

# 项目公示信息表

## 一、项目基本情况

奖 种	国家科技进步奖
项目名称	芳樟醇与柠檬醛系列香料关键技术研发及产业化
完成单位	山东新和成药业有限公司，浙江大学，浙江新和成股份有限公司，宁波工程学院
完成人	李浩然，马啸，胡柏剡，赵文乐，毛建拥，王勇，邱金倬，方万军，陈为超，仇丹
提名单位	中国轻工业联合会
提名单位意见	<p>芳樟醇系列（包括芳樟醇、四氢芳樟醇、乙酸芳樟酯）与柠檬醛系列（包括柠檬醛、紫罗兰酮、甲基紫罗兰酮、香叶醇、香茅醛、橙花醇）是典型的大宗香料，在日化和食品领域应用广泛。这两类大宗香料基本上由化学合成得到，质量稳定、成本低廉和香气品质好是核心技术要求。</p> <p>项目首创自活化超临界反应技术，大规模稳定生产柠檬醛；通过重排反应工艺，以全新路线打通芳樟醇与柠檬醛的产业链；突破选择性氢化的调控技术，实现香气品质的稳定可控。</p> <p>项目产业化生产了芳樟醇与柠檬醛系列 16 种香料，其中芳樟醇系列香料销量位居世界第一位，柠檬醛系列销量位居世界第二位，实现我国芳樟醇与柠檬醛系列香料从依赖进口到主导国际市场的根本转变。</p> <p>产品畅销于国内外知名企业，如瑞士奇华顿、瑞士芬美意、美国 IFF、法国曼氏、德国德之馨、日本高砂、美国宝洁、日本花王、法国欧莱雅等顶尖日化公司及康师傅、可口可乐、麦当劳等健康食品公司均为主要客户。</p> <p>经第三方评价，项目整体技术达到国际领先，关键技术的推广应用，显著带动了香料及相关行业的整体技术进步。</p> <p>项目获 2018 年度中国轻工业联合会科技进步一等奖。</p> <p>提名该项目为国家科技进步奖 二 等奖。</p>

## 二、项目简介

芳樟醇系列（包括芳樟醇、四氢芳樟醇、乙酸芳樟酯）与柠檬醛系列（包括柠檬醛、紫罗兰酮、甲基紫罗兰酮、香叶醇、香茅醛、橙花醇）是典型的大宗香料，在日化和食品领域应用广泛。这两类大宗香料基本上由化学合成得到，由于合成路线长，产品质量容易波动；重要中间体合成难度大，生产成本不易控制；关键反应选择性差，香气品质难以调控。因此，**质量稳定、成本低廉和香气品质好**是这两类香料的核心技术要求。

项目立项前，芳樟醇和柠檬醛系列香料生产中的关键技术被巴斯夫、帝斯曼、可乐丽等国际标杆企业垄断，其中巴斯夫因拥有独创技术并与脂溶性维生素联产而领先。我国芳樟醇与柠檬醛系列香料的生产主要源于天然提取，含量低且易受自然条件影响，远远不能满足需求，严重制约了我国下游产业的发展。

针对以上现状，近 20 年来我国先后有许多企业前仆后继、不断努力参与竞争。新和成公司联合高校历经 10 余年的研发，实现核心技术的突破，创立高效生产芳樟醇和柠檬醛系列香料的技术路线。

**1、首创自活化超临界反应技术，大规模稳定生产柠檬醛。**基于超临界反应热力学和动力学理论研究，首次利用超临界条件实现底物的自活化，由异丁烯和甲醛衍生物稳定生产重要中间体异戊烯醇，反应时间由传统工艺的 16 小时缩短至 3 分钟，进而通过高压管道反应技术实现连续生产，保证产品质量稳定。

**2、发明耦合精馏的重排反应工艺，打通两大香料产业链。**通过耦合反应精馏技术，即时转移易聚合反应产物，提高反应收率。共用炔醇中间体，以全新路线打通芳樟醇与柠檬醛的产业链，与国际同类技术相比，芳樟醇与柠檬醛的生产成本分别下降 16.8%和 13.4%。

**3、突破选择性氢化的调控技术，实现香气品质的稳定可控。**基于香料结构与香气属性关系的认识，开发针对性的氢化催化剂，精准调控反应选择性，抑制敏感杂质的形成，使得项目生产的芳樟醇纯度高于国际同类产品 0.5%，杂质数量减少 50%，香气品质有显著提升。

基于上述技术的集成创新，新和成公司实现了芳樟醇与柠檬醛系列 16 种香料的产业化生产，其中芳樟醇系列香料销量约占全球 1/3，位居**世界第一位**，柠檬醛系列销量位居**世界第二位**，实现了我国芳樟醇与柠檬醛系列香料从依赖进口到主导国际市场的根本转变。近三年累计新增销售 32.16 亿元，新增利润 14.48 亿元，出口创汇 2.77 亿美元，国际知名公司如奇华顿、芬美意、宝洁等均为主要客户。

经第三方评价，项目**整体技术达到国际领先**，制定国家标准 7 项，行业标准 6 项，授权 14 项发明专利，发表论文 19 篇，获 2018 年中国轻工业联合会科技进步一等奖。项目关键技术的推广应用，显著带动了香料及相关行业的整体技术进步。

## 三、客观评价

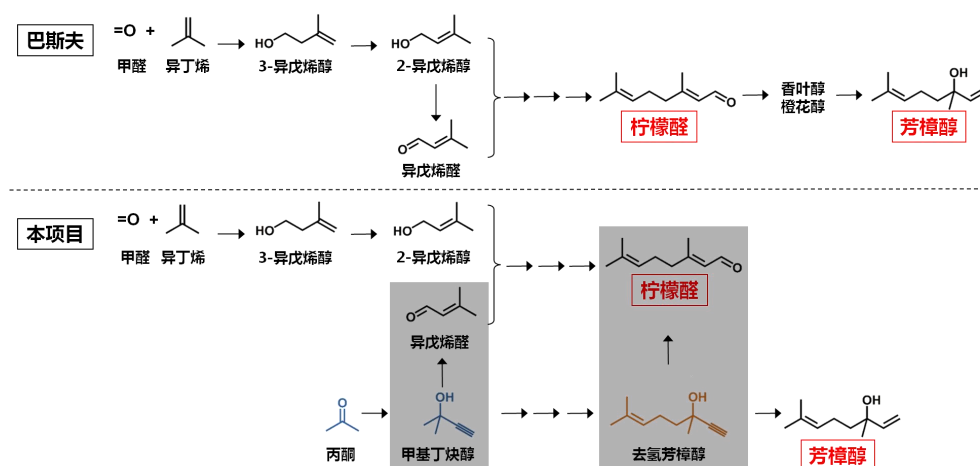
### 1. 与国内外相关技术比较

芳樟醇、柠檬醛系列产品的核心技术长期以来一直被德国巴斯夫和荷兰帝斯曼两家国际巨头掌控，它们的专利技术集中代表了整个行业的技术水平。

#### 1) 超临界反应技术

3-异戊烯醇是合成柠檬醛的重要中间体。巴斯夫（WO2008037693）使用异丁烯和50%甲醛水溶液为原料，高温高压条件下，以少量乌洛托品水溶液做催化剂进行反应，甲醛转化率96.3%，选择性98.6%，收率94.95%。项目（ZL201410383687.1）使用异丁烯和甲醛半缩醛进行超临界反应，实现底物的自活化，甲醛半缩醛的转化率98.9%，选择性98.6%，收率97.52%。巴斯夫工艺所用催化剂的后期处理以及原料甲醛水溶液带来的废水处理，均会产生一定费用，而本项目无需催化剂且无废水产生。经计算，巴斯夫3-异戊烯醇原料成本约7.78元/kg，项目为7.52元/kg，相比下降3.3%。与传统工艺相比，反应时间由16小时（US2335027A）缩短至3分钟，进而项目将此技术应用于高压管道反应，实现连续生产，保证3-异戊烯醇质量稳定。

#### 2) 重排反应工艺



**柠檬醛成本：**项目和巴斯夫技术路线中的2-异戊烯醇均由3-异戊烯醇异构制得。巴斯夫（WO2008037693）3-异戊烯醇在氢气氛围下实现醇转化率60%，选择性92.3%，收率92.3%（未反应原料以回收率100%计算）。项目（ZL 201310269672.8）自制水溶性高选择性催化剂，转化率68%，选择性99.6%，收率99.6%，氮气氛围无氢气引入，从根本上避免异构副产物饱和醇的生成。经计算，巴斯夫2-异戊烯醇原料成本约8.42元/kg，项目为7.55元/kg；巴斯夫采用2-异戊烯醇的氧化工艺（US4310709）合成异戊烯醛，强放热反应难控，原料成本约8.62元/kg。项目利用芳樟醇联产的炔醇重排，使得异戊烯醛原料成本仅6.94元/kg；后续合成柠檬醛的缩合、消除、重排工艺成熟，视为同等工艺水平。

综合计算，巴斯夫柠檬醛原料成本约16.68元/kg，项目为14.45元/kg，相比下降13.4%。

**芳樟醇成本：**巴斯夫的芳樟醇经柠檬醛选择性氢化、重排两步工艺合成。其中选择性氢化（US4310709）收率91.04%，重排工艺（ZL02824408.7）收率92.47%，计算芳樟醇原料成本约19.99元/kg。项目采用醇化（ZL201310737048.6，收率95.52%）、氢化（ZL201510605754.4，收率高于99%）、酰化（ZL20140671064.4，收率95.8%）工艺，计算芳樟醇原料成本约16.62元/kg，相比下降16.8%。

### 3) 选择性氢化技术

巴斯夫芳樟醇路线中的选择性氢化产物香叶醇/橙花醇，会在重排反应中因反应平衡残留于芳樟醇成品中（ZL02824408.7，选择性 92.47%）。香叶醇与芳樟醇属于两种不同香型，香气格调差异明显，对产品香气品质影响极大。项目基于香料结构与香气属性关系的认识，开发一种粉状 Pd/SiO<sub>2</sub> 催化剂的制备方法（ZL103366932），用于去氢芳樟醇的选择性氢化，转化率 100%，选择性达 99.4%。使用的载体近乎中性，极大减少重排、聚合等副反应的发生；较大的硅胶孔径减少了产物烯醇类化合物在催化剂孔道中停留的时间，避免过度氢化，精准调控产品选择性，抑制影响香气敏感杂质四氢芳樟醇（减少 100%，现为 0）、 $\alpha$ -萜品醇（减少 80%，现为 0.01%）的形成。对比巴斯夫，项目芳樟醇纯度 98.8%高出 0.5%，杂质数量由 4 个减为 2 个，香气品质由“尚可”提升至“较纯正”水平，理化指标与香气质量具有明显优势。

## 2. 第三方评价

### 1) 国家相关部门的监测、认证

项目产业化生产的芳樟醇、柠檬醛系列产品通过了国内外一系列产品认证，包括：食品生产许可证、清真证书、ISO9001：2015 证书、ISO14001：2015 证书、ISO22000：2005 证书、OHSAS18001：2007 证书、ISO50001：2011 证书、知识产权管理体系认证证书。产品经国家香精香料化妆品质量监督检验中心及国际著名的第三方权威检测机构 SGS 等检验部门抽样检测，质量均符合国家标准和行业标准要求。

项目三废经处理后达到国家相关排放标准。

### 2) 鉴定结论、验收意见

2016 年 11 月 19 日，浙江省科技厅组织专家对浙江大学作为牵头单位创建的省重点科技创新团队“惰性键绿色活化的基础与应用研究创新团队”（团队编号：2011R50007）进行验收。验收组充分肯定了团队利用超临界反应工艺实现惰性键绿色活化的创新工作。

2018 年 6 月 8 日，中国轻工业联合会在北京组织并主持召开了“芳樟醇与柠檬醛系列香料关键技术研发及产业化”项目技术鉴定会。孙宝国院士等与会专家认为该成果整体技术达到国际领先水平。

该项目获 2018 年中国轻工业联合会科技进步一等奖。

### 3) 国内外同行在刊物上或公开场合发表的评价

① 项目在超临界反应基础理论方面的工作（*Chem. Eng. Sci.* 2015,131,213-218）得到了中国科学院副院长张涛院士的肯定，他引用并指出“2A was produced by the HCl-catalyzed hydrolysis of 4-(5-methylfuran-2-yl)butan-2-one, which can be obtained by the alkylation of 2-methylfuran and methyl vinyl ketone (from the aldol condensation of acetone and formaldehyde or the decarboxylation of levulinic acid)”（*ChemSusChem* 2017, 10, 711-719）。

② 项目在选择性氢化上的工作（国际顶级期刊 *J. Am. Chem. Soc.* 2011,133, 2362-2365，他引次数 297）得到国际著名科学家 Johannes A. Lercher 教授（欧洲科学院院士，*Journal of Catalysis* 主编）的认可，他引用并指出“The selectivity toward cyclohexanone and cyclohexanol can be controlled, to some extent, using different additives and support materials, and by varying the H<sub>2</sub> pressure or the availability of hydrogen from reducing agents”（*J. Am. Chem. Soc.* 2014, 136, 10287-10298）。

## 四、应用情况

山东新和成药业有限公司正式成立于 2007 年 8 月，注册资本 58600 万元，系浙江新和成股份有限公司的全资子公司，主要从事香料香精、医药中间体、食品添加剂等生产和销售。2011 年被认定为高新技术企业，目前总资产 27.5 亿元，员工近 2000 人。在 11 年的发展历程中，公司始终坚持与国内外科研院所进行深入的产学研合作，通过不断技术创新、品质提升，实现快速发展，近三年平均销售增长率保持在 30% 以上。

项目整体技术于 2014 年底全部应用到新和成公司系列香料产业化中，完成了芳樟醇、柠檬醛两大系列 16 种新产品产业化生产，建成了年产 5 万吨的综合生产线。产品远销欧洲、美国、东南亚等国家和地区，主要客户有瑞士奇华顿、瑞士芬美意、美国 IFF、法国曼氏、德国德之馨、日本高砂、美国宝洁、日本花王、法国欧莱雅等顶尖日化公司及康师傅、可口可乐、麦当劳等健康食品公司。项目芳樟醇系列年产 15000 余吨，销量约占全球 1/3，居第一位；柠檬醛系列年产 12000 余吨，居全球第二位。近三年累计新增销售 32.16 亿元，新增利润 14.48 亿元，出口创汇 2.77 亿美元，取得了显著的经济效益和社会效益。

在《国内外香化信息》2018 年第 5 期中提到：新和成公司“芳樟醇系列产品销量约占全球市场份额的 1/3，全球排名第一位；柠檬醛系列产品销量约占全球市场份额的 1/5，全球排名第二”。在《香料香精化妆品》2018 年第 6 期中提到：新和成公司“主导芳樟醇系列销量居全球第一位，柠檬醛系列居全球第二位；3-异戊烯醇产品居全球第一位”。

随着项目技术的应用，新和成公司逐步成长成为全球著名的重要香料、食品添加剂供应商和国内最大的重要香料出口企业，被中国轻工业联合会评为 2017 年中国香料行业十强企业，相关技术也应用到甲醛与丙酮缩合生产甲基丁烯酮等相关香料的生产装置，使多种香料的销售位居世界前列。

应用项目技术使新和成公司快速成长为与巴斯夫公司、帝斯曼公司竞争的重要香精香料生产企业，打破了被国外公司垄断的局面，我国重要香料依靠进口的局面现已完全改变，显著带动了日化、食品等下游行业的跨越式发展。另外，项目大部分香料产品远销欧美发达国家，使我国成为芳樟醇和柠檬醛系列香料的出口大国，推动了我国香料行业技术进步。

项目形成的关键技术和产业化制造经验，可应用到一系列类似化学反应性质的药物、天然产物和香精香料等产品的合成和生产中；同时项目中成功突破超临界反应技术、催化重排技术、选择性氢化技术，并实现多个系列产品的产业化，有效地解决了下游香料、医药、维生素产品的原料问题，部分产品成功打破国际垄断的局面。另外，项目实现了系列香料产品的集成创新。这种打破研发、生产、销售和应用领域壁垒的整体思路可被大部分行业企业所借鉴，从而提升我国相关行业的科技水平，增强民族工业在国际市场的竞争力。

### 主要应用单位情况

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
山东新和成药业有限公司	芳樟醇与柠檬醛系列香料关键技术研发及产业化	2014.12 - 至今	范玉雪 /15263686730

### 近三年经济效益

单位：万元人民币

自然年	完成单位		其他应用单位	
	新增销售额	新增利润	新增销售额	新增利润
2016年	83,840.60	29,201.31		
2017年	99,098.06	36,479.25		
2018年(1-11月)	138,679.29	79,090.91		
累计	321,617.95	144,771.47		

## 五、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准实施）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
1. 发明专利	一种由甲醛半缩醛合成 3-甲基-3-丁烯-1-醇的制备方法	1.中国	ZL201410383687.1	2016.07.06	2138464	浙江新和成股份有限公司；浙江大学；山东新和成药业有限公司	毛建拥；陈志荣；李浩然；胡柏刻	有效
食品安全国家标准	食品添加剂 芳樟醇	1.中国	GB 1886.148-2015	2016.03.22	中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会	山东新和成药业有限公司	山东新和成药业有限公司	有效
1. 发明专利	一种粉状 Pd/SiO <sub>2</sub> 催化剂及其制备方法和应用	1.中国	ZL201310534192.X	2016.05.11	2061954	山东新和成药业有限公司；浙江新和成股份有限公司	马啸；陈为超；鲁光银；张玉忠；李耀林	有效
1. 发明专利	一种 3-甲基-3-丁烯-1-醇在水-有机两相体系中催化转位合成异戊烯醇的方法	1.中国	ZL201310269672.8	2015.09.30	1806779	山东新和成药业有限公司；浙江大学；浙江新和成股份有限公司	马啸；陈志荣；李浩然；方万军；朱全东	有效
1. 发明专利	一种利用超强酸或者基于超强酸制成的离子液催化制备紫罗兰酮的方法	1.中国	ZL201210424031.0	2015.03.11	1602068	浙江新和成股份有限公司；浙江大学；	毛建拥；陈航；李浩然；陈志荣	有效
1. 发明专利	一种柠檬醛的制备方法	1.中国	ZL201510734410.3	2016.04.20	2038844	山东新和成药业有限公司；浙江新和成股份有限公司	李聪聪；王海泉；宋江；胡晓惠；马啸；胡水涛	有效

1. 发明专利	一种异戊烯醛选择性加氢合成异戊烯醇的方法	1.中国	ZL201410671165.1	2017.02.22	2389025	山东新和成药业有限公司	赵文乐; 马啸; 马书召; 张相如; 周剑平; 陈为超	有效
1. 发明专利	一种柠檬醛在水-有机两相选择性加氢合成橙花醇和香叶醇混合物的方法	1.中国	ZL201310269530.1	2015.11.18	1842335	山东新和成药业有限公司; 浙江新和成股份有限公司	马啸; 赵文乐; 郝小雷; 张玉中; 俞海东	有效
1. 发明专利	一种 3-甲基-3-丁烯-1-醇的合成方法	1.中国	ZL201410671049.X	2016.08.17	2169379	山东新和成药业有限公司	郝文涛; 马啸; 邱金倬; 孟建波	有效
1. 发明专利	一种 2,6-二甲基-5-庚烯醛的合成方法	1.中国	ZL200710067419.9	2009.02.18	472499	浙江大学; 浙江新和成股份有限公司	陈志荣; 尹红; 仇丹; 李浩然; 黄国东; 石程	有效



## 六、主要完成人情况表

姓名	李浩然	排 名	1	技术职称	教 授
工作单位	浙江大学			行政职务	浙江大学学术委员会秘书长
完成单位	浙江大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>作为项目负责人，设计整个研究方案，提出产品联产思路，对第 1~3 创新点均做出了重要贡献，包括超临界反应的实验方案、装备设计，选择性氢化反应的基础研究。已发表本项目相关重要论文 14 篇，获授权发明专利 4 件，主持获得鉴定成果 1 项。</p>					

姓名	马 啸	排 名	2	技术职称	教授级高工
工作单位	山东新和成药业有限公司			行政职务	总工程师
完成单位	山东新和成药业有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>作为第二完成人参与了整个项目的发展进程，和第一完成人共同组建产业化研究团队，并主导了耦合重排、选择性氢化等产业化子课题研究，协助实施中试调试和工业化生产。对第 2 和第 3 创新点均做出了重要贡献，已获授权发明专利 11 件，主持或参与制定 3 项行业标准，获鉴定成果 1 项，发表论文 4 篇。</p>					

姓名	胡柏剡	排名	3	技术职称	高级工程师
工作单位	浙江新和成股份有限公司			行政职务	副董事长、研究院院长
完成单位	浙江新和成股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>积极推进项目产学研合作及超临界反应产业化研究团队的组建，对创新点 1 超临界反应技术的工业化实施做出重要的贡献。获授权发明专利 1 件，获鉴定成果 1 项。</p>					

姓名	赵文乐	排名	4	技术职称	工程师
工作单位	山东新和成药业有限公司			行政职务	无
完成单位	山东新和成药业有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>主要负责选择性氢化催化剂及调控技术的产业化研究，协助解决生产中的技术问题，对创新点 3 做出重要贡献，获授权发明专利 4 件，获鉴定成果 1 项，发表论文 1 篇。</p>					

姓名	毛建拥	排名	5	技术职称	高级工程师
工作单位	浙江新和成股份有限公司			行政职务	研究院院长助理
完成单位	浙江新和成股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>主要负责超临界反应技术的基础研究，并协助组建了精细化工超临界反应技术国家地方联合级工程中心。对创新点 1 做出贡献，获授权发明专利 2 项，获鉴定成果 1 项，发表论文 2 篇。</p>					

姓名	王勇	排名	6	技术职称	教授
工作单位	浙江大学			行政职务	催化研究所所长
完成单位	浙江大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>负责选择性氢化技术的基础研究，并将基础研究成果指导选择性氢化的产业化生产，形成系列研究成果。对创新点 3 做出贡献，发表论文 13 篇，获鉴定成果 1 项。</p>					

姓名	邱金倬	排名	7	技术职称	工程师
工作单位	山东新和成药业有限公司			行政职务	总经理
完成单位	山东新和成药业有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>协助开展产业化技术研究，并参与项目产品的国家标准、行业标准的制定。对创新点 2 做出贡献，获授权发明专利 1 项。</p>					

姓名	方万军	排名	8	技术职称	助理工程师
工作单位	山东新和成药业有限公司			行政职务	总工办副主任
完成单位	山东新和成药业有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>协助耦合重排的产业化调试，对创新点 2 重排反应的研究、催化剂的制备、工艺参数的优化及工业化实施做出贡献，获授权发明专利 1 项，获鉴定成果 1 项。</p>					

姓名	陈为超	排名	9	技术职称	工程师
工作单位	山东新和成药业有限公司			行政职务	无
完成单位	山东新和成药业有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>协助开展选择性氢化技术的中试调试。对创新点 3 做出贡献，获授权发明专利 4 项，获鉴定成果 1 项。</p>					

姓名	仇丹	排名	10	技术职称	教授
工作单位	宁波工程学院			行政职务	安全工程学院执行院长
完成单位	宁波工程学院				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>参与重排反应的机理研究和工艺调试，协助实施产业化。对创新点 2 做出部分贡献，获授权发明专利 1 项。</p>					

## 七、主要完成单位及创新推广贡献

### 主要完成单位情况表

单位名称	山东新和成药业有限公司
排 名	1
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>该单位是项目技术<b>唯一</b>的产业化应用单位，对本项目第 1-3 创新点均作出了重要贡献，为推动整个项目顺利产业化提供了足够的人力、物力和财力支持。</p> <p>2007 年，该单位注资 58600 万元，在山东潍坊兴建 1000 亩的生产基地，建成设备齐全的技术研发中心、中试生产车间，成功研发并调试一批项目重要产品和关键技术，获得多项发明专利。11 年间先后成功产业化生产了芳樟醇系列香料、柠檬醛系列香料等重点产品，主持或参与制定系列国家、行业标准，对香料及相关行业带动明显，成长为中国香料行业的标杆企业，取得了显著的经济效益和社会效益。</p>	

单位名称	浙江大学
排 名	2
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>该单位是项目技术主要研发单位，对本项目第 1-3 创新点均作出了重要贡献，为本项目开展提供了主要的技术支持，提出关键技术的研发思路和发展方向，直接设计产业化装置并指导进行生产实施与工艺改进，并负责超临界反应和选择性氢化技术的开发。</p>	

单位名称	浙江新和成股份有限公司
排 名	3
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>该单位是第一完成单位的母公司，提出该项目的立项需求，整合成立项目课题组，是小试研究的主要阵地，对本项目第 1-3 创新点均作出了重要贡献，以其国家级研发中心、博士后工作站及省级检测中心等研发平台为项目开发新产品、新技术作出重要贡献。同时在推动科技成果转化、工业化生产应用以及同类技术的推广等方面做出了重要贡献。</p>	

单位名称	宁波工程学院
排 名	4
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>该单位是项目的主要成员单位，参与项目重排、氢化等技术的攻关，负责小试到中试放大和推广，协助实施产业化。</p>	

## 八、完成人合作关系说明

项目完成人李浩然于 2001 年开始主持领导项目的研究工作，并进行广泛调研和组建研究团队。项目完成人马啸和胡柏剡于 2002 年加入团队，项目完成人邱金倬于 2007 年加入团队，项目完成人毛建拥和王勇于 2009 年加入团队，项目完成人方万军、陈为超和仇丹于 2010 年加入团队，项目完成人赵文乐于 2011 年加入团队。

十位完成人来自山东新和成药业有限公司、浙江大学、浙江新和成股份有限公司和宁波工程学院，产业化研究工作主要在山东新和成药业有限公司和浙江新和成股份有限公司展开，基础研究则以浙江大学和宁波工程学院为主完成。

李浩然与新和成公司有着长达 26 年的产学研合作经历，是整个团队的领导核心，直接主导了芳樟醇与柠檬醛系列香料的关键技术研发及产业化工作。

马啸是山东新和成药业有限公司总工程师，作为主要人员参与了整个项目的发展进程，在李浩然指导下组建产业化研究团队，并主导了耦合重排、选择性氢化等产业化子课题研究，协助实施中试调试和工业化生产

胡柏剡先后担任浙江新和成股份有限公司车间主任、生产部经理、技术中心主任、研究院院长、副董事长等职，积极推进项目产学研合作及超临界反应产业化研究团队的组建，对超临界反应技术的工业化实施做出重要的贡献。

赵文乐是山东新和成药业有限公司的核心技术骨干，担任催化研究所所长，主要负责选择性氢化催化剂及调控技术的产业化研究，协助李浩然和马啸解决生产中的技术问题。

毛建拥是李浩然指导的博士研究生，先后担任浙江新和成股份有限公司绿色合成研究所所长及研究院院长助理等职。主要负责超临界反应技术的基础研究，并协助组建了精细化工超临界反应技术国家地方联合级工程中心。

王勇是李浩然指导的博士研究生，2009 年开始从事选择性氢化技术的基础研究，2011 年开始和浙江新和成股份有限公司开展科技合作，将基础研究成果指导选择性氢化的产业化生产，形成系列研究成果。

邱金倬先后担任浙江新和成股份有限公司生产部经理和山东新和成药业有限公司总经理，协助开展产业化技术研究，并参与项目产品的国家标准、行业标准的制定。

方万军是山东新和成药业有限公司的技术骨干，现任总工办副主任，协助耦合



重排的产业化调试。

陈为超是山东新和成药业有限公司的技术骨干，协助开展选择性氢化技术的中试调试。

仇丹是李浩然指导的博士研究生，2004年起在新和成公司开展产学研项目研究，加入团队后参与耦合重排反应、氢化反应的基础研究，协助实施产业化。

李浩然、马啸、方万军是专利 ZL201310269672.8 的共同完成人；李浩然、毛建拥、胡柏剡是专利 ZL201410383687.1 的共同完成人；李浩然、毛建拥是专利 ZL201210424031.0 的共同完成人；李浩然、仇丹是专利 ZL200710067419.9 的共同完成人；马啸、赵文乐、陈为超是专利 ZL201410671165.1、ZL201510605754.4、ZL201510734564.2 的共同完成人；马啸、赵文乐是专利 ZL201310269530.1 的共同完成人；马啸、邱金倬是专利 ZL201410671049.X 的共同完成人；马啸、陈为超是专利 ZL201310534192.X 的共同完成人。

李浩然、毛建拥是论文《Mechanism and kinetics of 4-hydroxy-2-butanone formation from formaldehyde and acetone under supercritical conditions and in high-temperature liquid-phase》、《Kinetics of Isophorone Synthesis via Self-Condensation of Supercritical Acetone》的共同完成人；李浩然、王勇是《Improved catalytic activity and stability for hydrogenation of levulinic acid by Ru/N-doped hierarchically porous carbon》、《The synergic effects at the molecular level in CoS<sub>2</sub> for selective hydrogenation of nitroarenes》、《Tuning the selectivity of phenol hydrogenation on Pd/C with acid and basic media》、《Chemoselective hydrogenation of phenol to cyclohexanol using heterogenized cobalt oxide catalysts》、《Nitrogen-doped porous carbon materials: promising catalysts or catalyst supports for heterogeneous hydrogenation and oxidation》、《Graphitic carbon nitride polymers: promising catalysts or catalyst supports for heterogeneous oxidation and hydrogenation》、《Ni-promoted Synthesis of Graphitic Carbon Nanotubes from in situ Produced Graphitic Carbon for Dehydrogenation of Ethylbenzene》、《Selective Hydrogenation of Phenol to Cyclohexanone in Water over Pd@N-Doped Carbon Derived from Ionic-Liquid Precursors》、《Hydrogenation of Benzoic Acid and Derivatives over Pd Nanoparticles Supported on N-Doped Carbon Derived from Glucosamine Hydrochloride》、《A novel catalyst Pd@ompg-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> for highly chemoselective hydrogenation of quinoline under mild conditions》、《Highly Selective Pd@mpg-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Catalyst for Phenol

Hydrogenation in Aqueous Phase》、《A practical and benign synthesis of amines through Pd@mpg-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> catalyzed reduction of nitriles》、《Highly Selective Hydrogenation of Phenol and Derivatives over a Pd@Carbon Nitride Catalyst in Aqueous Media》等 13 篇论文的共同完成人；马啸、赵文乐是《肉桂醛选择性加氢制肉桂醇》的共同完成人；马啸、方万军是《催化氧化醇类的反应研究进展》的共同完成人。

李浩然、王勇、仇丹与新和成公司均有完备的科技合作合同。