2018 年国家自然科学奖项目提名

公示内容

一、项目名称：插层组装与产品工程基础

二、提名单位意见：

该项目围绕二维层状功能材料—双羟基复合金属氧化物（LDHs）的插层组装化学和产品工程，经 20 余年系统研究形成了特色方向，建立了完善的研究方法（包括实验方法和理论方法），构建了系统的科学研究体系。凝练并解决了三类关键科学问题，取得了如下科学发现和原创性成果：①首次提出了构筑插层材料的几何结构判据和电子结构判据，澄清了实验研究领域长期有争议的若干科学问题，为实验工作提供了理论依据和指导。②创制了成核/晶化隔离法等系列 LDHs 材料制备的通用方法，实现了对插层结构材料物理化学特性的精确调控。③发现了 LDHs 的层间限域效应和结构拓扑转变机制，以功能为导向实现了 LDHs 插层材料的结构设计与性能强化，原创了三类插层结构功能材料并获得实际应用，在生产实践中验证了基础研究的创新。

经系统的基础和应用基础研究，8 篇代表性研究论文在化学顶级期刊发表，并在 *Chem. Rev.*等期刊他引 1890 余次，单篇最高他引 418 次。相关工作引起了同行的广泛关注，在国际上本领域具有较高学术知名度。应邀就 LDHs 插层材料的制备及性能研究为 *Chem. Soc. Rev.*等撰写多篇综述文章；撰写专著 3 部。作为卷主编为 *Structure Bonding* 撰写第 119 卷和 166 卷。创制的成核/晶化隔离法被国际 90 余个实验室引用和采用，并获得了工业应用；三类原创产品经工业实践证明，能够解决重大实际需求获得实际应用。

经审查，提名书及附件材料真实有效，相关栏目填写符合国家科技奖励要求，候选人、知识产权等经公示无异议，对照国家科技奖授奖条件

提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

三、项目简介：

近年来，二维层状材料由于其结构的可调控性、功能的拓展性，引起了本学科领域在世界范围内研究者的关注，二维层状材料的插层化学，已发展成为极具生命力的特色方向。其中双羟基复合金属氧化物（LDHs）是一类最具代表性的层状材料，显现出强劲的发展势头。针对 LDHs 材料的基础研究日渐深入，中国学者在该领域的优势地位逐渐突显：2004 至 2014 年 10 年间此领域全球发表学术论文中，约 40%来自中国大陆。国际上 LDHs 领域前 10 家学术机构在 10 年间共发表 SCI 论文 1000 余篇，其中本项目组发表 300 余篇，位居榜首，研究工作引起了国际同行的关注。

本项目组紧密围绕 LDHs 插层组装化学和产品工程基础，开展了深入系统的研究。凝炼了三类关键科学问题，取得了如下科学发现和原创性成果：

（1）发现了构筑插层结构的共边八面体具有形变特征，提出了构筑插层材料的几何结构判据（八面体变形度）和电子结构判据（无机-有机杂化量子阱），丰富了插层化学原理，澄清了近 40 年实验科学中存有争议的关键问题。为实验工作提供了理论依据，并据此指导合成了 200 余种 LDHs 插层结构材料。

（2）发现了插层结构主体晶面选择性生长规律及层间客体定位效应，提出了分子工程导向的多种 LDHs 组装方法。针对 LDHs 结构的多级、多尺度精细调控，设计并完善了成核/晶化隔离法等 7 种 LDHs 材料组装的新方法；揭示了组装机理，推动了 LDHs 插层组装的发展，为插层结构功能材料的制备奠定了方法学基础。

（3）发现并提出了 LDHs 的层间限域效应概念：阐明了层间限域效应的几何结构和电子结构本质，揭示了层间限域效应与材料性能的构效关系，从而实现了一系列插层结构功能材料的导向设计与限域效应诱导的性能强化。发现了 LDHs 的结构拓扑转变现象：采用实验与理论相结合的研究方法揭示了 LDHs 的结构拓扑转变过程和机制，为在宏观、介观、微观多层次、多尺度下研究和预测材料的结构与性能关系奠定了实验和理论基础。

经 20 余年的系统研究，本项目在插层组装与产品工程领域取得了系列原创性的研究成果，8 篇代表性研究论文发表在 *J. Am. Chem. Soc.*、*Angew. Chem. Int. Ed.*、*Adv. Mater.*等化学顶级期刊和 *AIChE J.*等化工期刊，被包括 *Chem. Rev.*、*Chem. Soc. Rev.*、*J. Am. Chem. Soc.*等在内的期刊论文他引 1890 余次（截至 2018 年 1 月），单篇最高他引 418 次。就 LDHs 插层材料的制备及性能研究应邀为 *Chem. Soc. Rev.* 等撰写多篇综述文章；撰写中文专著三部；作为卷主编为 *Structure Bonding* 撰写第 119 卷和 166 卷。项目完成人在国际会议做大会或特邀报告 30 余次，承办国际性学术会议 2 次。

以基础研究为支撑，进一步延长研究链，解决了关键工程科学问题，所创制的成核/晶化隔离法被国际上 90 余个实验室引用和采用，并获得了工业应用；三类原创性插层结构功能材料：插层紫外阻隔材料、插层气密材料、插层抑烟材料，经应用工业实践证明，能够解决国民经济发展相关行业的重大实际需求。

四、客观评价：

本项目团队在插层化学领域的研究工作，引起了国际同行的广泛关注和高度评价。Science 主页介绍了本团队具有“化学与化工交叉、基础与应用密切结合的特色”。英国皇家化学会会刊“Chemistry World”主页介绍了本团队的工作具有“基础研究与实际应用密切结合的特色”；同时指出，“该团队成员中化学家和化工专家能够优势互补、密切合作”。

项目组在 LDHs 插层化学领域的研究工作，引起了国际同行的关注和高度评价。项目组提出的构筑插层材料的几何结构判据（科学发现一），被国际上 40 余个实验室或课题组在其发表的论文中引用和采用；项目组创制的“成核/晶化隔离法”（科学发现二），被国际上从事相关研究的 90 余个实验室或课题组在其发表的论文中引用和采用，并在万吨级大规模工业装置上获得应用；三类原创插层结构功能材料（科学发现三）已被相关企业和行业认可，并作为科学依据制定了相应的企业和行业标准。

对于科学发现一“LDHs 构筑原则”的相关工作发表以后，被 Nature 出版集团的 NatureChina 网站作为“Research Highlight”进行了专题评述。认为“具有重要意义”和“具有重要的实际应用价值”。日本无机纳米材料著名学者、日本国家材料科学研究所纳米材料中心主任 Sasaki 教授在 *Adv. Mater.* (2010, 22, 5082) 综述性文章中，对相关工作进行了大幅评述，指出“周期性密度泛函计算结果表明该材料具有多重量子阱结构：共轭发光聚合物的价态电子被限域在惰性 LDHs 纳米片的量子能阱中。该无机-有机杂化量子阱结构与有机-有机材料相比，在荧光寿命、光稳定性方面有较大提高”。英国插层材料领域著名学者，牛津大学化学系 Dermot O’Hare 教授在 *Chem. Rev.* (2012, 112, 4124)综述性文章中，也对相关工作进行了大篇幅引用和高度评价。

对于科学发现二“LDHs 组装方法”的相关工作发表后，Wiley 出版社的 Wiley Materials Views China (MVC) 官方网站对本项目组提出的插层组装方法给予了数次评价，认为是“重要进展”、“具有潜在的应用价值”、“是一种全新有效方法”。有关研究工作被美国化学会(ACS)的“Noteworthy Chemistry”选为“Research Highlight”进行了评述。基于成核/晶化隔离原理发明的新型旋转液膜反应器，已在江苏宜兴、辽宁大连、江苏江阴、北京昌平和山东临沂等多套千吨级和万吨级产业化装置上获得实际应用，基础研究的创新在实际应用中得以证实。

有关科学发现三“LDHs 的二维限域效应和拓扑转变机制”的相关工作发表后，分别被英国皇家化学会(RSC)的官方博客选为“Research Highlight”和“Hot Article”进行了报道和评述。英国皇家工程院院士、新加坡国立大学 Seeram Ramakrishna 教授 (*Adv. Funct. Mater.* 2014, 24, 2155)、国际著名纳米材料专家、新加坡南洋理工大学 Xiong Wen (David) Lou 教授 (*Energy Environ. Sci.* 2016, 9, 862)在其发表的论文中，对本项目组在二维插层结构功能材料方面的基础研究工作进行了多次引用和评价。以行业发展重大难题为导向，本项目组经基础研究原创的三类插层结构功能材料，已获得相关企业和行业的认可：（1）提出在沥青材

料中使用 LDHs 抗紫外老化材料的新思想，解决了长期制约路基沥青材料的紫外老化难题，已在长深高速（长春至深圳）内蒙古金宝屯至查日苏段以及丽攀高速（丽江至攀枝花）四川攀枝花路段获得实际应用，共铺设示范路段 25 公里；主持制定了化工行业标准，已于 2014 年发布实施。（2）首次提出将 LDHs 作为气密材料用于弹性体轮胎，大幅提升了轮胎气密层性能，在福特轮胎专用生产线上进行了高气密阻隔性能轮胎的试制，各项指标评测结果显示轮胎气密性、耐久性和高速性能等均满足并优于国际标准要求；制定了 LDHs 气密材料的企业标准，现已与轮胎行业龙头企业山东玲珑轮胎股份有限公司建立了战略合作伙伴关系。（3）设计了 LDHs 高效无卤抑烟材料，提出将阻燃性能与抑烟性能剥离的新概念，解决了阻燃性能与抑烟性能无法兼顾的行业难题，并对 EVA、PE、PP、PVC 等多种树脂表现出良好的抑烟效果；已与行业龙头企业济南泰星精细化工有限公司开展合作研究，主持制定并于 2014 年发布实施了 LDHs 抑烟剂的化工行业标准。

五、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	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	论文署名单位是否包含国外单位
1	Highly Crystalline Activated Layered Double Hydroxides as Solid Acid-Base Catalysts/AIChE J./ Xiaodong Lei, Fazhi Zhang, Lan Yang, Xiaoxiao Guo, Yuanyuan Tian, Shanshan Fu, Feng Li, David G. Evans, Xue Duan*	2.836	2007 年 53 卷 932 –940 页	2007 年 2 月 16 日	段雪	雷晓东	雷晓东，张法智，杨兰，郭孝孝，田媛媛，付珊珊，李峰，段雪	55	62	否
2	The Synthesis of Hierarchical Zn–Ti Layered Double Hydroxide for Efficient Visible-Light Photocatalysis/Chem. Eng. J./Mingfei Shao, Jingbin Han, Min Wei∗, David G. Evans, Xue Duan	6.216	2011 年 168 卷 519 –524 页	2011 年 1 月 4 日	卫敏	邵明飞	邵明飞，韩景宾，卫敏，段雪	117	140	否

3	Preparation of Fe_3O_4@SiO_2@Layered Double Hydroxide Core–Shell Microspheres for Magnetic Separation of Proteins/J. Am. Chem. Soc./Mingfei Shao, Fanyu Ning, Jingwen Zhao, Min Wei,* David G. Evans, and Xue Duan	13.858	2012 年 134 卷 1071 –1077 页	2011 年 12 月 14 日	卫敏	邵明飞	邵明飞，宁凡雨，赵井文，卫敏，段雪	291	310	否
4	Corrosion Resistance of Superhydrophobic Layered Double Hydroxide Films on Aluminum/Angew. Chem. Int. Ed./Fazhi Zhang, Lili Zhao, Hongyun Chen, Sailong Xu, David G. Evans, Xue Duan*	11.994	2008 年 47 卷 2466 –2469 页	2008 年 2 月 20 日	段雪	张法智	张法智，赵丽丽，陈虹芸，徐赛龙，段雪	279	291	否
5	Ordered Poly (p-phenylene)/Layered Double Hydroxide Ultrathin Films with Blue Luminescence by Layer-by-Layer Assembly/Angew. Chem. Int. Ed./Dongpeng Yan, Jun Lu,* Min Wei,* Jingbin Han, Jing Ma, Feng Li, David G. Evans, Xue Duan	11.994	2009 年 48 卷 3073 –3076 页	2009 年 3 月 19 日	陆军，卫敏	闫东鹏	闫东鹏，陆军，卫敏，韩景宾，马晶，李峰，段雪	96	136	否

6	In Situ Microstructure Control of Oriented Layered Double Hydroxide Monolayer Films with Curved Hexagonal Crystals as Superhydrophobic Materials/Adv. Mater./Hongyun Chen, Fazhi Zhang, Shanshan Fu, Xue Duan*	19.791	2006 年 18 卷 3089 –3093 页	2006 年 11 月 10 日	段雪	陈虹芸	陈虹芸，张法智，付珊珊，段雪	168	173	否
7	Preparation of Layered Double Hydroxide Nanomaterials with a Uniform Crystallite Size Using a New Method Involving Separate Nucleation and Aging Steps/Chem. Mater./Yun Zhao, Feng Li, Rui Zhang, David G. Evans, Xue Duan*	9.466	2002 年 14 卷 4286-4291 页	2002 年 9 月 12 日	段雪	赵芸	赵芸，李峰，张锐，段雪	334	369	否
8	Preparation of Layered Double Hydroxides and Their Applications as Additives in Polymers, as Precursors to Magnetic Materials And in Biology And Medicine/Chem. Commun/David G. Evans, Xue Duan	6.319	2006 年 42 卷 485–496 页	2005 年 11 月 7 日	段雪	David G. Evans	段雪	402	418	否
合计								1742	1899	

六、主要完成人情况：每位完成人代表论文均标出

排序	姓名	主要贡献	工作单位	完成单位	职称
1	卫敏	第 1 完成人。 围绕插层组装与产品工程基础的三类关键科学问题，在插层结构的理论构筑判据，插层组装的控制方法以及插层结构功能材料的导向设计与性能强化方面做出了突出贡献。对项目的第一、第二和第三发现点做出了创造性贡献。公开发表的代表性文章为 2、3 和 5。	北京化工大学	北京化工大学	教授
2	段雪	第 2 完成人。 围绕“插层组装与产品工程基础”，凝练并提出了插层结构构筑原则、插层结构组装方法、功能导向的插层结构设计与性能强化等关键科学问题，对项目的第一、第二和第三发现点做出了创造性贡献。公开发表的代表性文章为 1、4、6、7 和 8。	北京化工大学	北京化工大学	教授
3	张法智	第 3 完成人。 在插层结构材料的结构设计与性能研究方面做出了突出贡献，对项目的第三发现点做出了创造性贡献。公开发表的代表性文章为 4。	北京化工大学	北京化工大学	教授
4	雷晓东	第 4 完成人。 在插层材料的可控合成及其催化性能方面做出了突出贡献，对项目的第二发现点做出了创造性贡献。公开发表的代表性文章为 1。	北京化工大学	北京化工大学	教授
5	邵明飞	第 5 完成人。 在插层结构材料的设计、插层组装过程控制方面做出了突出贡献，对项目的第三发现点做出了创造性贡献。公开发表的代表性文章为 2 和 3。	北京化工大学	北京化工大学	副教授

七、完成人合作关系说明：

2002 年以来，本项成果完成人卫敏、段雪、张法智、雷晓东、邵明飞作为化工资源有效利用国家重点实验室（前身为可控化学反应科学与技术教育部重点实验室）的核心团队成员，通过共同承担科研任务、联合发表学术论文、共建化学学科平台等形式，围绕“插层组装与产品工程基础”展开了长期、稳定、密切的合作研究。五位完成人均隶属于段雪院士组建的教育部长江学者创新团队（2000 年）、国家外专局 111 引智基地（2007 年）、国家自然科学基金委创新群体（2016 年），通过长期的密切合作研究，取得了具有原创性的科学成果。拟共同申报 2018 年度国家自然科学奖，成果署名按照贡献排序，商定无异议。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	卫敏，段雪	2009-2012 年	发表 SCI 论文	代表性论文 2、3 和 5
2	论文合著	段雪，张法智	2006-2008 年	发表 SCI 论文	代表性论文 1、4 和 6
3	论文合著	段雪，卫敏，邵明飞	2011-2012 年	发表 SCI 论文	代表性论文 2 和 3
4	论文合著	段雪，雷晓东，张法智	2007 年	发表 SCI 论文	代表性论文 1
5	共同立项	段雪，卫敏，张法智	2004-2006 年	主客体结构分子材料的组装化学（20620130108）	国家自然科学基金重大国际合作研究项目
6	共同立项	段雪，卫敏	2004-2007 年	超分子结构先进功能材料插层组装的基础研究（2004CB720600）	国家重点基础研究发展计划（973 计划）国际科技合作项目

7	共同立项	段雪，卫敏，张法智	2004-2007 年	超分子结构功能材料的插层组装（IRT0406）	长江学者和创新团队发展计划
8	共同立项	段雪，卫敏，张法智	2004-2007 年	无机-有机电子转移体系的构建及功能性纳米材料的超分子插层组装（90306012）	国家自然科学基金重点项目重大研究计划重点项目
9	共同立项	段雪，卫敏，张法智	2008-2010 年	高分散负载型贵金属催化剂及其应用研究（2008AA030802）	十一五科技部 863 计划重点项目课题

八、知情同意证明：

卫敏教授（Prof. Min Wei）、段雪院士（Prof. Xue Duan）、张法智教授（Prof. Fazhi Zhang）、雷晓东教授（Prof. Xiaodong Lei）、邵明飞博士（Dr. Mingfei Shao）：

作为以下论文的合作者之一，我同意你使用此文成果申报国家自然科学奖。

1. Dongpeng Yan, Jun Lu,* Min Wei,* Jingbin Han, Jing Ma, Feng Li, David G. Evans, Xue Duan, Ordered Poly (p-phenylene)/Layered Double Hydroxide Ultrathin Films with Blue Luminescence by Layer-by-Layer Assembly. ***Angew. Chem. Int. Ed.*** 2009, 48, 3073–3076.
2. Hongyun Chen, Fazhi Zhang, Shanshan Fu, Xue Duan,* In situ Microstructure Control of Oriented Layered Double Hydroxide Monolayer Films with Curved Hexagonal Crystals as Superhydrophobic Materials. ***Adv. Mater.*** 2006, 18, 3089–3093.
3. Yun Zhao, Feng Li, Rui Zhang, David G. Evans, Xue Duan*, Preparation of Layered Double-Hydroxide Nanomaterials with a Uniform Crystallite Size Using a New Method Involving Separate Nucleation and Aging Steps. ***Chem. Mater.*** 2002, 14, 4286–4291.
4. David G. Evans, Xue Duan* Preparation of Layered Double Hydroxides and Their Applications as Additives in Polymers, as Precursors to Magnetic Materials and in Biology and Medicine. ***Chem. Commun.*** 2006, 42, 485–496.

合作者：**David G. Evans**，陆军，闫东鹏，陈虹芸，赵芸

作者签名：