

# 项目公示信息表

## 一、项目基本情况

|        |  |
|--------|--|
| 奖 种    | 国家技术发明奖  |
| 项目名称   | 新型三嗪阻燃剂清洁制备及阻燃塑料加工关键技术   |
| 主要完成人  | 王琪、刘渊、叶锐、陈英红、杨中强、何岳山   |
| 提名单位   | 中国轻工业联合会   |
| 提名单位意见 | <p>发展绿色安全阻燃塑料制备技术，是塑料工业进步的重要标志。我国塑料年消费量世界第一，但塑料阻燃技术与世界先进水平差距较大，目前 80%阻燃塑料仍使用有毒有害的传统卤系阻燃剂，存在极大安全性问题。</p> <p>该项目攻克了环保型三嗪阻燃剂清洁制备及阻燃塑料加工关键技术难题，发明了三嗪阻燃剂分子复合制备方法及规模化清洁生产技术，实现了三嗪阻燃剂 MCA 超低粘度合成方法，其反应粘度比传统技术降低 2 个数量级，比传统合成方法减少溶剂用量 80%，实现三嗪阻燃剂旋转闪蒸连续化生产；发明了原位反应性加工制备阻燃塑料技术，以双螺杆挤出机为反应器，在塑料加工过程中一次性实现三嗪阻燃剂合成和阻燃塑料制备；发明了三嗪协效复合、三嗪界面阻燃、三嗪基微胶囊等系列化技术，实现了阻燃剂在塑料中微纳米分散和协效阻燃。</p> <p>该项目解决了传统加工方法制备阻燃塑料存在阻燃剂与塑料相容性差的问题，克服了环氧树脂、泡沫塑料、玻纤增强塑料等难以无卤阻燃的世界性技术难题。项目技术在十余家企业推广应用，建成万吨级三嗪阻燃剂生产线，生产工艺节能环保，形成了 10 余种高性能三嗪系阻燃塑料产品。相关阻燃塑料制品及材料已应用于我国轨道交通、输变电工程、电子通讯产品、国防军工等，并实现出口创汇，产生了显著的经济效益和社会效益，推动了我国环保型阻燃塑料加工领域的技术进步。</p> <p>我单位认真审阅了该项目提名书全文，确认全部材料真实有效。提名该项目为国家技术发明奖二等奖。</p> |

## 二、项目简介

发展绿色安全阻燃塑料制备技术，是塑料工业进步的重要标志。发达国家十分重视发展环保型阻燃塑料，相继颁发法规限制或禁用有毒有害阻燃剂。虽然我国塑料年消费量世界第一，但塑料阻燃技术与世界先进水平差距较大。目前 80%阻燃塑料仍使用有毒有害的传统卤系阻燃剂，存在极大安全性问题；传统加工法制备的阻燃塑料存在阻燃剂与塑料相容性差，严重劣化加工和力学性能等问题，亟需发展环保型阻燃剂清洁制备及阻燃塑料加工关键技术。三嗪系化合物含叔氮六元杂环，安全价廉，是新一代环保型阻燃剂，但合成和应用涉及高粘高耗能化学反应及复杂的协同配伍和加工技术，开发难度极大。本项目在国家 863、国家科技支撑计划等支持下，历经 17 年产学研合作，发明了系列新型三嗪阻燃剂清洁制备及三嗪阻燃塑料加工关键技术，主要发明点如下：

1、三嗪阻燃剂分子复合制备方法及规模化清洁生产技术。针对传统三嗪阻燃剂(MCA)平面氢键结构庞大、粘度高、分散性差难题，提出分子复合构建 MCA 新型超分子结构及原理，发明了 MCA 超低粘度-自组装合成方法。开发了一步法旋转闪蒸清洁生产新装置及工艺，建成 M-MCA 万吨级生产线。

2、原位反应性加工制备阻燃塑料技术。针对传统阻燃剂合成与塑料加工孤立进行、高温高粘阻燃剂难以合成等难题，提出高效原位加工合成技术原理，发明了阻燃塑料反应性加工一体化技术，通过塑料加工一步法实现三嗪阻燃剂原位合成、成纤及阻燃塑料制备，解决了塑料阻燃性能与力学性能难以兼顾的难题，开辟了阻燃塑料加工新途径。

3、三嗪协效阻燃塑料加工新技术。针对环氧树脂、泡沫塑料、玻纤增强塑料等难以无卤阻燃的世界性技术难题，提出三嗪协效阻燃配伍方法，发明了三嗪协效复合、三嗪界面阻燃、三嗪基微胶囊等加工新技术，制备的阻燃塑料兼具优异阻燃性、加工性和力学性能，形成了 10 余种高性能三嗪系阻燃塑料产品体系。

项目已获授权中国发明专利 30 件，国外发明专利 5 件，发表学术论文 150 篇(SCI 60 篇)，项目技术已在 10 余家企业推广应用，核心发明专利获中国专利金奖。三嗪阻燃产品已通过国家塑料制品质量监督检验中心等相关权威检测部门认证，阻燃塑料制品已应用于电子电气、轨道交通、输变电工程、国防军工等重要领域，实现出口创汇，取得显著经济效益和社会效益，推动了我国环保型阻燃塑料产业的技术进步。

### 三、客观评价

#### (1) 国家级专业机构的技术检测报告

本项目研制的三嗪系绿色阻燃剂及阻燃塑料的阻燃性能、力学性能、烟毒性、热性能等经由国家塑料制品质量监督检验中心、国家合成树脂质量监督检验中心、国家防火建筑材料质量监督检验中心等专业机构检测，并给出检测报告，表明其环保性、材料综合性能指标均达到世界先进水平

#### (2) 国家级科研项目验收结论

三嗪系阻燃剂产业化及其阻燃尼龙、聚甲醛材料技术获得国家 863 计划，国家科技支撑计划等项目支持，均通过验收。“分子复合改性 MCA 及阻燃尼龙技术”的研究成果入选国家 863 计划高性能结构材料技术主题“十五”研究进展丛书-《高分子材料与工程》，进行推广应用。

#### (3) 国内外学术界的引用和评价

本项目发表学术论文 150 篇 (SCI 60 篇)，他引 1510 余次，本项目的创造性、先进性得到国内外同行的好评。

国际高分子顶尖期刊“Progress in Polymer Science” (IF=25.766) (2003, 28, 1517-1538) 综述论文评价认为反应性加工制备膨胀型阻燃剂 (MPP) 具有明显的优势，如具有良好阻燃性能的颗粒化阻燃剂母料因具有与基体 PP 良好的相容性和加工过程中的成纤能力而使 PP 阻燃塑料保持原有良好的力学性能，且所得阻燃 PP 塑料具有优良的抗水性能。

美国化学会刊“Industrial & Engineering Chemistry Research” (2011, 50, 11975 - 11981) 评价认为分子复合改性 MCA (M-MCA) 包覆红磷阻燃玻纤增强尼龙 66 (PA66) 技术有效解决了玻纤增强阻燃 PA66 塑料中玻纤的“烛芯效应”问题。

国际高分子著名期刊“Polymers for Advanced Technology” (2010, 21, 1 - 26) 综述论文评价认为分子复合自组装制备 M-MCA 微胶囊红磷是一种新型的自组装 MCA 红磷微胶囊化新技术，有效改善了尼龙 6 及其玻纤增强尼龙 6 的阻燃性能和力学性能。

著名的英国皇家化学会期刊“Journal of Material Chemistry” (2007, 17, 2283 - 2300) 评论性文章评价认为磷钨酸催化反应性挤出合成 MPP 是一种环境友好的合成阻燃剂的新途径，解决了传统合成方法面临的毒性反应物、高反应温度、高能耗等问题，加工过程中磷钨酸可显著提高反应转化率、降低反应温度及降低合成过程中的能耗。

国际知名阻燃专家 Wilkie 等主编的专著“Fire Retardancy of Polymeric

Materials” (CRC Press, 2009)第六章 “Intumescence-Based Fire Retardants” (作者 Serge Bourbigot 等)较大篇幅的评述了反应性加工制备阻燃剂的工作认为通过反应性挤出在双螺杆中合成 MPP 是连续化的过程, 与间歇式反应釜方法相比较, 简化了生产工艺, 提高了生产效率, 是一种非常有前景的新方法。

国际著名高分子期刊 “Polymers for Advanced Technology” (2010, 21, 1 - 26;2011, 22, 379 - 394)综述论文评价认为通过反应性挤出加工在 PA6 基体树脂中原位形成的纳米尺度分散的 MCA 显著改善了阻燃尼龙的阻燃性能和力学性能。

“Polymer-Plastics Technology and Engineering” (2009, 48, 297 - 302)综述论文评价认为磷钨酸 (PTA) 作为反应性挤出加工制备 MPP 的协效剂, 提高了反应转化率, 降低反应温度, 改善了材料的阻燃性能。

阻燃塑料领域重要期刊 Polymer Degradation and Stability 综述论文 (2015, 113:96-109) 评价认为通过尼龙树脂溶液包覆三聚氰胺磷酸盐 (MP) 可有效制备大分子成炭剂包覆酸源阻燃剂的微胶囊体系, 避免了 MP 与季戊四醇 (PER) 在 PP 加工温度下发生酯化反应, 实现 MP/PER 阻燃 PP 塑料的加工制备。

## 四. 推广应用情况

该项目发明的新型三嗪阻燃剂清洁制备及阻燃塑料加工关键技术已在十余家企业获得生产、应用和推广，其终端阻燃制品广泛用于信息通讯、轨道交通、特高压输变电、电子电气零部件、建筑防火等国民经济重要领域。

分子复合改性 MCA、复合三聚氰胺阻燃剂、MCA 包覆无机阻燃剂等三嗪阻燃剂产品已在成都玉龙化工有限公司建成万吨级工业生产线，实现产业化。

M-MCA、改性三聚氰胺复合阻燃剂、MPP 等已应用于国内多家塑料阻燃专用料及阻燃塑料制件生产企业如四川迪弗电工科技公司、中山市纳谱工程塑料有限公司、浙江温岭市新跃新材料有限公司等，主要用于制备高性能无卤阻燃尼龙专用料、无卤阻燃环氧树脂复合材料制件，已在我国轨道交通、特高压输电工程、通讯电子及电器产品等使用。项目研发的三嗪阻燃环氧树脂覆铜板、三嗪阻燃泡沫材料及尼龙材料及制件在广东生益科技股份有限公司等企业规模化生产及应用。其中三嗪阻燃环氧树脂覆铜板已广泛应用于电子电器及通讯产品；三嗪阻燃泡沫在建筑工程领域获得应用。

主要应用单位情况表

| 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  |
|---------------|------------------------|----------|-----------------|---|
| 广东生益科技股份有限公司  | 三嗪阻燃环氧树脂覆铜板            | 2011年-现在 | 罗俐/18688667356  | 相关终端产品应用于三星、LG、华为、联想等                                   |
| 成都玉龙化工有限公司    | M-MCA、三嗪复合阻燃剂、三嗪阻燃泡沫塑料 | 2011年-现在 | 张路/15982310568  | 已形成三嗪阻燃剂生产线、三嗪阻燃泡沫工业化生产线                                |
| 四川迪弗电工科技有限公司  | 三嗪阻燃环氧树脂及不饱和聚酯         | 2012年-现在 | 廖文军/18281051886 | 阻燃环氧、不饱和聚酯电工绝缘结构件产品用于新能源、高压电气装置、特高压直流输电、轨道交通绝缘结构件和绝缘零部件 |
| 中山市纳谱工程塑料有限公司 | 三嗪阻燃玻纤增强尼龙和 POM        | 2011年-现在 | 冯建祺/13822795168 | 生产阻燃玻纤增强尼龙、阻燃 POM，用于电动工具、电动齿轮及润滑件制备                     |

## 五、主要知识产权证明目录（不超过 10 件）

| 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   | 分子复合三聚氰胺尿酸盐阻燃剂及其制备方法和用途  | 中国     | ZL03135668.0     | 2005.12.28 | 241836         | 四川大学         | 王琪, 刘渊, 陈英红, 卢灿辉, 华正坤        | 有效       |
| 发明专利   | 三聚氰胺氰尿酸盐阻燃聚酰胺纳米复合材料及其制备方法  | 中国     | ZL200510022046.4 | 2007.10.10 | 350837         | 四川大学         | 王琪, 陈英红, 刘渊, 华正坤             | 有效       |
| 发明专利   | 无卤阻燃聚乙烯醇泡沫材料及其制备方法   | 中国     | ZL201210033387.1 | 2014.01.22 | 1339237        | 四川大学         | 王琪, 郭丹, 白时兵, 华正坤             | 有效       |
| 发明专利   | HALOGEN-FREE LOW-DIELECTRIC RESIN COMPOSITION, AND PREPREG AND COPPER FOIL LAMINATE MADE BY USING SAME | 欧洲     | EP 2770025B1     | 2017.1.18  | 110377P835PCEP | 广东生益科技股份有限公司 | 戎潜萍, 何岳山, 苏世国                | 有效       |
| 发明专利   | 一种氮系阻燃剂、制备方法及其阻燃硅橡胶复合物   | 中国     | ZL201410038946.7 | 2015.6.3   | 1685534        | 成都玉龙化工有限公司   | 孙永生, 张路, 叶锐, 苏华, 封红兵         | 有效       |
| 发明专利   | 无卤树脂组合物及粘结片与覆铜箔层压板   | 中国     | ZL201210208337.2 | 2014.01.08 | 1332387        | 广东生益科技股份有限公司 | 杨虎, 何岳山, 苏世国                 | 有效       |
| 发明专利   | 一种埋容材料、制备方法及其用途  | 中国     | ZL201310307381.3 | 2016.1.20  | 1895494        | 广东生益科技股份有限公司 | 杨中强, 刘潜发, 殷卫峰, 苏民社, 颜善银, 许永静 | 有效       |

|      |                       |    |                  |            |         |      |                       |    |
|------|-----------------------|----|------------------|------------|---------|------|-----------------------|----|
| 发明专利 | 阻燃热塑性树脂组合物及其制备方法      | 中国 | ZL200810044934.X | 2010.08.18 | 660986  | 四川大学 | 王琪, 费国霞, 刘渊           | 有效 |
| 发明专利 | 无卤阻燃聚苯乙烯泡沫材料及其制备方法    | 中国 | ZL201210169172.2 | 2013.11.13 | 1303780 | 四川大学 | 王琪, 陈学, 白时兵, 刘渊, 华正坤  | 有效 |
| 发明专利 | 无卤阻燃玻纤增强聚甲醛复合材料及其制备方法 | 中国 | ZL201010595907.9 | 2012.06.27 | 983035  | 四川大学 | 陈英红, 王琪, 刘渊, 于奋飞, 华正坤 | 有效 |

## 六、主要完成人情况表

|   |      |     |   |      |    |
|---|------|-----|---|------|----|
| 姓 名   | 王琪   | 排 名 | 1 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位  | 四川大学 |     |   | 行政职务 | 无  |
| 完成单位  | 四川大学 |     |   |      |    |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目负责人，对本项目三个发明点均做出了创造性贡献，是所列第 1-3, 8-10 项发明专利的发明人，其中第一发明人 5 项(含 3 项核心专利)。项目总体设计并组织实施，领导项目组研发环保型三嗪阻燃剂清洁制备及阻燃塑料加工关键技术，发明了分子复合制备新型高效环保型三嗪阻燃剂三聚氰胺氰尿酸盐和制备高性能无卤阻燃尼龙新技术，反应性挤出加工制备环保型三嗪阻燃剂及阻燃塑料技术，发明了高性能无卤阻燃塑料加工新技术，实现了泡沫塑料、聚甲醛、玻纤增强尼龙等难阻燃塑料的无卤阻燃。</p> |      |     |   |      |    |

|  |      |     |   |      |    |
|--|------|-----|---|------|----|
| 姓 名  | 刘渊   | 排 名 | 2 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位   | 四川大学 |     |   | 行政职务 | 无  |
| 完成单位   | 四川大学 |     |   |      |    |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主研，对本项目的三个发明点均做出了创造性贡献，是所列第 1、2、8-10 项发明专利(含 2 项核心专利)的发明人。发明了三嗪阻燃剂三聚氰胺氰尿酸盐(MCA)的分子复合改性制备新技术，采用分子复合和催化技术大幅缩短 MCA 的反应时间及反应物/水比，大幅降低反应体系黏度，实现了 MCA 的微纳米分散，建立 MCA 合成新装置新工艺；发明了固体酸催化三嗪阻燃剂及无卤阻燃塑料；发明了三嗪阻燃剂包覆加工制备环保型阻燃聚甲醛塑料，等。</p> |      |     |   |      |    |

|  |            |     |   |      |       |
|--|------------|-----|---|------|-------|
| 姓 名  | 叶锐         | 排 名 | 3 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位   | 成都玉龙化工有限公司 |     |   | 行政职务 | 总工程师  |
| 完成单位   | 成都玉龙化工有限公司 |     |   |      |       |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主研，对本项目的发明点 1 和发明点 3 做出了创造性的贡献，是所列第 5 项发明专利发明人。是分子复合改性三嗪阻燃剂 MCA 技术产业化项目主持人，开发了分子复合改性 MCA 的旋转闪蒸连续化生产新装置新工艺，实现了分子复合改性 MCA 阻燃剂规模化洁净生产，提出了 MCA 阻燃剂产业化的节能节资性环保新工艺，解决了产业化放大的工程技术难题；发明了三嗪阻燃硅橡胶复合物等新技术。</p> |            |     |   |      |       |



|   |      |    |   |      |    |
|---|------|----|---|------|----|
| 姓名  | 陈英红  | 排名 | 4 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位  | 四川大学 |    |   | 行政职务 | 无  |
| 完成单位  | 四川大学 |    |   |      |    |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主研，对本项目三个发明点均做出了创造性贡献。是所列第 1、2、10 项发明专利的发明人。发明了分子复合和反应性挤出加工制备三嗪阻燃剂和阻燃塑料，实现了加工过程中的原位成纤增强塑料，发明了三嗪阻燃玻纤增强聚甲醛新技术，等。</p> |      |    |   |      |    |

|   |              |    |   |      |       |
|---|--------------|----|---|------|-------|
| 姓名  | 杨中强          | 排名 | 5 | 技术职称 | 教授级高工 |
| 工作单位  | 广东生益科技股份有限公司 |    |   | 行政职务 | 代主任   |
| 完成单位  | 广东生益科技股份有限公司 |    |   |      |       |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主研，对本项目的发明点 1 和发明点 3 做出了创造性的贡献，是所列第 7 项发明专利发明人。组织实施了分子复合改性 MCA 阻燃剂用于电子电路基材的产业化技术的研发、方案制定及推广应用，解决了产业化放大的工程技术难题。</p> |              |    |   |      |       |

|   |              |    |   |      |       |
|---|--------------|----|---|------|-------|
| 姓名  | 何岳山          | 排名 | 6 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位  | 广东生益科技股份有限公司 |    |   | 行政职务 | 无     |
| 完成单位  | 广东生益科技股份有限公司 |    |   |      |       |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主研，对本项目的发明点 1 和发明点 3 做出了创造性的贡献，是所列第 4 和 6 项发明专利发明人。是分子复合改性 MCA 阻燃剂在电子电路基材中应用项目主持人，解决 MCA 阻燃剂在电子电路基材应用中表面处理，分散以及协效阻燃等技术难题，提出了电子电路基材生产新工艺，解决了产业化放大的工程技术难题。</p> |              |    |   |      |       |

## 七、完成人合作关系说明（含完成人合作关系情况汇总表）

第一完成人王琪教授、第二完成人刘渊教授和第四完成人陈英红教授为四川大学高分子研究所、高分子材料工程国家重点实验室教师，均为王琪课题组成员，合作十余年，开展本项目研究，共同申请发明专利（主要知识产权证明目录第 1-3,8-10 项专利），共同立项，共同发表研究论文，共同获奖。

第三完成人叶锐为成都玉龙化工有限公司高级工程师，是成都玉龙化工有限公司与王琪课题组自 2011 年起共建产学研平台的负责人和主要研究人员，双方在改性三嗪阻燃剂领域开展 7 项校企合作，共同完成的科研成果“分子复合改性三聚氰胺氰尿酸阻燃剂制备技术”获四川省科技进步奖。

第五完成人杨中强和第六完成人何岳山分别为广东生益科技股份有限公司的教授级高级工程师和高级工程师。王琪课题组和广东生益科技股份有限公司自 2010 年 3 月开始致力于三嗪阻燃环氧树脂覆铜板体系合作，双方在该领域已开展 3 项校企横向合作（王琪教授、刘渊教授为川大方面项目负责人，杨中强高工为企业方面项目负责人），共同承担广东省教育部产学研合作项目“电子信息产业用基础材料的新型无卤阻燃剂开发”（编号 2010B090400063）（第一完成人王琪教授为项目负责人，第二完成人四川大学刘渊教授、第六完成人广东生益科技股份有限公司何岳山高工为主研人员）。在国内外学术期刊共同发表与三嗪阻燃技术相关的研究论文 4 篇（四川大学刘渊、王琪和生益公司何岳山为共同作者）。

完成人合作关系情况汇总表

| 序号 | 合作方式   | 合作者          | 合作时间      | 合作成果   | 备注 |
|----|--------|--------------|-----------|--|----|
| 1  | 共同知识产权 | 王琪，刘渊，陈英红    | 2003-2010 | 授权发明专利“分子复合三聚氰胺氰尿酸盐阻燃剂及其制备方法和用途”             |    |
| 2  | 共同知识产权 | 王琪，刘渊，陈英红    | 2005-2012 | 授权发明专利“三聚氰胺氰尿酸盐阻燃聚酰胺纳米复合材料及其制备方法”            |    |
| 3  | 共同知识产权 | 王琪，刘渊        | 2005-2009 | 授权发明专利“阻燃热塑性树脂组合物及其制备方法”                     |    |
| 4  | 共同知识产权 | 王琪，刘渊        | 2010-2014 | 授权发明专利“无卤阻燃聚苯乙烯泡沫材料及其制备方法”                   |    |
| 5  | 共同知识产权 | 王琪，刘渊，陈英红    | 2005-2014 | 授权发明专利“无卤阻燃玻纤增强聚甲醛复合材料及其制备方法”                |    |
| 6  | 产业合作   | 王琪，刘渊，陈英红，叶锐 | 2011-2016 | 四川大学-成都玉龙化工有限公司“共建科研平台”                      |    |
| 7  | 产业合作   | 王琪，刘渊，陈英红，叶锐 | 2011-2014 | 四川大学-成都玉龙化工有限公司校企产业合作项目“分子复合改性三聚氰胺氰尿酸盐阻燃剂制备” |    |

|    |      |                     |           |  |  |
|----|------|---------------------|-----------|--|--|
| 8  | 产业合作 | 王琪, 刘渊,<br>陈英红, 叶锐  | 2011-2014 | 四川大学-成都玉龙化工有限公司校企产业合作项目“用于PA66的改性MCA阻燃剂制备技术”   |  |
| 9  | 共同立项 | 王琪, 刘渊,<br>何岳山      | 2008-2012 | 广东省教育部产学研结合项目“电子信息产业用基础材料的新型无卤阻燃剂开发”   |  |
| 10 | 产业合作 | 王琪, 刘渊,<br>杨中强, 何岳山 | 2015-2016 | 四川大学-广东生益科技股份有限公司产业合作项目“无卤阻燃剂在覆铜板中的应用基础研究”   |  |
| 11 | 论文合著 | 王琪, 刘渊,<br>何岳山      | 2011-2014 | 发表论文“改性三聚氰胺氰尿酸盐阻燃环氧树脂研究”   |  |
| 12 | 论文合著 | 王琪, 刘渊,<br>何岳山      | 2012-2014 | 发表论文“三聚氰胺氰尿酸盐/磷系阻燃剂协效阻燃环氧树脂覆铜基板的研究”  |  |
| 13 | 论文合著 | 王琪, 刘渊,<br>何岳山      | 2012-2014 | 发表论文“Intergrowth Charring for Flame Retardant Glass Fabric Reinforced Epoxy Resin Composites”                            |  |
| 14 | 论文合著 | 王琪, 刘渊,<br>何岳山      | 2012-2014 | 发表论文“Acidic Buffer Mechanism of Cyclotriphosphazene and Melamine Cyanurate Synergism System Flame Retardant Epoxy Resin” |  |