

# 高等学校自然科学奖项目公示信息

## 一、基本信息

项目名称	点火和火焰传播过程精准表征理论及发动机应用
主要完成人	黄佐华, 陈正, 张英佳, 胡二江, 姜雪, 王金华, 汤成龙
主要完成单位	西安交通大学, 北京大学
提名单位(专家)	西安交通大学

## 二、项目简介

本项目属工程热物理学科，支撑发动机技术领域。

内燃机是交通运输、工程机械、军事装备等领域的主要动力源，热效率提升对我国“双碳”目标实现和能源安全意义重大。内燃机热效率提升受爆震制约，如何实现热效率最大化取决于爆震边界的确定，其核心是点火与火焰传播时间尺度竞争关系的理论描述。传统方法采用经验预估结合试验试错给出两者时间尺度竞争关系，无法确定爆震边界，难以实现热效率最大化，且设计周期长。因此，点火和火焰传播理论指导下的爆震边界精准确定就成为内燃机行业一直期待解决的问题。本项目在西安交通大学和北京大学共同完成的国家自然科学基金重点项目等支持下，针对点火和火焰传播过程精准表征理论及发动机应用，进行了 13 年系统深入地研究，主要科学发现有：

(1) 建立了自由基与热平衡耦合作用的点火理论。发现了点火过程中自由基链式反应的化学效应，构建了自由基链分支反应、链终止反应和热平衡耦合的点火模型。通过对组分方程和温度方程进行大活化能渐近求解，利用火焰面处化学反应与热质输运平衡条件，获得了火核发展历程的解析公式，明晰了自由基点火激励机制，突破了传统热点火理论无法描述火核发展过程自由基作用的局限性，准确表征了点火核时间演化历程。成果被评价为“提出了点火新理论”、“对点火理论创新做出了突出贡献”。

(2) 构建了火焰传播速度与拉伸效应的非线性模型。采用大活化能渐近分析，通过对预热区和反应区进行分区求解，在两区交界面处进行连续性匹配，建立了火焰传播速度与拉伸效应的非线性模型，解析出火焰传播速度随拉伸率变化全历程，突破了传统模型无法描述火焰传播速度非线性拉伸效应的局限，实现了测量精度的标志性提升，准确表征了火焰传播时间。非线性模型被广泛采用，成为国际通用方法，成果被评价为“精准确定了火焰传播速度”、是“准确模型”。

(3) 提出了点火和火焰传播耦合的爆震边界确定方法。基于建立的点火时间和火焰传播时间理论方程，获得两者与压缩比的单调依赖关系，根据两条时间竞争线的唯一交点坐标确定临界压缩比，提出了点火和火焰传播耦合的爆震边界确定方法，形成了理论指导下的内燃机爆震边界临界压缩比的设计准则，已应用于高性能汽油机自主研发，热效率提升 2.7 个百分点，实现规模化生产并产生显著经济效益。成果被评价为“对发动机燃烧技术做出了杰出研究”。

5 篇代表性论文 WOS 他引 618 次，3 篇高被引论文。在自由基点火理论、火焰传播速度非线性模型、爆震预测方法方面的研究工作在 国际内燃机大会、工程热物理燃烧会议等做大会/特邀报告 15 次。第一完成人担任 Fuel 主编、国际燃烧学会首届会士、国际内燃机学会理事、中国工程热物理学会燃烧专委会副主任，连续入选全球高被引学者，获中国内燃机学会杰出成就奖。内燃机爆震边界精准表征的理论和方法已应用于长安汽车高性能内燃机开发，全面搭载主力车型，实现百万量产，新增利润 2.341 亿。近五年第一完成人培养博士研究生 18 人，研究推动了燃烧学的学术发展和内燃机行业的技术进步。

### 三、论文、论著目录

1.不超过 5 篇代表性论文、专著									
序号	论文(专著)名称/刊名/作者	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表(出版)时间(年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者	他引总次数	检索数据库	论文署名单位是否包含国外单位
1	Laminar flame speeds and ignition delay times of methane-air mixtures at elevated temperatures and pressures/ <i>Fuel</i> /Erjiang Hu, Xiaotian Li, Xin Meng, Yizhen Chen, Yu Cheng, Yongliang Xie, Zuohua Huang	2015年 158卷 1-10页	2015年 10月 15日	胡二江	胡二江	胡二江 李孝天 孟鑫 陈毅臻 程钰 谢永亮 黄佐华	138	WOS	否
2	On the critical flame radius and minimum ignition energy for spherical flame initiation/ <i>Proceedings of the Combustion Institute</i> /Zheng Chen, Michael P.Burke, Yiguang Ju	2011年 33卷 1219-1226页	2011年 1月 1日	陈正	陈正	陈正	75	WOS	是第一署名单位为国内;其他署名单位为国外)
3	On the extraction of laminar flame speed and Markstein length from outwardly propagating spherical flames/ <i>Combustion and Flame</i> /Zheng Chen	2011年 156卷 291-300页	2011年 2月 1日	陈正	陈正	陈正	170	WOS	否
4	Effect of hydrogen addition on early flame growth of lean burn natural gas-air mixtures/ <i>International Journal of Hydrogen Energy</i> /Jinhua Wang, Zuohua Huang, Chenglong Tang, Jianjun Zheng	2010年 13卷 7246-7252页	2010年 7月 1日	黄佐华	王金华	王金华 黄佐华 汤成龙 郑建军	97	WOS	否
5	Experimental and modeling study of the autoignition of n-heptane/n-butanol mixtures/ <i>Combustion and Flame</i> /Jiaxiang Zhang, Shaodong Niu, Yingjia Zhang, Chenglong Tang, Xue Jiang, Erjiang Hu, Zuohua Huang	2013年 160卷 31-39页	2013年 1月 1日	张英佳 黄佐华	张家祥	张家祥 牛少东 张英佳 汤成龙 姜雪 胡二江 黄佐华	119	WOS	否

## 四、完成人情况表

姓 名	黄佐华	排 名	1
技术职称	教授		
完成单位	西安交通大学		
工作单位	西安交通大学		
本人对本项目主要学术贡献：（限 300 字）			
<p>对本项目主要学术贡献：是发现点 1、2、3 主要学术思想的提出者，代表性论文 4 和 5 的通讯作者，代表性论文 1 的合作作者。发现了自由基时程演化与火核发展的关联性，建立了低温链式反应点火新理论，提出了点火与火焰传播耦合的内燃机爆震预测新方法，实现了内燃机爆震边界准确预测，方法应用于高强化内燃机燃烧过程优化设计。投入本项目的工作量为 80%。</p>			

姓 名	陈正	排 名	2
技术职称	研究员		
完成单位	北京大学		
工作单位	北京大学		
本人对本项目主要学术贡献：（限 300 字）			
<p>对本项目主要学术贡献：是发现点 1 和 2 的主要学术贡献者，代表性论文 2 和 3 的第一/通讯作者。提出了层流火焰速度的非线性模型，发展了多因素影响的层流火焰速度测量精度控制方法，实现了测量精度的标志性提升，是目前国际处理层流火焰速度的通用方法。投入本项目的工作量为 70%。</p>			

姓 名	张英佳	排 名	3
技术职称	教授		
完成单位	西安交通大学		
工作单位	西安交通大学		
本人对本项目主要学术贡献：（限 300 字）			

对本项目主要学术贡献：是发现点 1 和 3 的主要学术贡献者，代表性论文 5 的通讯作者。发展了反射激波结合紫外光谱吸收诊断方法，实现了痕量活性自由基的定量测量，提出了活性组分激励点火强化方法，在装备中得到初步应用。投入本项目的工作量为 60%。

姓 名	胡二江	排 名	4
技术职称	教授		
完成单位	西安交通大学		
工作单位	西安交通大学		
本人对本项目主要学术贡献：（限 300 字）			
对本项目主要学术贡献：是发现点 2 的主要学术贡献者，代表性论文 1 的合作作者。提出了全路易斯数范围适用的层流火焰速度高阶非线性模型，建立了实际燃料层流火焰速度数据库。投入本项目的工作量为 60%。			

姓 名	姜雪	排 名	5
技术职称	副教授		
完成单位	西安交通大学		
工作单位	西安交通大学		
本人对本项目主要学术贡献：（限 300 字）			
对本项目主要学术贡献：是发现点 1 的主要学术贡献者，代表性论文 5 的合作作者。阐明不同化学结构燃料活性自由基生成机理，揭示了活性自由基自点火激励机制，建立了多类型掺混燃料点火延迟期数据库。投入本项目的工作量为 60%。			

姓 名	王金华	排 名	6
技术职称	教授		
完成单位	西安交通大学		

工作单位	西安交通大学
本人对本项目主要学术贡献：（限 300 字）	
<p>对本项目主要学术贡献：是发现点 3 的主要学术贡献者，代表性论文 4 的第一作者。系统测量了层流火焰速度，给出了其与温度、压力、当量比等边界条件的定量依赖关系。投入本项目的工作量为 50%。</p>	

姓 名	汤成龙	排 名	7
技术职称	教授		
完成单位	西安交通大学		
工作单位	西安交通大学		
本人对本项目主要学术贡献：（限 300 字）			
<p>对本项目主要学术贡献：是发现点 2 的主要学术贡献者，代表性论文 4 和 5 的合作作者。系统测量了点火延迟期，给出了其与温度、压力、当量比等边界条件的定量依赖关系。投入本项目的工作量为 50%。</p>			