就是利用对外场直接的微观响应证明本项目所提出的“ β -折叠与预拉伸链密切相关”的观点，因而从摘要上就开始了引用。

英国皇家学会的 *Chem. Technol.* 杂志，对项目有关蜘蛛纺丝机理的文章向读者作了详细的评述和重点推荐，指出“Shao 相信要制备性能良好的丝纤维，纺丝过程和原料的使用同样重要，今后（在这方面）的挑战在于优化纺丝过程及降低仿制成本.....英国 University of Manchester 的生物材料高级讲师 Stephen Eichhorn 对 *Chem. Technol.* 杂志说，他希望这一工作能够引领性能优于蜘蛛丝的人造丝纤维的出现”

美国的 I. Georgakoudi 教授在其有关丝蛋白基生物材料研制的文章中，以大篇幅地介绍了本项目有关蚕丝的强度、性能和结构之间的关系以及谱学测量的结果，并以其作为他们测定的参考依据；在对“丝蛋白材料性能的差异主要由其内部分子链取向程度和规整程度决定”的观点进行了重点引用。

University of Sheffield 大学的 P. V. Hatton 教授在综述丝蛋白作为组织工程用生物材料时引用了本项目 5 篇文章以突出丝纤维的优异性能，并介绍了我们提出的将丝蛋白结构与淀粉样纤维结构类比的观点。

Massachusetts 大学的 S. P. Gido 教授在文章中，不仅同时关注了本项目研究所得到的强拉天然蚕丝和人工仿制再生蚕丝的超常力学性能：“我们特别指出的是，采用强迫拉丝或在硫酸铵沉淀浴中制备的丝纤维具有超常的性能”，而且还着重论述了项目所提出的纺丝条件与丝纤维性能之间的构效关系：在不加或少加甲醇，而通过调节 pH 以及加入相应的盐可以得到适合（再生丝蛋白）湿法纺丝的沉淀浴。总体而言，在沉淀浴中（丝蛋白分子链）结构变化的速度必须足够快以使纤维能够形成，但也不能快到产生脆性纤维”。

北卡州立大学的 S. M. Hudson 教授在其发表的文章中，大段描述了项目中所采用荧光光谱法对丝蛋白结构转变过程的研究工作，并明确表示他们的结果支持本项目的结论。澳大利亚 Deakin University 的 X. Wang 教授在其文章中，大篇幅地介绍和引用了本项目有关光谱学对丝蛋白的结构及其转变的研究，并在其讨论中多次表示他们所得结果（在不同体系中）与本项目的相似或一致。

代表性论文专著目录：

序号	论文专著 名称/刊名 /作者	影响 因子	年卷页码 （xx 年 xx 卷	发表 时间	通 讯	第 一	国内 作者	SCI 他	他 引	论 文
----	----------------------	----------	-----------------------	----------	--------	--------	----------	----------	--------	--------

			xx 页)	年 月 日	作 者 含 共 同	作 者 含 共 同		引 次 数	总 次 数	署 名 单 位 是 否 包 含 国 外 单 位
1	Materials: Surprising strength of silkworm silk/ <i>Nature</i> /Shao Z. Z., Vollrath F	40.137	2002 年 418 卷 741~741 页	2002 年 8 月 15 日	邵正中	邵正中	邵正中	356	356	是
2	Relationships between supercontraction and mechanical properties of spider silk/ <i>Nature Materials</i> / Liu Y., Shao Z. Z., Vollrath, F.	39.737	2005 年 4 卷 901~905 页	2005 年 12 月 20 日	邵正中	刘毅	刘毅, 邵正中	101	101	是
3	Silk Fibers Extruded Artificially from Aqueous Solutions of Regenerated Bombyx mori Silk Fibroin are Tougher than their Natural Counterparts/ <i>Advanced Materials</i> / Zhou G. Q., Shao Z. Z., Knight D. P., Yan J. P., Chen X.,	19.791	2009 年 21 卷 366~370 页	2009 年 01 月 6 日	陈新	周官强	周官强, 邵正中, 严佳萍, 陈新,	54	54	是
4	Synthesis and characterization of multiblock copolymers based on spider dragline silk proteins/Biomacromolecules/ Zhou C. C., Leng B. X., Yao J. R., Qian J., Chen X., Zhou P., Knight D. P., Shao Z. Z.	5.246	2006 年 7 卷 2415~2419 页	2006 年 6 月 30 日	邵正中	周春才	周春才, 冷柏逊, 姚晋荣, 钱	37	37	是

							洁, 陈新, 周平, 邵正中			
5	Optical spectroscopy to investigate the structure of regenerated Bombyx mori silk fibroin in solution/Biomacromolecules/ Yang Y. H., Shao Z. Z., Chen X., Zhou P.,	5.246	2004 年 5 卷 773~779 页	2004 年 6 月 2 日	邵正中	杨宇红	杨宇红, 邵正中, 陈新, 周平	41	41	否
6	The natural silk spinning process ~ A nucleation-dependent aggregation mechanism?/European Journal of Biochemistry/ Li G. Y., Zhou P., Shao Z. Z., Xie X., Chen X., Wang H. H., Chunyu L. J., Yu T. Y.	3.902	2001 年 268 卷 6600~6606 页	2001 年 12 月	周平.	李贵阳	李贵阳, 周平, 邵正中, 谢旬, 陈新, 王洪海, 淳于娟, 于同隐	63	63	否
7	Synchrotron FTIR Microspectroscopy of Single Natural Silk Fibers/Biomacromolecules/Ling S.J., Qi Z., Knight D. P., Shao Z. Z., Chen X.	5.246	2011 年 12 卷 3344~3349 页	2011 年 8 月 4 日	陈新	凌盛杰	凌盛杰, 戚泽明, 邵正中, 陈新	32	32	是
8	The preparation of regenerated silk fibroin microspheres / Soft Matter/ Cao Z. B., Chen X., Yao J. R., Huang L., Shao Z. Z.	3.889	2007 年 3 卷 910~915 页	2007 年 5 月 22 日	邵正中	曹正兵	曹正兵, 陈新, 姚晋荣, 黄	35	35	否

							蕾，邵正中			
合 计								759	759	

主要完成人情况：

13. 姓名：邵正中

排名：1

行政职务：

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

主持整个项目的设计和协调，对全部发现点均做出了重要贡献，主要是提出并证实了对于丝蛋白这一类的结构性生物大分子，纤维的成型过程及其分子链的聚集态结构是动物丝纤维最终性能的决定因素之一的观点；指出了通常蚕茧丝的力学性能远不如蜘蛛丝的真正原因；在特定条件下得到了综合性能可与蜘蛛丝媲美的蚕丝；澄清了多年来对蚕丝力学性能不如蜘蛛丝解释的误区，推翻了国际上从基因工程设计改造丝蛋白一级结构进而纺丝得到高性能蛋白质纤维的研究思路。完成了高性能人工蚕丝纤维的纺制。参与本项目的工作量占个人总工作量的80%。

14. 姓名：陈新

排名：2

行政职务：

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

首次运用同步辐射和时间分辨红外光谱对蚕和蜘蛛丝蛋白在外界因素（金属离子、醇、剪切力和温度等）诱导下的构象转变进行成功跟踪，获得了丝蛋白构象转变的动力学数据，并由此提出了丝蛋白构象转变具有快、慢两相的理论，对完善和发展蚕和蜘蛛的吐丝机理作出了贡献；完成了部分人工蚕丝纤维纺制工作（发现点 1-3；代表性论文 3-8）。参与本项目的工作量占个人总工作量的 60%。

15. 姓名：周平

排名：3

行政职务：

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

提出了动物丝的成丝机理是一个由成核(beta-折叠构象)控制的高分子链的有序聚集过程，指出这一机理在蛋白质的折叠—解折叠过程中存在一定的普遍性（发现点 2；代表性论文 4-6）。参与本项目的工作量占个人总工作量的 40%

16. 姓名：姚晋荣

排名：4

行政职务：

技术职称：副教授

工作单位：复旦大学

提出在二级结构层次上对丝蛋白进行模拟合成思路，完成了一系列含源于蜘蛛丝及蚕丝蛋白结晶区的多肽片段与通常合成高分子的多嵌段共聚物及其表征。

（发现点 1, 3；代表性论文 4, 8；发现点 3，代表性论文 8）。参与本项目的工作量占个人总工作量的 40%。

17. 姓名：杨宇红

排名：5

行政职务：

技术职称：高级工程师

工作单位：复旦大学

完成了应用荧光光谱及核磁共振对丝素蛋白构象的研究，进一步完善了丝蛋白构象转变机理。（发现点 2；代表性论文 5）。参与本项目的工作量占个人总工作量的 30%。

完成人合作关系说明：

本项目完成人为邵正中、陈新、周平、姚晋荣、杨宇红共 5 人。

其中，陈新于 1998 年 5 月与邵正中一起组建了复旦大学生物大分子课题组，随后以课题组负责人之一的身份长期从事动物丝蛋白等结构性生物大分子的科研工作，与本项目第一完成人共同完成了 1 项相关的国家自然科学基金重点项目。合作成果：合作发表代表性论文 3、4、5、6、7 和 8，是代表性论文 3 和 7 的独立通讯作者。

周平在 1998 年 5 月参与组建了复旦大学生物大分子课题组，在组内从事丝蛋白结构与性能的研究多年。合作成果：合作发表代表性论文 4、5 和 6，是代表性论文 6 的独立通讯作者。

姚晋荣于 1999 进入复旦大学生物大分子课题组攻读博士学位（导师为于同隐/邵正中）；毕业后留校/留组从事天然生物大分子的研究工作，与第一完成人等合作完成了相关的国家自然科学基金重点项目 2 项和面上基金 1 项。合作成果：合作发表代表性论文 4 和 8

杨宇红于 2000 年进入复旦大学生物大分子课题组攻读博士学位（导师邵正中）；毕业后留校继续从事天然生物大分子的研究工作，与第一完成人等合作完成了相关的国家自然科学基金重点项目 1 项和面上基金 2 项。合作成果：是代表性论文 5 的第一作者（项目第一完成人为独立通讯作者）。

序号	奖种	项目名称	第一完成人
5	自然科学	聚合物-无机杂化胶体复合微球的设计制备及其组装与性能	武利民

项目名称：聚合物-无机杂化胶体复合微球的设计制备及其组装与性能

提名意见：

该项目以聚合物-无机杂化胶体复合微球及其无机空心胶体微球的构筑新机制和新方法为主题进行了多年的持续研究，提出了多种基于有机-无机之间非共价键作用机制的杂化胶体微球及其空心微球的设计构筑新原理和制备新方法新策略，可控地制备了一系列不同组成和结构的杂化胶体微球和及其无机空心胶体微球；进一步发展出基于油-水界面组装胶体颗粒薄膜及其光电器件的构筑新路线，为胶体微球在光电领域的应用和光电器件的构筑开辟了新途径。相关新路线新方法及其构筑新原理得到了国际同行的高度评价，并被国内外许多课题组跟踪

采用直接用来设计制备新材料。

项目简介:

聚合物-无机杂化胶体微球不仅可以利用聚合物的易加工性、可塑性和无机物的热、力学性能、以及二者的功能性等,而且利用聚合物的性质可以实现其结构与形态调控,在化工新材料、光电材料与器件、生物医用等领域具有广阔应用。但由于聚合物与无机物性质相差悬殊,相互作用性差,使得杂化胶体微球的制备往往需要表面改性、洗涤、分离,甚至更换介质再进行反应等复杂的过程。如果要得到空心结构,还需要高温煅烧或溶剂刻蚀去模板等更加复杂的过程,且结构与形态难以控制。该项目围绕有机-无机之间的相互作用新机制和杂化胶体微球及其空心微球的构筑新原理新方法和结构与形态调控展开了深入系统研究,取得了一些原创性研究成果:

1. 构建了基于有机-无机之间非共价键作用机制的杂化胶体微球设计制备原理。揭示和利用了有机-无机之间静电、酸-碱等非共价键相互作用机制,原位可控地设计构筑了一系列核-壳型、草莓型、多层结构等的聚合物-无机杂化胶体微球,解决了制备过程复杂、结构和形态难调控等问题,开辟出杂化胶体微球的设计制备新路线。

2. 发现和揭示了均匀无机空心胶体微球的形成新机制。在设计杂化胶体微球的基础上,进一步发现和揭示了表面官能化的聚合物模板微球不仅可以通过静电等非共价键作用原理吸附无机粒子形成壳层,而且在非共价键、反应介质和无机壳层的毛细管力协同作用下发生解集从而分子链由内向外扩散、直接形成空心结构的现象和机制,发展出具有普适性的均匀无机空心微球的高效可控构筑新方法,突破了常规制备方法存在的去模板、空心球易变形等难题。

3. 创建出油-水界面自组装构筑胶体微球薄膜光电器件的新策略。以胶体微球为单元,通过非共价键作用机制在油-水界面诱导胶体微球自组装,成功构筑了不同组成和结构的半导体胶体微球薄膜及其光电器件,为胶体微球的应用和光电器件的构建开辟了新途径。

上述基于有机-无机之间非共价键作用机制的设计原理及其杂化胶体微球和无机空心微球和组装体的构筑新策略分别发表在 *Adv. Mater.*, *J. Am. Chem. Soc.* 和 *Chem. Soc. Rev.* 等国际权威学术期刊上。8 篇代表性论文平均影响因子 12.09, 被 SCI 正面他引 1262 次;相关新路线新方法及其构筑新原理得到了包括美国工程院院士 T. P. Russell、欧洲科学院院士 L. M. Liz-Marzán、英国皇家学会院士 S. P. Armes 等在内的国内外同行的高度评价。1 人入选教育部长江学者特聘教授、1 人获得基金委优青资助、1 人入选中组部首批青年拔尖人才和教育部长江学者、1 人获全国百篇优博论文奖、项目主要人员作为学术带头人以“功能胶体微球的构筑、组装与应用”为主题获得基金委创新群体资助。部分成果获上海市自然科学一等奖。

客观评价:

基于有机-无机之间的静电、酸-碱相互作用原理设计制备聚合物-无机杂化胶体微球方面的工作被德国马普聚合物研究所所长 K. Landfester 和乌尔姆大学的 U. Ziener 等人评价为“陈等人第一次以乙烯基咪唑(1-VID)的酸-碱作用机

制制备了 PMMA-SiO₂ 杂化粒子。这些作者还首次提出了基于静电相互作用制备杂化微球的方法。”；英国皇家学会院士、谢菲尔德大学聚合物中心主任 S. P. Armes 等大篇幅引用了这两种相互作用机制方面的工作，并进一步评价为“大多数胶体复合粒子只含一种无机粒子。最近，更引人注目的多层杂化微球通过细乳液聚合得到了。”。

德国不来梅大学的 K. Rezwan 等人评价：“武等人通过在聚合反应前将二氧化硅溶胶诱导在单体模板上创造出 PMMA/SiO₂ 杂化粒子。”；利用酸-碱相互作用设计原理的构筑方法，还被国际液-液界面的固体粒子领域开拓者、英国赫尔大学的 B. P. Binks 教授在其剑桥大学出版的专著“Colloidal Particles at Liquid Interfaces”中重点介绍，并引用了相关照片。陕西师大 D. D. Hu 等人评价为：“武等人报道了一种新的草莓型 PMMA/SiO₂ 杂化微球制备方法，给我们提供了一个制备各种环境友好杂化微球或良好性能材料（耐磨、UV 屏蔽、可反应性、光学、电学等）的原理。”。

一步制备均匀二氧化硅空心微球的工作被日本国立先进工业科学技术研究所首席高级研究员 M. Fujiwara 等评价为“原创性地发展出化学方法制备二氧化硅空心微球。”；欧洲科学院院士、西班牙维戈大学的 L. M. Liz-Marzán 等将该工作评价为二氧化硅包覆聚合物最成功的方法。

一步制备 Fe₃O₄/ZnS 纳米空心微球方面的工作被韩国庆熙大学的 W. S. Kim 教授评价为“武等人将腐蚀与奥斯瓦德熟化方法结合报道了一种非常简便的超顺磁和荧光特性的 Fe₃O₄-ZnS 空心纳米球合成策略。空心球尺寸小于 100 纳米，不仅无毒而且显示非常好的磁共振和荧光性能。”。

油-水界面自组装构筑 ZnO 空心微球薄膜光电器件方面的工作被日本国立材料科学研究所 Y. Bando 和中科院化学所姚建年院士等人评价为“方及其同事制备了第一个基于 ZnO 空心微球为结构单元的空心微球纳米薄膜光探测器。”；

Y. Bando 课题组以整个页面的篇幅详细介绍了他们利用油水界面组装方法构建基于空心微球等纳米颗粒薄膜的光电探测器，并进一步评价为“更重要地，武课题组将油-水界面组装方法开发成一种新的敏捷的纳米薄膜器件构筑策略，如光探测器…。自从武及其同事报道第一个基于氧化锌空心微球的纳米薄膜光探测器以来，各种空心微球如 Bi₂E₃ (E = S, Se, Te), ZnS, SnO₂ 和 ZnO 被制备用于光探测器。”；

美国工程院院士 T. P. Russell 等人详细介绍了该方法，并评价：“武和同事已经将这种组装方法发展成一种新颖快捷的构筑纳米薄膜器件如光探测器的策略。胡等人通过这个方法成功构筑了 NiCo₂O₄ 片的纳米薄膜。这种光探测器显示出好的灵敏性、极好的稳定性和快速响应时间，证明这种纳米薄膜是一种有潜力的高频率的光探测器。”；香港科技大学 Z. Fan 等人详细介绍了该项目基于 ZnS 和 ZnO 双层空心球纳米薄膜光响应工作原理，评价为：“这种结构的光探测器件具有高稳定性和可重复性，尤其是几十次开关循环后没有发现衰减，说明具有极好的稳定性和快速响应速度。”

代表性论文专著目录:

序号	论文专著名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码(xx年xx卷xx页)	发表时间年月日	通讯作者	第一作者	SCI他引次数	是否国内完成
1	A novel preparation method of raspberry-like PMMA/SiO ₂ hybrid microspheres / MACROMOLECULES / Chen M, Zhou SX, You B, Wu LM	5.838	2005, 38, 6411-6417	2005年7月26日	武利民	陈敏	165	是
2	Synthesis of raspberry-like PMMA/SiO ₂ nanocomposite particles via a surfactant-free method / MACROMOLECULES / Chen M, Wu LM, Zhou SX, You B	5.838	2004, 37, 9613-9619	2004年11月12日	武利民	陈敏	138	是
3	A method for the fabrication of monodisperse hollow silica spheres / ADVANCED MATERIALS / Chen M, Wu LM, Zhou SX, You B	19.791	2006, 18, 801-806	2006年3月17日	武利民	陈敏	287	是
4	A Facile Method to Fabricate ZnO Hollow Spheres and Their Photocatalytic Property / JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B / Deng ZW, Chen M, Gu GX, Wu LM	3.177	2008, 112, 16-22	2008年1月10日	武利民	邓子巍	228	
5	Facile Synthesis of Superparamagnetic Fluorescent Fe ₃ O ₄ /ZnS Hollow Nanospheres / JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY / Wang ZX, Wu LM, Chen M, Zhou SX	13.858	2009, 131, 11276-11277	2009年8月19日	武利民	王振轩	105	是
6	ZnO Hollow-Sphere Nanofilm Based High-Performance and Low-Cost Photodetector / SMALL / Chen M, Hu LF, Xu JX, Liao MY, Wu LM, Fang XS	8.643	2011, 7, 2449-2453	2011年9月5日	武利民 / 方晓生	陈敏	146	是

7	High-Performance NiCo ₂ O ₄ Nanofilm Photodetectors Fabricated by an Interfacial Self-Assembly Strategy / ADVANCED MATERIALS / Hu LF, Wu LM, Liao MY, Fang XS	19.791	2011, 23, 1988-1992	2011年5月3日	武利民 / 方晓生	胡林峰	106	是
8	Stacking-Order-Dependent Optoelectronic Properties of Bilayer Nanofilm Photodetectors Made From Hollow ZnS and ZnO Microspheres / ADVANCED MATERIALS / Hu LF, Chen M, Shan WZ, Zhan TR, Liao MY, Fang XS, Hu XH, Wu LM	19.791	2012, 24, 5872-5877	2012年11月14日	武利民	胡林峰	87	是
合计							1262	

主要完成人情况:

18. 姓名: 武利民

排名: 1

行政职务:

技术职称: 教授

工作单位: 复旦大学

对本项目技术创造性贡献: 项目负责人, 负责项目的方案设计和技术路线等。是所有代表性论文的通讯作者, 是关键科学发现点 1、2、3 主要贡献者之一。(1) 在国际上首次通过静电相互作用构筑了聚合物-无机杂化胶体微球; (2) 发明了一步制备均匀无机空心微球的新方法; (3) 构筑了胶体粒子纳米薄膜及其光探测器。参与本项目工作量占本人总工作量的 80%。

19. 姓名: 陈敏

排名: 2

行政职务:

技术职称: 教授

工作单位: 复旦大学

对本项目技术创造性贡献: 是代表性论文 1、2、3 和 6 的第一作者, 是关键科学发现点 1、2 的主要贡献者之一; 发明了一步制备均匀无机空心微球的新方法; 并是关键科学发现点 3 的重要贡献者。参与本项目工作量占本人总工作量的 80%。

20. 姓名: 方晓生

排名: 3

行政职务:

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：是代表性论文 6、7 的共同通讯作者和论文 5、8 的合作者，是关键科学发现点 3 的主要贡献者之一；构筑了基于无机半导体空心微球和纳米粒子颗粒薄膜的 UV 光探测器。参与本项目工作量占本人总工作量的 40%。

21. 姓名：胡林峰

排名：4

行政职务：

技术职称：副教授

工作单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：是代表性论文 7、8 的第一作者和 6 的合作者，是关键科学发现点 3 的主要贡献者之一。首次利用油水界面自组装方法构建多个胶体粒子颗粒膜的光电器件。参与本项目工作量占本人总工作量的 30%。

22. 姓名：周树学

排名：5

行政职务：

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：主要参与关键科学发现点 1、2 的研究工作，是代表性论文 1、2、3 和 5 的合作者。参与聚合物-无机杂化胶体复合微球的制备及机理讨论等研究工作。参与本项目工作量占本人总工作量的 40%。

完成人合作关系说明：

本项目完成人为武利民、陈敏、方晓生、胡林峰、周树学共 5 人。

其中，陈敏于 2003 年 9 月进入复旦大学武利民课题组攻读博士学位，博士论文题目“聚合物/SiO₂有机-无机纳米复合微球的制备与表征”，2006 年 7 月毕业留同一课题组工作，其论文入选 2008 年获全国百篇优秀博士论文，国家自然科学基金优青获得者。合作成果：合作发表代表性论文 1、2、3、4、5、6 和 8，是代表性论文 1、2、3 和 6 的第一作者，项目第一完成人为通讯作者。

方晓生为 2011 年 11 月作为中组部首批“青年拔尖人才”入职复旦大学材料系工作，长期从事一维半导体纳米线的光探测器研究工作。回国之后就本项目中的胶体空心微球用于光探测器进行了合作研究。合作成果：合作发表代表性论文 5、6、7 和 8，其中 6 和 7 与项目第一完成人为共同通讯作者。

胡林峰于 2010 年 12 月从日本筑波大学获得博士学位后应聘材料系工作，就本项目中的胶体空心微球组装成颗粒薄膜用于光探测器进行了合作研究。合作成果：合作发表代表性论文 6、7 和 8，是代表性论文 7 和 8 的第一作者。

周树学 2002 年从武利民课题组博士后出站留校工作，一直与本项目第一完成人一起从事聚合物-无机杂化材料研究。合作成果：合作发表代表性论文 1、2、

3 和 5。

知情同意证明：

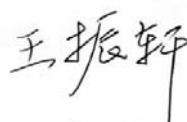
作者知情同意证明

本人知晓并同意博士生期间，作为第一作者发表的论文：

Facile Synthesis of Superparamagnetic Fluorescent $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnS}$ Hollow Nanospheres / JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY / Wang ZX, Wu LM*, Chen M, Zhou SX

被导师武利民教授作为代表性论文之一申报国家自然科学基金。特此证明。

论文第一作者



2017 年 12 月 15 日

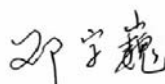
作者知情同意证明

本人知晓并同意博士生期间，作为第一作者发表的论文：

A Facile Method to Fabricate ZnO Hollow Spheres and Their Photocatalytic Property / JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B / Deng ZW, Chen M, Gu GX, Wu LM*

被导师武利民教授作为代表性论文之一申报国家自然科学基金。特此证明。

论文第一作者



2017 年 12 月 15 日

序号	奖种	项目名称	第一完成人
----	----	------	-------

6	技术发明	新型饲用酶基因发现与改造关键技术及应用	吕红
---	------	---------------------	----

项目名称：新型饲用酶基因发现与改造关键技术及应用

提名意见：饲料高效利用直接关系到动物生产性能和健康状态，是健康养殖业的关键，受到整个社会关注。但成熟饲料酶热稳定性差、品种单一等问题制约了饲料高效利用。该项目在十一五国家 863 项目支持下，在特殊环境微生物饲料酶基因资源的挖掘与利用、热稳定性改造等方面开展了系统的原创性技术发明研究，取得了重要进展，发明了饲料酶热稳定性改造的新技术，获得了热稳定的木聚糖酶突变体和植酸酶突变体，高温下保留了高活性，使得原本不能使用酶制剂的高温制粒饲料可以大规模应用热稳定的酶制剂，饲用酶的应用取得了质的飞跃，解决了饲料酶高温制粒生产过程中的一个难题；建立了保守序列磁珠靶向捕获饲料酶基因技术，从特殊环境不可培养微生物宏基因组中高效富集获得了系列新型双功能酶；发明了饲料酶协同降解抗营养因子的调控技术，建立了针对不同饲料原料抗营养因子与饲料酶的匹配方法，使饲料利用率提高了 8-10%。该成果已经成功实现规模化生产与推广应用，近三年，直接经济效益，累积新产品销售量 15 多万吨，新增产值 53 多亿元；间接经济效益，累积新产品销量 547.38 万吨，新增产值 95.4 亿元。推广应用到全国 30 多个省市的饲料工业，包括全国 80% 百强饲料企业，在国内 100 多家饲用酶制剂企业中市场占有率 21%；出口俄罗斯等 25 个国家地区，全球直接用户 6000 家，对提升我国科技国际竞争力产生了重要影响，推动了健康养殖业的可持续健康发展，具有显著经济和社会效益。

项目简介：本项目属于农林养殖领域。我国饲料原料紧缺，饲料整体利用率不高。饲料酶是饲料高效利用的关键，是健康养殖的重点发展方向。但饲料原料品种多、抗营养因子种类多，而成熟饲料酶品种单一、功能单一、热稳定性差，制约了饲料高效利用，影响了饲料酶工业化生产应用和健康养殖业的发展。

本项目在十一五国家 863 等项目的支持下，针对饲用酶及其应用领域面临的共性关键技术问题，在新型饲用酶发现与改造关键技术方面取得重大突破，并拥有自主知识产权。取得以下创新成果：（1）依据自创的基于氨基酸热扰动基础的蛋白质稳定性预测模型，发明了定向突变酶活性中心疏水区氨基酸的饲料酶热稳定性改造技术，获得了热稳定的木聚糖酶突变体和植酸酶突变体，稳定了高温下蛋白质的构象，其去折叠温度 T_m 值分别提高了 12 度和 10 度，实现了饲料酶高温下高活性，解决了饲料酶高温制粒生产过程中的一个难题；（2）发明了保守序列磁珠探针靶向捕获双功能饲料酶基因技术。使特殊环境不可培养微生物中靶标基因的富集率提高了 1000 倍，获得了系列新型双功能抗营养因子降解酶，突破了宏基因组技术筛选量大、效率低、靶向性差的技术瓶颈。建立了含有 22 个种类的饲用酶，50 多个饲料酶库，为有效降解各类饲料中抗营养因子提供了酶源；（3）以饲料原料抗营养因子摩尔比例为理论依据，发明了饲料酶协同降解抗营养因子的调控技术，揭示了饲料原料中抗营养因子结构组成与饲料酶种类和活性的摩尔数对应规律，建立了针对不同饲料原料抗营养因子与饲料酶的匹配方法，使饲料利用率提高了 8-10%。成功实现了规模化工业生产，获得饲用包被耐温木聚糖酶、包被耐温植酸酶、葡聚糖酶、葡糖苷酶单酶及相应复合酶新产品，经国

家饲料质量监督检测中心的分析,包被耐温木聚糖酶和植酸酶的热稳定性分别是91%和85%,解决了饲料酶高温制粒酶活损失的难题,提高了饲料利用率,突破了饲用酶和绿色养殖的技术瓶颈。

近三年累积新产品售量15.782万吨,新增产值53.098亿元,新增利润5.087亿元,出口创汇520余万美元。

本成果授权发明专利9项,发表研究论文16篇。被cell旗下Trends in Microbiology等本领域权威杂志多次正面引用,整体技术达到国际先进水平,在饲料酶发现和耐温性改造等方面取得了原创性成果。

本成果产品已推广应用到全国30多个省市的饲料工业,包括全国80%百强饲料企业,在国内100多家饲用酶制剂企业中市场占有率21%;节约饲料成本10-30元/吨,2016年全国的饲料产量2.1亿吨,其中高温制粒饲料1.08亿吨,复配酶2.85万吨,饲料产量年增长率5%,市场潜力巨大;同时,出口俄罗斯等25个国家地区,全球直接用户6000家,对提升我国科技国际竞争力产生了重要影响。具有显著的经济和社会效益。

客观评价:饲料酶是饲料高效利用的关键,也是健康养殖业的核心,不仅能够提高动物的生产性能与健康状态,同时也缓解了饲料原料短缺危机,降低成本,为食品安全提供保障。但目前饲料原料种类多、抗营养因子类型多,而成熟饲料酶的品种与功能单一、酶的热稳定性差,高温制粒中酶活损失达到90%,这制约了饲料的高效利用。该项目在饲料酶耐温性改造、新型饲料酶双功能酶的挖掘与协同降解饲料抗营养因子方面取得的成果,突破了饲料高效利用的瓶颈,并实现了饲料酶及复合酶的工业化生产与应用,取得了显著的经济和社会效益。

该研究成果获得了热稳定的木聚糖酶突变体和植酸酶突变体,实现了饲料酶高温下高活性,在规模化工业生产中,均显示了良好的热稳定性能,它们的干燥收率和包被收率均明显优于生产中普遍使用的普通酶,解决了饲料酶高温制粒生产过程中高温酶活损失的难题。从不同环境中获得了22个种类的饲料酶,50多个饲料酶基因,拥有双功能的特性,其中瘤胃来源的新型双功能内外切葡聚糖酶Ru1Cel5B的外切葡聚糖酶的酶活性,在国际权威的酶数据库(Brenda)中位居第2(一共收录54个);获得的饲料复合酶能实现对抗营养因子的高效降解,饲料利用率提高了8-10%。获得了湖北省科学技术厅的科技成果。

本成果获得的双功能酶被Applied Microbiology and Biotechnology、Bioresource Technology、Trends in Microbiology等作为活性最高或典型案例进行了报道。美国弗吉尼亚联邦大学的Stephen S. Fong教授在权威综述杂志Trends in Microbiology上发表的综述文章,认为在不同环境中挖掘新型的纤维素降解酶是提高纤维素降解效率的关键,并将该研究获得的双功能木聚糖酶作为经典例子进行了介绍。加拿大农业及农产品研究中心T.A. McAllister教授在Appl Microbiol Biotechnol发表的论文中,多次引用了该项从瘤胃挖掘新型酶的技术和策略,他也采用了类似的方法,从瘤胃中发现了具有高底物特异性和pH稳定性的木聚糖酶。综合利用该技术,成功实现了规模化生产耐温木聚糖酶、

耐温植酸酶、内切葡聚糖酶、葡萄糖苷酶及相应的复合酶产品，该研究成果热稳定饲用酶在工业化生产、应用、储存运输过程都显示出比普通酶更高的稳定性能。该成果经国家权威部门中国饲料质量监督检查中心的检测分析，包被耐温木聚糖酶的热稳定性分别达到了 91%和 85%，均明显高于目前国内市场上主流销售的同类产品，整体技术指标达到了国际先进水平。该研究成果的生产与应用，直接经济效益，近三年累积新产品售量 15.782 万吨，新增产值 53.098 亿元，新增利润 5.087 亿元，出口创汇 520 余万美元。突破了我国饲料酶工业化生产及其在饲料高效利用中的技术瓶颈，产生了显著的经济和社会效益。

推广应用情况：本成果产品已推广应用到全国 30 多个省市的饲料工业，包括全国 80%百强饲料企业，在国内 100 多家饲用酶制剂企业中市场占有率 21%；节约饲料成本 10-30 元/吨，2016 年全国的饲料产量 2.1 亿吨，其中高温制粒饲料 1.08 亿吨，复配酶 2.85 万吨，饲料产量年增长率 5%，市场潜力巨大；同时，出口俄罗斯等 25 个国家地区，全球直接用户 6000 家，对提升我国科技国际竞争力产生了重要影响。具有显著的经济和社会效益。

主要知识产权证明目录：

知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	专利有效状态
发明专利	葡萄糖苷酶/木糖苷酶双功能纤维素降解酶 RuBGX2及其编码基因和应用	中国	ZL200910197703.7	2014年07月09日	1437583	复旦大学，武汉新华扬生物股份有限公司	吕红，包蕾，周峻岗，袁汉英，詹志春	有效专利
发明专利	一种耐温耐强碱的木聚糖酶改良基因及其	中国	ZL200810200060.2	2010年12月15日	716748	复旦大学，武汉新华	吕红，游淳，黄强	有效专利

利	基因工程菌株 及其制备方法					扬生物 股份有 限公司		
发 明 专 利	具有内切葡聚糖酶/木聚糖酶活性的双功能酶及其制备方法与应用		ZL2010 102089 45.4	2012年 10 月 17 日	1063 650	复旦大 学	吕红， 常磊， 周峻岗	有效专 利

主要完成人情况：

23. 姓名：吕红

排名：1

行政职务：无

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：全面负责，并对文章 1-10，专利 1-9 有贡献

24. 姓名：周峻岗

排名：2

行政职务：无

技术职称：讲师

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：贡献于 6 篇 SCI 论文（论文列表 3、5、6、8、9 和 10），7 项中国发明专利（ZL200910198068.4、ZL200910171716.7、ZL200910197703.7、ZL201010208945.4、ZL200910197704.1、ZL201210145521.7、ZL201210034543.6）。

25. 姓名：周樱

排名：3

行政职务：技术总监

技术职称：教授级高级工程师

工作单位：武汉新华扬生物股份有限公司

完成单位：武汉新华扬生物股份有限公司

对本项目技术创造性贡献：贡献于专利 10，获得湖北省科学技术厅科技成果

26. 姓名：黄强

排名：4
 行政职务：无
 技术职称：教授
 工作单位：复旦大学
 完成单位：复旦大学
 对本项目技术创造性贡献：贡献于 4 篇 SCI 论文（论文列表 1、4 和 10），和中国发明专利 ZL 200810200060.2

27. 姓名：游淳
 排名：5
 行政职务：无
 技术职称：研究员
 工作单位：中国科学院天津工业生物技术研究所
 完成单位：复旦大学
 对本项目技术创造性贡献：贡献于 2 篇 SCI 论文（论文列表 1 和 4），一项发明专利 ZL 200810200060.2

28. 姓名：洪平
 排名：6
 行政职务：董事长
 技术职称：高级工程师
 工作单位：安佑生物科技集团股份有限公司
 完成单位：安佑生物科技集团股份有限公司
 对本项目技术创造性贡献：成果鉴定一项

完成人合作关系说明：第二完成人周峻岗博士，自 2007 年周峻岗博士进入本项目第一完成人吕红教授课题组从事博士后研究，参与了“863”计划项目“特殊微生物资源的高通量基因分离技术”和国家自然科学基金重点项目“特境及不可培养微生物产生的新活性物质研究”等项目的研究，合著发表了 6 篇 SCI 论文（论文列表 3、5、6、8、9 和 10），申请并授权了 7 项目授权中国发明专利（ ZL200910198068.4 、 ZL200910171716.7 、 ZL200910197703.7 、 ZL201010208945.4、ZL200910197704.1、ZL201210145521.7、ZL201210034543.6。第三完成人周樱，武汉新华扬技术总监，负责第一完成人吕红教授团队研发的技术在新华扬的实施应用，在复旦-新华扬酶制剂研究中心，负责了饲料酶复合技术的研究与应用，获得湖北省科学技术厅科技成果。

第四完成人黄强教授，自 2008 年起合成开展饲用酶的热稳定性研究，合著发表了 4 篇 SCI 论文（论文列表 1、4 和 10），共同申请了中国发明专利 ZL 200810200060.2，

第五完成人游淳研究员，自 2003 年至 2009 年在本项目第一完成人吕红教授课题组攻读博士研究生学位，研究的课题是本项目的木聚糖热稳定性改造，在复旦大学学习期间以第一作者发表了 2 篇 SCI 论文（论文列表 1 和 4），通讯作者均为第一完成人吕红教授，授权一项发明专利 ZL 200810200060.2。

第五完成人洪平，安佑生物科技集团股份有限公司董事长，负责复旦-新华扬酶制剂新产品的饲料利用率以及动物营养分析。

序号	奖种	项目名称	第一
----	----	------	----

			完成人
8	科技进步	KY3H 健康保障服务模式的建构与关键技术应用 健康保障服务模式的建构与关键技术应用	田文华 (参与)

项目名称：KY3H 健康保障服务模式的建构与关键技术创新应用

提名意见：

该项目以“解决全球医疗危机”为目标，开创性建构了 KY3H 模式（健康文化、健康管理和健康保险“三位一体”的服务模式）；并发挥多学科交叉优势，围绕“个体人健康状态”的辨识、评估、干预及应用，进行了关键技术和共性技术等原创性和集成性研究和开发，主要包括以下四方面：一是首次建立了健康状态辨识、评估的指标体系和量化模型，用于精准辨识、评估个体人健康状态，并实现了数字化、可视化表达；二是首次集成研发了辨识-评估-干预-保险一体化的自助式共性技术产品库；三是首次开发了健康状态信息云平台，支撑了健康服务的智能化、实时性与便捷性；四是首次开发了中医预防保健服务包设计科研平台，并运用该平台研制了 5 个重点服务领域的 14 个服务包，并进行了试验干预。

国家中医药管理局在开展“治未病”健康工程中，先后四批 100 多个机构作为“治未病”预防保健服务试点单位，应用 KY3H 模式及其系列成果，开展中医预防保健服务；并被复制到全国各省市 1100 余家中医医院“治未病”科（中心）的建设当中。KY3H 模式的实践，得到了国务院有关部门的高度重视，其核心理念、思路及策略，在国发〔2009〕22 号文、国发〔2013〕40 号文、国办发〔2015〕32 号文、国发〔2016〕15 号文及国家中管局的多项重要政策文件中均有所体现，产生了广泛影响。提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。北京市中医管理局

项目简介：

全球医疗危机是世界性难题，破解之道在于理念、服务模式及其技术创新。中医特色健康服务是健康中国发展战略的重要组成部分，也是实现健康中国的重要抓手。项目组自 2006 年起，在多个国家级计划项目支撑下，创建和持续完善 KY3H 健康保障服务模式，攻克关键和共性技术难点，实现从传统的“求医”服务模式，向全新的“求己”健康服务模式转变。该项目属于中医药学特色创新技术成果在保障人口健康中的应用，其主要创新点包括“一个模式创新和四个技术创新”：

1. 创立了 KY3H 健康保障服务模式。该模式以“治未病”为核心理念，针对个体人健康状态，提供全生命周期、全时空的人本化、自助式、一站式的健康保

障服务，为实现“每个人是自己健康第一责任人”提供了范式。

2. 创建了健康状态辨识和评估的指标体系及量化模型，并实现了数字化、可视化表达。首次提出“健康状态可由状态参数集合来表征”，建立健康状态数字化辨识、评估指标体系和量化模型；通过构建无序树结构的高阶多维健康状态树型化及其 XML 化模型，及弹性结构化健康档案与病历，实现规范化标准化健康信息采集、评估和决策，并提供可视化评估结果和适配方案；探索病证结合、证候分类的可视化表达，为疾病证候分类研究提供了示范技术。解决了如何能精确评估个体人健康状态的难题。

3. 集成研发了具有自主知识产权、中医特色的 KY3H 共性技术产品库，实现了个体人健康状态自助式、人本化、一站式的辨识、评估和干预，实现了被动求医行为向主动求己行为的转变，解决了如何能简单且有效地提升健康状态的难题。

4. 集成开发了 KY3H 健康保障服务信息云平台。运用云计算模式，开发了集“健康状态辨识、健康状态风险评估、健康状态干预”等多功能于一体的 KY3H 健康保障服务信息平台，实现了服务的智能化、实时性与便捷性。解决了随时随地获得健康服务的可及性难题。

5. 首次构建了中医预防保健服务包设计科研平台，并制定了中医预防保健（治未病）基本规范和服务技术标准。运用服务包设计平台研制了 5 个重点服务领域的 14 个服务包，并进行试验干预。解决了如何在大规模人群中推广 KY3H 健康保障服务模式的标准化难题。

项目组获得专利 14 项（其中发明专利 4 项，实用新型专利 7 项，外观专利 3 项）软件著作权 28 项，制定企业标准 2 项，出版专著 6 本，发表学术论文 96 篇。国家中医药管理局在开展“治未病”健康工程中，先后四批 100 多个机构作为试点单位，应用 KY3H 模式开展中医预防保健服务；并被复制到全国各省市 1100 余家中医医院“治未病”科/中心的建设中。该模式的实践得到国务院有关部门的高度重视，其核心理念、思路及策略，在所发布的多项政策文件中（国发[2009]22 号、国发[2013]40 号、国办发[2015]32 号、国发[2016]15 号）均有所体现，影响广泛。

客观评价：

国内相关技术比较：

1) 在国内首次提出“健康状态可由状态参数集合来表征”的概念，并建立

健康状态辨识、评估的指标体系和量化模型，并研制出健康状态辨识系统，开展了中医证素诊断模型测试案例的制备及应用。

2) 建立无序树结构的高阶多维健康状态树型化及其 XML 化的模型，描述个体健康状态的内涵与外延表达及计算，通过计算机软件实现其图形化表达；同时，为实现中医健康状态信息更具广普适用性和便捷性，建立“弹性结构化健档与病历”（FSEHR），既可用于建立健康档案或临床病历，又可用于无序树结构的高阶多维健康状态树型化及其 XML 化的模型及其树图与 XML 的语境展现。

3) 建立 IaaS、PaaS、SaaS 三层云基础架构模式，运用云计算模式，基于海量存储、云操作系统、信息安全技术等，完成 KY3H 信息基础架构平台建设；搭建 KY3H 共性技术库结构，并形成共性技术库。

国家相关部门出具的报告、意见或结论：

原卫生部和国家中医药管理局对“KY3H 健康保障服务模式”给予认可。2006 年 12 月，卫生部科教司和国家中医药管理局科技司联合召开新型卫生健康保障模式座谈会，与会专家学者共同认为：KY3H 模式是思路创新、模式创新、机制创新和技术创新的新型卫生健康保障模式，符合党和国家的目标，利国利民，政府应积极扶持并建议各方加强合作，共同推动 KY3H 模式的实施。基于此，国家中医药管理局采纳 KY3H 健康保障服务模式，广泛应用于“治未病”健康工程试点区域和单位，确保了“治未病”健康工程的顺利实施（附件 2.1、2.2）。

国内专家论证意见：

“十一五”国家科技支撑计划“中医‘治未病’及亚健康中医干预研究”项目的子课题“亚健康人群检测技术及基础数据应用研究”专家论证会关于“KY3H 健康保障服务模式”的论证意见认为：KY3H 模式为“”的理念落实于社会实践开辟了道路，它为建立一个既能满足当代人群不断增长的多层次、多元化健康保障需求，又在经济上可持续的社会健康保障体系方面提供了范式。建议有关领导部门将取得的成果以规范的形式试行、推广（附件 5.15）。

国内同行公开发表的评价意见：

南京中医药大学张瑞利等认为：基于中医“治未病”的 KY3H 健康保障服务模式顺应了现今医学模式的改变，在一定程度上会促进整体医疗模式的改变。浙江中医药大学杨嘉璐、郭滢、郭清等，通过分析浙江省中医院“KY3H 治未病中心”中心（华东地区首家“KY3H 治未病中心”）和杭州市拱墅区（“全国中医药特色社区卫生服务示范区”和“全国基本公共卫生服务中医药服务项目试点区”）

等典型案例，认为 KY3H 模式成果显著，值得推广。宁夏医科大学白雅婷等在分析我国与中医治未病相结合的健康管理模式现状中，指出 KY3H 模式已被应用于脑卒中的防治研究及早期糖尿病肾病病人尿微量白蛋白，均显示出良好效果。贵阳中医学院刘继涛等认为对早期糖尿病肾病（DN）患者运用 KY3H 模式及黄芪加以干预，UMA 的恶化程度显著减少，好转率、好转程度显著增加，中医偏颇体质的转归率提高，对 DN 的防治具有重要意义。广东省德庆县中医院张勤海等运用 KY3H 模式对中风加以干预，使中风先兆症状发生率明显减少，全身性疾病的量化指标稳定，偏颇体质的转归率提高。

中国健康教育中心的许黎珊对全国 87 个采用 KY3H 模式的“治未病”预防保健服务试点单位及接收“治未病”预防保健服务满 6 个月的全部人群进行调查，认为“治未病”预防保健服务工作在改善人们健康品质方面取得良好效果，受到了人民群众的欢迎，显示出良好的发展前景。

推广应用情况：

（1）KY3H 健康保障服务模式在全国推广应用

国家中医药管理局办公室《“治未病”健康工程实施方案（2008-2010 年）》（国中医药办发〔2008〕37 号）中，提出了“建立较为系统和完善的“治未病”预防保健服务提供、服务技术（产品）和服务支持的示范体系；总结完善以“治未病”理念为指导的融健康文化、健康管理、健康保险为一体的新型健康保障服务模式（即 KY3H 健康保障服务模式）”的工作目标。截至 2016 年底，全国 31 个省市自治区的 1100 余家中医医疗卫生机构，运用 KY3H 模式基本建成了治未病科/中心（附件 2.1）

（2）KY3H 健康保障服务模式在国家治未病工程试点区的推广

以上海市长宁区为例，该区构建了由区域“治未病”中心、医院、社区卫生服务中心和社区卫生服务站组成的 1-2-10-40 分级“治未病”服务体系，建立和完善了中医“治未病”服务网络。区卫生行政主管部门将中医预防保健服务纳入基本公共卫生服务项目，安排专项经费给予保障（5 万元/万人），提高了中医健康服务的可及性，推动了“公共卫生服务均等化”目标在基层落实。截至 2013 年底，为区内近 27 万人进行了中医体质辨识普查，进行中医“治未病”干预近 150 万人次，积累了大量翔实数据。经健康状态辨识和干预，平和质人群（健康人群）从 2012 年的 19.6% 上升到 2013 年的 36.7%；高血压“中西医慢性病管理组”的典型症状改善率为 73.3%，比“单纯西医慢性病管理组”提高 21.3%；糖

尿病“中西医慢性病管理组”的典型症状改善率为 65.8%，比“单纯西医慢性病管理组”提高 19.7%。（附件 5.16）

（3）KY3H 健康服务包试验性干预应用

依托国家“十二五”科技支撑计划——中医预防保健（治未病）服务技术研究
与示范（2012BAI41B00），完成了下列服务包试验性干预研究（附件 5.11）：

①3592 例慢性病患者接受慢性病服务包干预

高血压服务包干预后病例的平和质评分显著高于干预前，8 种偏颇体质得分
显著低于干预前；患者躯体、精神状态等干预后得分显著提高，且血压明显下降
（P<0.01）。冠心病患者服务包体验前中医体质积分 10.14±4.95，体验后积分
7.63±4.69，较之前降低约 24.75%(P<0.01)，其中显效共 29 例，有效 175 例，
总有效率为 39.84%。

2840 例老年人、2215 例育龄妇女接受健康服务包干预

老年人服务包后干预效果：干预前后健康相关生命质量有显著差异性
（P<0.05）；气虚质、阴虚质、痰湿质干预前后疗效对比，高血压控制差异具有
显著性（P<0.05），气虚质、阳虚质、阴虚质干预前后对比，糖尿病控制具有差
异性（P<0.05）。育龄妇女服务包干预效果：中医预防保健组 6 个月成功受孕率
为 36.99%，传统优生组为 29.59%，卡方检验差异具有统计学意义（P=0.0014）。

主要知识产权证明目录：

知 识 产 权 类 别	知 识 产 权 具 体 名 称	国 家 （ 地 区 ）	授 权 号	授 权 日 期	证 书 编 号	利 人	发 明 人	专 利 有 效 状 态
软 件 著 作 权	KY 3H 五脏 相音辨 识检测 系统软 件 V1.0	中 国	2009 SR06 862	2009.0 2.20	软 著 登字第 13304 1 号	炎 黄 东 方 （北 京） 健康 科技		其 他有 有效的 知识 产权

						有限公司		
件 著作权	知 己 软 (KY3H) 中医证 素辨证 诊疗辅 助系统 V1.0	中 国	2015 SR00 5904	2015.0 1.12	软 著 登字第 08929 86 号	炎 黄东 方 (北 京) 健康 科技 有限 公司		其 他有 效的 知识 产权
件 著作权	知 己 软 (KY3H)) 健康 辨识及 风险评 估 - 干 预系统	中 国	2015 SR12 0171	2015.0 6.30	软 著 登 字 第 1007257 号	炎 黄东 方 (北 京) 健康 科技 有限 公司		其 他有 效的 知识 产权
用 新 型	实 一 种经络 调理板	中 国	ZL20 12 2 0704081. X	2013.0 6.05	294 7887	炎 黄东 方 (北 京) 健康 科技 有限 公司	慈 中华	有 效 专 利

实用新型	经络功能调理台	中国	ZL2016 0243290.7	2016.09.14	5549822	黄东方（北京）健康科技有限公司	有效专利
实用新型	音乐电针仪	中国	ZL2016 0639001.5	2017.02.22	5943988	黄东方（北京）健康科技有限公司	有效专利
软件著作权	KY3H 智能系统软件 V1.0	中国	2007 SR20603	2007.11.02	软 著 登 字 第 086598 号	黄东方（北京）健康科技有限公司	其他有效的知识产权
软件著作权	昆仑 - 炎黄“治未病”	中国	2007 SR09899	2007.02.20	软 著 登 字 第 075894	黄东方（北	其他有效的知识

	健康管理 服务信息 软件 V1.0[简称： EHR]				号	京) 健康 科技 有限 公司	产权
件 作 权	K Y3H 健 康 信 息 数 据 交 换 管 理 系 统 V1.0	中 国	2012 SR11 4019	2012.0 4.06	软 著 登 字 第 0482055 号	炎 黄 东 方 (北 京) 健 康 科 技 有 限 公 司	其 他 有 效 知 识 产 权
件 作 权	私 人 健 康 状 态 信 息 库 数 据 交 换 平 台 系 统	中 国	2015 SR12 0306	2015.0 4.16	软 著 登 字 第 1007392 号	炎 黄 东 方 (北 京) 健 康 科 技 有 限 公 司	其 他 有 效 的 知 识 产 权

主要完成人情况:

29. 姓名: 李英哲

排名: 1

行政职务: 技术总监, 董事长

技术职称: 中级经济师

工作单位：炎黄东方（北京）健康科技有限公司

昆仑健康保险股份有限公司

完成单位：昆仑健康保险股份有限公司

对本项目技术创造性贡献：项目总负责，对该项目所有创新点均做出了原创性的重大贡献。对健康的概念提出了独到见解——健康即是脏腑平和、经络通畅；创建了 KY3H 健康保障服务模式；创造性地提出了“健康状态”和“健康状态可由状态参数集合来表征”的概念；引领团队顶层设计并集成研发了共性技术产品库；主张“健康是个性化的、整体观的和动态化的”，因此前瞻性地将服务包概念引入健康服务领域，通过标准化、规范化和信息化手段，探索将传统被动式“求医”服务模式根本转变为主动式“求己”健康服务模式，实现了健康服务的智能化、便捷性和即时性。

30. 姓名：陈立典

排名：2

行政职务：党委书记

技术职称：主任医师、教授

工作单位：福建中医药大学

完成单位：福建中医药大学

对本项目技术创造性贡献：对该项目创新点三做出了突出贡献，针对脑卒中后运动功能障碍，根据中医“治痿独取阳明”的理论，确定了刺激阳明经核心穴位“曲池”“足三里”是脑卒中后肢体运动功能障碍的共性技术，才实现了被动求医行为（他助）向主动求己行为（自助）的转变，最终形成了脑卒中后运动功能障碍的适宜康复技术，在医院、社区中大力推广应用，并使该技术进入家庭成为可能。并参与了项目的顶层设计，制定研究技术方案，组织技术讨论，协调技术方案实施和数据讨论。参与项目专利研发，以及发表相关学术论文。

31. 姓名：季光

排名：3

行政职务：副书记、副校长

技术职称：教授

工作单位：上海中医药大学附属龙华医院

完成单位：上海中医药大学附属龙华医院

对本项目技术创造性贡献：组织“个体人健康状态辨识、评估的指标体系和量化模型”关键技术的临床研究，以非酒精性脂肪肝为载体，研究提出基于流行病学证据的脂肪肝证候病机新模式，开展基于 APP 技术的慢性病管理，在试点人群取得实效。

4. 姓名：李灿东

排名：4

行政职务：校长

技术职称：教授

工作单位：福建中医药大学

完成单位：福建中医药大学

对本项目技术创造性贡献：对该项目创新点二做出了重大贡献，在健康状态要素筛选结果及其分布的基础上，结合诊断关联规则和功能医学指标的纳入构建了健康状态参数指标体系。通过宏、中、微三观表征参数采集，基于人机结合实现中医体质、状态、证、中西医疾病等多维度的分析，实现了对健康状态的数字化辨识。作为“十二五”国家科技计划“中医预防保健（治未病）服务技术与示范”项目子课题“健康状态辨识技术方法研究”的课题负责人，参与了项目的顶层设计，制定研究技术方案，组织技术讨论，协调技术方案实施和数据讨论，并发表相关学术论文。

5. 姓名：田文华

排名：5

行政职务：

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：对项目的创新点一有突出贡献。参与建构了 KY3H 健康保障服务模式，持续丰富其内涵，从卫生经济学角度论证健康管理、健康保险的逻辑关系，对 KY3H 模式的理念、运行逻辑、目标、模式构成、特点等，进行了系统总结，并深刻挖掘了该模式对个人、行业、社会、国家乃至国际影响的重要意义。

6. 姓名：慈中华

排名：6

行政职务：终身名誉董事长

技术职称：

工作单位：炎黄东方（北京）健康科技有限公司

完成单位：炎黄东方（北京）健康科技有限公司

对本项目技术创造性贡献：协助第 1 完成人，对该项目创新点做出了原创性的贡献。参与创建了 KY3H 健康保障服务模式；参与了健康状态信息存储、处理和操作云平台的研究开发；参与十二五支撑计划项目“中医预防保健（治未病）服务技术与示范”研究，对健康的概念提出了独到见解——健康即是脏腑平和、经络通畅；创建了 KY3H 健康保障服务模式；创造性地提出了“健康状态”和“健康状态可由状态参数集合来表征”的概念。

7. 姓名：梁志伟

排名：7

行政职务：副院长

技术职称：副研究员

工作单位：东莞广州中医药大学中医药数理工程研究院

完成单位：东莞广州中医药大学中医药数理工程研究院

对本项目技术创造性贡献：主要对创新点 2、3、4 有主要贡献，是健康状态辨识量化建模的主要研究者，设计出可同时兼顾结构和语义要素的 XML 文本作差异度计算的模型算法，以及基于行业标准的弹性结构健康档案。作为核心骨干之一负责构建了基于云计算的 KY3H 健康保障服务信息基础架构平台，以及中医闻音辨识系统（音色模式识别）的技术研发，并参与了健康状态动态辨识、评估和干预的适宜技术产品的研发。

8. 姓名：高志刚

排名：8

行政职务：副总裁

技术职称：

工作单位：炎黄东方（北京）健康科技有限公司

完成单位：炎黄东方（北京）健康科技有限公司

对本项目技术创造性贡献：对该项目创新点一、二、三、五均做出了较大贡献。参与了项目的顶层设计，参与创建了 KY3H 健康保障服务模式；参与制订了健康状态辨识与评估的指标体系及量化模型设计；领导研发团队进行了 KY3H 共性技术产品库的研究和开发；组织实施了“慢性非传染性疾病防控领域中医预防保健（治未病）服务技术应用示范”的课题研究，参与制定慢性非传染性疾病人群的健康服务包，并进行示范应用，效果显著。

9. 姓名：彭锦

排名：9

行政职务：主任

技术职称：研究员

工作单位：中国中医科学院

完成单位：中国中医科学院中医临床基础医学研究所

对本项目技术创造性贡献：对创新点 5 有重要贡献。组织起草了《中医预防保健（治未病）服务包设计规范》、《中医预防保健（治未病）服务基本规范》（草案）、《中医预防保健（治未病）服务技术要求》（草案），《中医预防保健（治未病）服务基本规范》通过了中华中医药学会全国中医标准化技术委员会审查；担任“十二五”国家科技支撑计划课题“中医预防保健（治未病）规范及技术标准制定”课题负责人，“参与“十一五”国家科技支撑计划课题“亚健康人群监测方法与监测网络的研究”课题。

10. 姓名：薛偕华

排名：10

行政职务：科主任

技术职称：教授，副主任医师

工作单位：福建中医药大学

完成单位：福建中医药大学

对本项目技术创造性贡献：运用刺激阳明经核心穴位“曲池”“足三里”是脑卒中后肢体运动功能障碍的共性技术，针对脑卒中后肢体运动功能障碍人群的

康复，在医院、社区中推广应用，参与了病例收集，临床疗效评价和机制研究，及成果推广应用。并发表相关学术论文。

主要完成单位及创新推广贡献：

排名第一：炎黄东方（北京）健康科技有限公司

创新推广贡献：1、项目第一完成单位。2、提出项目整体研究思路，组织协调相关单位参与项目技术方案的论证，主持完成项目的主要研究工作。3、为项目实施提供人力、物力与财力等方面的保障。4、项目执行中的管理、督促与协调。

5、项目技术资料整理、工作情况报告和技术总结报告的撰写。6、组织申请专利和成果申报。

排名第二：福建中医药大学

创新推广贡献：参与项目整体研究设计，组织协调单位人员参与技术方案的论证，提供研究成果中的工作报告和技术资料。为项目实施提供人力、物力与财力等方面的保障；负责项目的临床、实验实施与管理等，具体如下：1、临床伦理论证；

2、临床病例收集；3、提供实验室设备与仪器；4、为科研人员提供良好的工作环境与充足的时间；5、网络中心提供与本课题相关信息资料；6、动物实验中心提供合格的动物与饲养环境；7、组织科研成果的鉴定与申报。8、“十二五”科技支撑计划共同完成单位

排名第三：上海中医药大学附属龙华医院

创新推广贡献：1、组织项目的申请和实施，为项目的进行提供了场地、人员和配套资金。2、对研究计划实施所需的人力、物力和时间等方面给予支持。3、项目执行中的管理、督促与协调。4、支持项目组在医院医联体单位进行技术推广

排名第四：复旦大学

创新推广贡献：复旦大学城市发展研究院是复旦大学自“十二五”以来重点扶持、发展的二级机构，健康产业与政策的研究是该研究院的主要研究方向之一，

一直得到大学全力支持,尤其是目前国内人民群众日益增长的健康需求与供给侧之间产生了较大矛盾,健康产业存在着低水平、碎片化、传统性的健康服务较多,而基于服务模式创新的标准化、规范化、系统性的健康服务产业创新少的现状,复旦大学尤其鼓励城市发展研究院开展健康服务模式的创新研究及实证研究。

复旦大学积极促成城市发展研究院与炎黄东方(北京)健康科技有限公司合作成立了“健康产业与政策研究中心”,并且立足于市校合作,大力支持上海市长宁区、杨浦区运用 KY3H 模式开展的“治未病”健康服务试点工作,长宁区由此成为全国“治未病”健康服务示范区。

排名第五: 昆仑健康保险股份有限公司

创新推广贡献: 本单位参与项目整体研究思路的设计,参与完成项目中创新点 1、3 的主要研究工作,组织协调相关单位参与技术方案研究,协助整理技术资料,并为研究内容的实施提供人力、物力与财力等方面的保障。

排名第六: 东莞广州中医药大学中医药数理工程研究院

创新推广贡献: 开展中医预防保健(治未病)服务基本规范、服务技术标准及服务包设计规范的研究,为创新点 5 的提出和实施提供了配套资金、人员安排和物质保障。

排名第七: 中国中医科学院中医临床基础医学研究所

创新推广贡献: 开展中医预防保健(治未病)服务基本规范、服务技术标准及服务包设计规范的研究,为创新点 5 的提出和实施提供了配套资金、人员安排和物质保障。

完成人合作关系说明:

1. 李英哲(第一完成人)、陈立典(第二完成人)、李灿东(第四完成人)、薛偕华(第十完成人)

以上人员作为项目骨干共同参加了“十二五”国家科技支撑计划“中医预防保健(治未病)服务技术与示范”子课题“健康状态辨识技术方法研究”及“中医预防保健治未病共性技术研究”工作(见附件 5.11);共同推动了第四届治未病“体质一心/脑/小肠—易发疾病防治专题讲坛”的举办以及 KY3H 模式在福建省的推广应用。

2. 李英哲(第一完成人)、季光(第三完成人)

二人共同推动了上海中医健康服务协同创新中心的成立，该中心于 2012 年经上海市教委批复成立，炎黄东方（北京）健康科技有限公司是其核心协同单位，重点开展中医健康服务示范与推广、慢病诊疗水平提升工作（见附件 5.12、5.19）。

3. 李英哲（第一完成人）、田文华（第五完成人）

二人共同为复旦大学健康产业与政策研究中心专家委员会的成员，并作为合作者共同发表了关于 KY3H 模式建构的相关文章（见附件 5.1、5.2）。

4. 李英哲（第一完成人）、慈中华（第六完成人）

二人共同创建了 KY3H 模式并在全国推广应用，承办了三届论坛四期讲坛，推动了“治未病”工作的开展。并组织实施了“健康保险服务领域中医预防保健（治未病）服务技术应用示范”的课题研究（见附件 5.11）。

5. 李英哲（第一完成人）、梁志伟（第七完成人）

二人共同组织实施了“863 计划——区域医疗卫生信息互通共享关键技术与新医疗模式示范工程的研究”的工作。组织开发了健康状态信息处理系统、多维数据存储平台、健康信息交互操作平台和数据库集群的信息化平台（见附件 5.13）。

6. 李英哲（第一完成人）、高志刚（第八完成人）

高志刚协同第一完成人创建 KY3H 模式，制订健康状态辨识与评估的指标体系及量化模型设计；进行共性技术产品库的研发；组织实施“慢性非传染性疾病防控领域中医预防保健（治未病）服务技术应用示范”的课题研究（见附件 5.11）。

7. 李英哲（第一完成人）、彭锦（第九完成人）

二人共同参加了“十一五”国家科技支撑计划“中医‘治未病’及亚健康中医干预研究”项目子课题“亚健康人群检测技术及基础数据应用研究”，以及“十二五”国家科技计划“中医预防保健（治未病）服务技术研究与示范”项目子课题“中医预防保健（治未病）规范及技术标准制定”工作（见附件 5.11、5.14）。

序号	奖种	项目名称	第一完成人
9	科技进步	C919大型客机驾驶舱设计技术	艾剑良 (参与)

项目名称：C919 大型客机驾驶舱设计技术

提名意见：

C919 大型客机作为我国“大力实施创新驱动发展战略，建设创新型国家”所取得的重大科技成果之一，被写进了习近平总书记所做的十九大报告。驾驶舱设计技术是大型客机设计的主要核心关键技术，需要统筹飞行员认知行为特征与繁多的飞机系统、复杂的运行环境之间的关系，技术难度高、工程复杂。该项目在 C919 大型客机驾驶舱总体设计、人机工效仿真分析、评估试验方法及适航验证技术等方面取得了重要创新成果。

该项目运用系统工程理论，构建了“以人中心”的驾驶舱设计理念、方法、工具与流程，完成了具有中国特色并兼顾国际市场的 C919 大型客机驾驶舱设计；通过系统研究驾驶舱“人-机-环境”要素之间的相互作用机理，建立了驾驶舱人机工效综合仿真理论体系；建立了科学量化的驾驶舱评估指标体系和评估模型；提出了飞行机组工作负荷测量模型和驾驶舱人为差错分析模型，成功应用于 C919 大型客机驾驶舱适航取证工作中。经综合评估和飞行验证，飞行员认为 C919 大型客机驾驶舱是目前世界上最好的单通道干线客机驾驶舱。

C919 大型客机目前已获得 27 家用户 785 架订单，具有重大经济效益，C919 大型客机驾驶舱的成功迫使波音、空客公司匆忙对其相应机型驾驶舱升级换代。

该项目创建了大型客机驾驶舱系统的设计体系和试验验证设施，建立了设计研究专业和部门、产学研用相结合的国家创新团队，形成了具有国际领先水平的大型客机驾驶舱设计能力，具有重大社会效益。

项目简介：

大型飞机是《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006 年—2020 年)》中确定的 16 个重大科技专项之一，是国家科技、工业水平和综合国力的集中体现。C919 大型客机作为我国“大力实施创新驱动发展战略，建设创新型国家”所取得的重大科技成果之一，被写进了习近平总书记所做的十九大报告。

飞机驾驶舱是飞机的“大脑”、“神经中枢”，是飞行员操纵飞机的唯一工作场所，对飞机的安全运营、保障乘客生命安全和乘坐舒适性起着决定性作用。驾驶舱设计技术是大型客机设计的主要核心关键技术，需要统筹飞行员认知行为特

征与繁多的飞机系统、复杂的运行环境之间的关系，技术难度高、工程复杂。驾驶舱设计水平是飞机设计水平的集中体现和飞机先进性的重要标志。

该项目建立了以驾驶舱总体设计、仿真分析、评估试验及适航验证为核心的具有完全自主知识产权的设计技术体系，完成了 C919 大型客机驾驶舱设计。

(a) 总体设计：运用系统工程理论，构建了“以人中心”的驾驶舱设计理念、方法、工具与流程，完成了具有中国特色并兼顾国际市场的 C919 大型客机驾驶舱设计；

(b) 仿真分析：通过系统研究驾驶舱“人-机-环境”要素之间的相互作用机理，提出了飞行员在环系统行为不确定性的表达模型，建立了基于“人在环复杂系统”理论的人机工效仿真分析理论体系。

(c) 评估试验：建立了科学量化的驾驶舱评估指标体系和评估模型，构建了多维综合评价指标体系和客观生理心理参数与飞行绩效的映射模型，开发了驾驶舱模糊综合评估理论模型。在各类评估平台上完成了超过 1000 人次的飞行员评估试验。建立了系统的驾驶舱评估试验规范、方法、流程和设施。

(d) 适航验证：提出了机组工作负荷测量模型和驾驶舱人为差错分析模型，围绕驾驶舱适航验证中的主要难点机组工作负荷、人为差错、侧杆电传操纵和机组告警等开展了深入的研究，成功应用于 C919 大型客机最小飞行机组和驾驶舱人为因素适航验证。

经综合评估和飞行验证，飞行员认为 C919 大型客机驾驶舱是目前世界上最好的单通道干线客机驾驶舱。

该项目授权发明专利 35 项，出版专著 11 部，发表核心论文 287 篇，获得上海市科技进步奖二等奖 2 项，三等奖 1 项，项目第一完成人获全国创新争优奖和冯如航空科技精英奖。

C919 大型客机目前已获 27 家用户 785 架订单，具有重大的经济效益，C919 大型客机驾驶舱的成功迫使波音、空客等公司匆忙对其相应机型驾驶舱升级。该项目创建了大型客机驾驶舱系统的设计体系和试验验证设施，建立了设计研究

专业和部门、产学研用相结合的国家创新团队，形成了具有国际领先水平的大型客机驾驶舱设计能力，具有重大社会效益。

客观评价：

一、查新报告

由上海市由上海科学技术情报研究所出具的查新报告表明了该项目的新颖性，该项目的研究成果具有完全自主知识产权。

二、科技奖励

（1）上海市科技进步二等奖，“C919 大型客机展示样机设计”，证书编号：20114546-2-R02

（2）上海市科技进步二等奖，“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法”

（3）上海市科技进步三等奖，“C919 飞机需求管理体系”，证书编号：20164185-3-R05

三、专家评价

唐长红院士：（航空工业大型军用运输机 Y20 总设计师）

针对我国大型飞机重大专项中的关键问题“驾驶舱人机工效综合设计”开展了 973 项目，在人机工效的基础理论方面进行了深入研究，紧密结合民机驾驶舱研制的工程实践，在人机工效在民用航空领域的发展起到了重要的引领作用。

项目研究始终以工程实际需求为牵引，研究成果成功应用于我国民机型号 ARJ21 和 C919 大型客机驾驶舱设计与适航取证工作中，取得了显著的经济效益。项目理论成果具有很好的推广价值，可在其他具有“人-机-环境系统”的相关领域拓展应用，具有重大的社会效益。

王浚院士：（北京航空航天大学教授）

“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”项目，是国家大型客机重大科技专项中的第一个 973 项目，是航空人机工效方面的第一个国家级项目，奠定了这一学科在国家的地位。这是国内第一次系统全面地研究人机工效问题。

项目研究成果应用于 ARJ21 飞机最小飞行机组的适航符合性验证和 C919 大型客机驾驶舱设计与适航取证等型号工程实践中，取得了显著的效果，其成果也可以

应用于双通道宽体客机的设计中。形成了我国民机驾驶舱人机工效领域产学研用相结合的国家级创新团队和设计研究体系，具有重大的经济和社会效益。

林忠钦院士：（上海交通大学校长，国务院大型飞机重大专项专家咨询委员会委员、国家大型民机创新能力建设专家顾问组组长）

是我国民机领域对驾驶舱人机工效进行系统研究的国家级项目，项目由工业单位牵头以型号的重大需求为牵引，注重基础理论与工程实践的结合，对于人机工效在民用航空领域的发展具有重要的引领作用。

项目研究紧密结合型号研制需求，将成果有效地应用于型号 ARJ21 和 C919 大型客机驾驶舱设计与适航取证工作中，以及在远程宽体客机的概念设计中，经济效益显著。项目理论成果也可推广至高铁、航海、汽车、核电等具有人机交互应用场景的相关领域。在型号研制单位创建了专门的驾驶舱人机工效设计专业团队，带动了行业在该领域的理论和技术发展，具有重大的社会效益。

推广应用情况：

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
上海飞机设计研究院	驾驶舱总体设计技术 民机驾驶舱人机工效综合仿真分析 民机驾驶舱人机工效评估试验 驾驶舱适航验证技术	2010 至今	孙振华 021-20865718	应用于 C919 大型客机驾驶舱总体设计，人机界面设计与评估，驾驶舱人为因素适航验证
上海飞机设计研究院	机组工作负荷测量与评估技术 驾驶舱适航验证技术	2009 至今	孙振华 021-20865718	ARJ21 飞机最小飞行机组适航验证；ARJ21 飞机驾驶舱设计优化
上海飞机设计研究院	驾驶舱总体设计技术 民机驾驶舱人机工效综合仿真分析 民机驾驶舱人机工效评估试验 驾驶舱适航验证技术	2013 至今	孙振华 021-20865718	CRJ929 远程宽体客机驾驶舱总体概念设计、驾驶舱方案的数字化仿真与评估，驾驶舱样机设计
上海交通大学	民机驾驶舱人机工	2010 至今	李恩璞	科技论文

	效综合仿真分析 飞行员认知行为特 征模型		021-3420689 5	
复旦大学	民机驾驶舱人机工 效综合仿真分析 光环境综合评价	2010 至今	王华滔 021-6564276 8	科技论文

主要知识产权证明目录:

知识 产权 类别	知识产权具体名称	国家 (地 区)	授权 号	授权 日期	证书编 号	权利 人	发明 人	发明 专利 有效 状态
发明 专利	单曲风挡机头一体 化设计方法	中国	ZL201 21044 8453. 1	2017. 2.15	237750 6	中 国 商 用 飞 机 有 限 责 任 公 司	陈迎春； 周峰；张 淼；汪君 红；张美 红；刘铁 军；张冬 云；薛飞	有 效 专利
发明 专利	一种用于飞机适航 审定及设计评估的 飞行场景开发方法	中国	ZL201 21018 9459. 1	2012. 06.08	138615 5	上 海 交 通 大 学	尹堂文； 傅山	有 效 专利
发明 专利	飞机静暗飞行状态 下驾驶舱飞行员暗 视觉保护系统及光 环境监测方法	中国	ZL201 11004 3945. 8		147363 3	复 旦 大 学	林燕丹； 孙耀杰； 姚其；童 立青	有 效 专利
发明 专利	基于模糊控制技术 的情景照明综合控 制系统	中国	ZL201 11005 9778. 6	2013 年 06 月 13 日	121401 6	复 旦 大 学	林燕丹； 孙耀杰； 宋洁琼； 童立青	有效
发明 专利	眩光动态评估系统	中国	ZL201 11004 4114. 2	2012. 12.12	110036 2	复 旦 大 学	孙耀杰； 林燕丹； 刘正权； 钱敏华； 童立青； 邱婧婧	有 效 专利
发明 专利	一种 LED 一次封装 自由曲面透镜及其 设计方法	中国	ZL201 11006 1019. 3	2011. 3.15	102500 4	复 旦 大 学	林燕丹； 孙耀杰； 刘正权； 童立青	有 效 专利

发明专利	ICING DETECTOR PROBE AND ICING DETECTOR WITH THE SAME	美国	US9,079,696B2	2015.7.14	US009079669B2	Commercial Aircraft Corporation of China Ltd	Yingchun Chen, Shanghai (CN); Lin Ye, Wuhan (CN); etc.	有效专利
发明专利	DETECTING DEVICE FOR DETECTING ICING BY IMAGE AND DETECTING METHOD THEREOF	欧洲	PCT/CN2011075787	2013.6.16	Rule19(3)EPC	Commercial Aircraft Corporation of China Ltd	Yingchun Chen	有效专利
软件著作权	OASIS 告警仿真测试系统	中国	2015SR019977	2014.8.18	软著登字第0907059号	上海交通大学		授权
软件著作权	民用飞机驾驶舱人为因素综合评价分析软件	中国	2017SR006786	2014.8.10	软著登字第1592070号	上海交通大学		授权

主要完成人情况：

32. 姓名：陈迎春

排名：1

行政职务：型号总设计师

技术职称：研究员

工作单位：中国商用飞机有限责任公司

完成单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

对本项目技术创造性贡献：

作为 C919 大型客机常务副总设计师全面负责 C919 大型客机驾驶舱总体设计；解决了 C919 大型客机驾驶舱设计中人与复杂系统之间相互作用机理等重大科学问题，建立了驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法体系，构建了具

有自主知识产权的 C919 大型客机驾驶舱人机工效仿真平台。

成功地将项目成果应用于 CRJ29 飞机研制中。

创建了具有国际领先水平的产学研用相结合的民机驾驶舱人机工效设计研究国家创新团队；在民机设计研究体系中创建了驾驶舱设计研究专业和部门。

作为首席科学家主持完成国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”（2010CB734100）。

对创新内容 1, 2, 3, 4 有创造性贡献。

33. 姓名：俞金海

排名：2

行政职务：设计研究部部长

技术职称：研究员

工作单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

完成单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

对本项目技术创造性贡献：

作为 C919 大型客机主任设计师负责 C919 大型客机驾驶舱总体方案设计与评估；解决了 C919 大型客机驾驶舱总体布局，人机界面仿真与评估，先进显示导航技术的应用，电传飞控设计等技术难题。

建立了系统完整的 C919 大型客机驾驶舱综合评估体系；构建了 C919 大型客机驾驶舱适航验证技术方法体系；

将 C919 大型客机驾驶舱设计技术成果应用于 CRJ29 中。

作为课题负责人完成国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”子课题“飞机驾驶舱内饰多变量工效学问题研究”（2010CB734106）。

对创新内容 1, 2, 3, 4 有创造性贡献。

34. 姓名：傅山

排名：3

行政职务：人机环系统工程研究所所长

技术职称：教授

工作单位：上海交通大学

完成单位：上海交通大学

对本项目技术创造性贡献：

提出了驾驶舱综合评估与机组工作负荷测量的理论模型，为民机驾驶舱人因适航验证提供理论支撑；

提出了飞行员在环系统行为不确定性的表达模型，提出了飞行员在环系统的状态测量与估计理论；

建立了多维多层次驾驶舱人机工效综合评价方法，建立了基于驾驶舱人机界面系统和飞行操作程序的机组工作负荷综合评价体系。

作为课题负责人完成国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”子课题 “民用飞机驾驶舱人机工效综合评估理论与方法”（2010CB734103）。

对创新内容 2, 3, 4 有创造性贡献。

4. 姓名：董大勇

排名：4

行政职务：专业总师

技术职称：高工

工作单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

完成单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

对本项目技术创造性贡献：

作为 C919 大型客机驾驶舱集成项目工程经理负责 C919 大型客机驾驶舱总体布局设计，驾驶舱人机工效评估。完成了 C919 大型客机驾驶舱评估并开展了适航符合性验证工作，构建了驾驶舱人机界面仿真模型，建立了大型客机驾驶舱设计评估方法流程。

作为首席科学家助理完成了国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”（2010CB734100）

对创新内容 1, 2, 3, 4 有创造性贡献。

5. 姓名：周琳

排名：5

行政职务：无

技术职称：研究员

工作单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

完成单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

对本项目技术创造性贡献：

作为 C919 大型客机副主任设计师负责 C919 大型客机驾驶舱总体布局设计，建立了飞行员仿真模型，开展了 C919 大型客机驾驶舱人机工效评估和适航符合性验证工作。

作为课题负责人完成了国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”子课题“驾驶舱人机工效一体化中飞行员仿真理论与模型研究”（2010CB734101）

对创新内容 1, 2, 4 有创造性贡献。

6. 姓名：艾剑良

排名：6

行政职务：系主任

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：

建立了复杂自然光环境和驾舱人工光环境同时影响下飞行员视觉舒适、视觉疲劳和作业绩效模型，为建立安全、舒适的驾驶舱环境提供基础理论支持。

作为课题负责人完成了国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”子课题“环境工效综合影响因素及机理研究”（2010CB734102）

对创新内容 2 有创造性贡献。

7. 姓名：林燕丹

排名：7

行政职务：教授

技术职称：教授

工作单位：复旦大学

完成单位：复旦大学

对本项目技术创造性贡献：

完成人提出了驾驶舱不舒适眩光机理与评价模型研究，提取了产生不舒适眩光的物理参数库。建立适用于驾驶舱照明场景的基于心理物理法的 LED 光源不舒适眩光评估的数学物理模型。

作为主要技术骨干完成了国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”子课题“环境工效综合影响因素及机理研究”（2010CB734102）

对创新内容 2 有创造性贡献。

8. 姓名：李宝峰

排名：8

行政职务：研究部部长助理长

技术职称：高工

工作单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

完成单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

对本项目技术创造性贡献：

负责 C919 大型客机驾驶舱总体设计技术要求，在基于任务的飞行员仿真研究中，提出了智能体交互的概念，完成了交互模型的总体架构。并在内饰多变量研究中，提出了“对象层-参数层-评价层”的三层评价体系，建立了虚拟视觉仿真方法与平台。

作为首席科学家助理完成了国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”（2010CB734100），作为主要技术骨干子课题“飞机驾驶舱内饰多变量工效学问题研究”（2010CB734106）。

对创新内容 1, 2, 3, 4 有创造性贡献。

9. 姓名：江卓远

排名：9

行政职务：副总工程师

技术职称：研究员

工作单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

完成单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

对本项目技术创造性贡献：

从理论研究到实验验证，研究了民机飞行员人为差错产生的机理，创造性地提出了人为差错可探测的理论和方法。为 C919 大型客机驾驶舱人为因素适航验证奠定基础。

作为课题负责人完成了国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”子课题“民机人为因素机理研究”（2010CB734105）

对创新内容 2，4 有创造性贡献。

10. 姓名：舒秀丽

排名：10

行政职务：无

技术职称：研究员

工作单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

完成单位：中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

对本项目技术创造性贡献：

开展了 C919 大型客机驾驶舱人机工效设计与评估研究。建立了大型客机驾驶舱人机工效综合仿真平台。

作为项目管理办公室主任完成了国家 973 项目：“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”（2010CB734100）。协助首席科学家凝炼并解决大型客机驾驶舱人机工效的科学问题。

对创新内容 1, 3 有创造性贡献。

主要完成单位及创新推广贡献：

单位名称	中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院				
排 名	1	法定代表	郭博智	所 在 地	上海
单位性质	公益型研究单	传 真	021-208601	邮政编码	201210
通讯地址	上海市浦东新区金科路 5188 号				
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：					

中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院是国家大型飞机重大专项中大型客机项目的设计、试验、预研及关键技术攻关的研究主体，是该项目的主要完成单位，完成了 C919 大型客机驾驶舱总体设计、仿真分析、评估试验、适航验证等创新性工作。C919 大型客机已于 2017 年 5 月 5 日成功首飞，并全世界首次在首飞中实时直播驾驶舱画面。 承担了首个由企业牵头的国家 973 计划项目“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”，系统地研究了大型客机驾驶舱设计中的基础理论并解决了重大的科学问题。通过该项目实施，建立了民机驾驶舱设计与研究的专业部门和团队，形成了驾驶舱设计、评估、验证的完整流程和体系。 目前 C919 大型客机以获得 27 家客户 785 架订单，按照单价机 1 亿美元的市场价计算，经济效益为 785 亿美元（5181 亿元人民币）。 项目的研究成果成功应用于 ARJ21 支线客机最小飞行机组适航符合性验证和驾驶舱设计优化中，并在中俄联合研制的宽体客机驾驶舱设计中全面应用。					
单位名称	上海交通大学				
排 名	2	法定代表	林忠钦	所 在 地	上海
单位性质	高等院校	传 真	021-342067	邮政编码	200240
通讯地址	上海市闵行区东川路 800 号				
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：					
上海交通大学在航空航天领域具有雄厚的基础研究能力，作为 C919 大型客机联合论证单位参与 C919 大型客机概念方案论证工作。 作为参研单位完成了国家 973 计划项目“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”，第三课题“民用飞机驾驶舱人机工效综合评估理论与方法”。系统研究驾驶舱“人-机-环境”要素之间的相互作用机理，提出了飞行员在环系统行为不确定性的表达模型，建立了基于“人在环复杂系统”理论的人机工效仿真分析理论体系。 上海交通大学人机环系统工程研究所长期致力于民机驾驶舱“人-机-环境”之间关系的基础理论研究，紧密结合我国大型客机型号需求，研究成果成功应用于 C919 大型客机驾驶舱设计与评估，机组工作负荷测量模型应用于 ARJ21 支线客机最小飞行机组适航符合性验证。					
单位名称	复旦大学				
排 名	3	法定代表	许宁生	所 在 地	上海
单位性质	高等院校	传 真	021-656494	邮政编码	200433

通讯地址	上海市杨浦区邯郸路 220 号
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：	
复旦大学作为 C919 大型客机联合论证单位参与 C919 大型客机概念方案论证工作。作为参研单位完成了国家 973 计划项目“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”，第二课题“环境工效综合影响因素及机理研究”。提出了驾驶舱不舒适眩光机理与评价模型研究，提取了产生不舒适眩光的物理参数库。建立适用于驾驶舱照明场景的基于心理物理法的 LED 光源不舒适眩光评估的数学物理模型。研究成果成功应用于 C919 大型客机驾驶舱光环境设计与评估。	

完成人合作关系说明：

该项目第一完成人陈迎春，C919 大型客机常务副总设计师，全面负责 C919 大型客机驾驶舱总体设计、评估与验证，作为首席科学家主持完成了国家 973 计划项目“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”（2010CB734100）。

主要完成人俞金海、董大勇、周琳、李宝峰、江卓远为第一完成人陈迎春带领的 C919 大型客机设计团队成员，其中俞金海为 C919 大型客机主任设计师，董大勇为 C919 大型客机驾驶舱集成设计 IPT 项目工程经理，周琳为 C919 大型客机副主任设计师，李宝峰为 C919 大型客机驾驶舱总体设计要求负责人，江卓远为 C919 大型客机试飞副总工程师。

以第一完成人陈迎春为首席科学家的国家 973 计划项目“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”中，上海交通大学和复旦大学均为参研单位。其中上海交通大学傅山为第三课题“民用飞机驾驶舱人机工效综合评估理论与方法”（2010CB734103）负责人；复旦大学艾剑良为第二课题“环境工效综合影响因素及机理研究”（2010CB734102）负责人；复旦大学林燕丹为第二课题“环境工效综合影响因素及机理研究”（2010CB734102）技术骨干。