

# 炼焦煤资源开发及综合利用国家重点实验室

## 新型炭材料研究所项目汇总简介

新型炭材料研究所将聚焦于“炭”、“焦”两大研究对象进行开发，密切联系支撑单位-中国平煤神马集团的主产业链，面向市场而不局限于市场，为开炭和集团公司做好技术支撑和新产品开发工作。研究所的工作将更倾向于科技开发而非基础研究。炼焦煤资源开发及综合利用过程中所需要的、所产生的材料和技术都可以作为新型炭材料研究所的研究对象。

目前，新型炭材料研究所已经开展或有计划进行的研发项目包括：

### 1. UHP 石墨电极生产设备及工艺革新

#### 1.1. 固化保温料石墨化炉

传统的艾奇逊石墨化炉及内串石墨化炉在生产过程中都要用冶金焦或石油焦的焦末做为保温料。焦末的使用会带来几个问题：

- ①. 粉尘污染。这是最直接危害，导致石墨化车间甚至整个炭素厂都显得十分肮脏，同时有可能会引起操作员工的煤肺病。
- ②. 硫污染。高温时焦末中的硫元素将以二氧化硫的形式释放到大气中，污染大气。
- ③. 热效率低，同时余热难以利用。焦末因其固有热容吸收大量的热，极大地降低石墨化炉的热效率，同时由于焦末的阻隔使得各种余热利用设备和技术无法在传统石墨化炉上使

用，导致大量高至 3000℃的余热无法利用。而研发固化保温料石墨化炉将有极大可能有效地解决上述问题，同时，有可能将石墨电极的二次焙烧放在此处利用余热进行，这一改进将极大缩减电极生产成本。保温料固化后，石墨化炉内将形成温度高至 3000℃的大体积空腔，这些空腔使得超高温条件下形成高价值副产品的生产加工成为可能。

## 1.2. 电焙烧炉

目前，开炭车底式焙烧炉使用燃料为天然气，天然气的燃烧需要配入高于 10:1 的助燃空气，同时产生大量高温二氧化碳和水蒸气。助燃空气中的氮气以及生成的二氧化碳和水蒸气等高温烟气因其固有热容会带走大量的热，极大降低焙烧炉的热效。不考虑炉墙吸热等其他热耗散，经粗略计算，天然气将炉腔加热至 850℃时理论热效为 63%，1400℃时理论热效仅有 36%。开炭现行天然气价格为 2.7 元/Nm<sup>3</sup>，若改用电焙烧炉，目标温度为 850℃时，电价低于 0.4655 元/kwh 时，电焙烧炉将比目前的天然气热源焙烧炉更有经济性，1400℃时只需电价低于 0.7781 元/kwh 电焙烧炉就将比目前的天然气热源焙烧炉更有经济性。

伴随我国“煤改气”项目的大规模推进，全国大范围出现“气荒”，天然气价格将直线上升。据称，开炭天然气价格将有可能飙升至 3.4 元/Nm<sup>3</sup>，在此价格，目标温度为 850℃时，只要电价低于 0.5862 元/kwh，电焙烧炉就将比目前的天

然气热源焙烧炉更有经济性。

与此同时，越来越多人对天然气的“清洁能源”称号提出质疑。做为“负责任”大型国有企业，在环保检查力度越来越大情形下，开炭有必要研发更加清洁高效的焙烧炉，为炭素行业的清洁生产和持续发展起到应承担的标杆作用。

### 1.3. 炭材料 3D 打印和注射成型研发

开炭石墨电极接头采用传统加工工艺，接头坯料石墨化后使用车床进行外形加工。该工艺的理论成品率仅在 60%上下，其余 40%多的坯料既浪费了原料也耗费了前工序的产能、能源和人工。电极接头是开炭生产成本最高的产品，若能将这部分 40%多的损耗扣除，将极大降低开炭电极的生产成本。经过技术调研，能够达到上述目标的技术有 3D 打印和注射成型等两种工艺。

做为近年来迅速升温的一项加工成型新技术，3D 打印又被称为增材制造。不同于车、铣、刨、磨等传统加工成型技术，3D 打印技术在制作非规则几何外形产品时的成品率极高，几乎没有原材料的浪费，可以达到近 100%的成品率。目前市面上常见的 3D 打印技术有 FDM、SLA、SLS 和 SLM 等技术。因为 SLA 的关键材料光敏树脂过于昂贵，炭材料在常压下没有液相存在等因素，所以目前的 SLA、SLS 和 SLM 技术适用炭材料的 3D 打印的可能性较小。炭材料 3D 打印的技术或许可以是改进型的 FDM 技术，新型炭材料研究所已

开展了较大量的前期工作，目前缺乏对 **arduino** 及嵌入式系统相关技术人员，项目暂时停顿。

注射成型是在陶瓷、塑料和粉末冶金等行业有较大规模运用的一种较为成熟的成型技术。注射成型是一种近净成形技术，有接近 **100%**的理论成品率，但是其目前一般应用于小型工件的加工（一般不超过几公斤）。提高接头成品率的工作也可以采用该方式开展，我研究所尚未开展相关工作。

相比较而言，对于批量产品来讲，注射成型比 **3D** 打印有更高的生产效率，而批次数量较小的产品，**3D** 打印技术将更为方便、高效。

#### 1.4. 超高温气体单向阀

固化保温料石墨化炉等装置需要用到温度可能高至 **3000℃**的气体单向阀，但目前全世界范围内气体单向阀的最高承受温度在 **950℃**以下，所以该产品尚需我们自行研制。目前，我研究所已经在和开封阀门厂相关技术人员进行交流，后续工作亟需迅速展开。

#### 1.5. 高性价比超高温保温材料开发

固化保温料石墨化炉需要耐火温度 **2000-3000℃**的高性价比保温材料，目前我研究所正在研究试制。

#### 1.6. 高性价比超高温绝缘材料开发

固化保温料石墨化炉需要熔点在 **3000℃**以上的高性价比绝缘材料，目前我研究所正在进行资料搜集。

### 1.7. 超高温热场、热耗散模拟分析

该部分工作需要擅长热力学研究团队与我研究所开展合作。

## 2. 新型炭材料产品开发

### 2.1. 炭-石墨-金属复合高导电、高强、自润滑滑块

新型炭材料研究所已经成功制作该产品小样，有各向同性焦、高纯石墨和电解铜复合材料制作。

该滑块的特点是其中的铜相互连接，形成三维铜网，构成电流的完整通路；石墨和各向同性焦紧密镶嵌在铜网的空隙中，分别起到机械支撑和自润滑作用。

该滑块的可用于大型火电机励磁线圈的电刷、高铁受电弓、地铁导电靴和风力发电机接地电刷等。

后续需要根据不同用途，调制其中的金属元素种类、含量以及焦和石墨的种类、粒径分布等参数，开发一系列的新产品。

### 2.2. 新型中空碳纤维的开发、研制

作为炭材料产业中的明星产品，因其各种优异的力学和结构性能，碳纤维受到越来越多的关注。我国目前还不能大规模量产高端碳纤维，中空碳纤维的量产更是遥不可及。生产技术薄弱带来的是国内碳纤维价格居高不下。新型炭材料研究所经过大量资料收集目前有比较成熟的实验方案，囿于目前人手不足，尚未进一步开展研究。

### 2.3. 碳纤维-金属复合线缆、板材

当下,我国正在大规模进行特高压直流-交流输电网络的建设,该网络的成功建设将为我国的西电东输、环境保护、能源供给以及国家安全提供重要保障。该输电网络将需要大量高电导率、高抗拉强度及高稳定性的输电线缆,而碳纤维-金属复合线缆正是所需的理想产品。

通过 2.1.炭-石墨-金属复合材料的研发,目前我研究所掌握了一整套 M-C 复合材料的制造工艺,研究开发碳纤维-金属复合线缆较为顺利。碳纤维复合线缆的小样制作已经完成并申请了相关专利。其特点在于,其中碳纤维完好的连续性及纤维密度及分布的完全可控性。该特点将使所生产复合线缆的抗拉伸性做到极致,同时可以根据用途,轻松调整性能参数,而即是性能够用又不致性能过剩。产品性能参数的后续调整以及各种测试,囿于人手不足尚未能进行。

采用和上述复合线缆基本类似的工艺,我研究所准备开发碳纤维-金属复合板材用于电磁屏蔽等方面。

#### 2.4. 焦-石墨-硅发热、蓄热、保温材料及谷电蓄热炉开发

在雾霾一直难以治理的当下,我国各级政府纷纷出台各类限煤政策。其中比较突出的就是“取暖双替代”,即以“电”“天然气”代替各家各户散烧的“煤”。这是一项利国利民的好政策,各级政府都拿出巨额补贴加速政策落地,但是我国“电贵”、“气少”能源局面为这项好政策的可持续性蒙上一层阴云。

我国电价高的局面一方面是由于电企及电网的垄断，另一方面“峰平谷”各时段用电负荷差异大，造成电网投资费用大以及发电厂机组不能长时段运行于设计经济负荷造成的。

“双替代”中“电替代”部分目前采用的基本都是以电能驱动电暖气、空调等方式开展的，这样的运行方式并不科学。若政府协调电网放开居民“峰平谷电价”，天然气通不到的居民采用电热高温蓄热炉取暖，用电负荷低谷期将炉体内核烧到 1000-2000°C（炉体表面温度为常温），用电高峰期根据需要将热量缓慢释放保持居家温度。这样既使居民得到实惠，利于政策落地，又可以使发电企业将低谷期的负荷拉高使发电机组长时间处于经济运行区间内，降低发电成本，并提高电网满载率，使电网运行更加安全、经济。

而这项工作的核心就是高效、智能、安全的高温蓄热炉的开发。其尤为中最重要的就是高效、节能、可靠的发热、蓄热、保温材料的开发。目前，我研究所已经开发出焦-石墨-硅高效发热、蓄热保温材料样品，后续产品细节以及炉型的智能化控制尚在搁置。

## 2.5. $\beta$ 树脂的高效提取

电极生产中的粘结剂和浸渍剂中的最有效成分为  $\beta$  树脂，同时， $\beta$  树脂还是中间相沥青以及炭微球负极材料生产中极为重要的材料。目前我研究所已经有其提取思路，并陆续开

展相关工作

## 2.6 单层石墨烯大规模工业合成的新方法

### 3. 炭材料在电储能方向的运用开发

#### 3.1. 新型铅炭电池的开发

我国工业峰平谷电价在峰谷之间有巨大价差，峰谷价差高达 0.62 元/kwh。若可以实现“谷储峰用”模式，一方面可以使业主得到巨额利润，另一方面可以“削峰填谷”使电网负荷趋于平稳，使电网及发电企业得到实惠。

我国风力发电、光伏发电目前正如火如荼地开展。在红火的同时也应看到，我国西部出现了大规模的“弃风”、“弃光”现象。据称，出现该现象的主要原因是风电和光电被业内称为“垃圾电”，其电能输出的不稳定性和不可控性，使得其消纳难以进行。解决新能源电能输出不稳定性和不可控性的重要手段就是建立大规模固定式储能电站，据中关村储能产业技术联盟消息，目前国家相关部门正在制订相关政策，给与储能企业给与高额补贴。

遗憾的是，经过市场调研，目前市场上并无合适电池胜任上述工作。若将每千瓦时电能存入电池并释放出来的电池价格定义为“度电单次循环成本”，目前市面上常见的电池种类的度电单次循环成本都在 1 元以上，“谷储峰用”模式运营时无法盈利。想实现以上盈利模式，新型电池的开发就成为一项急需相关技术人员完成的工作。



经过较长期的资料积累和市场调研，我研究所决定将电池的首期研发目标定为固定储能电池方向，具体讲就是新型铅炭电池。该决定主要基于以下几个原因：

- ①. 铅炭电池是在铅酸电池的基础上结合炭材料发展起来的一种新型电池，开炭在炭材料应用方面人才资源较为丰富，同时，有大量成熟的铅酸电池技术资料可以借鉴，开发难度相对较低。
- ②. 电池开发成功后，若确实能够完美实现预设功能。开炭及集团旗下许多子公司都是用电大户，采用“谷储峰用”的合同能源管理运行模式，市场推广难度相对较小。平煤系统大规模运用效果确实良好的话，全国乃至世界市场将极其容易扩展。同时，在该运营模式下，电池生产技术的保密工作容易进行。
- ③. 铅酸电池的回收利用有大量成功案例可以进行参考。而锂电等类型的电池现在还没有成熟的资源回收技术。
- ④. 虽然“铅元素”在国内声名狼藉，但是，铅污染环境修复行业多位专家表示，“从世界范围内来看，真正大范围的铅污染并不存在，铅污染仅出现在某些极端环境中，我国的铅污染是人祸而不是天灾，“铅名狼藉”现象完全是由无知媒体的炒作所造成的”。通过铅酸电池成熟的循环回收利用技术，采用“闭环式循环利用”，铅炭电池完全可以做到比缺乏回收利用技术的锂电池更加清洁环保。

目前，无论是新能源汽车的动力储能电池，还是固定式储能电池的研发人员都在追求：

- ①. 更高的储能密度;
- ②. 更多的循环次数;
- ③. 更快的充放电速度。

而作为超大规模的固定式储能电池来讲,追求以上 3 个目标是无益的。固定式储能电池不需考虑重量和体积,无需极高的能量密度,能量密度无限制提高的结果将是电池的危险性急剧升高(1kwh 电能接近于 0.9kgTNT)。超高循环次数电池的开发需要极长的研发时间和极高的难度,验证标称数据真实性的时间成本也极高。而与此同时,无论何种电池技术,超高速充放电和高循环次数都是一对矛盾体,超快的充放电速度也将加剧电池的危险性。目前,新闻爆出的电池鼓包、自燃和爆炸事故中大多都是由快速充放电技术引起的。

综上,我研究所对于铅炭电池的研发思路是:

- ①. 充分考虑成本因素,不追求储能密度,质量密度和体积密度均不追求。只需所研发新型电池的储能密度与目前市场常见铅酸电池持平即可。当然,在不会大幅提高生产成本、拖长开发时间、提高研发难度的情况下,储能密度的提高也可以成为目标。
- ②. 充分考虑电池翻新使用成本,不追求电池循环充放电次数。大规模固定式储能电站中,所有电池模组都与输送电解液和翻新药剂的管道连通。当检测到某电池模组循环次数接近寿命预定值(铅酸电池标称循环寿命 600 次),电解液通过管道释放、收集,翻新药剂通过管道送入电池模组,原地、原位快速翻新。翻新后循环寿命仍然达到 600 次,理论计算成本为 1.2 元/kwh 电池/次,

度电单次循环成本可低至 0.002 元，远低于市场常见电池的度电单次循环成本一至数元。

- ③. 充分考虑电池和系统的安全性，不追求充放电速度，更大功率的“削峰填谷”能力靠更多的电池模组并联去解决。

以上研发思路的难点在于：

- ①. 更加优质的正、负极集流体或称为电极栅板的研发。该集流体在强电场下对强酸性电解质和翻新药剂有足够的耐腐蚀性、有足够低的电阻率等特点才能够满足上述开发思路。目前，我研究所已成功开发出低电阻、高耐腐蚀性全石墨质的负极集流体，但是正极集流体还存在很大难度，囿于人手不足，暂时搁置。
- ②. 更优质的翻新药剂。要求该药剂不仅能够低成本的翻新电池，还需要其可以反复多次循环使用。

### 3.2. 可控微孔陶瓷隔膜

无论是当前火爆的锂电还是传统的铅酸电池，优质的隔膜都是保障电池性能的核心部件。隔膜材质在工况条件下的稳定性、稳定性以及其中微孔孔径、分布的可调控性都是电池隔膜的重要参数。

我研究所在研究碳纤维复合材料过程中发现一种制作微孔可调控的优质隔膜的制作思路，目前限于人手不足还未开展相关工作。

### 3.3. 可控微孔空气石墨电极

在以氧气作为阳极活性物质的金属空气电池和燃料电池都需

要将空气（或氧气）导入电池系统并活化之。这一过程就需要石墨质双极板、流场板或微孔电极。同样在上述碳纤维复合材料研究过程中，我研究所找到微孔大小、密度和分布等完全可控的石墨电极的制作方法，同样囿于人手不足尚未开展下一步工作。

#### 4. 环保功能炭或非炭材料

##### 4.1. 水处理培菌材料

在水产养殖和工业污水处理中都需要大量培菌材料。这类材料一般需要有高比表面、水稳定性及廉价性等几个特点，目前使用较多的有塑料毛刷、石英砂、多孔陶粒等。但是这几种材料各有其自身不足：塑料毛刷使用寿命不长并容易发生二次污染，石英砂水阻大，多孔陶粒存在闭气孔过多并造成不易沉水等缺点。

开炭每年有大量废弃含碳石英砂粉产生，在环保监督力度不断加大的当下，每年还需要给第三方公司支付相当量的费用，用于废弃石英砂的处理。

我研究所已开展相关研究工作，将废弃石英砂粉制作成石英质蜂窝材料，可用于水处理培菌材料。该种材料具有价格低、水阻小、水稳定性好、使用寿命长和不产生二次污染等优点。但是其具体培菌效果尚待有生物或环境相关专业合作者给予测试。

##### 4.2. 脱硝、脱硫一体化活性焦

我国环保行业对湿法脱硫已有大量质疑和反对呼声，质疑者主要有环保行业的相关专家及一些环保部门官员，他们认为大规模、大范围的湿法脱硫是造成严重雾霾的重要原因。质疑反对者

所列举的大量数据和相关证据在此不一一论述和列举。同时，湿法脱硫还存在固废处理难度高，产生水体二次污染等缺点。有相当一部分专家认为国家在不久的将来抛弃湿法脱硫的可能性极大，但是燃煤炉窑不进行脱硫是不可能的，那么对于环保行业的研究者来讲，需找一种更加清洁、成本较低的新型脱硫方法就显得极为迫切。

活性炭脱硫是一种较为成熟的脱硫方法：含硫烟气通过活性炭，其中的二氧化硫被活性炭吸附截留，二氧化硫接触负载在活性炭上的催化剂，被烟气中的氧气氧化成三氧化硫，吸附饱和后通过喷淋水与之反应并洗脱成为硫酸，通过窑炉余热将洗脱液浓缩，即产生副产物工业硫酸。

据环保行业相关人士介绍，上海克硫环保公司是我国业内最大的活性炭法脱硫运营公司，在国内已建设近 30 套实际运行系统。开炭院士工作站翁宇庆院士透露：目前日本钢铁行业所有企业的工业烟气脱硫方式都是活性炭脱硫法，每组活性炭可以使用大约两年，大约每季度喷淋更新一次，因活性焦的生产成本远低于活性炭，所以在实际在工业应用中使用的不是活性炭，而是活性焦。

平煤集团的炼焦能力亚洲第一，为我国钢铁产业的发展做出极大贡献。大块焦炭价格很高，但是焦炭的生产和存储过程中难免会产生一些焦末，由于粒度过细高炉使用不便而导致价格较低。

我研究所已使用这些焦末制作了高比表面、低气阻蜂窝状活

性焦样品。气体二氧化硫、一氧化氮、二氧化氮、甲醛一体化测试仪正在采购过程中。下一步进行相关测试，并制作脱硫脱硝一体化蜂窝活性焦。

同时人们对居家环境日益重视，因装修产生的甲醛成为人们的心头大患，我研究所有计划下一步开发高效、高性价比的甲醛吸附专用蜂窝活性焦并进行相关测试。

#### 4.3. 水体氮、磷治理石墨电极

水体富营养化是目前一个重大环境问题，原因是其中的氮磷元素超标引起的。目前已有较多学者研究了电化学法用于治理水体氮磷元素超标问题，高稳定性、高比面积的廉价石墨电极的开发是其中一个很重要的问题。我研究所开发的铅炭电池负极集流体就是这样一种电极，但是我研究所目前无法抽调出人手进行后续相关测试。

#### 4.4. 治理水体有机污染石墨电极

电化学阳极氧化法是治理水体有机污染的一个有效方法，大量研究者已经在开展相关研究工作。通电氧化处理浓缩水体方法中同样需要高比表面积、高稳定性的石墨电极。我研究所开发的铅炭电池负极集流体通过适当修饰后完全胜任该项工作。但是我研究所目前无法抽调出人手进行后续相关测试。

#### 4.5. 重金属污染水体处理用石墨电极

#### 4.6. 光催化石墨电极