

(2007年12月8日)

1.项目名称

生物质超焓燃烧锅炉的研究

2.技术依托方情况介绍

中国科学技术大学是中国科学院所属的一所以前沿科学和高新技术为主、兼有特色管理和人文学科的综合性全国重点大学。学校紧紧围绕国家急需的新兴科技领域设置系科专业，创造性地把理科与工科即前沿科学与高新技术相结合，注重基础课教学，高起点，宽口径培养新兴、边缘、交叉学科的尖端科技人才，汇集了严济慈、华罗庚、钱学森等一批国内最有声望的科学家。

学校有8个学院、27个系，25个国家和院省部级重点科研机构，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。承担本项目的课题组隶属于热科学和能源工程系，主要从事新能源、可再生能源以及节能减排的教学与科研工作。

参与本项目的课题组有教授3人，研究生16人，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型的能源利用为研究背景，进行气液固无焰燃烧、超焓燃烧、微尺度燃烧、催化燃烧机理以及应用研究，为本项目提供了理论基础和人才储备。

课题组承担和完成了国家和省部级科研项目多项，包括863、自然科学基金、安徽省科技攻关等项目，申请发明专利6项。项目组的主要工作与业绩见：

<http://combustion.ustc.edu.cn/>

3.科技成果创新点介绍

创新点：

- 1) 将超焓、高温燃烧技术应用于生物质（秸秆）的直接燃烧发电，提高了能量品位（系统可用能），实现了高的系统热效率，低的污染物排放，可大大提高电能的转化率。
- 2) 适用于燃烧生物质（秸秆）的无焰燃烧搅拌反应器，结合烟气再循环技术，

能够使生物质(秸秆)的在常温空气条件下实现高温低氧无焰燃烧。

- 3) 常温空气无焰燃烧技术要比高温空气无焰燃烧技术更先进,表现在,它保留了高温空气无焰燃烧技术的高效低污染的特点,不需要高温空气蓄热式预热系统,大大简化了无焰燃烧的实现条件,并避免了燃烧的脉动;解决了高温空气无焰燃烧技术不能应用于燃烧低热值的生物质(秸秆)而导致的排烟温度低的问题。此项研究的开发成功,将对节约能源和改善环境具有重大意义。
- 4) 将常温空气无焰燃烧技术应用在生物质(秸秆)颗粒燃烧中,使得锅炉炉膛内的换热以辐射换热为主,将彻底改变目前固体燃料锅炉以对流换热为主的传热方式,提高锅炉热效率。
- 5) 由于提高了炉膛温度,实现液态排渣,可采取一些技术措施避开高温腐蚀的温度范围,解决沉积腐蚀、氯化氢、碱金属(Na, K)氧化物和盐类腐蚀问题。

项目简介

生物质超焓燃烧锅炉,集超焓燃烧、高温空气燃烧、液态排渣、分级燃烧和烟气再循环等技术优点于一体,可实现生物质能的高效、低污染、经济、安全、大规模利用,其燃烧效率可达 99%以上,热效率达 90%以上。

其显著特点是对生物质直接进行高温燃烧,实现具有空间放热特征的无焰燃烧,系统可用能、热效率和燃烧效率增大,炉膛容积热负荷高,且温度分布均匀,污染物排放低,从而为生物质能利用提供具有自主知识产权的工艺技术。

中国科学技术大学对超焓燃烧和高温空气燃烧的研究已取得了显著的成绩,实现了常温空气无焰燃烧技术,获专利 2 项,论文数十篇,并通过专家鉴定。生物质超焓燃烧锅炉的开发与应用,可保护环

境，节约能源，并能使生物质能的利用设备技术升级，可替代进口产品和降低生物质能利用设备的价格，产业化市场前景广阔。

技术指标：

- 1) 利用超焓燃烧技术开发自主知识产权的生物质直燃锅炉，燃烧效率大于 99%，热效率达到 90%以上，实现液态排渣。
- 2) 污染物排放：NO_x 排放浓度小于 100ppm，CO 排放浓度小于 10ppm。满足我国污染物排放标准，明显优于目前国内外生物质燃烧设备。

研究目标：

研究生物质(秸秆)的燃烧特性，进行燃烧器及燃烧室设计，通过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。研究开发生物质超焓燃烧锅炉，实现生物质(秸秆)常温空气高温低氧燃烧和液态排渣，提高燃烧效率与换热效率，降低污染物的排放。通过本项目的研究，在生物质燃烧热利用方面，达到高效、经济的目的，实现生物质能的大规模、低成本直接利用。采用超焓燃烧方式开发的生物质直燃锅炉，燃烧效率可达 99%以上，热效率达到 90%以上；液态排渣技术可降低粉尘与 NO_x 等污染物排放，NO_x 排放浓度小于 100ppm，CO 排放浓度小于 10ppm。

依托单位课题组的详细情况

项目组成员，长期从事燃烧学、流体力学、燃烧与环境方面的教学与科研工作，有长期的工作积累。申请人所在的热科学和能源工程系，主要从事工程热物理与燃烧学领域的教学与科研工作，在燃烧学、传热、传质学、流体力学、环境污染与防治等研究领域，有一支年富力强，创新进取的年轻的科研队伍，这是我们承担并完成本项目的保障。

项目组 2000 年曾经承担国家自然科学基金项目阴燃特性研究，研究中发现

阴燃过程的传播需要的能量比有焰燃烧少；较低的氧浓度就可以维持阴燃；反向阴燃对阴燃燃烧产物具有自净化作用。我们在生物质的热解动力学机理方面，进行了大量的研究与探索。在热分析仪上，对各种生物质进行了大量的热重分析实验，研究了不同环境氛围情况下的释热、失重过程以及生物质热解过程。我们这些早期的工作，所得到的一些结论，为本项目的研究提供了研究经验。

我们去年立项的国家 863 研究计划，主要工作是利用超焓燃烧的思想处理超低浓度瓦斯（主要成分是甲烷），目前已经能够使容积浓度 0.4~1.0%的甲烷稳定燃烧，这项研究工作的意义在于处理矿井通风中的低浓度瓦斯，同时也为本项目研究方案的确定提供了研究基础。

中国科技大学燃烧与环境课题组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技术的技术方案，并在蒸汽的锅炉上进行了实验研究。实验发现：在常温空气情况下，利用强射流和漩流，用特殊的燃烧室结构，可以实现无焰燃烧反应。经安徽省环境监测中心站现场测定，在烟气中的 NOX 与 CO 浓度远低于传统的低 NOX 分级燃烧，燃烧室温度分布均匀且无局部高温，无可见火焰前沿等特征，都只有高温空气无焰燃烧才能实现。这种“新型无焰燃烧”，保持了所有现代无焰燃烧的优点，只是避免了高温空气预热所带来的问题。并在 2 吨/小时的燃煤锅炉上改烧天然气，热效率达到 92%以上，远高于国内外同类型燃气锅炉的热效率；同时，烟气中测得 CO 浓度小于 10ppm，NOX 浓度小于 100ppm，这些排放指标只有高温空气无焰燃烧条件下才能达到。这项工作在今年 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、NOX 和 CO 排放等方面优于国内外同类产品。

一、项目简介

生物质能一直是人类赖以生存的重要能源，它是仅次于煤炭、石油和天然气而居于世界能源消费总量第四位的能源，在整个能源系统中占有重要地位。目前生物质能的利用有生物质气化技术、液化技术、直接燃烧技术。目前三种技术均存在着一定的问题。气化、液化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运行成本，也降低了生物质能的总利用效率。而且气化、液化燃料热值低，在稳定运行、焦油清除、气体净化等技术上还需提高；而直燃技术效率较高，且没有焦油带来的二次污染问题，所以相对而言，直燃的优势是明显的。但目前的直燃方式由于其燃烧温度低、低熔点飞灰造成的积灰和结渣以及燃烧过程中会产生对人体的健康有影响的颗粒排放物等一系列的问题，限制了这种粗放的应用方式。另外，由于生物质含水量大，燃烧产生的热量很多浪费在水分的蒸发上，使得生物质在固定床和流化床的燃烧热量利用率较低，所以研究开发高效燃烧富含水分的生物质技术是直燃技术的一个难点。本课题组在研究超焓燃烧和高温空气燃烧时发现，此燃烧方式能较好的解决上述生物直燃技术的难题，并采用液态排渣技术、分级燃烧技术和烟气再循环等技术，设计生物质(秸秆)超焓燃烧锅炉，可实现生物质(秸秆)的高效、低污染、经济、安全、大规模的高品位开发利用。

中国科学技术大学对超焓燃烧和高温空气燃烧的研究已取得了显著的成绩，实现了常温空气无焰燃烧技术，获发明专利 2 项，论文数十篇，并获得安徽省科技成果奖，经专家鉴定该项研究填补了国内空白，其技术水平国内领先，部分技术达到国际先进水平，可为更加节能、更具环保的燃气工业锅炉提供了新的实现途径。因此，通过本项目进一步的深入研究，在生物质燃烧热利用方面，可达到高效、经济的目的，能够直接大规模低成本应用于生产实践中，实现生物质高温无焰燃烧，燃烧效率达到 99%以上。采用液态排渣方式，降低粉尘与 NOX 等污染物排放。直接将生物质代替煤炭，作为电站锅炉燃料，使热效率达到 90%以上。并在关键技术方面拥有自主知识产权，争取在以下几个方面取得进展：用 2—3 年时间，完成实验室原理模型、中试以及示范工程研究。完成 20MW 生物质高温无焰燃烧锅炉的产品定型。通过本项目的工作，用 5—10 年时间，使生物质能占我国能量消耗总量的 20%以上。

1、项目意义与必要性

能源是现代社会赖以生存和发展的基础。我国是能源消耗大国，目前已成为仅次于美国的世界第二大能源消费国。根据国际能源机构统计，地球上石油、天然气、煤炭三种能源供人类开采的年限分别只有 40 年、50 年和 240 年。本世纪是我国进入全面建设小康社会发展的新阶段，据专家估计，到 2020 年我国能源需求总量将达到 25 亿吨标准煤。随着经济的快速发展，我国将提前遭受能源

危机的冲击。因此，开发新能源已成为关系到我国经济社会可持续发展的重大课题，对保障我国未来能源安全具有重要作用。

我国是一个人口大国，又是一个经济迅速发展的国家，21 世纪将面临着经济增长和环境保护的双重压力。目前煤炭占一次能源消费总量的 75%，每年仅 SO₂ 的排放量就在 2000 万吨以上，居世界第 1 位；而 CO₂ 年均排放量第 2 位。若长期按此能源消费结构发展下去，不仅会造成未来的资源枯竭，也会污染环境、破坏生态系统和危害人体健康。因此改变能源生产和消费方式，开发利用生物质能等可再生的清洁能源资源对建立可持续的能源系统，促进国民经济发展和环境保护具有重大意义。

与化石燃料能源相比，生物质能具有独特的优点：a) 可再生性；b) 低污染性；c) 广泛分布性；d) 总量丰富。因此，改变能源生产和消费方式，开发利用生物质能等具有环境友好、可再生和资源十分丰富的清洁能源资源，是解决中国石油短缺，建立可持续的能源系统，保障国家能源安全，保护生态环境，提高我国持续发展能力的主要战略措施；也是促进农村地区经济发展、增加农民收入和解决“三农”问题的有效途径；是落实科学发展观的重要举措。

目前，世界各国，尤其是发达国家，都在致力于开发高效、无污染的生物质能利用技术，以达到保护矿产资源，保障国家能源安全，实现 CO₂ 减排，保持国家经济可持续发展的目的。美欧等发达国家自上个世纪末就将发展生物质产业作为一项重大的国家战略推进，纷纷投入巨资进行生物质能源的研发。如日本的阳光计划、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。从技术上看，欧洲的生物质发电系统已经成熟，已形成比较完整的装备制造体系。其中，丹麦自从 1988 年诞生了世界上第一座秸秆生物燃烧发电站后，如今已拥有 130 多家秸秆发电厂，秸秆发电等可再生能源占到全国能源消费量的 24% 以上，生物质能源使丹麦由石油进口国一跃成为石油出口国。

目前针对生物质燃烧发电的高品位开发技术主要有气化发电和直燃发电。气化发电技术是将秸秆在缺氧状态下燃烧，发生化学反应，生成高品位、易输送、利用效率高的气体，利用它进行发电；燃烧发电技术是将秸秆直接送入锅炉燃烧后，产生蒸汽带动发电机发电，与常规的火力发电相似。气化发电技术

是在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；而直燃发电技术效率较高，且没有焦油带来的二次污染问题，所以相对而言，直燃的优势是明显的。

在炉排锅炉或流化床锅炉上直接燃烧生物质，也是一种生物质的热利用方式，但是其燃烧温度低、低熔点飞灰造成的积灰和结渣等一系列的问题，限制了这种粗放的应用方式。而且，由于生物质含水量大，燃烧产生的热量很多浪费在水分的蒸发上，使得生物质在固定床和流化床的燃烧热量利用率较低，所以研究开发高效燃烧富含水分的生物质技术是直燃技术的一个难点。

截至 2006 年 5 月，我国已经有 100 多个县市开始拟建或是签订秸秆发电项目，技术来源大多是北京德源投资有限公司从丹麦 BWE 公司引进的“超-超临界锅炉”和“生物质能发电”等核心技术，燃烧设备采用的是生物质专用振动炉排高温高压锅炉。与国外相比，我国在秸秆直接燃烧发电供热技术上缺乏技术研究和设备开发投入，存在较大差距。

针对这一系列问题，本课题组研究将超焓燃烧技术应用于生物质的直接燃烧，并采用液态排渣技术、分级燃烧技术和烟气再循环等技术，提高生物质(秸秆)的燃烧效率，使炉内温度场均匀，提高容积热负荷，降低锅炉制造成本，提高锅炉热效率，解决飞灰的积灰与结渣问题，减少污染物的排放，实现我国秸秆直接燃烧发电设备的自主开发。

2、项目目标产品市场分析

在发达国家，生物质作为能源的利用，多采用高投入、高产出的方式，建设大型的生物质能转化工程，将传统的生物质能转化为现代能源利用。例如，美国在 1992 年就大约有 1000 个利用木材气化的发电厂，运行装机 650 万千瓦，年发电 42 亿千瓦时，发电成本 4-6 美分每千瓦时，每千瓦投资 2000-3000 美元，美国加州电力供应的 40% 来源于生物质发电，目前，生物质动力工业在美国已成为仅次于水电的第二大可再生能源。生物质转化为现代能源的利用在美国、瑞典和

奥地利的能源消费中已分别占到 40%、16% 和 10%。在欧盟国家中，开发利用的所有新能源和可再生能源（包括水电在内）中生物质能源已占总和的 59.6%。国外生物质气化装置一般规模较大，自动化程度高，工艺较复杂，以发电和供热为主，如加拿大摩尔公司（Moore Canada Ltd）设计和发展的固定床湿式上行式气化装置、加拿大通用燃料气化装置有限公司（Omnifuel Gasification System Limited）设计制造的流化床气化装置、美国标准固体燃料公司（Standard Solid Fuels Inc）设计制造的炭化气化木煤气发生系统、德国茵贝尔特能源公司（Imbert Energietechnik GMBH）设计制造的下行式气化炉-内燃机发电机组系统等等，气化效率可达 60%-90%，可燃气热值为 $1.7-2.5 \times 10^4 \text{kJ/m}^3$ 。目前，在该领域具有领先水平的国家有瑞典、美国、意大利、德国等。美国近年来在生物质热解气化技术方面有所突破，研制出了生物质综合气化装置-燃气轮机发电系统成套设备，为大规模发电提供了样板。

从 80 年代初开始，经过近 20 年的努力，我国生物质气化技术也日趋完善。我国自行研制的集中供气 and 户用气化炉产品已进入实用化试验及示范阶段，形成了多个系列的炉型，可满足多种物料的气化要求，在生产、生活用能、发电、干燥、供暖等领域得到利用。近年来，还将煤气化技术引入到生物质气化方面来，如沸腾流化床技术可用在细粒状的生物质气化，克服了此类原料在固定床连续加料的困难，同时生物质流化床技术也被很多研究单位和高校重视，有关该项技术的实验研究也在进行中。

目前，我国使用的秸秆气化技术，主要以固定床为主。固定床工艺一般采用空气为气化剂，这类工艺，不论是上吸式、下吸式或是平吸式的气流方式，都有设备结构简单、易于操作、可以实现多种生物质原料的热解气化、投资少等特点。但是得到的生物质燃气热值低，一般只有 5000KJ/Nm^3 左右，且生物质气中焦油含量高，燃料利用率低，生产、输送、配给的成本较高。分析其原因，主要有两方面：第一，由于工艺路线局限，多采用空气为气化剂，得到的燃气中氮气含量高，通常在 50% 左右，影响了气体的热值；第二，由于秸秆原料有些不利于气化因素，使得燃料得不到完全气化，仅利用了燃料中的挥发成分，固定碳得不到充分利用。集中供气的形式，以山东能源研究所开发的 XFL 秸秆气化系列和大连

环境科学研究院开发的 LZ 生物质干馏气化系列为代表，前者产气率为 1.8-2.0m³/kg，但气体热值较低，仅为 5000kJ/m³，而且气体中焦油含量较高；后者气体热值可达 14000kJ/m³，但产气率低，仅为 0.3 m³/kg，而且其主产品为碳，生物质气只是副产品。目前，两种炉型均只作为较小范围的生物质集中供气系统，要建大规模的系统，所带来的一些技术及经济上的问题尚需解决。

目前，生物质利用趋势应该朝着低成本、大规模的趋势发展。本研究项目的最大特点一是改变以往秸秆利用方式，直接进行高温燃烧热利用，从而大大提高燃料利用过程的系统热效率。二是燃烧过程的高温，以及无焰燃烧方式，可以使焦油有效裂解、氧化，实现高的燃烧效率和低的未燃可燃物排放。三是高温燃烧，可以提高燃烧温度也就是提高了能量品位，增加系统可用能。四是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，且温度分布均匀，可以实现非常低的 NO_x 排放。五是生物质热利用提供了具有自主知识产权的工艺技术。

节能和环保是当今世界的两大主题，中国科学技术大学燃烧和环境工程研究组攻关完成的生物质超焓燃烧锅炉，将能充分利用资源丰富的秸秆，缓解能源紧张、提高能源品位、改善环境质量、提高人民生活水平，强有力的促进生物质直燃发电的示范运行及产业化的迅速发展。因此，生物质超焓燃烧锅炉的开发与应用，对于保护环境，节约能源，具有重要实际意义。而且能使生物质能利用设备的技术升级，科技含量高，可以完全替代进口产品，因而能使生物质能利用设备的价格大大降低，产业化市场前景非常广阔。同时，国家能源和环保政策的出台，对新能源的支持和迫切需要高效率低排放的热能设备为国民经济服务，完全符合国务院提出的创建节约型社会的要求。该项科研成果的诞生，符合国家产业政策，符合科技发展，符合当代形势，符合市场需求。因此，本项目所形成的产品具有明显的技术优势和广阔的市场前景。

专利名称： 生物质高温燃烧锅炉

申请号： 200710131843.5

实用新型专利申请号： 200720046998.4