

# 教育部工程研究中心评估总结报告

工程中心名称：油页岩综合利用

所属技术领域：能源与矿业

建设时间：2009.12

依托单位：东北电力大学

主管部门：吉林省教育厅

中心负责人：王擎

联系电话：13843225761

电子邮箱：rlx888@126.com

通信地址：吉林省吉林市长春路 169 号，132012

2019 年 10 月 20 日填报

## 目 录

一、摘要.....	3
二、工程中心基本情况.....	5
1. 形成背景.....	5
2. 基本情况.....	6
三、评估期间工作业绩.....	9
1. 产业重大技术突破、共性关键技术供给、自主知识产权成果及其水平，各研究方向 标志性技术成果、水平和工程应用与效益.....	9
2. 工程化典型案例实施进展，对产业技术进步与核心竞争力的提升作用、影响与效益 贡献.....	17
3. 工程化技术成果转移、转化、辐射、扩散情况及其对行业、区域发展影响力，主持 或参与制定国家及行业技术标准与规范情况，对创新驱动发展、经济转型升级的作用 与贡献.....	33
4. 队伍建设及其水平，高层次创新人才培养质量及其在行业中的影响；带头人团队 水平对工程中心建设的贡献.....	37
5. 对工程技术人才培养、人才培养及开放服务.....	40
6. 对学科建设支撑作用.....	41
四、硬件条件运行情况与质量.....	44
1. 研究方向及其相应实验技术平台配置情况.....	44
2. 中试及工程化验证能力.....	47
3. 配套设施与支撑条件.....	49
4. 技术成果、文件资料归档情况.....	51
五、经费情况.....	53
1. 经费收支情况.....	53
2. 财务管理及账目设置情况.....	54
3. 经费使用情况.....	54
六、运行与管理机制.....	56
1. 机构设置.....	56

2. 管理体制及运行机制.....	56
七、工程中心近中期任务、目标与未来规划.....	59
1. 工程中心近中期任务.....	59
2. 发展目标及规划.....	62
八、存在的问题及改进措施.....	64
1. 建设发展中存在的主要问题.....	64
2. 改进措施.....	65
九、依托单位自评估意见.....	67
十、主管部门意见.....	68
十一、教育部意见.....	69

## 一、摘要

2009 年，油页岩综合利用教育部工程研究中心（以下简称“中心”）经教育部批准建设。2018 年，教育部组织专家组对中心建设项目进行了验收，成绩“优秀”。2019 年 1 月 31 日，教育部下文同意“中心”开放运行（教技厅函【2019】15 号）。

本“中心”主要依托于东北电力大学“博士授权一级学科及省级优势特色重点学科”——“动力工程及工程热物理”，以及吉林省教育厅“能源有效利用与油页岩综合开发技术吉林省高等学校工程研究中心”和“吉林省高等学校高端科技创新平台”等研究基地。中心建设与学科、基地建设相辅相成，团队与学科、基地共同发展。中心组建了一支具有较强工程化、产业化开发能力的多学科交叉的科研团队。中心团队 2013 年获批为教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队，2017 年获得滚动支持。

本“中心”紧密围绕油页岩清洁高效利用的研究开发、产品创新、技术辐射和成果产业化等方面开展了卓有成效的工作，建设了油页岩综合利用技术创新平台。

中心评估期间，建设了东北电力大学油页岩工程研究中心研发基地和中试基地、以及以汪清龙腾油页岩股份有限公司、印度尼西亚印大帝集团、吉林省桦甸油页岩示范电厂等为主的 1 个研发基地、3 中试基地和 3 个产业化基地；中心现有建筑总面积 10107.62m<sup>2</sup>，拥有先进的测试仪器及相关实验设备 204 台套，其中，单价超过 10 万元/台（套）的仪器设备 65 台套，总值为 3300.711 万元；建设了油页岩气体热载体干馏炼油等 7 套中试平台，在油页岩炼油、燃烧及冷凝等方面具有很强的中试及工程验证能力，已成为国内外油页岩清洁高效综合利用的重要研发与中试基地。

中心评估期间，承担国家自然科学基金等国家、国家重点研发、省部级项目 23 项，科研经费总计 2795.18 万元；获省部级奖 3 项；公开发表学术论文共 155 篇，其中 SCI 期刊收录学术论文 42 篇，EI 期刊收录学术论文 65 篇；出版学术专著 1 部，至今共获授权发明专利 27 件，其中评估期间获授权发明专利 17 件。经检索评价，本团队在油页岩方面获授权发明专利数量为国内第 1 位。

中心培养了一批油页岩领域的高素质的工程技术人才，2014 年评估期间，围绕油页岩研究领域，已培养毕业硕士研究生 108 人，培养毕业博士研究生 2 人，现就读博士研究生 7 人。已培养毕业硕士研究生中获校级优秀硕士论文 15 篇，获省级百篇优秀硕士论文 5 篇。

中心评估期间解决了油页岩气体热载体干馏炼油、油页岩固体热载体干馏炼油、半焦

等劣质燃料循环流化床燃烧、干馏炼油和半焦燃烧一体化等产业化关键技术问题，产生了良好的经济和社会效益。

## 二、工程中心基本情况

### 1. 形成背景

东北电力大学前身为东北电力学院，2005 年更名为东北电力大学。

油页岩综合利用教育部工程研究中心的行成可溯源至上世纪 70 年代初期，学校涌现出了“锅炉神(富震宗教授)”、“锅炉鬼(孙键教授)”等国内著名专家，在劣质煤沸腾炉燃烧技术方面处于全国领先水平。同时期，东北电力大学在油页岩燃烧利用等方面也取得了一系列显著成绩，在理论研究及其工程应用方面一直居国内领先水平。几十年来，我校一直坚持开展油页岩综合利用方面的理论与工程实际应用研究，这在国内是唯一的。

上世纪 70 年代开始，东北电力大学率先提出了油页岩作为燃料直接用于流化床燃烧利用的可行性，自主研发了 2~20t/h 系列油页岩流化床工业锅炉，并投入商业运行，填补了多项国内空白。

上世纪 80 年代，着力开展了油页岩燃烧发电的试验研究，主持承担并成功完成了国家“六五”重点科技攻关项目“35t/h 油页岩流化床电站锅炉研制”任务，并成功投入商业运行，实现了我国油页岩发电的技术创新和技术进步。

上世纪 90 年代，着力开展了循环流化床燃烧技术研究，主持承担并成功完成了原能源部重点科技攻关项目“65t/h 低倍率循环流化床油页岩电站锅炉研制”任务。1996 年设计开发了国际上第一台 65t/h 低倍率循环流化床油页岩电站锅炉，建设了我国第一座油页岩电站——桦甸油页岩示范电厂，为我国油页岩循环流化床锅炉奠定了坚实的技术基础，取得了显著的社会效益和巨大的经济效益。截止目前已安全稳定运行了近 30 年。成果经由岑可法院士、徐旭常院士、黄其励院士等组成的专家组鉴定认为，锅炉总体性能达到国际同类产品先进水平。2000 年获吉林省科技进步二等奖。

2008 年，针对广东茂名低劣质油页岩，主持设计开发了“65t/h 燃劣质油页岩高低差速循环流化床锅炉”，并在广东湛江遂溪吉成电力有限公司成功投运。经由秦裕琨院士组成的专家组鉴定认为，该产品试制是成功的，达到国际同类产品的先进水平。2010 年获江西省科技进步二等奖。

2009 年，针对吉林省汪清油页岩和油页岩半焦，主持设计开发了“汪清 35t/h 油页岩内循环流化床锅炉”。2 台锅炉 2010 年投入运行，解决了汪清龙腾能源开发有限公司不能炼油的小颗粒油页岩的燃烧发电问题。基于油页岩炼油、半焦燃烧发电及灰渣综合利用，

## 2013 年获吉林省科技进步二等奖。

2007 年 2 月，经吉林省教育厅批准，东北电力大学组建了“能源有效利用与油页岩综合开发技术吉林省高等学校工程研究中心”。2008 年 11 月 26 日经东北电力大学校长办公会议研究决定，成立了“东北电力大学油页岩综合利用工程研究中心”。研究中心为院处级建制，列入学校科研机构序列。2009 年 7 月 21 日，经东北电力大学党委常委会议研究决定(东电党组字[2009]19 号)：李少华同志为油页岩综合利用工程研究中心主任（兼），同年 12 月 14 日经学校党委常委会议研究决定(东电党组字[2009]20 号)，校长聘任王擎同志为油页岩综合利用工程研究中心常务副主任。2013 年 10 月 16 日，经学校党委常委会议研究决定(东电党组字[2013]16 号)校长聘任王擎同志为油页岩综合利用工程研究中心主任。2014 年 12 月 19 日，经学校党委常委会议研究决定(东电党组字[2014]32 号)校长聘任柏静儒同志为油页岩综合利用工程研究中心副主任。

2009 年，在吉林省教育厅“能源有效利用与油页岩综合开发技术吉林省高等学校工程研究中心”的建设基础上，经吉林省教育厅推荐，以东北电力大学为申报单位，联合中国石油天然气华东勘察设计研究院吉林分院、江西江联能源环保股份有限公司和吉林省汪清县龙腾能源开发有限公司，共同申报了“油页岩综合利用教育部工程研究中心”。2009 年 12 月，经教育部科学技术司审核批准，同意立项建设。2018 年，教育部组织专家组对中心建设项目进行了验收，成绩“优秀”。2019 年 1 月 31 日，教育部下文同意“中心”开放运行（教技厅函【2019】15 号）。

## 2. 基本情况

油页岩综合利用教育部工程研究中心（以下简称“中心”）建设主要依托于我校“博士授权一级学科及省级优势特色重点学科”——“动力工程及工程热物理”，以及吉林省教育厅“能源有效利用与油页岩综合开发技术吉林省高等学校工程研究中心”和“吉林省高等学校高端科技创新平台”等研究基地。中心建设与学科、基地建设相辅相成，团队与学科、基地共同发展。

中心紧密围绕“油页岩清洁高效综合利用”这个核心研究主题，从“先进的油页岩干馏炼油技术”、“大容量油页岩及油页岩半焦循环流化床燃烧关键技术”、“油页岩炼油、半焦发电一体化关键技术及优化”等三大方面开展工程化和产业化工作。

“中心”团队是一支工程科技创新能力强的创新团队。2012 年获批为吉林省高校创新团队，2013 年获批为教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队（2014-2016 年）。

该团队 2017 年经教育部组织的验收评审，结果“优秀”，并获得滚动支持（2018-2020 年）。

“中心”人员队伍以能源与动力工程学院、化学工程学院和机械工程学院为主体，利用东北电力大学多学科交叉的优势形成了一支具有多学科背景的研究与工程队伍。

创新团队现拥有一支老中青结合的高水平科研、技术开发、工程应用队伍。经过多年的建设，团队得到了良好的发展，团队的规模显著扩大。评估期间，本团队共引进具有博士学位成员 15 人（引进海外留学回国人员 1 人）。引进教师分别毕业于英国南安普顿大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学、天津大学、东南大学、重庆大学、华北电力大学等国内外知名大学，截至目前，团队固定成员 47 人，其中教授 15 人，副教授 14 人。博士生导师 5 人，硕士生导师 40 人。具有博士学位 38 人。团队成员年龄结构、学源结构合理，其中，50 岁以上 6 人，40-50 岁之间 9 人，40 岁以下 32 人。

创新团队中有 8 位成员被选派赴美国、英国、加拿大、澳大利亚等高水平大学进行为期 1 年的访问学习。

创新团队中享受国务院政府津贴 3 人、全国优秀科技工作者 1 人、教育部新世纪优秀人才 1 人、教育部创新团队带头人 1 人、吉林省高级专家 1 人、吉林省长白山学者特聘教授 1 人、吉林省有突出贡献的中青年专业技术人才 7 人、吉林省拔尖创新人才 6 人、吉林省高校首批学科领军教授 1 人、吉林省新世纪学科建设中青年骨干教师 3 人、吉林省优秀教师 1 人、电力行业优秀教师 1 人。

“中心”肩负着油页岩科学研究与工程应用的重任，是国内重要的油页岩综合开发研究基地。2014 年，油页岩科研平台被批准为“吉林省高等学校油页岩综合利用高端科技创新平台”。

“中心”实验室具有优良的基础研究实验及工程验证试验条件。现有实验基地面积 10107.62m<sup>2</sup>，拥有先进的测试仪器及相关实验设备 204 台套，其中，单价超过 10 万元/台（套）的仪器设备 65 台套，总值为 3300.711 万元。

“中心”围绕着油页岩干馏炼油及油页岩、半焦燃烧、油洗油等在研究开发、产品创新、技术辐射和成果产业化等方面开展了卓有成效的工作，建设了 1MW 级油页岩及半焦循环流化床燃烧中试装置、半焦加热输送试验装置、100kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油试验装置、油洗油试验装置、喷动床燃烧试验装置、干馏炉冷态实验装置等试验与中试平台，完全满足现阶段油页岩、煤及生物质的研究利用。



目前“中心”已经建成了 1 个研发基地、3 个中试基地和 3 个产业化基地。通过研发基地、中试基地及产业化基地的建设，解决油页岩清洁高效综合利用过程中油页岩干馏炼油、半焦（油页岩）燃烧发电、油气中粉尘脱除以及一体化等产业化关键技术问题，建立了具有自主知识产权的生产线，产生了良好的经济和社会效益。

“中心”评估期间，围绕油页岩综合利用过程中的科学问题开展了多项科学研究，先后承担了国家自然科学基金、国家重点研发、教育部创新团队和省市科研项目 23 项，科研经费总计 2795.18 万元。成果获省部级奖 3 项。

“中心”评估期间，发表学术论文共 155 篇，其中 SCI 期刊收录学术论文 42 篇，EI 期刊收录学术论文 65 篇。发表的 2 篇论文获中国精品科技期刊顶尖学术论文(F5000)，3 篇论文被国际“埃尼奖”提名；出版学术专著 1 部，至今共获授权发明专利 27 件，其中评估期间获授权发明专利 17 件。经检索评价，本团队在油页岩方面获授权发明专利数量为国内第 1 位。

“中心”积极开展人才培养工作，2014 年至 2018 年期间，围绕油页岩研究领域，已培养毕业硕士研究生 108 人，培养毕业博士研究生 2 人，现就读博士研究生 7 人。已培养毕业硕士研究生中获校级优秀论文 15 篇，获省级百篇优秀硕士论文 5 篇。

### 三、评估期间工作业绩

#### 1. 产业重大技术突破、共性关键技术供给、自主知识产权成果及其水平，各研究方向标志性技术成果、水平和工程应用与效益

根据“中心”建设的指导思想、目标和任务，评估期间本“中心”围绕“先进的油页岩干馏炼油技术与装置的研究与开发”、“大容量油页岩及油页岩半焦循环流化床燃烧关键技术”、“油页岩炼油、半焦发电一体化关键技术与优化”开展了多项工程技术研发工作。主要完成了油页岩半焦循环流化床燃烧、油砂及油砂半焦混合燃烧炉、油页岩干馏循环瓦斯加热炉关键技术、油页岩半焦喷动床燃烧技术、130th 燃油页岩高低差速循环流化床锅炉、节能环保型锅炉设计系统、小颗粒油页岩固体热载体干馏技术、印度尼西亚油砂固体热载体干馏工艺、1000 吨/天油页岩干馏炉关键技术、抚顺式油页岩干馏炉技术改造、油页岩综合利用技术、油页岩干馏页岩油气相态分离工艺等技术与装备的研发与测试，实现了油页岩利用技术的工程化及产业化推广。

#### 研究方向 1：先进的油页岩干馏炼油技术与装置的研究与开发

##### （一）油页岩干馏炉循环瓦斯布气关键技术研究

冷、热瓦斯气布气技术是气体热载体干馏炉最重要的关键技术之一，也是开发大型干馏炉的保障。目前国内运行的油页岩气体热载体干馏炉主要有抚顺式干馏炉和桦甸成大新法组合式干馏炉。抚顺式干馏炉日处理油页岩 100-150 吨，油收率平均 60%左右；桦甸成大新法组合式干馏炉日处理油页岩 300 吨，油收率平均 75%左右。由于它们的布气采用十字形砖结构的拱台方式，与混合室相连形成三条腿支持于炉壁四周，这就使得三条拱台腿和拱台尖上面会出现布气盲区，此处气体热载体少，干馏温度低，布气明显不均，干馏不完全，有“外熟里生”的现象。同时，该种结构的布气方式不适用于大直径的大容量的气体热载体干馏炉，所以，开发新型的布气装置是非常必要的。

针对以上问题，以具有创造性的自主知识产权的发明专利“一种气体热载体干馏炉布气装置 (ZL201610310054.7)”、“一种易于大型化的油页岩气体热载体干馏炉 (ZL201410839606.4)”为技术依托，开发了适用于气体热载体干馏炉的布气装置。该布气装置克服现有技术的局限性，具有结构合理，布气均匀，干馏流程短，干馏效率高等优点。

基于上述技术，“中心”承担了中国石油工程建设公司吉林设计分公司委托的“油页岩干馏循环瓦斯加热炉关键技术研究”和“1000 吨/天油页岩干馏炉关键技术研究”项目。相应

建设了油页岩气体热载体干馏冷态试验平台，系统研究了不同布气结构下炉内流场分布特性；在建设的油页岩气体热载体干馏冷态试验平台上详细研究了布气方式和布气特性，找到优化结果，同时在自建的 2kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油小试平台和 100kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台上进行了干馏试验，详细研究了固定布气方式下，循环瓦斯温度等因素对干馏特性的影响。通过冷态、小试及中试试验，解决了现有干馏炉因干馏段温度不均而导致的干馏效率低等**共性关键技术问题**。从工程化方面验证了此布气装置的可行性。

“中心”与中国石油工程建设公司吉林设计分公司联合开发的 1000 吨/天油页岩干馏炉及配套设备，2015 年经中国石油工程建设分公司组织验收，认为**该技术成果为国内首创**。

## **（二）油页岩气体热载体干馏共性关键技术**

油页岩气体热载体干馏技术是一种重要的油页岩干馏技术。国外油页岩气体热载体干馏炼油技术比较先进，以巴西佩特洛瑟克斯(Petrosix)和爱沙尼亚基维特(Kiviter)技术为代表。巴西佩特洛瑟克斯单台干馏炉日处理量可达 6000 吨，油收率高达 90%以上。爱沙尼亚基维特(Kiviter)单台干馏炉日处理量可达 1000 吨，油收率 85%以上。但这些干馏炉只适用于高中品位页岩，对中国绝大多数的低品位页岩并无应用优势。而国内目前运行最大的油页岩气体热载体干馏炉日处理油页岩仅 300 吨，油收率平均 72%左右。

针对国内油页岩气体热载体干馏炼油现状，以具有创造性的自主知识产权的发明专利“一种油页岩干燥、加热、炼油、半焦燃烧一体化工艺(ZL201210462706.0)”、“一种气体热载体干馏炉布气装置(ZL201610310054.7)”、“一种易于大型化的油页岩气体热载体干馏炉(ZL201410839606.4)”、“一种干排焦气体热载体油页岩干溜工艺(ZL20141083837.7)”、“一种油页岩干馏页岩油气相态分离工艺(ZL201410577981.6)”、“一种微波吸附油页岩干馏瓦斯轻质油的回收工艺(ZL201410703623.5)”等多项自主技术为依托，在建设的 2kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油小试平台基础上，建设了 100kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台。该平台由气体热载体干馏炉、收油系统(水洗/油洗)和循环瓦斯管式加热系统构成。该系统在国内是唯一的。

在该中试平台上，完成了四项工程化验证实验，解决了油页岩气体热载体干馏**共性关键技术**。

### **（1）汪清油页岩气体热载体干馏工程化验证实验**

吉林省汪清县龙腾能源开发有限公司落户于汪清县罗子沟油页岩工业园区，主要从事

油页岩开采、炼油、发电、残渣综合利用，是国内第一家综合开发利用油页岩资源的民营企业。

2005 年以来，公司先后建设了 6 座油页岩生产井、两部 40 台抚顺式油页岩干馏炉、6 台瓦斯发电机组、2 台 35t/h 油页岩内循环流化床锅炉配一台 6000kW 抽凝式汽轮发电机组、年产 6000 万块炼油灰渣烧结砖生产线、一条年产 30 万吨的电厂灰渣磨细粉末生产线等工程。在国内率先初步实现了低品位油页岩采矿、炼油、发电及炼油残渣制建材综合利用产业链，成为我国以抚顺式干馏技术为基础的低品位油页岩综合开发利用先导示范区。

根据公司发展目标，2014 年，公司决定开展 200 万吨低品位油页岩干馏炼油发电三期扩建项目。但三期扩建项目不再采用抚顺式油页岩干馏炉，而是采用新型自主研发的气体热载体干馏炉。为此，双方合作在东北电力大学油页岩综合利用工程研究中心试验基地上开展了汪清油页岩新型气体热载体干馏炉工程化验证实验研究。

2014-2015 年，在建设的 100kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台上开展了多次试验。试验研究表明，针对汪清低品位油页岩(含油率 5.3%左右)，本气体热载体技术是适用的，油页岩油母质热解率大于 98%以上，页岩油收率大于 90%以上。同时，解决了气体热载体均匀布气、油页岩半焦干法排焦及瓦斯气管式加热器管内积炭结焦等**共性关键技术问题**。

2015 年 6 月，由中国高科技产业化研究会组织的专家对该成果进行了鉴定，认为该技术对汪清低品位油页岩干馏炼油是可行的。

## **(2) 山东龙口油页岩气体热载体干馏工程化验证实验**

山东龙福油页岩综合利用有限公司位于山东省龙口市，是集炼油、发电、煤炭加工于一体的综合性公司。现有 40 台抚顺式干馏炉，已形成了年处理油页岩 120 万吨，产油 11 万吨的生产能力。

抚顺式干馏炉为国内利用最多的干馏炉，存在的问题也是最多的。主要有，单炉处理量小、油收率低，油损失大、瓦斯气发热值低、半焦经水浸后排出，发热值低，难以利用，热损失较大以及废气、废水、废渣对环境污染严重。

鉴于此，山东龙福油页岩综合利用有限公司决定采用东北电力大学气体热载体干馏技术对抚顺炉干馏炉进行改造，在取得油页岩油收率最大化的基础上，考虑半焦的后续燃烧与综合利用是必要的，可为企业创造更大的经济、环境和社会效益。为此，“中心”承担了山东龙福油页岩综合利用有限公司委托的“抚顺式油页岩干馏炉技术改造可行性研究”项

目。2015-2016 年，在建设的 100kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台上，对山东龙口油页岩开展了工程化验证实验。结果表明，采用该技术可大大提高油页岩干馏的收油率，提高气体和半焦热值，消除了湿半焦的排放。这对油页岩的高效利用及半焦的有效利用具有重要的意义。

2017 年，“中心”提出的“山东龙口抚顺式油页岩干馏工艺改造项目技术方案”通过了山东龙福油页岩综合利用有限公司组织的专家验收与评审。

### **(3) 秦皇岛市卢龙县油页岩气体热载体干馏工程化验证实验**

河北省秦皇岛市卢龙县油页岩储量丰富，早在 1959 年，河北地质局就专门在河北省迁安地区开展了勘探工作，探明工业储量达 1.5 亿吨，占全省总储量的 55%以上。2012 年 8 月，中国冶金地质总局第一地质勘查院秦皇岛分院对比较好的矿区进行了详查，总面积 0.586 km<sup>2</sup>，探明资源储量 300 万吨，整体估算储量达 2000 万吨以上。

河北省秦皇岛市华伟能源开发有限公司落户于卢龙县工业园区，主要从事油页岩开采、炼油、发电、残渣综合利用，是一家综合开发利用油页岩资源的民营股份制企业。现已建设完成了 2 座油页岩生产井和一座通风井，具备采矿生产条件。

卢龙县油页岩品质较好，其含油率为平均为 8.54%，水分平均 2.33%。从其页岩油品分析来看，页岩油密度 0.89kg/m<sup>3</sup>，是国内页岩油品质最好的。2015 年，受华伟能源开发有限公司委托，“中心”开展了卢龙县油页岩基础特性及干馏炼油的研究，并在建设的 100kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台上，对其油页岩开展了工程化验证实验。

但试验结果表明，卢龙县油页岩不适宜采用气体热载体干馏炼油技术。这是因为在 100kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台上试验时发现，卢龙县油页岩热破碎现象极为严重。当油页岩受热至 350℃以上时就开始热破碎，且到 500℃时，在炉内的油页岩已经完全破碎为细颗粒，影响了干馏炉冷、热瓦斯布气。严重时，冷、热瓦斯气已无法通过现有炉内布气孔送入炉内。

鉴于此，经与华伟能源开发有限公司商讨，放弃了该页岩采用气体热载体干馏技术方案，决定采用东北电力大学具有自主知识产权的“油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺(ZL200710055610.1)”、“油页岩气固体热载体干馏及半焦燃烧发电一体化工艺(ZL201210462871.6)”等专利技术，开展油页岩固体热载体干馏工程。

2015 年 10 月，公司委托中国重型机械研究院有限公司、陕西冶金设计研究院有限公司对秦皇岛市华伟能源开发有限公司“40 万吨油页岩综合利用基地系统工程示范项目”

开展了可行性研究。

#### **(4) 1000 吨/天油页岩干馏炉关键技术工程化验证实验**

“中心”承担了中国石油工程建设公司吉林设计分公司委托的“1000 吨/天油页岩干馏炉关键技术研究”和“油页岩干馏循环瓦斯加热炉关键技术研究”项目过程中，在 100kg/h 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台开展了相应油页岩的干馏试验，取得了良好效果，从工程化方面验证了 1000 吨/天油页岩气体热载体干馏炼油的可行性，也为大容量油页岩气体热载体干馏炉的设计提供了理论依据。

### **(三) 油页岩固体热载体干馏共性关键技术**

油页岩固体热载体干馏技术是另一种重要的油页岩干馏技术，主要处理小颗粒油页岩及粉末页岩。国外油页岩固体热载体干馏炼油技术比较先进，以德国-爱沙尼亚(E280)、爱沙尼亚葛洛特(Galoter)和澳大利亚塔瑟克炉(Taciuk，简称 ATP)为代表，单台干馏炉最大日处理量可达 6000 吨，油收率高达 90%以上。而国内除抚顺引进的澳大利亚塔瑟克炉以外，几乎空白。

针对国内油页岩固体热载体干馏炼油现状，以具有创造性的自主知识产权的发明专利“油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺”(ZL200710055610.1)和“油页岩气固热载体干馏及半焦燃烧发电一体化工艺(ZL201210462871.6)”等多项自主技术为依托，在建设的 2kg/h 油页岩固体热载体干馏炼油小试平台基础上，建设了 100kg/h 油页岩固体热载体干馏炼油中试平台。该平台由固体热载体干馏炉、燃烧半焦喷动床、流化床干燥炉和收油系统(水洗/油洗)系统构成。该平台系统在国内是唯一的。

在该中试平台上，主要开展了两项工程化验证实验。

#### **(1) 甘肃小颗粒油页岩固体热载体工程化验证实验**

实践证明，固体热载体干馏技术是处理小颗粒油页岩干馏炼油最有效的方法，具有出油率高、油页岩资源利用率高等优点。

为解决甘肃油页岩小颗粒的干馏炼油问题，“中心”承担了甘肃乔氏油页岩综合利用有限公司委托的“甘肃小颗粒油页岩固体热载体干馏设备开发”项目。针对甘肃油页岩，先后建立了回转装置内颗粒运动及混合冷态实验装置及油页岩固体热载体热态干馏试验装置，研究了转速、粒径、停留时间等不同参数下油页岩在干馏炉内混合特性、运动特性及干馏特性，获得油页岩出油率最高时的实验参数工况点。通过不同处理量的小颗粒油页岩固

体热载体干馏验证性试验，掌握了小颗粒油页岩固体热载体干馏技术，解决了国内小颗粒油页岩无法干馏的共性问题。

2014 年，结合试验结果，为甘肃乔氏油页岩有限公司设计开发了国内第一套日处理 200 吨油页岩固体热载体炼油、半焦燃烧一体化装置。

## （2）印度尼西亚油砂固体热载体工程化验证实验

印度尼西亚油砂资源丰富，但由于其特殊性质，不能使用相对较成熟的热水洗法、溶剂萃取法分离以及气体热载体干馏法，而国际上又缺乏成熟的油砂固体热载体干馏工艺，目前未能得到大规模开发。

为实现印尼油砂的干馏，“中心”受印度尼西亚印大帝集团的委托，围绕印尼油砂全面开展了基础特性、热解特性、燃烧特性、干燥特性、以及油砂固体热载体干馏炼油试验装置上的工程化验证实验，掌握了油砂热灰比例、停留时间等印尼油砂干馏的关键参数。解决了印度尼西亚油砂固体热载体干馏的关键技术问题。

以此为基础，“中心”为印度尼西亚印大帝集团设计开发了国际上第一套日处理 100 吨油砂固体热载体炼油、油砂半焦燃烧一体化装置，填补了油砂固体热载体干馏炼油空白。

## （四）油页岩干馏页岩油气相态分离工艺

在油页岩干馏炉出口的油气中，夹带很多粉尘进入冷凝回收系统，冷凝后的页岩油中仍会含有细粉尘，大大影响了页岩油的质量。更有甚者，油气中的粉尘随着页岩油的冷凝，形成油泥，会导致冷凝回收系统的堵塞，从而影响整个干馏装置的正常运转，甚至停工。

现有油气冷凝回收系统的第一级为水洗，为节约水资源，提高页岩油质量，“中心”以具有创造性的自主知识产权的发明专利“油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺”（ZL200710055610.1）和“油页岩气固热载体干馏及半焦燃烧发电一体化工艺（ZL201210462871.6）”等多项自主技术为依托，建设了油页岩干馏油洗油中试平台。通过大量实验，掌握了干馏页岩油气相态分离的关键参数，证明了本工艺能够高效的分离出页岩油气中的页岩灰，大大提高了页岩油的质量；突破传统水洗页岩油收油工艺，节约大量水资源，减少常规污水处理量，降低含油污水对环境的污染。解决了现有油页岩干馏油气冷凝回收系统中粉尘难以分离，页岩油损失的共性问题。

该工艺已应用于汪清县龙腾能源开发公司冷凝回收系统的改造，减少油泥，减少页岩油损失，另外由于减少了回收系统油泥生成量，延长了回收系统运行时间。分离装置设计简单，巧妙，分离效果明显，技术应用见效快，建设实施投资小，易于检修、维护，

适用于老旧技术的改造。

## 研究方向 2：大容量油页岩及油页岩半焦循环流化床燃烧关键技术

### （一）油页岩半焦循环流化床燃烧技术

实现油页岩有效利用，油页岩及半焦循环流化床锅炉是关键，它起到上承干馏下启灰渣利用的作用。无论油页岩气体热载体还是固体热载体炼油过程中都会产生大量的半焦，对环境污染严重且难于直接利用。目前，世界上尚无油页岩半焦循环流化床锅炉商业应用实例。

为解决油页岩半焦的燃烧利用难题问题，突破油页岩综合利用的瓶颈，“中心”长期以来针对油页岩及半焦循环流化床燃烧技术开展了全面研究，先后建立了 40kW、1MW 循环流化床燃烧试验装置，在国内率先提出了油页岩和半焦混烧技术方案，创新性地提出了油页岩半焦与生物质混烧技术方案，开展了半焦与油页岩混合物、半焦与生物质混合物、半焦与烟煤混合物的流化燃烧试验，掌握了半焦流化床燃烧特性。通过在不同容量循环流化床燃烧试验装置上的验证性试验，解决了低热值、高灰分油页岩半焦燃烧共性问题。

“中心”利用油页岩半焦循环流化床燃烧技术对自主研发的国际上首台桦甸“65t/h 低倍率油页岩循环床电站锅炉”进行了技术改造，率先开展了半焦燃烧发电运行实践，实现了半焦稳定燃烧发电。同时，该技术还成功应用于甘肃乔氏油页岩综合利用有限公司小颗粒油页岩固体热载体干馏工艺中油页岩半焦的燃烧。

### （二）油砂及油砂半焦混合燃烧炉

油砂及油砂半焦在热值、粒径分布、灰渣特性等方面与油页岩、煤有较大区别，不能直接使用油页岩半焦的流化燃烧技术，国内外均无油砂半焦燃烧的成型产品。

为了充分利用印度尼西亚油砂半焦，为油砂固体热载体干馏提供热量，实现油砂的高效、经济、洁净利用，“中心”承担了印度尼西亚印大帝集团委托的“印度尼西亚印大帝集团油砂及油砂半焦混合燃烧炉开发设计”项目，在 40kW、1MW 循环流化床燃烧试验装置上，围绕着印尼油砂及半焦开展了燃烧试验，掌握了低热值、窄筛分油砂及半焦流化燃烧特性，获得了合理的流化床操作参数，开发了国际上第一台油砂及油砂半焦混合燃烧炉，通过验证性试验解决了低热值、窄筛分印度尼西亚油砂半焦燃烧的关键技术问题。

油砂及油砂半焦混合燃烧炉已于 2016 年在印度尼西亚成功投运，产生 850℃ 固体热载体 30t/h，满足了油砂干馏需要，运行效果良好。



### （三）油页岩干馏循环瓦斯加热炉关键技术

循环瓦斯加热炉是油页岩气体热载体干馏工艺中的重要设备。现有蓄热式加热炉为间断式操作，使进入干馏炉的热循环瓦斯气温度在 550~750℃ 范围内变化，由此造成干馏炉内温度周期变化，导致整个装置运转不稳定而影响油收率。

为了给大型气体热载体干馏炉提供稳定的热循环瓦斯，“中心”承担了中国石油工程建设公司吉林设计分公司委托的“油页岩干馏循环瓦斯加热炉关键技术研究”项目，在循环流化床实验装置上开展了低热值页岩半焦与瓦斯气混烧加热实验，建立油页岩干馏循环瓦斯管式加热炉实验装置，开展了循环瓦斯管式加热炉材料选择实验，通过循环流化床燃烧和管式加热炉的验证性实验，掌握了油页岩半焦流化燃烧循环瓦斯加热工艺（ZL201410839156.9），成功解决了现有油页岩气体热载体干馏工艺中热循环瓦斯温度不稳定及需要外加热源的共性问题。

针对中国石油工程建设公司吉林设计分公司“1000 吨天油页岩干馏炉及配套设备研发”项目，开发了与 1000 吨/天瓦斯全循环干馏炉配套的循环瓦斯管式加热炉，提供 700℃ 的热循环瓦斯做为油页岩干馏的热源。经中国石油工程建设分公司组织验收，认为该技术填补了管式加热炉在油页岩行业没有应用的空白。

### 研究方向 3：油页岩炼油、半焦发电一体化关键技术与优化

目前，油页岩开发利用主要技术路线，一是干馏炼油，二是直接燃烧发电。但受传统行业经济的约束，主要还是单一利用，只重视提高炼油效率或者只重视提高发电效率，而轻视甚至忽视综合利用和循环经济效益。这不仅造成油页岩能源、资源上的严重浪费和环境上的严重污染，更主要的是阻碍了油页岩工业的发展。

“中心”在总结国内外油页岩干馏炼油和燃烧发电经验的基础上，创造性地提出了集油页岩干燥、加热、炼油、半焦燃烧一体化工艺（ZL201210462706.0），把气体热载体干馏技术、半焦燃烧瓦斯加热技术及半焦燃烧发电技术有机结合为一体。将油页岩既作为能源转化为页岩油和电力，又作为资源转化为建筑材料和其它材料，实现无固体废物排放的全面综合利用。具有收油率高(90%以上)，半焦有效利用等优点。“中心”承担了汪清龙腾能源开发有限公司委托的“油页岩高效炼油发电综合利用技术”项目，与汪清龙腾油页岩有限公司共同建立了 100kg/h 气体热载体干馏炉及相应的油页岩半焦燃烧瓦斯加热炉，开展该系统的中试工作。试验表明，开发的油页岩气体热载体干馏炉结构合理，布气均匀，供热充足，热解干馏充分，半焦含油率低，克服了干馏炉内烧油现象，综合干馏收油率高，避

免了油气损失。做到了全资源高效综合利用，解决本行业油页岩干馏炼油、半焦燃烧瓦斯加热及半焦燃烧发电的综合利用集成及单一油页岩炼油半焦对环境污染的共性问题。

2015 年，“中心”与汪清龙腾能源开发有限公司联合开发的“油页岩高效炼油综合利用新技术”经中国高科技产业化研究会组织科技成果评价会认为，该油页岩综合利用技术具有集成创新性，居国内领先水平。

### **“中心”积极开展国内外学术交流与合作活动**

2014 年 7 月，“中心”组织召开了油页岩综合利用教育部工程研究中心 2014 年油页岩技术交流会，有近 30 个油页岩企业参加了会议，对油页岩相关技术进行了研讨交流，本次交流会得到了与会企业的一致好评。

2014 年 7 月，协助吉林省教育厅组织召开了长白山学术论坛——吉林省油页岩产业化发展技术研讨会。

2014 年 8 月，协办了第二届“可再生能源与环境技术”(REET 2014)国际会议，总参会人数 390 人，其中境外人数 17 人。

2017 年 07 月参加“2017 第三届低阶煤清洁高效利用技术与产业发展高层论坛”，王擎教授受邀做了题为“中国油页岩发展技术瓶颈及解决思路”的大会报告。

2018 年 12 月，作为协办单位，与吉林大学共同举办第三届国际油页岩勘探开发利用学术研讨会，来自中国、俄罗斯、澳大利亚、英国、马来西亚和蒙古等国的 140 余名代表参加了本次国际会议，秦宏教授在会上做了主题报告。

此外，“中心”人员还参加了多项国际、国内会议，如 2014 年中国吉林大学的第二届国际油页岩勘探开发利用技术学术研讨会，2014 年美国的第三十四届国际油页岩会议；2016 年爱沙尼亚塔林大学的国际油页岩会议，2016 UKACC 11th International Conference on Control，中国工程热物理学会各分会年度会议等。

通过主办、协办、参加学术会议，积极开展学术交流与合作活动，向国内外展示了“中心”各研究方向的标志性技术成果及水平，不断增强“中心”对行业、区域发展的影响力。

## **2. 工程化典型案例实施进展，对产业技术进步与核心竞争力的提升作用、影响与效益贡献**

油页岩是一种重要的能源资源，油页岩开发利用一是干馏炼油，二是直接燃烧发电。中心以油页岩综合利用高技术创新为主导，以油页岩干馏炼油为核心，以油页岩及废弃物

燃烧发电为关键，以灰渣高效综合利用关键技术研究为协调发展，强化成果转化与工程服务，最终成为油页岩综合利用高新技术产业化研发应用基地。中心围绕“油页岩清洁高效综合利用”这个核心研究主题，从“先进的油页岩干馏炼油技术”、“大容量油页岩及油页岩半焦循环流化床燃烧关键技术”、“油页岩炼油、半焦发电一体化关键技术及优化”三个方面开展工程化和产业化工作，主要进展如下：

### **研究方向 1：先进的油页岩干馏炼油技术的研究**

和国外油页岩干馏技术相比，国内油页岩干馏技术与工艺相对落后。国内油页岩干馏主要采用抚顺式内燃干馏技术，干馏炉处理量低，单台干馏炉处理量为 100t/d，油收率 65% 左右。而国外油页岩干馏炉处理量大，油收率高，如巴西油页岩气体热载体干馏炉单台处理量为 5000t/d，油收率达 90%；爱沙尼亚油页岩固体热载体干馏炉单台处理量为 6000t/d，油收率达 90%。基于此开展先进的油页岩干馏炼油技术攻关，主要研究内容包括：

#### **(1) 大容量油页岩气体热载体干馏装置的研发(500-1000t/d)**

以具有创造性的自主知识产权的发明专利“一种油页岩干燥、加热、炼油、半焦燃烧一体化工艺(ZL201210462706.0)”、“一种干排焦气体热载体油页岩干溜工艺(ZL20141083837.7)”、“一种油页岩干馏页岩油气相态分离工艺(ZL201410577981.6)”、“一种微波吸附油页岩干馏瓦斯轻质油的回收工艺(ZL201410703623.5)”、“油页岩半焦流化燃烧循环瓦斯加热工艺(ZL201410839156.9)”和“油页岩半焦流化燃烧热管式循环瓦斯加热炉(ZL201410842705.8)”等多项专利技术依托，“中心”创造性地设计发明出一种全新结构的瓦斯循环油页岩气体热载体干馏炉，克服现有技术的局限性。提出一种结构合理，干馏流程短，应用范围广，处理能力大，干馏效率高的易于大型化的油页岩气体热载体干馏炉。解决了现有干馏炉因干馏段温度不均而导致的干馏效率低以及湿半焦难以利用且污染环境的共性问题。

以此技术为基础，为汪清县龙腾能源开发有限公司 200 万吨低品位油页岩干馏炼油发电三期扩建项目，设计开发了日处理能力为 500t/d 的油页岩气体热载体干馏炉。

2014 年开始与吉林汪清龙腾油页岩有限公司共同开发日处理油页岩 500 吨气体热载体干馏炉及相应的油页岩半焦燃烧瓦斯加热炉。2015 年在东北电力大学建设了日处理 100kg 气体热载体干馏系统中试装置，全面开展了汪清油页岩气体热载体干馏中试研究，并通过了技术鉴定会。在中试试验基础上，2016 年，开展了日处理油页岩 500 吨气体热载体干馏炉及相应的油页岩半焦燃烧瓦斯加热炉的设计工作，完成了汪清县龙腾能源开发

有限公司建设 2 台日处理油页岩 500 吨气体热载体干馏炉及相应的系统的可行性报告，为该公司 200 万吨低品位油页岩干馏炼油发电三期扩建项目提供基础。

开发处理能力为 500t/d 的气体热载体干排焦干馏炉，在大幅度提高干馏炉单炉处理能力的同时兼具如下先进技术：1) 通过新型循环瓦斯布气结构，干馏供热充足、均匀，油页岩干馏完全，干馏产油率达到 98%以上，干馏炉排出的半焦中油含量降低到 0.1%以下；2) 通过新型干馏炉底排焦装置排出热干半焦，在排半焦时可有效防止干馏瓦斯跑冒，避免污染环境。排出的热半焦破碎后直接作为流化床加热炉的燃料，为干馏循环瓦斯供热，也可用于产汽、发电；3) 通过炉顶新型放料插板阀，可有效防止干馏炉顶部向炉内漏空气，可防止烧油现象发生。

同中国石油工程建设公司华东设计分公司合作，设计开发处理能力为 1000t/d 的气体热载体干排焦干馏炉，经中国石油工程建设分公司组织验收，认为该技术成果为国内首创。

## (2) 山东龙福抚顺式干馏炉技改工程

我国页岩油工业始于 1928 年，新中国成立后发展迅速。国内主要采用抚顺式干馏炉进行油页岩干馏炼油。全国现有已投产的此类油页岩干馏炼油企业 18 家，共有 100 吨/日抚顺式干馏炉 582 台，年利用块状油页岩(15-100mm)1600 万吨，产油 80 万吨。抚顺式干馏炉炼油主要存在以下 10 个问题，即① 油收率较低，仅达到 70%左右；② 烧油现象严重，油资源浪费；③ 布气温度波动大，影响干馏效率；④ 干馏炉布气不均，干馏不完全；⑤ 炉出口干馏气温度低，影响产油率；⑥ 湿法除焦，半焦含水率高；⑦ 内燃式干馏，半焦热值低；⑧ 产生的气体热值不高；⑨ 冷凝回收系统和设备庞大，冷却用水量多，回收效率低；⑩ 臭味严重。且更重要的是油页岩干馏后的半焦(残渣)都没有利用。

为解决上述问题，山东龙福油页岩综合利用有限公司依托东北电力大学气体热载体干馏试验平台开展龙口油页岩中试试验，在此基础上，东北电力大学以具有创造性的自主知识产权的发明专利“一种油页岩干燥、加热、炼油、半焦燃烧一体化工艺(ZL201210462706.0)”、一种易于大型化的油页岩气体热载体干馏炉(ZL201410839606.4)、油页岩半焦流化燃烧循环瓦斯加热工艺(ZL201410839156.9)为技术依托，提出了抚顺式油页岩干馏工艺技改技术，旨在提高能源和资源利用率、减少环境污染，实现经济效益最大化。

技术方案为单台炉改造方案和一组炉(20 台)改造方案。其目的是：

① 将现有抚顺式内燃式气体热载体干馏型式改为纯气体热载体干馏型式，即改造后的干馏炉不再有半焦燃烧的发生段；

② 全面解决抚顺炉涉及到的环境污染问题——固、气、液、味；

③ 提高炼油效率和油收率。油收率提高至 85%以上；

④ 采用干排焦技术，将干馏炉现有的利用水盆的湿式排渣方式改为干式排渣方式，即改造后的干馏炉不再有干馏炉下方的水盆，提高半焦热值，实现半焦后续利用。

改造后：

⑤ 合理布置全新的气体热载体干馏炉布气装置，炉内温度均匀，热破碎程度低。新工艺的出油率可达铝甄含油率的 98%以上。回收系统工艺先进，干馏系统综合油收率达到 85%以上，比原回收系统油收率 70%增加约 15%（单台炉小时增加油产量为 90kg）；

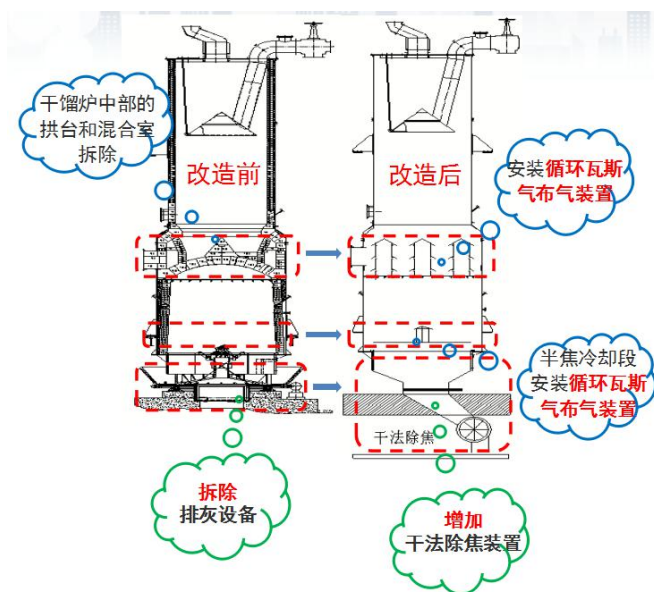
⑥ 半焦中的铝甄含油率平均为 0.24%，比抚顺式干馏炉干馏过程完全。

⑦ 干法除焦，水分低于 2%。生产的半焦可以直接作为循环流化床锅炉的燃料；

⑧ 进入加热炉前的循环瓦斯中可燃气体的含量约为 75%，干馏瓦斯气体热值高达 22.47MJ/Nm<sup>3</sup> 以上，平均比热为 9.01cal/(mol·℃)；

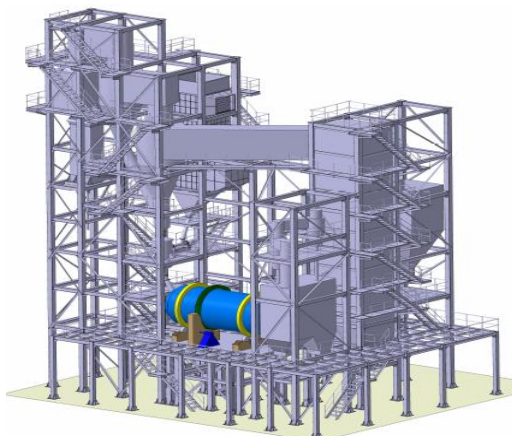
⑨ 干馏试验所得页岩油的 350℃ 的馏出量为 65.3%，高于抚顺式干馏炉所得到的龙口页岩油和抚顺页岩油的馏出量。

2017 年初，技术方案通过了专家评审，与会专家一致认为：龙口油页岩采用气体热载体干馏及干排半焦技术是可行的，油收率可达 90%以上，为龙口油页岩采用该气体热载体干馏技术提供了依据。针对抚顺式干馏技术所存在的油收率低和环境污染等问题，采用具有自主知识产权的专利技术，提出了单台抚炉改造方案。该方案安全、科学、合理、环境友好，通过单炉改造示范，将为后线抚顺式干馏系统全面改造奠定基础，示范意义重大。采用集干燥、干馏、干排焦、半焦燃烧瓦斯加热、油洗尘一体化技术提出的龙口抚顺式干馏系统改造具有创新性和先进性。该技术具有自主知识产权，可实现油页岩气体热载体干馏、半焦燃烧供热一体化利用，满足环保安全要求，应用前景广阔，对推动我国油页岩干馏炼油产业的发展具有重大意义。



### (3) 油页岩固体热载体干馏装置的研发

针对现有的油页岩干馏炉只能干馏大颗粒油页岩(一般大于 8mm),造成对小颗粒油页岩的浪费的现象,率先提出了将油页岩半焦循环流化床锅炉与固体热载体干馏技术有机结合为一体的油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成技术与理论,论证了油页岩固体热载体干馏炼油的可行性。



为甘肃乔氏油页岩开发有限公司设计开发了国内第一套日处理 200 吨油页岩固体热载体干馏装置;

为印尼印大帝集团设计开发了国际上第一套日处理 100 吨油砂固体热载体炼油装置。

### 研究方向 2: 大容量油页岩及油页岩半焦循环流化床燃烧关键技术

实现油页岩有效利用,油页岩及半焦循环流化床锅炉是关键,它起到承上启下的作用。油页岩气体热载体干馏炼油中,15mm 以下颗粒无法利用,这部分页岩占油页岩开采总量的 25%左右,如不加以利用,资源损失巨大。同时,无论油页岩气体热载体还是固体热载

体炼油过程中都会产生大量的半焦，对环境污染严重且难于直接利用。本方向通过解决油页岩半焦燃烧关键技术，以解决油页岩有效利用的瓶颈。

### (1) 新型半焦循环流化床锅炉的设计方法的研究与开发

油页岩半焦循环床锅炉目前国内外均无此种产品，属国际前沿课题，其难度在于：半焦是油页岩炼油后的灰渣，其发热量很低，而挥发分几乎为零，因而不易着火，不易稳燃，不易燃尽，而技术上要求锅炉不仅要稳定燃烧发电，而且灰渣含炭量要尽可能低( $\leq 5\%$ )。基于油页岩及半焦基础燃烧及半工业化流化燃烧实验研究，通过详细总结我们设计开发的国内第一台桦甸 65t/h 油页岩低倍率循环床电站锅炉，以及燃煤锅炉的运行经验，提炼出油页岩及半焦循环流化床锅炉设计方法，开发了设计计算程序。为验证循环流化床设计程序的正确性，对四台已成功运行的不同燃料、不同容量的燃油页岩及燃煤循环床锅炉进行了验证，这四台循环流化床锅炉不同燃料、不同容量分别是：“65t/h 桦甸油页岩循环流化床锅炉”“南定电厂 465t/h 循环流化床锅炉”，“吉林东关热电厂 220t/h 循环流化床锅炉”以及“青海盐湖 250t/h 循环流化床锅炉”。从程序对四台现已成功运行的循环流化床锅炉热负荷分配以及受热面传热面积与原设计值比较的情况来看，不管是大容量的南定电厂 465t/h 循环流化床锅炉还是容量较小的 65t/h 桦甸油页岩循环流化床锅炉，不管是燃煤锅炉还是燃烧油页岩的循环流化床锅炉，程序对锅炉的验证都基本上是符合原设计值的，微小的差别反映了具体参数选择上的不同。因此完全有理由相信该程序是可以用来设计油页岩及其半焦循环流化床锅炉。

在此基础上，发明了“油页岩半焦流化燃烧循环瓦斯加热工艺(ZL201410839156.9)”和“油页岩半焦流化燃烧热管式循环瓦斯加热炉(ZL201410842705.8)”。基于此专利技术，与江西江联能源环保股份有限公司合作，设计开发了汪清油页岩半焦流化燃烧循环瓦斯加热炉。该炉主要为两台日处理油页岩 500 吨气体热载体干馏炉提供循环热瓦斯。

该炉以低热值热半焦为主要燃料，以小颗粒和干馏瓦斯为辅助燃料，将循环瓦斯加热到 650℃ 为干馏炉供热。流化床循环瓦斯加热炉技术解决了以下几个问题：1) 低热值半焦燃烧技术。通过干馏炉排热半焦以及燃烧所需空气深度预热技术使通常难以燃烧的低热值油页岩半焦能稳定燃烧；2) 以小颗粒和干馏瓦斯为辅助燃料，在保证流化床循环瓦斯加热炉供热的时候，将资源全部利用，使资源利用率达 100%；3) 流化床循环瓦斯加热炉长周期稳定运行技术；4) 采用流化床低温燃烧技术，炉膛温度 850-900℃，在减少氮氧化物生成量的同时，利用油页岩中含有的 CaO 进行炉内自脱硫，使烟气中 SO<sub>2</sub> 含量降低到

300mg/Nm<sup>3</sup> 以下，符合加热炉大气污染物排放标准要求；5）流化床加热炉排出的灰渣活性高、无污染，可以用于生产水泥熟料、生产粉煤灰用于商品砼，也可以用于生产其它建材、回填，不污染环境。

同时，为印尼印大地集团设计开发的油砂半焦流化床燃烧炉于 2016 年成功投运。这为国际上第一台燃烧油砂半焦锅炉。

## （2）北票 35t/h 燃煤流化床锅炉燃用油页岩小颗粒技术改造

随着石油价格的回升，停产两年多的北票北塔油页岩综合开发有限公司油页岩干馏炼油又重新启动。公司现拥有抚顺式干馏炉 152 台，每天消耗油页岩炼油为 2.4 万 t，入炉块油页岩颗粒径 18~50mm。由于采矿及油页岩破碎，每天产生 7000-8000t 颗粒径小于 18mm 的小颗粒油页岩。目前这部分小颗粒油页岩作为废弃物排放。

北票和尚沟发电有限公司隶属于北票北塔油页岩综合开发有限公司，距油页岩干馏厂 10km 处。电厂 1995 年建设，占地面积 2013 m<sup>2</sup>，装机容量为 1 台 12MW 凝汽发电机组配 2 台 35t/h 循环流化床锅炉，锅炉设计燃料为北票和尚沟煤矿的劣质原煤，热值为 8374kJ/kg。全年燃烧劣质原煤 15~17 万吨。锅炉系原东方锅炉厂 80 年代中后期产品，采用的是中科院工程热物理所早期循环流化床技术，即百叶窗加浓缩小旋风分离飞灰，通过面饲方法将收集的飞灰送回床内再燃。该锅炉结构紧凑，带负荷能力较好。

公司现面临着妥善解决油页岩小颗粒的问题。因为如此大量的小颗粒油页岩的堆放不仅占用大块土地，而且还会因自燃而污染大气环境。如能高效、清洁利用油页岩小颗粒，不但解决了存放、污染等问题，而且在大幅度提高公司的经济、环境和社会效益的同时，油页岩可持续发展将得到良好的保证。

为此，公司决定先将电厂两台燃煤 35t/h 循环流化床锅炉改烧油页岩小颗粒，同时考虑新建一台 75t/h 油页岩循环流化床锅炉。

2018 年，北票和尚沟发电有限公司委托东北电力大学对其两台 35t/h 循环流化床锅炉进行改造设计。2018 年末，锅炉点火投运，由此解决了低热值油页岩小颗粒燃烧发电问题（燃料热值 650kcal/kg）。

## 研究方向 3：油页岩炼油、半焦发电一体化关键技术与优化

纵观世界油页岩的利用，大多数为单一炼油或单一发电方式，且受传统行业经济的约束，只重视提高炼油效率或者只重视提高发电效率，而轻视甚至忽视综合利用和发展循环



经济。这不仅造成油页岩能源、资源上的严重浪费和环境上的严重污染，更主要的是阻碍了油页岩工业的发展。

正是基于油页岩综合利用集成技术思想，通过研发新型油页岩气体及固体热载体干馏、半焦燃烧发电一体化技术工艺，提供实现油页岩能源资源高效清洁综合利用关键技术与装置，解决油页岩利用过程中的环境污染问题，为我国油页岩资源高效清洁综合开发利用提供技术支撑，形成具有自主知识产权的原始创新及系统集成技术。本方向首次提出了油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成系统与工艺。该流程工艺为目前世界上最先进的油页岩处理工艺。该技术与德国、爱沙尼亚提出的 Enfit280 技术相似。但东北电力大学的专利早于德国与爱沙尼亚。东北电力大学于 2007 年申请专利，2008 年获实用新型专利，2010 年获发明专利(ZL200710055610.1)。

围绕着油页岩炼油、半焦燃烧发电一体化，“中心”先后获得了多项具有创造性的自主知识产权的发明专利，并在与企业的合作中得以应用。这些专利技术包括：“油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺”(ZL200710055610.1)、“油页岩气固热载体干馏及半焦燃烧发电一体化工艺(ZL201210462871.6)”、“一种油页岩干燥、加热、炼油、半焦燃烧一体化工艺(ZL201210462706.0)”、“一种油页岩集成综合利用方法(ZL201210462795.9)”、“一种易于大型化的油页岩气体热载体干馏炉(ZL201410839606.4)”等。

### (1) 汪清县龙腾能源开发有限公司低品位油母页岩炼油及综合利用项目

针对国内油页岩利用现状，汪清龙腾能源开发有限公司与东北电力大学油页岩综合利用教育部工程研究中心合作，共同研究开发的“油页岩高效炼油综合利用技术”通过国家科技成果评价，其技术水平达到国际先进水平。在此基础上，公司决定开展 200 万吨低品位油页岩干馏炼油发电三期扩建项目。本项目不再采用抚顺式油页岩干馏工艺，而是采用油页岩工业可持续发展的新思路和新生产模式——“油页岩综合利用集成技术与循环经济”的技术经济路线，即将油页岩矿、干馏炼油厂、循环流化床燃烧发电厂和灰渣粉末厂组成一个循环经济联合企业，同时实现油页岩干馏炼油、燃烧发电和灰渣利用。该项目由油页岩气体热载体高效干馏炼油装置、油页岩半焦流化床燃烧循环瓦斯加热装置和含油污水处理装置组成。主要设备包括 8 台处理能力为 500t/d 的油页岩气体热载体高效干馏炉、4 套页岩油气分离回收系统和 4 台油页岩半焦流化床燃烧循环瓦斯加热炉。项目总投资 6.6 亿，原计划项目分两期建设，其中一期工程计划 2016 年开工建设，2017 年底投料试车。二期工程 2018 年开始建设，2019 年底投料试车。但由于国际石油危机，建设时间表尚不确定。

油页岩高效炼油及综合利用建设项目的技术依据是汪清县龙腾能源开发有限公司与东北电力大学油页岩综合利用教育部工程研究中心联合研究开发的油页岩高效炼油综合利用技术，使油页岩干馏炼油技术达到一个全新水平，该技术具有以下先进性：

A、油页岩干馏炼油装置大型化，开发出处理能力为 500t/d 的气体热载体油页岩干馏炉和配套的低热值半焦流化床燃烧循环瓦斯加热炉，并可根据工业化经验进一步开发出更大处理能力的油页岩干馏炉，在处理能力上达到世界先进水平。

B、开发出新型流化床循环瓦斯加热炉。该炉以低热值热半焦为主要燃料，以小颗粒和干馏瓦斯为辅助燃料，将循环瓦斯加热到 650℃ 为干馏炉供热。

C、采用先进适用的油回收工艺和设备，节水节电降低系统能耗，将油高效分离回收下来，系统综合收油率达到 90% 以上，降低了循环瓦斯中的含油量，为流化床循环瓦斯加热炉长周期稳定运行提供基本保障。

D、干馏污水处理系统，干馏装置产生的含油干馏污水收集后经处理，产生的氨水可以作为产品外售，处理后的清水作为循环水补充水再利用，少量废渣随半焦一起送入加热炉烧掉。

E、综合收油率达到 90% 以上，油页岩资源利用效率大幅度提高，达到国内领先、国际先进水平；

D、干馏炉干排渣、小颗粒和干馏瓦斯作为加热炉燃料，实现了资源 100% 完全利用和循环利用；环保清洁生产，三废排放符合国家环保要求；项目良好的经济适用性

油页岩高效炼油及综合利用技术具有油页岩干馏炼油原料消耗少，生产成本低和适用性强的优点，与目前汪清油页岩抚顺式干馏炉技术炼油比较，有以下具体优点：

A、生产吨页岩油矿石消耗少，原料成本低。汪清油页岩综合品位为 5.3%，抚顺式干馏炉炼油矿石单耗为 29.03t/t，而本技术炼油单耗为 20.96t/t 油，矿石消耗减少 8.06t，按吨油页岩单价 60 元/吨计算，吨页岩油产生原料费用减少 483.8 元，按全部装置投入运行年产页岩 6.41 万吨计算，每年可减少生产成本 3101 万元。

B、加热炉装置为连续供热行装置，与抚顺式干馏炉技术比较，可连续稳定长周期运行，运行维护费用低。

C、油页岩半焦和小颗粒经流化床加热炉燃烧后，排出的灰渣可以用于生产水泥熟料等建材的原料，可进一步增加项目的经济效益。

D、良好的技术适用性：本技术是以汪清 5.3%左右的低品位油页岩为原料研究开发的，适用于低品位油页岩干馏炼油，也适用于中高品位油页岩干馏炼油。国内油页岩资源大多为 6%左右中低品位资源，所以本技术的适用范围宽，适用性强，在国内本行业内具有良好的推广应用前景。

E、干馏炉采用气体热载体干馏技术，炉内无半焦燃烧，易于放大。可为今后单台炉日处理油页岩 3000 吨到 6000 吨提供技术支撑。

## **(2) 山东龙福油页岩综合利用有限公司**

山东龙福油页岩综合利用有限公司现建有 40 台抚顺式干馏炉，已形成了年处理油页岩 120 万吨，产油 11 万吨、半焦 70 万吨、瓦斯发电 5000 万度的生产能力。但由于油页岩干馏采用抚顺式干馏炉，其存在的主要问题有油收率较低，仅达到 70%左右；烧油现象严重，油资源浪费；布气温度波动大，影响干馏效率；布气不均，干馏不完全；炉出口干馏气温度低，影响产油率；湿法除焦，半焦含水率高；内燃式干馏，半焦热值低；产生的气体热值不高；冷凝回收系统和设备庞大，冷却用水量多，回收效率低；臭味严重等问题，故有必要采用先进技术开展改造工作。为此，东北电力大学针对龙口生产实际，以具有创造性的自主知识产权的发明专利“一种油页岩干燥、加热、炼油、半焦燃烧一体化工艺(ZL201210462706.0)”、一种易于大型化的油页岩气体热载体干馏炉(ZL201410839606.4)、油页岩半焦流化燃烧循环瓦斯加热工艺(ZL201410839156.9)为技术依托，提出了抚顺式干馏炉技改工程技术方案。技术方案为单台炉改造方案和一组炉(20 台)改造方案。

本技改的主要目的是：

- ① 全面解决抚顺炉涉及到的环境污染问题——固、气、液、味；
- ② 提高炼油效率和油收率。油收率提高至 85%以上；
- ③ 采用油洗油技术，减少冷凝系统用水量，降低污水处理难度；
- ④ 采用干排焦技术，提高半焦热值，实现半焦后续利用。

### **单台技改方案总体考虑：**

- ① 在现有停运的二段炉的 20 台抚顺式干馏炉中选择一台炉进行改造；
- ② 抚顺式内燃式气体热载体干馏型式改为纯气体热载体干馏型式；
- ③ 对应该台干馏炉地下的现有除焦输送皮带进行局部改造；
- ④ 新建一台循环瓦斯加热炉，其中，瓦斯加热炉所需的燃烧瓦斯取自正在运行的一段炉的剩余瓦斯；

⑤ 新建一套配套的冷凝回收系统。该冷凝系统包括油收油装置、间接冷凝器、旋捕等重要装置；

⑥ 形成一套独立的集油页岩干馏、循环瓦斯加热、冷凝回收为一体的全新系统。

其中，干馏炉改造原则为：

① 上料系统不进行改造，可利用原上料系统；

② 将干馏炉中部的拱台和混合室拆除，采用东北电力大学的循环瓦斯气布气装置(发明专利 ZL201610310054.7)。其特点是**多组、多层、多点的布气装置**，目的可使热载体在干馏炉内分布平衡，保证干馏炉同一截面温度相同，确保干馏效果；

③ 干馏炉下半部改为半焦冷却段，同样采用相同的循环瓦斯气布气装置；

④ 拆除原干馏炉底部的排灰设备(排灰器、风头及灰皿)。这样炉底不再通入空气和水蒸汽，炉内下半部不再进行燃烧和气化反应。由此就不再有空气进入炉内，也就不再有烧油和结焦的问题发生，从而可提高干馏炉的油出率；

⑤ 在拆除排灰设备位置，增加干法除焦装置。在此处布置推焦机及特殊设计的密封装置，并同时能形成一个半焦的缓冲仓。这样在实现干排焦的同时，保证良好的密封，避免空气进入炉内。(发明专利：一种易于大型化的油页岩气体热载体干馏炉(ZL201410839606.4))。

改造后的干馏炉与抚顺式干馏炉相比，其优点主要体现在：

① 干馏炉中未发生燃烧气化反应，无烧油现象。油页岩的固定碳完全保留在半焦中，半焦热值高。

② 采用新型布气装置，炉内布气均匀，布气温度平稳，干馏效率高，出油率可达铝甄含油率的 98%以上

③ 采用新型布气装置，炉内半焦冷却效果好，有利于回收半焦显热。

④ 采用半焦干排装置，实现干法排焦。所排出的半焦水分含量小于 2%，有利于后期的半焦的燃烧利用。

⑤ 干馏过程中无空气进入干馏炉，瓦斯气中没有被 N<sub>2</sub> 及燃烧所产生的 CO<sub>2</sub> 冲稀，瓦斯气热值相对较高。

⑥ 干馏炉出口干馏气温度较高，防止干馏炉内干馏油气在导出过程中因遇到炉顶下来的冷页岩而使部分页岩油冷凝析出及吸附冷油页岩表面现象，提高了页岩油产量和油品质量。

⑦ 由于采用的是纯瓦斯气体热载体干馏，干馏炉出口瓦斯气中 O<sub>2</sub> 的含量较低，可以在冷凝系统中增设静电捕油器，从而增加油收率。（注：根据龙口建议，本改造不设静电捕油器，而用旋捕代替。）

另外，我们同时提出一段 20 台抚顺式干馏炉改为纯气体热载体加热干馏方式，总体考虑如下：

① 将抚顺式干馏炉改为气体热载体干馏炉；

② 拆除原干馏炉底部的排灰设备(排灰器、风头及灰皿)，增加干法除焦装置，实现干法除焦；

③ 新建两台瓦斯加热炉，一备一用。瓦斯加热炉燃料采用干馏炉排出的干半焦和剩余瓦斯；

④ 冷凝系统的集合管不动，但不通入洗涤水，只起到集气作用；

⑤ 冷凝系统的原洗涤饱和塔改为油洗塔；

⑥ 冷凝系统的原间冷塔不动，但需核算，再加一级间冷，解决蜡的凝结问题；

⑦ 系统的原旋捕塔不动，继续使用；

干馏炉地下的冷灰输送装置需要改造，以适应热半焦的输送；

油页岩破碎筛分系统不动。新建油页岩干燥装置；

对现有热瓦斯输送管道进行改造，增加冷循环瓦斯管道。

对以上工程化成果，2017 年元月 11 日，龙矿集团在海湾大酒店三楼会议室，组织召开了“龙福公司抚顺炉改造项目技术报告”专家评审会。专家组认为，该技术具有自主知识产权，可实现油页岩气体热载体干馏、半焦燃烧一体化利用，该抚顺式干馏炉改造技术方案先进、可行。

### **(3) 100 吨/日油砂固体热载体炼油、油砂半焦燃烧一体化装置**

油砂主要是由沥青质、水、富矿黏土和沙粒组成的混合物。其中沥青占 8%~23%(质量分数)。砂和黏土等矿物质在 73%~90%左右。其余部分是水，含量很少大约占总质量的 1%~7%。因此，油砂又称“沥青砂”、“焦油砂”或“稠油砂”。

油砂按照表面湿润性可以分为亲水性和亲油性两类。亲水性的油砂是有水存在于固体颗粒的缝隙中，有一层薄水膜包裹在固体颗粒的外表面，而沥青质又包裹在水膜的外面，从外到内的层次为油，水和矿物质。这种油砂适合采用水洗法将沥青质与矿物质分离；亲油性的油砂沥青质则渗透在固体沙粒的缝隙中，有一层油膜包裹在固体颗粒的外表面，而

水又包裹在油膜的外面，从外到内的层次为水，油和矿物质，因此，要分离此类油砂的沥青质适宜采用溶剂抽提法或者低温干馏。

在油砂的热解干馏方面，世界上还没有非常成熟的技术，但油页岩干馏技术相对成熟，产业化应用较好，所以，油页岩干馏技术可以借鉴参考，以完善油砂的干馏技术。

对于油砂而言，由于其物理特性的特殊性，难于采用气体热载体干馏技术进行干馏炼油，而固体热载体干馏技术将是最佳的选择。

东北电力大学多年从事油砂的研究与应用工作，开发了适用于油页岩、油砂的固体热载体干馏技术与工艺。2013 年，该项成果被印尼印大地集团引进，为其设计开发了国际上第一套日处理 100 吨油砂固体热载体炼油、油砂半焦燃烧一体化装置，填补了油砂固体热载体干馏炼油空白。2016 年，日处理 100 吨油砂固体热载体炼油、油砂半焦燃烧一体化装置在印度尼西亚调试成功。

东北电力大学油页岩及油砂固体热载体干馏技术是以具有自主知识产权“油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺(ZL200710055610.1)”为技术依托，以半焦燃烧为突破口，将半焦循环流化床锅炉和滚筒固体热载体干馏炉有机的结合为一体组成油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺，提供实现油页岩、油砂能源资源高效清洁综合利用关键技术与装置，实现油页岩、油砂的固体热载体干馏、半焦燃烧发电一体化联合生产，最终实现油页岩、油砂高效全资源利用。

本技术工艺流程见图 1。将油砂原矿 1 经破碎机 2 破碎成 0~15mm 的颗粒，其中一部分油砂颗粒通过皮带送入油砂给料斗 3a，另一部分油砂颗粒通过皮带输送至由氮气密封的螺旋给料机 9b；由螺旋给料机 9b 将油砂颗粒送入密封的混合器 8 中，在混合器 8 中油砂颗粒与来自循环流化床返料装置 7 温度为 750~850℃的循环灰混合，重量混合比为油砂：循环灰为 1：2~3，油砂与循环灰的混合物通过输送管 10 送入滚筒式干馏炉 11 中；在滚筒式干馏炉 11 中油砂和循环灰在滚筒转动过程中充分混合换热，经过 15~30 分钟完成油砂的干馏；温度为 450~550℃干馏产物煤气、页岩油气、半焦进入收集容器 12；在收集容器 12 中，干馏产物煤气、页岩油气和一些细小颗粒物从上部进入旋风分离器 13b 完成气体和固体的分离；由旋风分离器 13b 分离下来的固体颗粒返回收集容器 12，与半焦一起送入滚筒冷渣器 17a；在滚筒冷渣器 17a 中半焦冷却到 70~90℃，再经输送皮带送入半焦给料斗 18b；经旋风分离器 13b 分离后的煤气和页岩油气进入冷凝回收系统 14 冷凝成页岩油 15；分离的不冷凝干馏煤气送入循环流化床锅炉 5，与半焦、油砂一起燃烧或 / 和送

入内燃机 16 直燃发电；循环流化床锅炉 5 燃烧所需要的燃料由油砂给料斗 3a 和半焦给料斗 18b 按比例供给；油砂和半焦通过螺旋给料机 4a 送入锅炉 5 中流化燃烧，燃烧温度在 830~920℃，燃烧过程中，烟气携带的一部分 1.5mm 以下的颗粒进入旋风分离器 6a 进行气固分离，分离后的循环灰的一部分通过循环流化床返料装置 7 返回循环流化床锅炉 5 中，另一部分进入混合器 8 中，半焦和油砂在循环流化床锅炉 5 混合燃烧放出的热量通过锅炉的受热面传递给水，将水加热至过热蒸汽作为外供工质和 / 或送入汽轮机 19 作功发电；锅炉燃烧产生的烟气经除尘器 20 分离下来飞灰（含炭量小于 2%）后，由引风机 21 加压送入烟囱 22 排入大气中。循环流化床锅炉 5 燃烧后的灰渣排入滚筒冷渣器 23b 冷却后与除尘器 20 分离的飞灰送入建材厂 24 作为建材原料。

本技术油砂干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺的优点体现在：

① 将原矿油砂一次性破碎成 0~15mm，该颗粒粒径范围既适应于循环流化床锅炉的燃烧，亦适应于滚筒式干馏炉干馏，它摒弃了现有气体热载体干馏炉需要大块页岩 15~75mm 的缺点，同时也克服了干馏后半焦利用过程的冷却和需要进一步破碎的问题；

② 将页岩半焦循环流化床锅炉和滚筒固体热载体干馏炉有机的结合为一体，油砂干馏时所需的固体热载体直接源于半焦和油砂循环流化床锅炉的循环热灰；而循环流化床锅炉的燃料源于干馏后的半焦及部分原油砂，实现了油砂干馏炼油及半焦燃烧发电同步进行；

③ 循环流化床锅炉运行温度 830~920℃，作为固体热载体的循环灰的温度保持在 750~850℃，且干馏用油砂颗粒 15mm 以下，因此加热油砂速度快，干馏时间短，只须 15~30 分钟；

④ 固体热载体与油砂在滚筒式干馏炉中混合充分，传热效果好，干馏效率高达 95~99%，工艺过程热利用率高；

⑤ 干馏煤气热值高，既可以直接作为燃料送入锅炉内燃烧发电，亦可单独送入内燃机燃烧发电，实现多发电渠道；

⑥ 干馏炉生成的半焦热值高，由滚筒冷渣器排出的半焦为干焦，不需要干燥和破碎，便于输送，有利于循环流化床锅炉燃烧；

⑦ 半焦及油砂混合物在锅炉内燃烧后较大颗粒含碳量低，经床下排出，再经滚筒冷渣器冷却后可直接作用建筑材料原料送到水泥建材厂制水泥、建材厂制陶粒和 / 或建筑砌块；

⑧ 综合利用程度高，成本低，科学合理。

在本发明专利此基础上，东北电力大学又拓宽了油页岩干馏炼油工艺技术路线，发明了“油页岩气固热载体干馏及半焦燃烧发电一体化工艺(ZL201210462871.6)”。



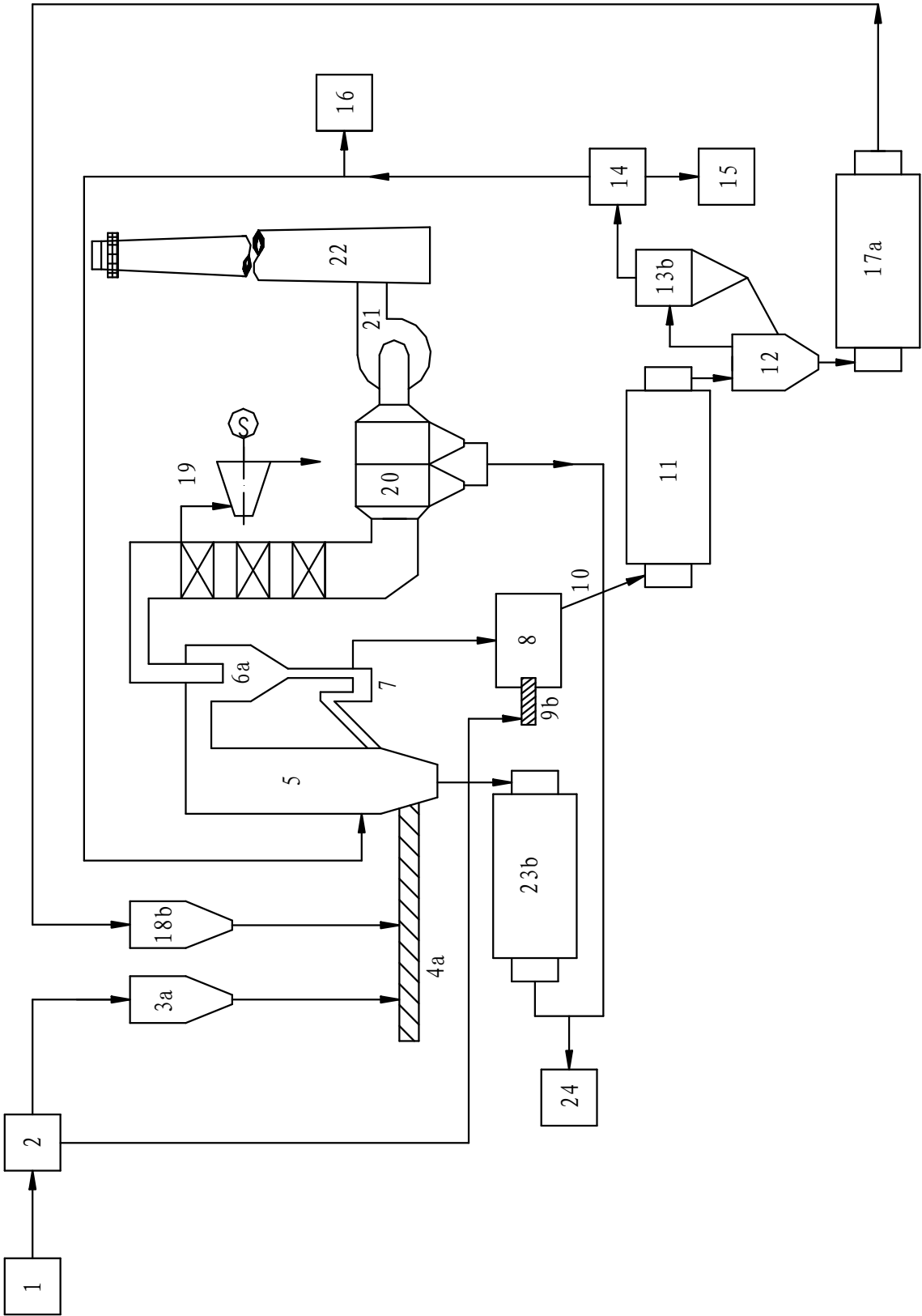


图 3-1. 油砂干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺

### 3. 工程化技术成果转移、转化、辐射、扩散情况及其对行业、区域发展影响力，主持或参与制定国家及行业技术标准与规范情况，对创新驱动发展、经济转型升级的作用与贡献

油页岩综合利用教育部工程研究中心非常重视科技成果的应用工作，在工程化技术成果转移、转化、辐射、扩散及其对行业、区域发展的影响力方面是突出的，对创新驱动发展、经济转型升级的作用与贡献是突出的。

#### (1) 油页岩综合开发利用集成技术

油页岩属于固体化石燃料。在全世界化石燃料中，其储量折成发热量仅次于煤炭而居第二位，折成页岩油 4750 亿吨，为石油可采储量的 5.4 倍。油页岩具有煤炭的物化特性，可直接燃烧，发电、供热均可；又含有油母，可干馏炼制页岩油——人造石油。但纵观世界油页岩的利用，大多数为单一途径，而缺少综合利用。这不但造成资源的严重浪费，且严重污染环境。为此，我们率先提出了油页岩综合开发利用集成技术与循环经济的发展模式，即将油页岩作为能源同时转化为页岩油和电力，又作为资源，将灰渣转化为建筑材料或其它特殊材料，实现无固体废弃物排放的油页岩综合利用。该技术路线以干馏炼油厂为基础，将碎屑页岩和残渣(灰渣或半焦)、低热值煤气作为燃料送入循环流化床锅炉燃烧发电，燃烧后的灰渣送入建材厂制作水泥、砌块(砖)和陶粒。因此，本集成技术不是原来油页岩矿、干馏炼油厂、循环流化床锅炉发电厂和灰渣利用厂四个行业技术的机械式串联组合，而是互应、有机结合为一个产业链；在这个产业链中不追求某一环节的最优化，而求全局经济效益的最大化、环境和社会效益的最优化。

该集成路线得到了油页岩企业的认可。

吉林省汪清县龙腾能源开发有限公司落户于汪清县罗子沟油页岩工业园区，2003 年 7 月成立，主要从事油页岩开采、炼油、发电、残渣综合利用，是国内第一家综合开发利用油页岩资源的民营股份制企业。

自建厂以来，龙腾能源开发有限公司先后建设完成了 6 座油页岩生产井和一座建设井、两部 40 台抚顺式油页岩干馏炉、6 台瓦斯发电机组、2 台 35t/h 油页岩循环流化床锅炉配一台 6000kW 抽凝式汽轮发电机组、6000 万块油页岩炼油灰渣烧结砖生产线及 30 万吨油页岩电厂灰渣粉末等工程。在国内率先初步实现了低品位油页岩采矿、炼油、发电及炼油残渣制建材综合利用产业链，成为我国以抚顺式干馏技术为基础的低品位油页岩综合

开发利用先导示范区，具有创新性、示范性、辐射性及可持续性。

2014 年，按照汪清县龙腾能源开发有限公司的总体战略规划、油页岩资源情况、原矿生产能力和市场需求情况，公司决定建设 200 万吨“低品位油页岩干馏炼油发电三期扩建项目”。

本项目投资总计 7.38 亿元。全部达产后，年处理油页岩 200 多万吨；新建 DWQ-500 型气体热载体干馏炉 8 台，每台干馏炉日处理油页岩 500 吨；新建装机容量 30MW 的小颗粒循环流化床电站锅炉 1 台；新建 120 万吨油页岩灰渣粉末站一座。年产页岩油 7.21 万吨，发电 2.30 亿度，供电 1.84 亿度，油页岩灰渣粉末 120 万吨。

另外，北票北塔油页岩综合开发有限公司现拥有抚顺式干馏炉 152 台，每天消耗油页岩炼油为 2.4 万 t，入炉块油页岩颗粒径 18~50mm。由于采矿及油页岩破碎，每天产生 7000-8000t 颗粒径小于 18mm 的小颗粒油页岩。目前这部分小颗粒油页岩作为废弃物排放。

为妥善解决油页岩小颗粒的问题，公司决定将下属北票和尚沟发电有限公司所拥有的两台燃煤 35t/h 循环流化床锅炉改烧油页岩小颗粒。2018 年，北票和尚沟发电有限公司委托东北电力大学对其 35t/h 循环流化床锅炉进行改造设计。以北票北塔油页岩综合开发利用有限公司炼油生产装置的筛下油页岩小颗粒为燃料，采用东北电力大学油页岩燃烧技术，对北票和尚沟发电有限公司燃煤 35t/h 流化床锅炉技术改造，改造成燃烧油页岩小颗粒的循环流化床锅炉，实现油页岩小颗粒燃烧发电，电厂灰渣全部卖给市区水泥厂。这样就基本实现了油页岩炼油、小颗粒燃烧发电及灰渣综合利用的油页岩综合利用集成技术路线。

## （2）油页岩燃烧发电技术

在油页岩循环流化床燃烧发电方面，“中心”率先在国内开展了油页岩燃烧理论及其工业化应用领域的研究工作，设计开发了我国仅有五座油页岩电站锅炉。1996 年设计开发了我国第一台 65t/h 低倍率循环流化床油页岩电站锅炉，建设了我国第一座油页岩电站——桦甸油页岩示范电厂，为我国油页岩循环流化床锅炉奠定了坚实的技术基础，取得了显著的社会效益和巨大的经济效益。该项成果获吉林省科技进步二等奖。2008 年主持设计开发了我国第二台“65t/h 燃劣质油页岩高低差速循环流化床锅炉”，在湛江遂溪吉电股份有限公司投运，处于国际同类产品先进水平。2009 年获江西省优秀新产品一等奖，2010 年获江西省科技进步二等奖。2010 年主持设计开发了我国第三台“汪清 35t/h 油页岩半焦循环流化床锅炉”。该成果 2010 年获吉林省科技进步二等奖 2010 年，针对山东龙福油页岩

岩综合利用有限公司油页岩干馏炼油筛下小颗粒油页岩，为龙矿集团莱州龙泰发电有限公司燃煤电厂设计开发了一台“130t/h 燃劣质油页岩高低差速循环流化床锅炉”。该成果 2011 年江西省优秀新产品二等奖。2018 年，以北票北塔油页岩综合开发利用有限公司炼油生产装置的筛下油页岩小颗粒为燃料，采用东北电力大学油页岩燃烧技术，对北票和尚沟发电有限公司燃煤 35t/h 流化床锅炉技术改造，改造成燃烧油页岩小颗粒的循环流化床锅炉，实现油页岩小颗粒燃烧发电。

由此可见，“中心”在油页岩燃烧发电的成果转移、转化、辐射、扩散及其对行业、区域发展的影响力方面是突出的，对创新驱动发展、经济转型升级的作用与贡献是突出的。

### **(3) 油页岩干馏技术**

油页岩干馏炼油分地上干馏和地下干馏技术。到目前为止，地下干馏还没有商业化运行，而地上干馏为主流。针对油页岩颗粒而言，地上干馏技术可分为气体热载体干馏技术和固体热载体干馏技术。和国外相比，国内在气体热载体干馏技术和固体热载体干馏技术方面全面落后于国外。为此，结合国内油页岩特性，“中心”重点开展了气体热载体干馏技术和固体热载体干馏技术的研发与应用工作，取得了一定的成绩。

#### **A. 基于气体热载体干馏技术的一体化炼油工艺**

气体热载体干馏技术主要适用于块状油页岩，通常处理颗粒径范围为 15-75mm 油页岩。“中心”科研人员在全面学习、理解、消化国内外油页岩气体热载体干馏技术和运行经验的基础上，基于具有自主知识产权的“一种油页岩干燥、加热、炼油、半焦燃烧一体化工艺(ZL201210462706.0)”、“一种气体热载体干馏炉布气装置(ZL201610310054.7)”、“一种易于大型化的油页岩气体热载体干馏炉(ZL201410839606.4)”、“一种干排焦气体热载体油页岩干溜工艺(ZL20141083837.7)”、“一种油页岩干馏页岩油气相态分离工艺(ZL201410577981.6)”、“一种微波吸附油页岩干馏瓦斯轻质油的回收工艺(ZL201410703623.5)”等多项自主技术，研发了油页岩气体热载体干馏炼油、半焦燃烧加热瓦斯、油页岩及半焦燃烧发电为一体的高效干馏炼油工艺。

该一体化工艺主要特点为：

- ① 干馏炉为纯气体热载体干馏炉，避免了因炉内半焦燃烧供热而烧油及半焦热值降低的问题；
- ② 解决了瓦斯气均匀布气及干馏炉放大问题，单台油页岩处理量可达 500~6000 吨/天；

- ③ 采用干排焦技术，半焦热值提高，实现半焦后续利用；
- ④ 可有效利用半焦流化燃烧从而实现循环瓦斯加热；
- ⑤ 实现油页岩及半焦燃烧发电；
- ⑥ 可有效解决了现有干馏过程固、气、液、味等环境污染问题。

前面所说的汪清县龙腾能源开发有限公司 200 万吨“低品位油页岩干馏炼油发电三期扩建项目”就是采用该工艺。

## **B. 基于固体热载体干馏技术的一体化炼油工艺**

固体热载体干馏技术主要适用于小颗粒油页岩，通常处理颗粒径范围为 0-15mm 油页岩。

“中心”科研人员在全面学习、理解、消化国内外油页岩固体热载体干馏技术和运行经验的基础上，首先提出了油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成系统与工艺。该流程工艺为目前世界上最先进的油页岩处理工艺。该技术与德国、爱沙尼亚提出的 Enfit280 技术相似。但东北电力大学的专利早于德国与爱沙尼亚。东北电力大学于 2007 年申请专利，2008 年获实用新型专利，2010 年获发明专利(ZL200710055610.1)。

同时，基于具有自主知识产权的“油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成工艺”(ZL200710055610.1)、“油页岩气固热载体干馏及半焦燃烧发电一体化工艺(ZL201210462871.6)”、“一种油页岩集成综合利用方法(ZL201210462795.9)”、“一种油页岩干馏页岩油气相态分离工艺(ZL201410577981.6)”等多项自主技术，研发了油页岩固体热载体干馏炼油、油页岩及半焦燃烧发电为一体的高效干馏炼油工艺。

该一体化工艺主要特点为：

- ① 将固体热载体干馏炉与半焦燃烧循环流化床锅炉有机结合为一体；
- ② 解决了半焦燃烧发电问题；
- ③ 解决了小颗粒油页岩高效干馏问题；
- ④ 解决了高温油气相态分离问题；
- ⑤ 可有效解决了现有干馏过程固、气、液、味等环境污染问题。

甘肃乔氏油页岩开发有限公司设计的日处理 200 吨油页岩固体热载体干馏装置及印尼印大地集团日处理 100 吨油砂固体热载体炼油装置就是采用该工艺。

为实现“中心”工程化技术成果转移、转化、辐射、扩散，建设了东北电力大学油页岩工程研究中心研发基地，与印度尼西亚印大帝集团等单位合作建立了 3 个中试基地、与汪

清龙腾油页岩股份有限公司等单位合作建立了 3 个产业化基地，是油页岩清洁高效综合利用的重要基地。

目前在基地正在进行的研发工作有：

1. 中心与蒙古国中央地质实验室、蒙古国永沛泉有限责任公司合作，开展蒙古油页岩干馏炼油燃烧发电技术研发工作；
2. 与山东电力建设第一工程有限公司合作，开展巴西等国高水分褐煤燃烧发电关键技术研究工作；
3. 中心与福建朝旭新能源科技有限公司合作，开展低热值劣质燃料燃烧新技术的开发工作；
4. 与吉林市吉隆科技开发有限责任公司合作，开展木耳菌包废弃物的能源利用开发利用工作。

通过基地的建设，解决油页岩清洁高效综合利用过程中油页岩干馏炼油、半焦（油页岩）燃烧发电、油气中粉尘脱除以及一体化等产业化关键技术问题，建立了具有自主知识产权的生产线，新增产值超万元，产生了良好的经济和社会效益。

由此可见，“中心”在油页岩炼油、半焦燃烧发电等成果转移、转化、辐射、扩散及其对行业、区域发展的影响力方面是突出的，对创新驱动发展、经济转型升级的作用与贡献是突出的。

#### 4. 队伍建设及其水平，高层次创新人才培养质量及其在行业中的影响； 带头人与团队水平对工程中心建设的贡献

“中心”重视科研团队的建设，并组建了一支具有较强工程化、产业化开发能力的多学科交叉的科研团队。“中心”团队 2012 年获批为吉林省高校创新团队，2013 年获批为教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队（2014-2017 年）。2017 年，教育部组织专家组对团队建设进行验收评审，结果为“优秀”，同年获得滚动支持（2018-2020 年）。

评估期间，本团队共引进具有博士学位成员 15 人（引进海外留学回国人员 1 人）。所引进得成员分别毕业于英国南安普顿大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学、天津大学、东南大学、重庆大学、华北电力大学等国内外知名大学。同时评估期内，团队中有 8 位成员被选派赴美国、英国、加拿大等高水平大学进行为期 1 年的访问学习。

目前为止，团队中享受国务院政府津贴 3 人、全国优秀科技工作者 1 人、教育部新世纪优秀人才 1 人、教育部创新团队带头人 1 人、吉林省高级专家 1 人、吉林省长白山学

者特聘教授 1 人、吉林省有突出贡献的中青年专业技术人才 7 人、吉林省拔尖创新人才 6 人、吉林省高校首批学科领军教授 1 人、吉林省新世纪学科建设中青年骨干教师 3 人、吉林省优秀教师 1 人、电力行业优秀教师 1 人。

另外，本团队建设过程中注重与其他团队的合作。近些年，我们通过教育部跃升计划和高端平台建设的合作，和吉林大学形成了很好的团队协作关系。

表 3-1 吉林大学合作团队人员一览表

序号	姓名	性别	年龄	最后学位	所学专业	现从事专业	技术职称	在实验室工作期限
1	邹海峰	男	51	博士	应用化学	应用化学	教授	2009-至今
2	徐学纯	男	60	博士	矿物学岩石学矿床学	矿物学岩石学矿床学	教授	2009-至今
3	甘树才	男	60	博士	应用化学	应用化学	教授	2009-至今
4	盛 野	女	40	博士	应用化学	应用化学	副教授	2009-至今
5	郑克岩	男	44	博士	分析化学	分析化学	副教授	2009-至今
6	季桂娟	女	47	博士	分析化学	分析化学	教授	2009-至今

中心主任简介：王擎，男，1964 年生，博士，教授，博士生导师。吉林省特色高水平专业首席负责人，东北电力大学油页岩综合利用工程研究中心主任。

曾获吉林省长白山学者特聘教授、吉林省有突出贡献的中青年专业技术人才、吉林省拔尖创新人才、吉林省高校首批学科领军教授、吉林省高校新世纪科学技术优秀人才等荣誉称号。兼任中国电力教育联合会热能与动力工程教学指导委员会委员，中国机械工程学会能源动力类专业教学指导委员会委员，中国能源研究会热力学及工程应用专业委员会委员、吉林省科学学与科技管理研究会常务理事、吉林省高校科技平台管理协会理事、吉林省创新方法研究会理事、吉林省特种设备安全与节能促进会会长、吉林市锅炉学会理事长等。

多年来，在创新团队及平台建设中做出了突出而卓越的工作。作为团队带头人，所带领的团队获批为吉林省高校创新团队和教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队。2017 年，教育部创新团队通过验收，评审结果“优秀”，并与 2018 年又获得滚动支持。在中心、平台建设过程中，作为负责人带领团队先后创建了吉林省教育厅“能源有效利用与油页岩综合开发技术吉林省高等学校工程研究中心”、吉林省科技厅“吉林省油页岩

岩综合开发科技创新中心”、吉林省发改委“油页岩综合开发利用吉林省工程研究中心以及教育部“油页岩综合利用教育部工程研究中心”。2014年，所带领团队建设的平台获批“吉林省高等学校高端科技创新平台”。中心平台从无到有，现已发展到实验基地面积10107.62平方米，拥有先进的测试仪器及相关实验设备204台套，总值为3300.711万元。长期致力于吉林省等国内油页岩的新技术开发与成果转化，主持设计开发了我国第二、三、四台燃烧油页岩电站锅炉，协助建设了汪清、广东遂溪油页岩电厂，极大地推动了我国油页岩及半焦燃烧发电。采用自主知识产权，为甘肃乔氏油页岩有限公司设计开发了国内第一套日处理200吨油页岩固体热载体炼油、半焦燃烧装置；被印尼印大地集团引进，设计开发了国际上第一套日处理100吨油砂固体热载体炼油、油砂半焦燃烧装置。以油页岩半焦燃烧为突破口，设计开发了油页岩半焦燃烧瓦斯加热炉，发明了“油页岩气固热载体干馏及半焦燃烧发电一体化工艺”。该技术正在吉林汪清龙腾能源开发有限公司转化，为国内第一台燃烧半焦瓦斯加热炉。基于发明专利“一种油页岩干燥、加热、炼油、半焦燃烧一体化工艺”，2014年开始，开展了油页岩热载体干馏技术的研发与试验工作，正在开发吉林汪清龙腾油页岩有限公司处理油页岩500吨气体热载体干馏炉及相应系统。

作为一名教师，始终把教学放在第一位。作为团队负责人所带领的热工基础教学团队被评为“吉林省优秀教学团队”。作为课程负责人所主讲的“工程热力学”课程先后被评为吉林省优秀课程和吉林省精品课程。

创新是大学生必备的素质。作为负责人，在注重大学生科技创新教育的基础上，带头创建了“东北电力大学能源与动力工程学院大学生萃脑实践创新示范基地”。作为指导负责人，他积极配合教务处组织开展全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛指导、培训、申报、评选、推荐工作。自2010年起，学生共获得一等奖6项、二等奖7项，三等奖30项，获奖率达33.3%。

人才培养是教师的本职工作，多年来，培养博士研究生11名；培养硕士研究生105名。其中，获吉林省百篇优秀硕士研究生学位论文6篇，校级优秀硕士研究生学位论文14篇。

科研工作取得了较好的成绩，围绕其研究方向，已发表学术论文230多篇，被SCI、EI收录80多篇；获授权发明专利27项；获省部级科技奖励5项；专著（合著）3部。发表2篇论文获中国精品科技期刊顶尖学术论文(F5000)，3篇论文被国际“埃尼奖”提名。因此说，本团队在行业中一支影响力较强得工程化、产业化及开发能力的多学科交叉的科研团队。带头人与所带领得团队对工程中心建设的贡献巨大。



## 5. 对工程技术人才培养、人才培养及开放服务

### 工程技术人才培养

中心建设时期，与学校电力仿真中心合作，建设了一台套 300MW 循环流化床锅炉电站机组仿真系统和一套 135MW 循环流化床锅炉电站机组仿真系统以及 350MW 超临界火电机组和 600MW 超临界火电机组。仿真模拟范围为自燃料入炉到发电机向电网输电范围内的所有主要过程和设备的操作运行。将电站锅炉仿真中心纳入中心的发展规划中，可完成电厂运行人员培训、技能提高、反事故演习、运行技术咨询以及学生实践实习等任务，是人才培养的重要培训基地之一。

评估期间，双方合作为企业开展了 6 次锅炉运行人员培训，共培训 238 人，学时达 896 学时。

表 3-2 评估期间培训锅炉运行人员统计

序号	培训时间	委培单位	培训项目	培训人数	人均学时	培训内容
1	2014.02.17-03.25	内蒙古霍煤鸿骏铝电公司发电厂	350MW 超临界火电机组	69	280	岗前培训
2	2014.12.13-12.22	华能九台电厂	600MW 超临界火电机组	14	80	验证培训
3	2015.05.14-06.01	华能伊春电厂	350MW 超临界火电机组	40	152	岗前培训
4	2015.05.26-06.08	华能白山煤矸石电厂	350MW 循环流化床火电机组	30	120	验证培训
5	2015.07.27-08.08	国电庄河电厂	600MW 超临界火电机组	50	104	验证培训
6	2015.09.11-09.30	华电富拉尔基热电有限公司	350MW 超临界火电机组	25	80	在岗培训
7	2016.04.18-04.28	国电哈尔滨热电厂	350MW 超临界火电机组	10	80	岗前培训
	合计			238	896	

同时，本团队主要教师依托人力资源和社会保障部批准的东北电力大学国家级专业技术人员继续教育基地，承担二届高级专业技术人员培训（2014 年、2016 年），参加培训人员共 129 人，主要为来自于各大发电集团、热电厂、学校等单位的运行管理人员和教师。

2014 年培训主题是“大型火电机组深度调峰安全节能技术”。研修主要内容为：

- ①. 电站锅炉水循环不稳定性理论及深度调峰关键技术；

- ②. 凝汽器污垢在线监测技术、清洁度管理和污垢数据获取方法;
- ③. 大型火电机组运行经济性诊断与优化运行关键技术;
- ④ 供热机组发展方向及最佳供热方式选择。

2016 年培训主题是“能源发电节能减排升级与改造新技术”。研修主要内容为:

- ①. 煤电机组节能减排升级与改造行动计划;
- ②. 大型火电机组低负荷运行安全节能技术;
- ③. 火电机组经济性诊断与优化运行技术;
- ④. 电站锅炉节能减排新技术、太阳能热发电技术。
- ⑤. 热泵技术在火电厂节能中的应用。

培训活动实现了专业技术人员的继续教育,促进了在职专业技术人员理论知识与实际技能的补充、更新、拓宽和提高,完善了其知识结构,对提高其创新能力和业务水平、适应科技进步和实际工作需要具有重要意义。

### 人才培养

“中心”评估期间,积极开展博士研究生的人才培养工作,自 2014 年,围绕油页岩研究领域,已培养毕业博士 2 人,在读博士研究生 7 人。

“中心”评估期间,积极开展硕士研究生的人才培养工作,自 2014 年,围绕油页岩研究领域,已培养毕业硕士研究生 107 人,在读硕士研究生 73 人。

已培养毕业硕士研究生中获校级优秀论文 15 篇,获省级百篇优秀硕士论文 5 篇。

“中心”评估期间,积极开展本科毕业生的毕业设计工作,自 2014 年,围绕油页岩研究领域,每年将有大约 40-50 人参加毕业设计。

### 开放服务

“中心”大型仪器已进入东北电力大学开放系统,“中心”运营采用完全开放形式,具体如下:

- 1) 向社会开放。采用签订服务合同,收取一定的服务费;
- 2) 向学校教师开放。填写实验用单,不收取实验费用;
- 3) 向研究生开放。填写实验用单,不收取实验费用;
- 4) 向本科生开放。大学生在进行科研活动、创新创业活动及大学生各类科研竞赛需要利用仪器设备时,由指导教师向实验室申请,不收取实验费用。

## 6. 对学科建设支撑作用

本中心主要依托我院博士授权一级学科及省级优势特色重点学科”——动力工程及工程热物理。中心建设中坚持教学科研并重、以科研促教学是团队教师一贯的教学理念。多年来，中心所有教师坚持在教学第一线，以教书育人为己任，团结协作，严谨务实，不断探索教学中出现的新问题。积极从事教学研究，深入开展新形势下人才培养模式和教学方法的改革实践。将理论教学、实践教学和应用创新紧密结合，在教学团队、实践基地、课程教学、人才培养模式改革与实践、指导学生科技竞赛等方面取得突出成绩。

所依托的动力工程及工程热物理学科为吉林省“重中之重”学科（2014年）、省级优势特色重点学科（2014年）；所依托的能源与动力工程专业为国家第一类特色专业建设点（2007年）、吉林省“十二五”省级特色专业（2011年）、吉林省“品牌专业（2014年）；能源动力工程实验教学中心为国家级“工程实践教育中心”和国家级“实验教学示范中心（2014年）。由团队核心成员构成的能源动力类专业基础课程专业教学团队为国家级教学团队（周云龙，2009年）；热能与动力工程专业课教学团队（徐志明，2010年）、热工基础教学团队（王擎，2014年）为吉林省“优秀教学团队。

在指导大学生实践方面，本中心成员积极参加组织、指导等工作。

1. 2014年，以王擎教授为创办人，以本中心成员为主体，以东北电力大学能源与动力工程学院为依托，经学校教务处批准，成立了东北电力大学能源与动力工程学院大学生萃脑实践创新示范基地。

2. 协助能源与动力工程学院，组织开展了全国第七届~第十一届(2014年~2018年)全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛的申报、指导、评审和推荐工作。每届学校向国家推荐申报 15 个作品。

3. 协助能源与动力工程学院组织学生开展年度东北电力大学大学生东北电力大学大学生节能减排社会实践与科技竞赛活动。

4. 协助能源与动力工程学院学生参加 2014 年“创青春”吉林省大学生创业大赛，并有 6 组学生获得全国三等奖，4 组学生获得全国二等奖；组织学生参加第七届网络商务创新应用大赛，并有 4 组学生获得东北赛区三等奖，4 组学生获得东北赛区二等奖；组织学生参加吉林省第五届数学建模大赛，并有 4 组同学获得吉林省二等奖；2 组学生获得吉林省一等奖；组织学生承担 2014 年大学生创新创业训练项目，共有 12 组学生参与立项，并有 5 组学生的项目确立为国家级项目。

5. 协助能源与动力工程学院组织学生参加吉林省大学生电子设计竞赛，并有 5 组学

生获得吉林省二等奖；组织学生参与 2015 年吉林省挑战杯竞赛，学院共有 26 组选手参加，有 4 组学生选手获得吉林省三等奖，5 组选手获得吉林省二等奖，2 组学生选手获得吉林省一等奖。组织能动学院学生承担 2015 年大学生创新创业训练项目，并有 7 组学生的项目确立为国家级项目；组织学生参与全国大学生制冷比赛，并有 3 组选手获国家三等奖，2 组选手获得国家二等奖。

## 四、硬件条件运行情况与质量

### 1. 研究方向及其相应实验技术平台配置情况

油页岩综合利用教育部工程研究中心是以油页岩综合利用高技术创新为主导，以油页岩干馏炼油、废弃物（碎屑页岩、半焦、废瓦斯气体）燃烧发电相结合的工程技术研究开发为核心，以强化成果转化、工程服务与孵化功能，使中心成为推动油页岩综合利用技术产业化为重要目标的高新技术工程研究基地。

#### （1）研究方向

本“中心”设三个主要研究方向：先进的油页岩干馏炼油技术与装置的研究与开发、大容量油页岩及油页岩半焦循环流化床燃烧关键技术、油页岩炼油、半焦发电一体化关键技术与优化。

##### 研究方向 1：先进的油页岩干馏炼油技术的研究

国内油页岩干馏主要采用抚顺式内燃干馏技术，干馏炉处理量低，单台干馏炉处理量为 100t/d，油收率 65%左右。而国外油页岩干馏炉处理量大，油收率高，如巴西油页岩气体热载体干馏炉单台处理量为 5000t/d，油收率达 90%；爱沙尼亚油页岩固体热载体干馏炉单台处理量为 6000t/d，油收率达 90%。

主要研究内容：

- 1) 油页岩干馏热解机理的研究
- 2) 油页岩固体热载体和气体热载体干馏特性研究；
- 3) 大容量油页岩固体热载体和气体热载体干馏装置的研发。

##### 研究方向 2：大容量油页岩及油页岩半焦循环流化床燃烧关键技术

实现油页岩有效利用，油页岩及半焦循环流化床锅炉是关键，它起到承上启下的作用。油页岩气体热载体干馏炼油中，15mm 以下颗粒无法利用，这部分页岩占油页岩开采总量的 25%左右，如不加以利用，资源损失巨大。同时，无论油页岩气体热载体还是固体热载体炼油过程中都会产生大量的半焦，对环境污染严重且难于直接利用。目前，世界上尚无油页岩半焦循环流化床锅炉商业应用实例。本方向通过解决油页岩半焦燃烧关键技术，以解决油页岩有效利用的瓶颈。

主要研究内容：

- 1) 油页岩及半焦燃烧机理的研究;
- 2) 油页岩及半焦循环流化床锅炉燃烧组织的试验与理论研究;
- 3) 新型半焦循环流化床锅炉的设计方法的研究与开发。

### 研究方向 3: 油页岩炼油、半焦发电一体化关键技术与优化

基于油页岩综合利用集成技术思想,通过研发新型油页岩气体及固体热载体干馏、半焦燃烧发电一体化技术工艺,提供实现油页岩能源资源高效清洁综合利用关键技术与装置,解决油页岩利用过程中的环境污染问题,为我国油页岩资源高效清洁综合开发利用提供技术支撑,形成具有自主知识产权的原始创新及系统集成技术。本方向首次提出了油页岩干馏炼油、半焦燃烧发电集成系统与工艺,该流程工艺为目前世界上最先进的油页岩处理工艺。该技术与德国、爱沙尼亚提出的 Enfit280 技术相似。但我们的专利早于德国与爱沙尼亚,2007 年申请专利,2008 年获实用新型专利,2010 年获发明专利(ZL200710055610.1)。

主要研究内容:

- 1) 大容量油页岩气体热载体及半焦燃烧发电一体化机组的集成与优化;
- 2) 大容量油页岩固体热载体及半焦燃烧发电一体化机组的集成与优化。

### (2) 实验技术平台配置情况

“中心”建设期间,建设一台容量为 1MW 级的循环流化床综合性试验装置,一套综合性的油页岩干馏、气化试验装置,完善现有的油页岩半焦制备试验装置和油页岩半焦循环流化床热态试验台的在线控制与监测以及取样分析系统,共计建设了 7 套中试平台。

- ① 1MW 低热值循环流化床燃烧试验平台;
- ② 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台;
- ③ 油页岩固体热载体干馏炼油中试平台;
- ④ 低热值燃料喷动床燃烧中试平台;
- ⑤ 油页岩干馏循环瓦斯管式加热炉实验装置;
- ⑥ 油洗油中试平台;
- ⑦ 油页岩气体热载体干馏冷态试验平台。

其中,1MW 当量容量的低热值循环流化床燃烧试验装置,用于解决油页岩、油页岩半焦等低热值燃料难于燃烧利用的技术问题;油页岩气体热载体干馏炼油中试平台、油页岩固体热载体干馏炼油中试平台、低热值燃料喷动床燃烧中试平台、油页岩干馏循环瓦斯

管式加热炉实验装置的完成实现了气体热载体、固体热载体两套完整的综合性油页岩干馏、气化试验系统，处理量为 2.4t/d。此外，针对现有油页岩炼油过程中油气系统中含有粉尘难分离的问题，“中心”开发了新型页岩油回收技术，并建设了以该技术为核心的中试试验台：油洗油中试平台。另外为了解决油页岩干馏炼油技术大型化过程中结构对炉内流场均匀分布的影响问题，搭建油页岩气体热载体干馏冷态试验平台。

通过“中心”多年来的建设，已经完成了中心基地的建设面积的预期规划，实现了油页岩干馏炼油燃烧发电一体化利用系统的完整的中试平台建设，为“中心基地”的科技开发、中试及开发奠定了良好的基础。

### （3）主要仪器设备配置现状分析

“中心”实验测试中心现有主要仪器设备按工作要求可分为四类设备：A 类仪器设备（大型科研仪器），设备种类及数量为 24 台/套，价值 1665.4593 万元；B 类仪器设备（基础检测仪器），设备种类及数量为 24 台/套，价值 94.825 万元；C 类仪器设备（计算软件及配套硬件），设备种类及数量为 8 台/套，价值 198.36 万元；D 类仪器设备（自制实验装置），设备种类及数量为 8 台/套，价值 307.006 万元。“中心”实验测试中心设备仪器主要针对石油化工、煤炭、能源、生物质等领域进行检测并提供分析报告。仪器设备配置丰富、先进。其中 2015 年后投运仪器设备达 35 余台/套，通过技术创新和改进对现有自制设备进行不断更新和升级。主要仪器设备可从事有机、无机成分与结构分析，材料的热学、力学性能和显微结构分析，碳族官能团定性、定量分析，以及常规的煤、油页岩、生物资等燃料的工业分析、元素分析、发热量等基础理化特性分析。其中，在引进国内首台 SetarmTHemys 高温高压热重仪的同时，与塞塔拉姆仪器-法国凯璞科技集团签订了共建实验室合作备忘录，为其仪器的开发和应用提供技术和测试等服务支持。

主要分析测试仪器设备有：JSM-7610F 高分辨场发射扫描电镜和能谱分析仪（日本电子）各 1 台；X 射线荧光光谱分析仪（XRF 德国布鲁克）1 台；全二维飞行时间色谱-高通量飞行时间质谱联用仪（美国 LECO）1 台；TG/DSC01 热重分析仪（TG）、IS10 傅里叶红外光谱仪（FTIR）、GSD320 质谱仪（MS）各 1 台（含 TG、DSC，3 台仪器可进行联用或独立使用）；Nelon350x 电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）1 台；CLARUS SQ 8 气相色谱/质谱联用仪（GC/MS）1 台；TRISTAR II3020 比表面积分析 1 台（含样品脱附工作站 1 台）；气相色谱仪 2 台；ARK/TGA-IR 傅里叶红外光谱仪；PE 便携式傅立叶变换红外光谱分析仪；K1050X 射频等离子低温灰化仪；EGA/PY3030D 快速热裂解仪；RBR 便携式多功能烟气分析

仪；Galvanic 在线硫化氢分析仪；SpeedWave two 微波消解系统；EA3000 型元素分析仪等；同时还配备了电镜制样系统，熔融压片机，控温脱附站，微量蒸馏仪，双频控温超声萃取仪等各类高级制样和预处理仪器设备。

“中心”实验测试中心仪器设备配置丰富，资源分配合理，可针对燃料单一性质进行各类分析测试，也可利用不同仪器对同种样品进行多角度，多维度的物理化学特性分析。保证实验结果的准确度、复现性以及有效性。

#### **(4) 主要仪器设备运行现状分析**

“中心”实验测试中心主要仪器设备运行情况良好稳定，并依靠先进、成熟的配置方法和手段，为校内、外科研项目提供合理的实验优化和准确详实的数据。其中，为满足行业 and 科研的需求对现有仪器，如 SetarmTHemys 高温高压热重仪，进行了配置升级，加装了蒸汽介质装置以实现加压加湿热重工况，为煤、生物质气化研究提供了先进的理论依据和数据基础。

根据各类仪器设备使用机时的统计分析，A 类仪器设备（大型科研仪器）运行机时占比 31.16%；B 类仪器设备（基础检测仪器）运行机时占比 10.06%；C 类仪器设备（计算机软件及配套硬件）运行机时占比 51.54%。按照类别排序其机时占用大小为 C 类>A 类>B 类。各仪器占用率合理，其中 A 类大型分析仪器和 C 类计算机软件及计算资源利用率较高，占总利用率的 82.7%。通过对主要仪器设备运行情况的分析可知，工程中心实验室可满足各类科研工作顺利、高效的进行。

“中心”实验测试中心现有 D 类仪器设备（自制实验装置），设备种类及数量为 8 台/套，价值 307.006 万元。经多次调试升级，运行情况良好，多次为各类中试、可行性试验服务，取得了良好稳定的实验结果和具有重要价值的大型化验证经验。

## **2. 中试及工程化验证能力**

结合发展目标，平台在需要添置先进测试仪器的基础上，还相继添置大型先进的油页岩气体、固体热载体干馏中试装置（中心现有中试平台如表所示），已成为国内外油页岩干馏、燃烧及灰渣利用的研发、转化及产业化重要的基地。

### **① 油页岩气体热载体干馏炼油中试平台**

为了突破国内现有油页岩干馏炼油大型化关键技术问题，基于专利技术，搭建了油页岩气体热载体干馏中试平台，该干馏系统，页岩干馏过程所需的热量，全部由热循环干馏



气所供给；干馏后的半焦被冷循环瓦斯冷却至 300℃左右后，再依次经推焦机、干排渣装置排出干馏炉；干馏过程产生的页岩油、瓦斯随循环瓦斯自干馏炉顶部进入瓦斯水洗、冷却、油回收系统；经过对汪清油页岩的试验表明本干馏试验装置加工能力达到设计值（100kg/h），排出的干半焦含油为零，油母质热解率达到 98%以上，系统收油率超过 90%，试验设备设计合理、运行可靠。在该平台上，分别为汪清县龙腾能源开发有限公司、山东龙福油页岩综合利用有限公司、秦皇岛市华伟能源开发有限公司开展了吉林汪清、山东龙口、及河北卢龙油页岩的干馏中试试验，为山东龙福油页岩综合利用有限公司抚顺式干馏炉技术改造提供了可行性分析；为汪清县龙腾能源开发有限公司设计开发了日处理能力为 500t/d 的油页岩气体热载体干馏炉。

### ② 油页岩固体热载体干馏中试平台

为了解决小颗粒油页岩干馏炼油的技术问题，搭架了油页岩固体热载体干馏中试平台，在该平台上，分别为甘肃乔氏油页岩开发有限公司及印尼印大帝集团开展了甘肃油页岩及印尼油砂的干馏中试试验，为甘肃乔氏油页岩开发有限公司设计开发了国内第一套日处理 200 吨油页岩固体热载体干馏装置；为印尼印大帝集团设计开发了国际上第一套日处理 100 吨油砂固体热载体炼油装置。

### ③ 低热值喷动床燃烧试验平台

为了解决油页岩固体热载体干馏工艺中半焦喷动燃烧中控制灰渣可燃物含量和烟气氧浓度关键技术问题，搭架了低热值喷动床燃烧试验平台，在该平台上，在国内首次对油页岩半焦在喷动床内进行了实验研究，获得了柳树河及桦甸油页岩半焦在喷动燃烧过程中温度、压力、燃烧气体组分的变化规律，优化半焦升温输送关键操作参数。解决了油页岩固体热载体干馏工艺中半焦喷动燃烧中控制灰渣可燃物含量和烟气氧浓度关键技术难题。针对大庆油田柳树河油页岩固体热载体干馏项目，确定柳树河油页岩半焦升温输送工艺技术方案及设备主体结构 and 零部件结构。为大庆油田牡丹江新能源有限责任公司开展了油页岩半焦在喷动床内进行了实验研究，并将该技术成功应用到 200t/h 喷动床燃烧输送装置的设计上。

### ④ 1MW 级低热值循环流化床燃烧试验平台

为了解决油页岩半焦等低热值燃料难于燃烧利用的技术问题，搭建了 1MW 级低热值循环流化床燃烧试验平台，在该平台上，承担了教育部(跃升计划)子课题“油页岩资源高效综合利用关键技术与装备—油页岩半焦发电过程的关键技术—提高循环流化床燃烧效

率”(OSR-05-2010),开展了桦甸油页岩半焦的燃烧研究工作,另外,开展了油页岩同油页岩半焦混烧试验、油页岩半焦同褐煤混烧试验、油页岩半焦同生物质混合燃烧试验等,分析了混合比、配风、床温等对燃烧效率、污染物排放等的影响,结果显示,燃烧后的底渣和飞灰中的固定碳的含量低于 2%,为灰渣的资源化利用提供了有力的条件。在该平台上分别为印度尼西亚印大帝集团、吉林成大弘晟能源有限公司、中国石油工程建设公司吉林分公司开展了中试试验,为印尼油砂和油页岩半焦的燃烧装置的设计提供了基础。

#### ⑤ 油页岩气体热载体干馏冷态试验平台

为了解决油页岩干馏炼油技术大型化过程中结构对炉内流场均匀分布的影响问题,针对 1000 吨/天油页岩干馏炉及配套设备研发的需要,为了减少干馏炉的设计困难,搭建了油页岩气体热载体干馏冷态试验平台,对干馏炉进行小型化模拟,并进行相应的冷态试验。通过对油页岩气体热载体干馏炉的冷态研究,为大型化干馏炉的设计提供参考数据。在该平台上,开展了气体热载体干馏炉内流场的分布均匀性中试试验,并同中国石油工程建设公司华东设计分公司合作,设计开发了 1000t/d 油页岩气体热载体干馏炉。

#### ⑥ 油页岩干馏循环瓦斯管式加热炉实验装置

为了解决现有油页岩气体热载体干馏工艺中热循环瓦斯温度不稳定及需要外加热源的共性技术问题,搭建了油页岩干馏循环瓦斯管式加热炉实验装置,在该平台上,开展中试实验,验证了该技术的可行性。针对中国石油工程建设公司吉林设计分公司“1000 吨天油页岩干馏炉及配套设备研发”项目,开发了与 1000 吨/天瓦斯全循环干馏炉配套的循环瓦斯管式加热炉,提供 700℃的热循环瓦斯做为油页岩干馏的热源。经中国石油工程建设分公司组织验收,认为该技术填补了管式加热炉在油页岩行业没有应用的空白。

#### ⑦ 油洗油中试平台

为了解决油气系统中含有粉尘难分离的技术问题,搭建了油洗油中试平台,该平台与传统的喷淋洗涤塔相比,该雾化洗涤塔具有除尘效率高、结构简单、占地面积小、投资运行成本低和节约水资源的优点。在本实验平台上,结合汪清油页岩干馏试验龙口油页岩干馏试验,进行了油气中粉尘脱除试验。

### 3. 配套设施与支撑条件

东北电力大学高度重视油页岩综合利用的建设工作,在人、财、物方面给予了中心的大力支持。

“中心”实验室具有优良的基础研究实验、工程验证试验条件。现有实验基地面积

10107.62m<sup>2</sup>，拥有先进的测试仪器及相关实验设备 204 台套，其中，单价超过 10 万元/台（套）的仪器设备 65 台套，总值为 3300.711 万元。

**在建制方面**，研究中心为院处级建制，列入学校科研机构序列。

**在组织结构建设方面**，2009 年 7 月 21 日，经东北电力大学党委常委会议研究决定(东电党组字[2009]19 号)：李少华同志为油页岩综合利用工程研究中心主任（兼），同年 12 月 14 日经学校党委常委会议研究决定(东电党组字[2009]20 号)，校长聘任王擎同志为油页岩综合利用工程研究中心常务副主任。2013 年 10 月 16 日，经学校党委常委会议研究决定(东电党组字[2013]16 号)校长聘任王擎同志为油页岩综合利用工程研究中心主任。2014 年 12 月 19 日，经学校党委常委会议研究决定(东电党组字[2014]32 号)校长聘任柏静儒同志为油页岩综合利用工程研究中心副主任。

**在人才培养与人才引进方面**，学校出台了多项政策，如：

东北电力大学“十二五”发展规划；

东北电力大学“十三五”发展规划；

东北电力大学“学科建设中长期发展规划”；

东北电力大学“学科建设工程”；

东北电力大学“十二五”科研提升工程；

东北电力大学“十三五”“科研跃升工程”；

东北电力大学“十二五”本科教学改革与 272 工程；

东北电力大学“高层次人才引进计划”；

东北电力大学“高层次人才培养计划”；

东北电力大学高水平科研创新团队培育计划；

东北电力大学高水平科研平台基地培育计划；

东北电力大学高质量学术交流资助计划；

东北电力大学国家基金项目促进计划；

东北电力大学高级别科研成果奖培育计划；

东北电力大学科技成果转化促进计划；

东北电力大学高水平科研贡献奖励计划（修订版）2016；

东北电力大学博士津贴管理办法（修订版）2016。

**在财力、物力支持方面**，东北电力大学重视教育部工程研究中心的建设工作，在中心

用房、实验基地建设及水电费等方面给予了中心巨大的支持，大大改善了中心的工作条件使“中心”在建设期间，实现了研发及成果转化用房面积 5000 m<sup>2</sup> 以上。

2011 年，东北电力大学投资 2288.6 万元建设东北电力大学科技楼，在科技楼中学校分配给油页岩工程研究中心的房间 15 套，实际的建筑面积达 1535.56 m<sup>2</sup>。

建设期间，学校通过多项投资对油页岩工程研究中心原有实验基地进行了改造和维修，其中包括：原有实验基地的供暖设施的改造；原有实验基地的门窗的更换；原有实验基地采暖工程；原有实验基地的用房外围亮化工程；原有实验基地外围路面维修工程等等。

在此基础上，学校对原有实验基地进行了大规模的扩建工程。2017 年，“中心”依托单位东北电力大学对中心“中试基地”进行了扩建和装修，总投资 2309.9 万元，扩大面积为 6572.06 m<sup>2</sup>，该项目主体工程已于 2018 年完成竣工。

在实验室仪器设备服务能力方面，2013 年，学校给中心投入了 100 万元，购置了热重-红外-质谱三联机，大大地提高了中心的科研能力。

同时，建设期间，学校对“中心”所消耗的水电费全部予以免费。

#### 4. 技术成果、文件资料归档情况

为做好建设期内文件材料立卷归档工作，“中心”将档案工作所需经费列入“中心”预算，保证档案工作的需求，“中心”成立资料室并设专职负责人一名、资料室制定《油页岩综合利用教育部工程研究中心档案管理办法》(见附件\*)，认真开展文件资料的收集、整理、归档等工作，严格档案查阅制度，妥善保管和利用，对“中心”建设期内相关文件资料进行规范化管理，对纸质档案材料和电子档案材料同步归档。文件材料的归档范围是：

(1) **行政类**：主要包括“中心”行政工作的各种会议文件、会议纪录及纪要；上级机关与“中心”关于人事管理、行政管理的材料。

(2) **学生类**：主要包括反应“中心”培养的学历教育学生的学习活动档案、发表科研成果、毕业论文等。

(3) **科研类**：主要包括“中心”在科研管理和实践活动中直接形成的、具有保存价值的文件材料。

(4) **基本建设类**：主要包括“中心”在基本建设管理和基本建设工程项目活动过程中直接形成的有保存价值的文件材料。

(5) **仪器设备类**：主要包括各种国产和国外引进的精密、贵重、稀缺仪器设备（价值在 10 万元以上）的全套随机技术文件以及在接收、使用、维修和改进工作中产生的文

件材料。

(6) **产品生产类**：主要包括“中心”在产学研过程中形成的文件材料、样品或者样品照片、录像等。

(7) **外事类**：主要包括“中心”派遣有关人员出席国际会议、出国考察、讲学、合作研究、学习进修的材料；“中心”聘请的境外专家、教师在科研等活动中形成的材料。

(8) **声像类**：主要包括反映“中心”科研和管理活动和历史发展，具有保存价值的各种音响、画面形象等方式记录的专门载体及其配套的文字材料。

除“中心”资料室设专职负责人一名外，“中心”各部门分管本部门的档案工作，并配备兼职档案工作人员，负责本部门档案的收集、整理和归档工作。“中心”各部门负责档案工作的人员按照归档要求，组织本部门的科研和管理等人员及时整理档案和立卷。立卷人按照纸质文件材料和电子文件材料的自然形成规律，对文件材料系统整理组卷，编制页号或者件号，制作卷内目录，交本部门负责档案工作的人员检查合格后向资料室移交。

“中心”按照制定的档案管理办法将建设期内形成的文件资料统一存放于“中心”资料室（东北电力大学科技楼 209 室）。

## 五、经费情况

### 1. 经费收支情况

“中心”的经费收入主要包括建设经费收入、政府部门下达的纵向科研经费收入、以横向科研经费为主的技术收入。2014-2018 年间，“中心”经费收入合计 5393.023 万元，“中心”近些年来在建设期内共支出总额 5189.61 万元。

#### (1) 建设经费收入

建设经费收入包括省部级单位专项经费和依托单位自筹经费，合计 4377.012 万元。其中省部级单位的专项经费总额为 2630 万元，依托单位-东北电力大学自筹经费 1747.012 万元。

表 4-1 建设经费收入汇总表

序号	时间	经费来源单位	金额(万元)	备注
1	2014.09.29	吉林省财政厅	1000	高端科技创新平台建设项目专项资金-油页岩优势特色产业化应用科技创新平台
2	2015.03.06	吉林省教育厅	1000	高教强省高端科技创新平台建设类专项资金-油页岩优势特色产业化应用科技创新平台
3	2015.03.06	吉林省教育厅	130	高教强省学科、专业及实验室类专项资金-油页岩综合利用教育部工程研究中心平台建设
4	2018.01.26	吉林省发展和改革委员会	500	东北电力大学油页岩优势特色产业转化应用科技创新平台扩建项目
5	2018.01.26	东北电力大学	1747.012	东北电力大学油页岩优势特色产业转化应用科技创新平台扩建项目
合计			4377.012	

#### (2) 政府下达科研经费收入

政府下达科研经费收入来源于国家级、省部级及市厅级的科研项目，经费合计 629 万元，已全部到位。

表 4-2 政府下达科研项目经费收入汇总表

年份	2014~2015	2016~2018	合计
金额(万元)	484	145	629

#### (3) 技术收入

技术收入主要体现在与企业合作的一些横向项目，主要包括技术服务、技术咨询等研究开发收入。2014-2018 年间，承担企业委托研发项目计 19 项，到款经费合计 387.011 万

元，其中包括国际合作项目 1 项。

表 4-3 技术收入经费收入汇总表

年份	2014	2015	2016	2017	2018	合计
金额(万元)	185.2395	26.8	43.731	97.2405	34	387.011

## 2. 财务管理及账目设置情况

“油页岩综合利用教育部工程研究中心”组建项目所依托的法人单位为东北电力大学，并由其进行行政、业务及财务管理。学校科研、财务、人事、审计、纪检、资产等职能部门以及中心主任在科研项目经费使用、管理与监督方面职责明确，权限清晰，并得到了严格执行。

根据国家科研、基建等财务经费管理和使用相关规定，东北电力大学制定和修订了《东北电力大学差旅费管理办法》、《东北电力大学财务审批管理办法》、《东北电力大学借款报帐管理规定》、《东北电力大学科研经费财务管理规定》、《东北电力大学专项资金财务管理规定》、《东北电力大学基本建设财务管理规定》、《东北电力大学票据管理办法》、《东北电力大学公务卡管理办法》等系列管理制度。对科研项目经费、基建项目经费的使用进行了规范化管理。

## 3. 经费使用情况

“中心”2014-2018 年经费支出合计 5189.61 万元。主要包括四个方面：房屋建设、仪器设备购置、研究试验消耗的费用和项目管理费。

### (1) 房屋建筑物支出

“中心”房屋建筑物的建设总支出 2309.9 万元。主要用于东北电力大学油页岩优势特色产业转化应用科技创新平台扩建项目和装修改造项目。

### (2) 仪器设备支出

建设期间，“中心”陆续获得了吉林省教育厅、省财政厅、以及依托单位东北电力大学的支持，在上述资金的支持下，购置了平台建设所需要的实验仪器与设备，也制作了相关的实验台与中试装置。设备的购置均严格地按照《东北电力大学物资采购管理办法》、《东北电力大学物资采购招标投标管理办法》、《进口和免税仪器设备的订购、验收和使用管理办法》等相关的规章制度来进行。下表为建设期内历年“中心”购置设备与搭建实验

装置支出情况。

表 4-4 仪器设备支出经费汇总表

年份	2014	2015	2016	合计
金额(万元)	316.48	1156.855	543.3	2016.635

### (3) 研究试验支出

研究开发费支出主要是用于“中心”开发与产品研制过程中产生的材料费、学生与临时人员劳务费、差旅费、会议费、国际合作与交流费、测试加工费、燃料动力费、文献出版与知识产权等费用，经费支出合计 812.87 万元。

表 4-5 研究试验支出经费汇总表

年份	2014~2015	2016~2018	合计(万元)
材料费(万元)	331.74	238.18	569.92
劳务费(万元)	49.06	56.99	106.05
差旅、会议费(万元)	45.72	86.16	131.88
其他费用(万元)	2.27	2.75	5.02
总计(万元)	428.79	384.08	812.87

### (4) 其他

其他主要包括依托单位东北电力大学按相关规定扣除的项目管理费，经费支出合计 50.205 万元。

表 4-6 其他支出经费情况汇总表

年份	2014~2015	2016~2018	合计(万元)
金额(万元)	19.2	31.005	50.205





心”的建设与发展负有全面责任。

技术委员会由国内知名专家、学者组成，是“中心”的技术咨询机构和评审机构，对中心的工作方向进行指导。其职责是负责审议“中心”的中长期发展战略；审议研究开发计划，评价工程设计与试验方案；提供技术经济咨询和市场信息；负责审议中心年度工作，以及对各个部门技术工作的考核等。

实验测试中心主要为科学研究、科技创新、工程测试等提供先进的分析测试仪器设备和研究基地。

研究开发部主要从事油页岩发电及综合利用的基础研究、科技攻关、产品开发和工程化研究以及成果推广、转化和产业化工作。

技术培训部是人才培养的重要培训基地之一，主要从事电厂运行人员的培训、技能提高、技术咨询以及学生实践实习等工作。

## **(2) 运行机制**

“中心”遵循“开放、协作、流动、竞争”的原则，根据自身特点，以人为本，建立了健全的规章制度，包括行政管理制度、科研管理制度、人才管理制度、设备开放运行与管理制度等各项规章制度，规范运行管理。

本“中心”建立了包括《油页岩综合利用教育部工程研究中心管理条例》、《油页岩综合利用教育部工程研究中心技术委员会条例》、《油页岩综合利用教育部工程研究中心科研计划和成果管理办法》等在内的管理制度。本“中心”管理委员会由中心领导和学术带头人组成，管理委员会实行以主任负责制为前提的民主集中制原则，管理委员会会议每3个月主持召开一次，讨论决定“中心”的重大问题，管理委员会成员对所议的问题充分发表意见，经认真讨论后形成决议。本“中心”技术委员会由国内优秀专家组成，负责审议“中心”的中长期发展战略；审议研究开发计划，评价工程设计与试验方案；提供技术经济咨询和市场信息；负责审议中心年度工作，以及对各个部门技术工作的考核等。技术委员会全体会议每年至少召开一次。

本“中心”建立了包括科研管理办法、经费管理办法等在内的科研与财务管理制度体系。本“中心”对项目实行项目管理责任制，项目管理负责人和技术负责人由项目管理与评估部以推荐等方式选定。其中，项目管理负责人对项目的组织争取、建议立项、项目实施、完成等全过程进行管理。技术负责人对项目的技术工作负全责。本“中心”经费采取专款专用、管好用好的管理方式，经费主要包括自主研究课题经费和用于支持中心建设与

发展的经费。自主研究课题经费严格实行预决算和项目成本核算管理，由课题组长负责，按课题归口管理；用于支持中心建设与发展运行经费的使用，由主任审批，主要用于资助开放研究课题、“中心”日常运行管理和组织召开的各种会议等公共开支。“中心”科研费开支（使用）按东北电力大学有关科研经费的管理规定执行。

本“中心”建立了包括固定人员管理条例、流动人员管理条例等在内的人才管理制度体系。本“中心”固定人员实行分级聘任，分类管理。研究人员由“中心”考核聘任。本“中心”流动人员包括：固定人员所在课题组的青年教师、协议制研究人员、客座研究员等。客座或兼职人员可以采取自荐与推荐相结合的方式，经主任会议审议通过后，由中心主任聘任。

## 七、工程中心近中期任务、目标与未来规划

### 1. 工程中心近中期任务

油页岩行业的发展受诸多因素的影响，尤其受国际石油价格波动的影响极大。油价高时，能有效促进油页岩行业的发展，而油价低时，对油页岩行业的发展阻碍较大。随着原油的可持续发展，油页岩作为石油的补充能源，其行业的发展将会得到提高。作为油页岩综合利用工程研究中心，在围绕油页岩行业发展过程中的工程技术开发和工程技术应用方面，不断完善我们所提出的油页岩综合开发利用集成技术，加大力度开展工程化和产业化应用工作。同时，基于中心多年来所积累的基础研究能力和工程应用能力，将围绕生物质等可再生能源的研究与应用、低热值高水分褐煤发电技术研究与应用及多能源互补高效供能技术研究与应用等方面进一步拓宽研究领域和研究方向。

#### 方向 1. 油页岩综合利用技术关键设备研发与示范

##### (1) 大容量油页岩干馏炉的研发与示范

和国外油页岩干馏技术相比，国内油页岩干馏技术与工艺相对落后。国内油页岩干馏主要采用抚顺式内燃干馏技术，干馏炉处理量低，单台干馏炉处理量为 100t/d，油收率 65%左右。而国外油页岩干馏炉处理量大，油收率高，如巴西油页岩气体热载体干馏炉单台处理量为 5000t/d，油收率达 90%；爱沙尼亚油页岩固体热载体干馏炉单台处理量为 6000t/d，油收率达 90%。

赶超国外先进技术，我们必须在研发及示范上下功夫。

本研究重点针对吉林汪清龙腾能源开发有限公司 200 万吨低品位油页岩干馏炼油发电三期扩建项目开展工作，同时针对国内其它地区油页岩进行工程验证研究。

- ① 油页岩气体热载体干馏炉布气特性研究与布气装置的研发；
- ② 油页岩气体热载体干馏炉干排焦系统的研发；
- ③ 油气冷凝、分离回收技术的研发；
- ④ 日处理 500t、1000t、3000t 油页岩干馏装置的研发与示范。

##### (2) 油页岩半焦流化床循环瓦斯加热炉研发及示范

实现油页岩有效利用，油页岩及半焦循环流化床锅炉是关键，它起到承上启下的作用。油页岩气体热载体干馏炼油中，15mm 以下颗粒无法利用，这部分页岩占油页岩开采总量的 25%左右，如不加以利用，资源损失巨大。同时，无论油页岩气体热载体还是固体热载

体炼油过程中都会产生大量的半焦，对环境污染严重且难于直接利用。目前，世界上尚无油页岩半焦循环流化床锅炉商业应用实例。本方向通过解决油页岩半焦燃烧关键技术，以解决油页岩有效利用的瓶颈。

研究内容包括：

- ① 油页岩及半焦燃烧机理的研究；
- ② 油页岩半焦流化床循环瓦斯加热炉研发；
- ③ 循环瓦斯加热过程中积碳特性研究；
- ④ 油页岩半焦流化床循环瓦斯加热炉研发与示范。

### **(3) 工程技术应用研究及示范**

约旦阿塔拉特 2×235 兆瓦油页岩电厂，位于约旦首都安曼南部 100 千米的 UM GHUDRAN 油页岩开采区，是全球最大的油页岩电站，也是中国企业在约旦的第一个大型项目。业主为阿塔拉特电力公司(Attarat Power Company)，中国能源建设集团广东火电工程有限公司为 EPC 总承包单位。东北电力大学将于广东火电工程有限公司合作开展约旦 ATTARAT 油页岩，开展商业流化床锅炉燃烧试验验证研究。（一带一路项目）

北票北塔油页岩综合开发有限公司现有两部 40 台抚顺式干馏炉，年产页岩油 3 万吨，需要年耗油页岩原矿约 150 万吨，其中约 76%为 20~110mm 块油页岩 114 万吨送入干馏炉中炼油，而 20mm 以下小颗粒油页岩占 24%，即约 36 万吨作为废弃物排放。

距油页岩干馏厂 10km 处，有一座煤矿发电厂。电厂 1995 年建设，装机容量为 1 台 12MW 凝汽发电机组配 2 台 35t/h 循环流化床锅炉，全年燃烧劣质原煤 15~17 万吨。为消纳炼油厂小颗粒油页岩，需要对电厂锅炉进行升级改造。

研究内容包括：

- ① 约旦油页岩基础燃烧特性研究；
- ② 北票和尚沟电厂 35t/h 小颗粒油页岩循环流化床锅炉改造设计与运行。

### **方向 2. 低热值高水分褐煤发电技术研究与应用**

低热值、高水分的褐煤用于电厂发电，对于锅炉的选型和设计存在巨大的考验，如何保证褐煤在炉膛内的稳定燃烧，合理布置受热面，选择合理的配风量，都将影响锅炉的效率和全厂运行机组可靠性。土耳其 70%的褐煤热值在 2000 大卡以下，水分高达 40%以上，甚至有些煤矿的煤质热值仅有 1000 大卡左右，如此低热值的褐煤，世界上目前鲜有应用的案例。

中国电建集团山东电力建设第一工程有限公司承担一带一路项目“土耳其低热值高水分褐煤发电技术研究”，并与东北电力大学开展合作研究。开展低热值高水分褐煤发电技术的研究与应用，对掌握低热值、高水分褐煤燃烧发电的成套关键技术具有重要意义，同时，必将为推动我国云南省褐煤在流化床锅炉燃烧发电领域的发展开辟一个新的市场。

研究内容包括：

- ① 土耳其、云南褐煤基础理化特性及燃烧特性研究；
- ② 低热值高水分褐煤燃烧系统设计与应用；
- ③ 褐煤锅炉流动、燃烧及磨损特性研究；
- ④ 大型火电机组调峰运行灵活性技术。

### **方向 3. 生物质与传统能源协同供能发电技术**

本方向针对生物质规模化利用，在燃烧、气化等方面开展工作。研究内容包括：

- ① 生物质与煤耦合燃烧特性研究；
- ② 生物质与燃煤锅炉协同供汽技术研究；
- ③ 生物质气化技术研究；
- ④ 大容量生物质气化炉的开发与示范；
- ⑤ 生物质气化-燃烧一体化工业锅炉的开发。

### **方向 4. 城市有机固体垃圾燃料化的亚临界水解技术与工艺研究**

针对国内城市生活垃圾特点，开发一种创新的垃圾燃料化亚临界水解处理技术。通过建立水解反应系统，详细开展难于处理的城市单一干垃圾、高含水湿垃圾及干湿混合垃圾亚临界水解特性试验与理论研究，在优化能耗基础上将高含水量固体垃圾转化为干燥、均匀、粉状、煤类固体燃料。最终解决城市垃圾燃料化亚临界水解技术参数选取、水热反应釜优化设计及商业化放大等关键技术问题。

研究内容包括：

- ① 亚临界水解条件对城市有机固体垃圾转换固体燃料化品质影响试验研究；
- ② 城市垃圾亚临界水解固体燃料燃烧特性研究；
- ③ 亚临界水解过程重金属(锌、镍、铜、镉)及碱金属(钾、钠)迁移转化机理研究；
- ④ 亚临界水解过程氯的形态变化及迁移转化机理研究；
- ⑤ 城市垃圾亚临界水解固体燃料产品干燥特性研究；
- ⑥ 城市有机固体垃圾亚临界水解反应釜优化、设计开发及能耗评价。

## 方向 5. 多能源互补高效供能技术研究与应用

针对三北地区地域特点，开展清洁能源互补的供热技术研究与应用。以城市集中供热的热力管网无法覆盖的企业园区、乡镇公用建筑或居民建筑的供热需求为主要目标，以太阳能、生物质能耦合弃风、弃光电力等清洁能源为热源，搭建具有可再生能源互补特征的供热系统，以用户热负荷的时变特性为调节目标，实现多能源耦合互补供热。

研究内容包括：

- ① 太阳能跨季节储热关键技术及装置研究，开展蓄热水箱结构优化设计，优选低温相变蓄热材料，实现高效的潜热显热联合存储技术及装置；
- ② 严寒地区双源（空气源和水源）热泵稳定高效运行关键技术研究，确定双源热泵转换利用策略；
- ③ 多能互补型清洁供热系统模块化集成设计及运行策略研究，开展太阳能跨季节储热、双热源热泵以及生物质锅炉三个热源模块互补供热的集成设计方法研究；开展多种热源模块优化组合和运行控制策略研究；
- ④ “源-网-荷-储”一体化清洁供热智慧管控系统研发；
- ⑤ 开展典型用户热负荷规律预测技术研究；开展以需定供的拉动式供热水力平衡控制策略及应用技术研究；研发以用户热负荷需求为目标的智慧管控系统。

## 2. 发展目标及规划

### （1）运行管理制度建设方面

在运行与管理制度建设方面，“中心”将进一步加强机构的健全和机制的转化，提高“中心”的市场化水平。“中心”作为一个产学研相结合的实体，将适时顺应时代的发展和市场需求。积极探索市场化运转的可行性，加强“中心”自身建设，完善健全各类运行和管理制度，强化电能变换与控制领域的工程技术研究能力和人才队伍建设，不断优化“中心”的运行机制和功能，使中心运转更加具有活力。

### （2）工程技术研究方面

在工程技术研究方面，将围绕国际科技前沿、国家发展战略需求和区域经济发展中的重大问题，进一步凝练研究方向，重点进行油页岩综合利用技术关键设备研发与示范、低热值高水分褐煤发电技术研究与应用、生物质与传统能源协同供能发电技术及多能源互补高效供能技术研究与应用和生物质等可再生能源的研究与应用等方向开展基础理论创新、

共性技术突破和核心装备攻关，努力开展工程化及产业化应用。在科学技术研究上，“中心”将实现承担国家、省部级、地方及企业等项目 20 项以上，新申请或获得授权专利 10-20 项，发表国内外学术论文 60-80 篇以上，通过省部级科技成果鉴定 3 项，获省部级以上科技奖励 3 项以上。在工程技术开发上，“中心”将建成 4-6 个技术创新平台、2 个产业化示范基地。

### **（3）人才队伍建设方面**

在人才队伍建设方面，“中心”将创新管理体制与机制，搭建新的人才交流平台，加大高层次人才引进力度，积极开展海外优秀人才招聘，不断改善和优化人才队伍梯度结构，鼓励青年科研人员出国留学研修。在团队成员中培养 4-6 名在国内同行中有影响的学术带头人，12-14 名优秀学术骨干，培养博士、硕士研究生 50 名以上。使“中心”科研与技术人员规模达到 100 人。

### **（4）对外交流合作方面**

在对外交流与合作方面，资助“中心”教师和研究生进行国际学术会议交流 20 人次以上，支持 4-6 名团队成员出国深造或开展国际合作研究，努力构建一支较高水平的研究队伍。“中心”将利用自身的技术和平台优势举办学术会议 3-5 次，举办学术报告 8-12 次。

### **（5）人才培养机制方面**

在人才培养机制方面，“中心”将牢固树立人才培养在学院发展过程中的中心地位，构建工程技术应用为导向的人才培养机制，着力提升创新、创业和具有工程实践能力的人才培养质量。探索和完善的硕士研究生和博士研究生培养计划，形成“产-学-研”一体化的新培养模式。“中心”将形成每年培养博士和硕士研究生 30 人以上，为企业培训技术人员 150 人次以上的人才培养能力。



## 八、存在的问题及改进措施

### 1. 建设发展中存在的主要问题

建设期间，在上级主管部门和东北电力大学的支持下，“中心”紧密围绕油页岩干馏炼油、油页岩及半焦燃烧发电及灰渣综合利用三个主要方向开展了基础科学研究、科技攻关、工程化验证单项工程技术研究、产品开发与工程化推广工作，攻克了油页岩工程化中某些关键科学技术难题，取得了一批具有自主知识产权的新技术和新工艺，建设了几个重要的油页岩利用示范基地。经过多年的建设与运行，“中心”取得了一系列的显著成果，在科学研究、科技攻关、设计开发及工程应用等方面得到了显著的提高，已成为我国油页岩行业重要的研究开发基地，为今后的发展奠定了牢固的基础。当然，“中心”在建设与管理过程中面临着许多问题和挑战，需要进一步明确、完善和加强。

#### (1) 管理制度与运行机制建设

在制度建设方面，“中心”相对独立运行的体制机制有待进一步完善，由于尚不具备独立法人资格，在人才引进、人才培养、队伍建设、运行管理、对外交流与合作中都存在一定的困难，因此，需要在运行和管理制度上进行开放和创新。

#### (2) 人才队伍建设

学校位于吉林省吉林市，由于学校的地理位置较偏、经济欠发达等多种因素的制约，对一些高水平人才的吸引力不足，同时，为建设高水平教学研究型大学，学校一直坚持把有限的编制数量更多用于引进高层次、高学历的优秀人才，硕士引进比例相对较少，导致中心教师队伍数量增速缓慢。虽然学校近几年加大了引进力度，但考虑到师资队伍的结构合理性和可持续发展，不能短时间内全部解决，只能分期分批引进。

同时，随着中心的发展，购进的大量先进的设备急需专业人员进行管理维护及开发。

#### (3) 运行管理

中心建设与发展和资金的投入有着很大的关系，其中，中心运行经费是维持中心稳定发展的重要因素。在中心的运营过程中，由于缺少稳定的建设经费和固定的运行经费，所以，中心在人才激励、人员奖励、对外开放基金、仪器设备的维护与运行等等方面有所欠缺。

#### (4) 对外合作交流

近几年，中心人员出国访问交流的机会增多，这对学习先进的科学知识、提高人才培

养质量、拓宽眼界和视野有着极大的推动作用。但基于中心运行经费等多种因素的影响，在举办国际国内高水平学术会议、开展国内外交流与合作基金、以及资助“中心”教师和研究生进行国际国内学术会议交流等方面仍有所欠缺。在一定程度上也限制了中心与企业的合作和交流。

### **(5) 工程技术开发与应用**

油页岩行业与石油工业息息相关，尤其受国际石油价格波动的影响极大。虽然我国油页岩储量巨大，但品位相对较低，导致油页岩炼油成本相对较高，无形中加大了油页岩炼油行业的生产成本。又由于国际石油价格波动较大，企业所最求的第一要务是效益，所以，新的工程技术的开发与应用严重受以上两种因素的影响。

## **2.改进措施**

### **(1) 提高思想认识，推动中心建设**

教育部工程研究中心是实现高等学校人才培养、科学研究、社会服务三大功能的重要平台。高等学校是人才成长的摇篮，是知识创造和传播的重要基地，是国家实施科教兴国战略的重要力量和国家科技创新体系的重要组成部分，肩负着人才培养、科学研究、社会服务三大功能。教育部工程研究中心作为高等学校的科研实体，集创新人才培养、工程技术研发、开展社会服务三大职能于一体，也是进行产学研合作的重要平台。因此，首先从思想上提高认识，才能推动中心的建设。

### **(2) 注重水平建设，加强特色建设**

工程研究中心作为技术创新平台，主要进行应用研究，开展技术创新活动。本中心将紧密围绕油页岩这一特色行业，针对科技含量高、带动性强、适应主导产业发展的项目，开展高层次深入的工程化、产业化研究。在关键共性技术领域和科技发展前沿，开发出具有自主知识产权的高新技术及产品，抢占高新技术制高点，把油页岩工程研究中心建成行业高水平创新基地。

### **(3) 加强与企业合作，推动产业化发展**

本中心将积极与企业合作，以市场需求与发展为导向，市场研究与开发研究有机结合，在科技开发、技术合作、成果转化等方面形成强大的竞争优势，同时，针对企业发展需求加大自主知识产权的技术和产品的开发力度，努力推动产业化发展。

#### **(4) 加强队伍建设, 重视工程技术人才培养**

本中心将围绕中试孵化、新技术和新产品开发、实施科技成果产业化等方面的需求, 建立适合市场经济的人才培养、使用机制, 努力创造一个培养人、用好人、留住人、吸引人的良好环境。重点培养专业化工程技术开发人才, 培养观念新、素质高、勇于开拓善于组织创新活动的工程技术管理和经营队伍, 确保持久的开发创新活力。

## 九、依托单位自评估意见

## 十、主管部门意见

## 十一、教育部意见