

“十一五” 863 计划项目立项建议书

项目名称： 生物质高温燃烧锅炉与发电系统的研制
建议单位： 中国科学技术大学

“十一五” 863 计划项目概况表

| | | |
|----------------------------|---|---------------|
| 项目名称 | 生物质高温燃烧锅炉与发电系统的研制 | |
| 项目类型 | <input checked="" type="checkbox"/> 重大项目 <input type="checkbox"/> 重点项目 | |
| 经费需求 | 项目总经费：3600（万元） | 其中国拨：2600（万元） |
| 所属领域 | 能源 | |
| 实施年限 | 2008.8—2011.8 | |
| 项目来源 | <input checked="" type="checkbox"/> 明确列入《规划纲要》 <input type="checkbox"/> 《规划纲要》有所涉及 <input type="checkbox"/> “十五”延续项目 <input type="checkbox"/> 列入“十一五”战略研究 | |
| 项目简介 (500字以内) | <p>选择我国典型生物质(秸秆), 研究其组成、热物性与燃烧特征参数。通过模拟计算与实验研究, 进行燃烧器及燃烧室设计。研制中小型生物质高温燃烧锅炉, 实现生物质高温超焓燃烧、无焰燃烧和液态排渣, 强化炉内燃烧过程。高温燃烧、液态排渣结合高温除尘技术, 降低受热面积灰与烟尘排放, 解决燃烧生物质锅炉的氯和碱金属腐蚀问题。选择与之相匹配的蒸汽轮机与发电机, 进行系统集成, 形成具有自主知识产权的生物质高温燃烧发电技术。</p> <p>本项目的特色在于: (1) 直接进行生物质燃烧的热能利用, 可大大提高系统热效率; (2) 高温超焓燃烧, 提高了燃烧温度, 可以使焦油有效裂解、氧化, 实现高的燃烧效率; (3) 燃烧温度的提高, 提高了能量品位, 系统可用能增加; (4) 实现具有空间放热特征的无焰燃烧方式, 炉膛容积热负荷高; (5) 无焰燃烧, 具有温度分布均匀, 无局部高温区, 可实现非常低的 NO_x 排放。</p> <p>通过本项目研究, 实现生物质的低成本、大规模、高效率的燃烧热利用, 节约一次能源, 减少污染物排放, 保护生态环境。</p> | |
| 重大项目拟委托部门 (地方)或主要承担单位建议 | 中国科学技术大学 | |
| 其它说明 | | |

一、项目提出背景、意义和必要性

温室气体排放给人类带来一系列灾难已经得到全世界的共识。1994 到 2004 年，我国温室气体排放净增近 20 亿吨 CO₂ 当量，这些温室气体的增加的主要是能源活动所引起的。2006 年，我国一次能源消费总量为 24.6 亿吨标准煤，其中煤炭约占的 70%，燃煤不仅消耗化石能源，带来严重的环境问题，也是温室气体 CO₂ 排放的主要源泉。我国能源的需求随着经济的发展在迅速增加，能源缺口与温室气体排放的压力也越来越大，因此，寻找新的可再生能源，降低化石燃料的使用，减少 CO₂ 等温室气体排放，已受到广泛关注。

与化石能源相比，生物质能具有可再生性、低污染性且总量丰富。生物质生产阶段由光合作用吸收 CO₂，其燃烧过程排放 CO₂，从而构成自然界碳循环，实现 CO₂ 的零排放。开发利用生物质能，改变能源的生产和消费方式，是解决中国化石能源短缺，保障国家能源安全，保护生态环境，提高我国可持续发展能力的主要战略措施之一。

中国 80%的人口生活在农村，秸秆和薪柴等生物质能是农村的传统生活燃料。尽管煤炭等商品能源在农村的使用迅速增加，但生物质能仍占有重要地位。1998 年农村生活用能总量 3.65 亿吨标煤，其中秸秆和薪柴为 2.07 亿吨标煤，占 56.7%。因此发展生物质能技术，是缓解中国能源紧张、降低环境压力的重要技术举措，也是减少温室气体排放的有效途径。

本项目所提出的生物质高温燃烧发电技术，属于分布式能源系统的范畴。作为服务于中小城市的分布式能源系统，采用热电联供，为社区集中供热供电，可提高生物质能利用的系统热效率。并把本项目的目标市场定位在小城镇与中小城市，有助于解决秸秆收集半径问题，有利于改善中小城镇居民的居住环境与生活条件。

二、项目相关领域的国内外技术现状及趋势

目前，世界各国都在致力于开发高效、无污染的生物质能利用技术，以达到减缓化石燃料的消耗速度，减排 CO₂，保障国家能源安全，保持国家经济可持续发展的目的。欧美等国自上世纪末就投入巨资进行生物质能源的研发，将发展生物质产业作为一项

重大的国家能源战略措施，日本的阳光计划、印度的绿色能源工程、美国的能源农场和巴西的酒精能源计划等都是成功利用生物质能的范例。1988年丹麦建立了世界上第一座秸秆燃烧发电站，目前已有130多家秸秆发电厂。

生物质燃烧发电技术主要有气化发电和直接燃烧发电技术。气化发电技术是将秸秆在缺氧状态下高温热解，生成气体燃料，再采用这种气体燃料驱动内燃机进行发电；直接燃烧发电技术是将秸秆直接送入锅炉燃烧后，产生蒸汽带动蒸汽轮机发电机发电，与常规的火力发电相似。气化发电技术是将生物质经过多次转换和净化之后再行燃烧，中间环节不但提高了投资与运行成本，也降低了生物质能的总利用效率。而且气化燃气热值低，在稳定运行、焦油清除、气体净化等技术上还需提高；相对而言，直燃发电技术效率较高，基本解决了焦油污染，具有一定的优势。

目前，普遍采用的两种直接燃烧生物质的方式是炉排炉与流化床锅炉。由于生物质含水量大，燃烧热的很大一部分浪费在水分的蒸发方面，使得固定床和流化床锅炉中生物质的燃烧温度较低，低熔点飞灰容易造成受热面积灰、结渣与腐蚀。国外解决生物质锅炉腐蚀的主要技术措施是，一方面采用特制锅炉钢，直接抗拒氯与碱金属的腐蚀；另一方面，采用专门的薪炭林为生物质发电站提供燃料，与农作物秸秆相比，薪炭林中的Na、K等元素的含量相对较低。

本项目所提出的高温超焓燃烧技术，具有燃烧稳定、能量品位与燃烧效率高的优势，高温虽然会对氯和碱金属的腐蚀产生影响，但因燃烧温度的提高，增加了传热温差，可在保持换热量不变的情况下，在受热面上设计额外的防护措施（热阻）防止碱金属的腐蚀。

我国在秸秆直接燃烧发电技术方面，尚缺少具有自主知识产权的研究成果与技术设备。截至2006年底，已经有300多个县市开始拟建或是签订秸秆发电项目，他们多是从丹麦BWE公司引进的技术，燃烧设备采用的是振动炉排炉。

三、项目的主要研究内容、目标及具体指标

针对上述一系列问题，本课题组研究将高温超焓燃烧技术应用于生物质的直接燃烧，并采用无焰燃烧、液态排渣、能量与部分烟气再循环等技术措施，提高生物质的燃

烧效率，使炉内温度分布均匀，提高容积热负荷，降低锅炉制造成本，提高系统热效率，解决飞灰的积灰与结渣以及碱金属腐蚀防护问题，减少污染物的排放，研制具有自主知识产权的秸秆直接燃烧发电设备与系统。

研究内容

结合模拟计算与实验研究，强化炉内燃烧与传热过程，优化燃烧器与燃烧室结构设计，实现生物质的高温超焓燃烧、无焰燃烧和液态排渣，提高燃烧效率与系统热效率，降低污染物排放。

主要研究内容如下：

- (1) 调研我国典型地区生物质构成，完善热物性数据。
- (2) 研究生物质物理特征、温度、氧浓度等参数对热解和燃烧过程的影响，并建立相应的理论模型。
- (3) 研究生物质的成分、颗粒大小、含湿量和过量空气系数等因素对高温超焓燃烧与无焰燃烧过程的影响，研究高温超焓燃烧特征，确定无焰燃烧的实现条件。
- (4) 根据上述研究结果，进行燃烧器与锅炉结构的初步方案设计（包括实现无焰燃烧与超焓燃烧的锅炉内部结构，高温气体与液态灰渣的分离系统结构设计，以及氯和碱金属腐蚀的防护设计）。
- (5) 根据初步方案，建立炉内流动、混合、加热、热解、燃烧、放热的物理与数学模型，并进行数值模拟计算，得到生物质高温超焓燃烧和无焰燃烧时锅炉炉内速度、温度与燃烧产的组分分布，从而提出强化炉内换热与燃烧的技术措施，提高容积热负荷，对系统进行优化设计，确定结构参数与运行参数。
- (6) 根据模拟计算所得到的锅炉结构，建立实验装置并进行模拟实验。在不同实验工况条件下，对炉内温度、速度与燃烧产物的浓度分布进行测试，通过实验与模拟计算结果的比较，完善理论模型，指导中试装置的设计。
- (7) 通过实验与计算结果分析，研究生物质组分、锅炉结构与运行参数对灰熔点的影响，并分析灰分的组成和结渣规律，探讨生物质燃烧过程中实现液态排渣的技术措施。

- (8) 依据以上结果，建立锅炉中试系统。通过现场实验与分析研究，进一步完善锅炉燃烧与换热系统，优化锅炉结构与运行参数。研究锅炉与发电系统匹配问题，进行热电联供方案设计，提出示范工程设计方案。
- (9) 研究各部分之间的匹配与优化，进行系统集成，完成示范工程。

研究目标:

本项目旨在借鉴高温空气无焰燃烧技术，研究生物质锅炉的高温超焓燃烧，提高燃烧稳定性与能量品位，进行锅炉、发电与热网联供的系统集成。研制出具有自主知识产权的生物质秸秆直接燃烧发电设备与系统，实现生物质能的高效率、大规模、低成本应用。

预期目标如下:

- (1) 完善与高温超焓燃烧和无焰燃烧相关的我国大部分地区典型生物质热物性数据库，建立生物质颗粒的无焰燃烧理论模型与实现条件，找出关键影响因素。
- (2) 研制出与高温超焓燃烧技术相匹配的生物质锅炉，实现高温超焓燃烧、无焰燃烧与液态排渣。并设计高温除尘装置，实现低粉尘排放，降低氯与碱金属腐蚀。
- (3) 进行发电系统选配，热电联供系统设计，进行系统的技术集成，提高发电效率与系统热效率。

技术指标:

- (1) 利用高温燃烧技术开发自主知识产权的生物质直燃锅炉，蒸发量: 20 吨/小时(温度: 大于 510°C, 压力: 大于 10MPa)。
- (2) 燃烧效率大于 99%，实现液态排渣。
- (2) 污染物排放: NO_x 排放浓度小于 50ppm, CO 排放浓度小于 10ppm, 其它有害组分排放满足我国污染物排放标准。
- (3) 发电效率: 20~25%。

四、项目拟采取的技术路线

技术路线如图 1 所示。首先对我国典型地区生物质的构成进行调研，根据调研结果对整个项目的实施进行总体方案设计。然后对生物质物理特征及其燃烧特性进行实验研究，建立相应的理论模型；进而研究高温超焓燃烧特征，确定无焰燃烧的实现条件。根

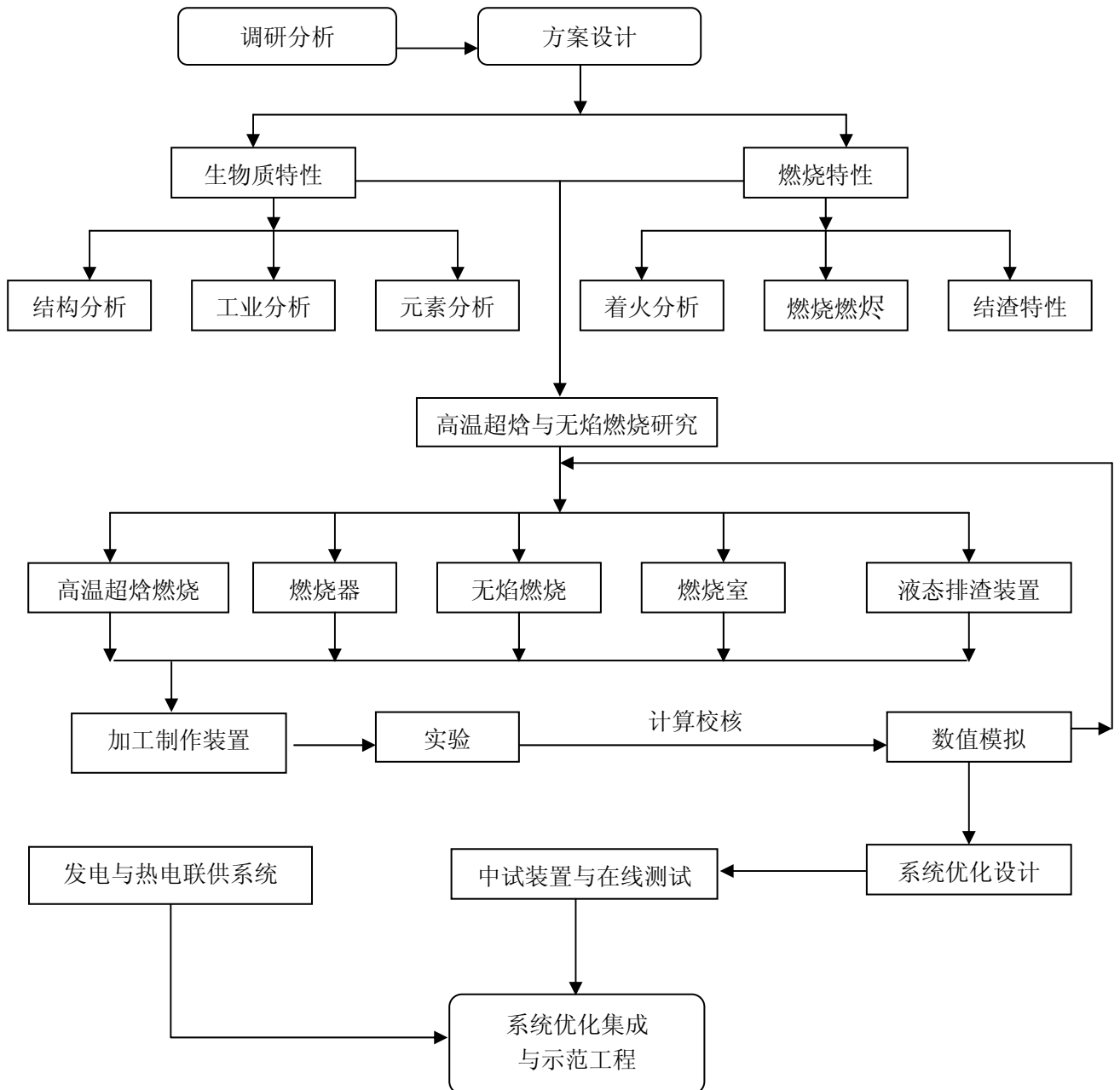


图 1 技术路线

据其研究结果，进行燃烧器与锅炉结构的初步方案设计，建立炉内流动、混合、加热、热解、燃烧、放热的物理与数学模型，进行数值模拟计算，对系统进行优化设计，确定结构参数与运行参数。根据模拟计算所得到的锅炉结构，建立实验装置并进行模拟实验。通过实验与计算探索生物质高温超焓无焰燃烧，及液态排渣的实现技术措施。依据以上结果，建立锅炉中试系统。通过现场实验与分析研究，进一步完善锅炉燃烧与换热系统，优化锅炉结构与运行参数。研究锅炉与发电系统匹配问题，进行热电联供方案设计，提出示范工程设计方案，进行系统集成，完成示范工程。

五、项目年度任务安排

第一年，重点开展研究内容（1）（2）（3）所列出的内容，研究生物质的燃烧特性探索生物质高温超焓燃烧特性与无焰燃烧的实现条件，进行锅炉与燃烧系统初步设计。

第二年，重点开展研究内容（4）（5）（6）所列出的内容，研究液态排渣装置的设计方案，加工锅炉与燃烧系统的模拟实验装置，完善模拟计算方法，为锅炉与燃烧系统的中试装置设计提供技术支撑。

第三年，重点开展研究内容（7）（8）（9）所列出的内容，中试试验装置研究，并进行系统集成，完成示范工程，进行项目鉴定或验收。

六、项目的技术、经济效益分析

（1）技术分析

与国内外同类技术先进水平对比，具有以下创新点和技术优势：

- 1) 高温超焓燃烧可提高燃烧温度，使低热值生物质完全燃烧而不需要辅助燃料，燃烧效率高，有利于实现液态排渣。
- 2) 液态排渣，可降低受热面积灰，减少受热面的直接腐蚀，降低烟尘排放。
- 3) 与流化床锅炉相比，燃烧温度高，提高了传热温差，有利于采用防护措施解决某些氯与碱金属腐蚀问题。

(2) 经济效益分析

据统计，每年全世界所生产的生物质能总量是人类消耗化石燃料的 8 倍。目前我国农作物秸秆年产量约为 6.6 亿吨，可作为能源用途的秸秆约 2 亿吨，采用生物质高温燃烧技术，用生物质替代煤炭发电，每年至少可节约 1 亿吨标煤。由于秸秆含硫量只有煤炭的四分之一到五分之一，用秸秆替换 1 亿吨煤炭，可减少二氧化硫排放 6 万多吨，CO₂ 排放 3.67 亿吨，烟尘排放 40 万吨。如果作为能源利用的秸秆的 50% 采用本项目技术替代煤炭发电，每年至少可节约 0.5 亿吨标煤，减少二氧化硫排放 3 万多吨，CO₂ 排放近 2 亿吨，烟尘排放 20 万吨。

根据 2005 年 2 月生效的《京都议定书》，签订了发展中国家参与环保合作的新型国际合作机制 CDM (clean development mechanism)。该机制是发达国家提供资金和技术援助，在发展中国家境内实施温室气体减排项目；通过购买发展中国家二氧化碳减排指标，发达国家抵消国内温室气体减排的高成本指标。中国在《京都协议书》中属于发展中国家，由于 2012 年以前不需要承担具体减排义务，因此在中国境内所有减少的温室气体排放量，都可以按照《京都协议书》中的 CDM 机制转变成有价商品向发达国家出售。因此该项目——生物质高温燃烧发电技术所减排的 CO₂ 可以通过 CDM 机制到国际市场出售。目前国际市场减排二氧化碳的交易价格是每吨 10 欧元以上，减排 2 亿吨 CO₂ 可获效益 10 亿欧元，其减排收益甚至大于生物质本身的发电收益。

七. 项目的经费需求及来源

项目总经费 3600 万。

申请国拨经费 2600 万元，课题承担单位提供配套经费 1000 万元。

如果本项目能够得到工业领域节能减排重大科技项目的支持，我们将在资金、设备、人员等方面提供保障，全方位支持课题组完成本项目。并承诺：如果本项目能够得到支持，我们将为本项目配套经费 1000 万元人民币，主要用于示范工程与中试研究。

八. 项目支撑条件及组织措施

本项目采用产学研方式进行组织实施，由中国科学技术大学负责研究，从发展燃烧理论、生物质能利用技术方面，结合研究生培养进行相关工作研究；由江苏四方锅炉有

限公司负责生产、市场化、以及示范工程。

中国科学技术大学是一所以理工类为主的综合性大学，具有多学科综合交叉的优势，在燃烧、工程热物理、化工、机械等研究领域有各方面人才。课题组长期以来一直致力于燃烧节能与环保的研究，主要以煤、石油、天然气、生物质及可燃废弃物高效、清洁燃烧利用以及新能源技术与利用为研究背景，进行气液固无焰燃烧、超焓燃烧、微尺度燃烧、催化燃烧机理与应用研究，为本项目提供了理论基础和人才储备。课题组承担过多项国家级项目，申请发明专利 6 项，论文数十篇，已成功研制出天然气在常温空气进气条件下实现无焰燃烧的技术方案，并在小型蒸汽锅炉上进行了中试，这项工作于 2006 年 5 月通过了安徽省科技厅组织的专家鉴定（皖科鉴字[2005]第 105 号），与会专家认为，采用新型无焰燃烧技术，在燃烧效率、NO_x 和 CO 排放等方面优于国内外同类产品。在复杂炉膛结构下，控制流动、传热和化学反应条件，实现具有空间反应特征的无焰燃烧，有一定的工作基础。该项目生物质高温燃烧相关技术已申请国家发明专利（公开号 CN101122384）。本项目生物质高温燃烧锅炉的设计思想，在 2007 年国际动力工程会议以论文与报告形式，与国内外的专家学者进行了交流，采用“高温燃烧、液态排渣”的技术方案用于生物质高温燃烧，解决目前生物质燃烧存在的技术问题，得到了与会专家的认同。

江苏四方锅炉有限公司是国家定点 A 级锅炉和三类压力容器专业制造企业。企业拥有大型生产设备和精良的检测仪器。“四方”牌系列锅炉先后荣获徐州市名牌产品、江苏省名牌产品、江苏省著名商标、全国用户满意产品，连续 8 年保持徐州市重合同守信用企业称号。科学的管理、严谨的质量控制使企业通过 ISO9001 国际质量体系认证。

项目组按照各自分工，制定了详细的研究计划，细化各方所解决的主要问题，形成独立的项目管理机构，由能源、化工、热力、自动化、电力、技术经济、经济管理、市场营销等专业人员 30 人组成，对项目实行分块管理的项目管理程序，完善计量、检测、验收等措施。

九、项目主要任务承担单位建议

高温空气无焰燃烧技术是一种具有低污染、高的换热效率的新型燃烧方式，在国内外得到广泛的重视，已经成功应用于冶金、工业窑炉等燃烧设备。

我校热科学和能源工程系经过多年的研究与探索,成功发展了常温空气无焰燃烧技术,在保留高温空气无焰燃烧所有优点的同时,省去了将空气预热到 800°C 以上高温的过程,简化了无焰燃烧的实现条件。课题组将该技术应用于小型工业锅炉,由安徽省科技厅组织了科技成果鉴定,其结论为:“国内领先、国际先进,为燃气锅炉提供了一条新的实现途径”。

采用该项技术研制生物质直燃锅炉,并选择相适配的发电系统进行发电,可充分利用资源丰富的生物质能,具有显著的环境效益和社会、经济效益。

经过校学术委员会研究,同意立项。

十. 其它需要说明的问题