

第二届燃煤锅炉耦合生物质发电技术应用研讨会



刘义达

山东电力工程咨询院有限公司锅炉专业主设人。咨询工程师（投资），注册公用设备工程师（动力）。目前主要从事燃煤耦合生物质设计研究；煤的清洁发电设计研究；内燃机电站设计研究；分布式供能站设计研究；光热电站设计研究；污垢形成机理研究；防腐防垢技术研究工作。在International Communication in Heat and Mass Transfer、工程热物理学报、化工学报、热能动力工程、热力发电等国内外期刊发表多篇学术论文，申请及获得国家发明专利10余项，参编中国电力规划设计协会“国外标准对标”第13卷，多次承担150MW等级~1000MW等级燃煤机组、楼宇式分布式、重油内燃机电站、在役机组节能改造等工程设计、咨询工作。

多能互补理论及其在燃煤耦合生物质方面的应用

2019年4月17-18日 中国·石家庄

多能互补理论及其在燃煤 耦合生物质方面的应用

汇报人：刘义达

山东电力工程咨询院有限公司

地点：石家庄（第二届燃煤锅炉耦合生物质燃烧技术应用研讨会）

时间：2019年4月18日



知识产权声明

本文件的知识产权属国家电力投资集团公司及其相关产权人所有，并含有其保密信息。对本文件的使用及处置应严格遵循获取本文件的合同及约定的条件和要求。未经国家电力投资集团公司事先书面同意，不得对外披露、复制。

Intellectual Property Rights Statement

This document is the property of and contains proprietary information owned by SPIC and/or its related proprietor. You agree to treat this document in strict accordance with the terms and conditions of the agreement under which it was provided to you. No disclosure or copy of this document is permitted without the prior written permission of SPIC.

公司简介：山东电力工程咨询院有限公司

- ✓ 山东院是国家电投的二级子公司。国家电投是中国四大发电集团之一，是一个以电为核心、一体化发展的综合性能源集团公司。
- ✓ 集**6大业务板块**，**8大业务领域**于一体。
- ✓ 具备开展勘察设计、工程总承包等全产业链所需的完备资质。
- ✓ 拥有国家最高资质：工程设计综合甲级
- ✓ 市场覆盖印尼、印度、巴西、巴拿马等40多个国家和地区。



一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介



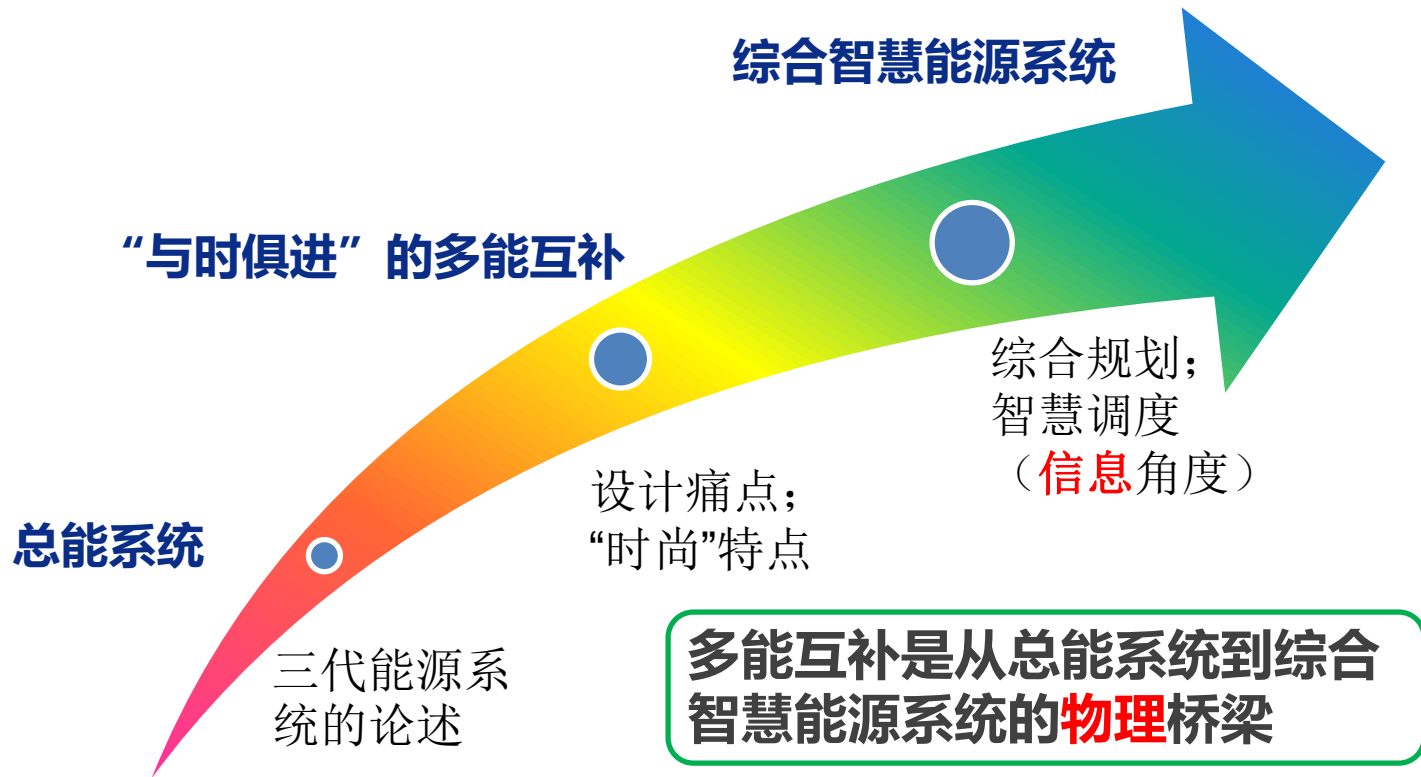
二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

四、多能互补技术路线的选择原则与耦合规划新思路



一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介



一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介

Q: 什么是总能系统?

A: 金红光, 张国强, 高林等, 总能系统理论研究进展与展望[J], 机械工程学报, 2009, 45(3): 39-48.

- **第一代能源系统**基本上建立在简单循环的热机层面, 即多采用由若干热力过程组成的正向循环来实现把热能转化为机械功(或含有效热输出)的简单循环系统形式。包括**常规燃煤蒸汽循环与简单燃气轮机循环**都属于第一代能源系统的范畴。
1988年, 吴仲华教授提出著名的“温度对口、梯级利用”原则
- **第二代能源系统**就是基于“温度对口, 梯级利用”原理集成的能量转换利用系统, 在实现一种或多种热工功能目标时, 达到更高的能源利用率。开始提出热力循环组合的总能系统。包括**燃气—蒸汽联合循环在内的多种复合循环**均属于这一范畴。
以上局限于热工领域, 称为**狭义总能系统**
- 广义总能系统(资源—能源—环境一体化的多功能能源系统)
- **第三代能源系统**则是在可持续发展的大背景下全面发展了的**广义总能系统**, 为与环境保护相容协调的总能系统, 即**多领域学科交叉渗透、多能源与多输出一体化**的广义总能系统。

把热工过程和污染控制一体化, 协调兼顾了能源动力、化工、石化、环境等诸领域问题

一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介

Q: 什么是综合智慧能源系统?

A:

- 2016年国家发改委、国家能源局关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见
- 近年来,随着物理世界和数字世界的融合,在多能源综合互补系统的基础上,进一步发展了综合智慧能源系统。
- 变革的驱动力: 传感器成本下降
- 其关键技术之一在于多能流系统的智能运行管理,确保多能流系统的安全、高效运行
- 变革的驱动力: 人工智能的快速发展

Q: 怎样形象理解“与时俱进”的多能互补?

©SPIC 2019. All Rights Reserved.

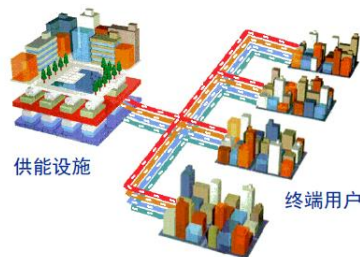
多能互补集成优化示范工程

基地: 风光水火储多能互补系统



传统模式优化

终端一体化集成供能系统



新模式变革

合适的**主体**在合适的**时空**“遇见”合适的能源, 这种“左右逢**源**”不是上帝掷骰子的“邂逅”, 而是工程师通过优化设计手段预设的“缘分”。设计手段包括自动寻优、大数据分析等**新型优化设计手段**, 设计范围从微观到宏观。

一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介

正确地**做事**

基于多能互补创新的
优化设计手段

快速产生多种方案组合

选择做正确的事

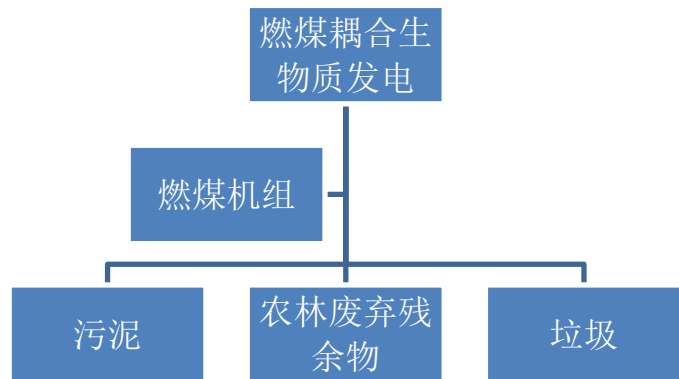
多能互补带来的是：
从厨师到**营养师**的转变
最大特点：
私人定制，量体裁衣

和生物质耦合
怎样结合呢？

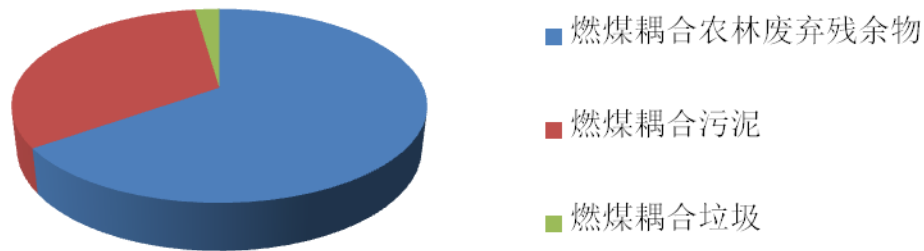
Q：燃煤耦合生物质发电的物理过程是什么？

A：**多输入单输出**/多输入多输出的多能互补
时空、主体都可以有所创新（全球收储运，等）

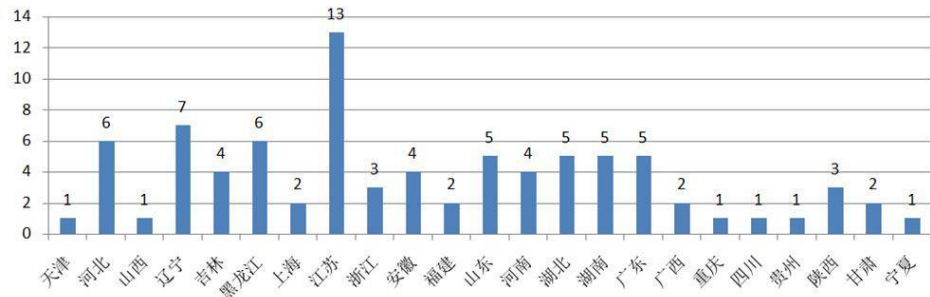
一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介



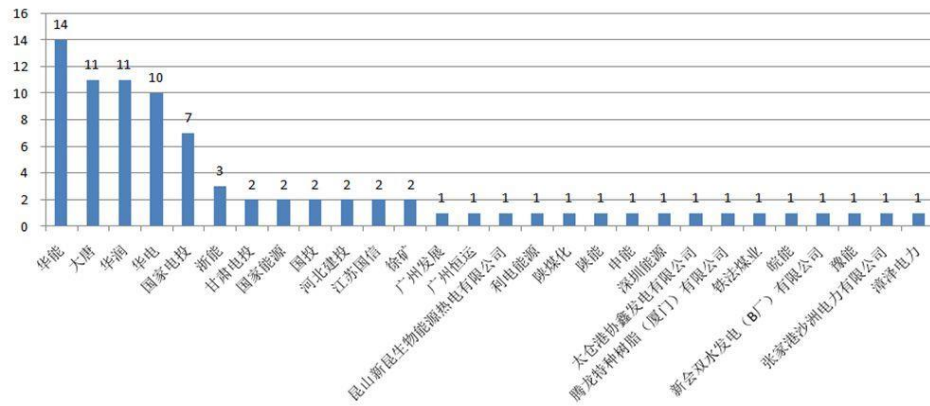
不同项目类型的试点数量



各省燃煤耦合生物质发电技改试点项目数量



各发电企业燃煤耦合生物质发电技改试点项目数量

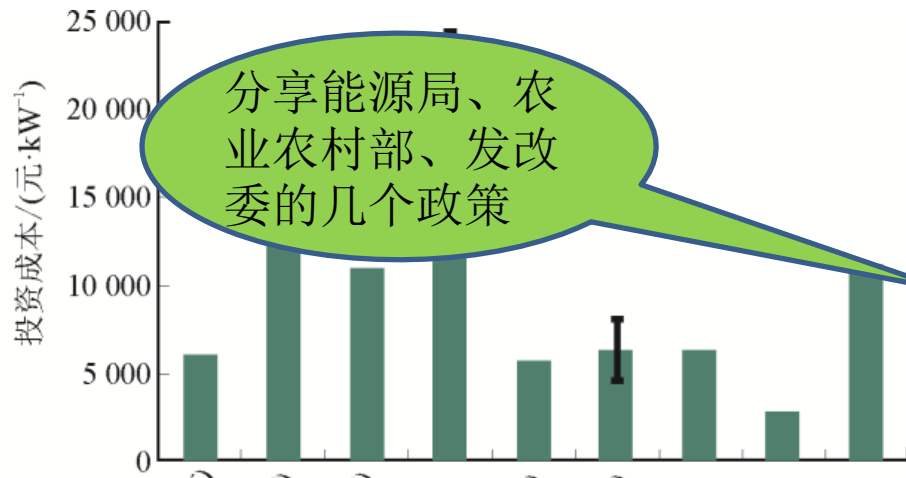


一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介

三种常规的燃煤耦合生物质发电技术路线的对比

项目	直接混燃	间接混燃	并联混燃
工艺流程	生物质预处理后直接送入燃煤锅炉混烧	生物质气化或燃烧后进入锅炉利用热量	生物质和燃煤分别在各自独立的系统中完成燃料处理和燃烧，产生的蒸汽进入同一汽轮机系统
系统复杂程度	简单	简单	复杂
建设成本	较低	中等	较高
运行稳定性	一般	较高	较高
对燃煤锅炉影响	锅炉热效率降低，积灰、结渣及受热面腐蚀速率加快	影响较小	基本无影响
生物质利用量计算	困难	容易	容易
对煤灰的影响	影响较大，需严格控制生物质燃料量	影响较小	无影响
典型项目	荷兰 Gelderland 电站、丹麦 Studstrup 电站、奥地利 St Andrea 电站、英国 Ferrybridge C 电厂和 Drax 电厂、华电十里泉 5 号机组	奥地利 Zeltweg 电站、芬兰 Lahti Kymijarvi 电站、荷兰 Amer 电站、国电荆门 7 号机组	丹麦 Avedøre 电站和 Enstedvaerket 电站

一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介



为什么耦合比直燃的投资成本低、效率比直燃高，但目前市场竞争不过直燃？

生物质耦合存在几个问题：

- 1、对国家的财政补贴、政策导向敏感度高；
- 2、生物质耦合对燃料的组成的适应性相对较差，需要针对不同燃料进行定制，而目前**难以拿到各县市的生物质资源准确**数据；
- 3、大部分地区的地方政府补偿生物质资源消纳处置的重点不在农林废弃残余物，而在于城市污泥，因为污泥围城越来越严重；
- 4、**北方**某些地区的地方政府具有补偿农林废弃残余物消纳处置的**动力**，因为露天焚烧污染环境面临罚款。

分享依据多能互补理论“私人定制”的两个套餐

一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介

农业农村部的几个最新政策：
高燃煤耦合生物质工程输入条件的准确性
大数据应用有助于提



2018年5月农业农村部办公厅关于做好2018年国家重要**农业资源台账**制度建设工作的通知

- 国务院印发的《全国**农业现代化**发展规划（2016—2020年）》明确提出，要建立重要农业资源台账制度。
- 长期以来，我国农业资源存在数据分散、“家底”不清、变化不察、质量不明等问题，严重影响农业资源的科学管理。
- 充分利用遥感、物联网、互联网等信息技术手段，探索建立多部门协同合作的重要**农业资源数据共建共享**机制，研究推进水、土、气、生以及畜禽粪污、**秸秆**、农膜等农业废弃物资源数据采集统计工作。



2019年01月农业农村部办公厅关于做好农作物秸秆**秸秆资源台账**建设工作的通知

- 为进一步做好农作物秸秆综合利用工作，拟**从2019年开始，建立全国秸秆资源台账**。
- **秸秆产生量**主要调查早稻、中稻和一季晚稻、双季晚稻、小麦、玉米、马铃薯、甘薯、木薯、花生、油菜、大豆、棉花、甘蔗等农作物，也包括其他在本区域种植面积较大的农作物（不包括蔬菜）。
- **秸秆利用量**主要调查不同种类农作物秸秆的肥料化、饲料化、**燃料化**、基料化和原料化利用数量。
- 充分利用遥感、物联网、互联网等信息技术手段，探索建立多部门协同合作的重要**农业资源数据共建共享**机制，研究推进水、土、气、生以及畜禽粪污、**秸秆**、农膜等农业废弃物资源数据采集统计工作



2019年2月农业农村部办公厅关于印发《2019年农业农村科教**环能**工作要点》的通知

全面实施秸秆综合利用行动。以**东北地区为重点**，以肥料化、饲料化、**燃料化**利用为主攻方向，做好技术对接，全面推进秸秆综合利用工作。探索秸秆利用区域性补偿制度，整县推动秸秆全域全量利用。开展秸秆综合利用**台账制度**建设，搭建**国家、省、市、县四级资源数据共享**平台，为实现秸秆利用精准监测、科学决策提供依据。

示范推广秸秆打捆直燃供暖、秸秆热解碳气联产、**生物质成型燃料**和**太阳能利用**等技术与模式，打造一批农村能源多能互补、清洁供暖示范点。

一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介

国家能源局、财政部、发改委的几个政策：鼓励燃煤耦合生物质发电，更倾向因地制宜（地方补贴）



2018年6月国家能源局、生态环境部关于燃煤耦合生物质发电技改试点项目建设的通知

尽可能**减少**对机组原有燃煤煤质和制粉系统的**影响**

采用政府**购买公共服务等多种方式**合理补偿生物质资源消纳处置成本并保障技改试点项目合理盈利
积极**引导填埋污泥**、垃圾无害化处理和利用



2018年6月财政部关于公布可再生能源**电价附加**资金补助目录（第七批）的通知（财建〔2018〕250号）

- 燃煤与农林生物质、生活垃圾等混燃发电在内的其他生物质发电项目，不纳入国家可再生能源电价附加资金补助目录，**由地方制定**出台相关政策措施，解决补贴资金问题
- 暂停对第五批目录中“国电长源荆门掇刀秸秆、稻壳气化工业示范10.8MW生物质发电工程”进行补贴拨付



2019年4月国家发改委发布《产业结构调整指导目录（2019年本，征求意见稿）》

- **鼓励类：**
- 农作物秸秆综合利用（秸秆肥料化利用，秸秆饲料化利用，秸秆**能源化**利用，秸秆基料化利用，秸秆原料化利用等）
- **生物质能源林**定向培育与产业化
- **燃煤耦合生物质发电**
- **高效太阳能热水器**及热水工程，太阳能中高温利用技术开发与设备制造
- 生物质**直燃、气化发电**技术开发与设备制造
- 农林生物质**成型燃料加工设备**
- 粮油加工副产物（稻壳、米糠、麸皮、胚芽、饼粕等）综合利用关键技术开发应用
- **城镇垃圾、污泥**及其他固体废弃物减量化、资源化、无害化处理和综合利用工程

一、“与时俱进”的多能互补理论及生物质耦合简介

地方补贴的导向：要解决地方政府的问题



各地方的问题往往具有地方特色，需要因地制宜，依据多能互补理论“私人定制”合适的方案

两个具有典型地方特色的问题：

- 1、大部分地区的地方政府补偿生物质资源消纳处置的重点不在农林废弃残余物，而在于城市污泥，因为污泥围城越来越严重；
- 2、北方某些地区的地方政府具有补偿农林废弃残余物消纳处置的动力，因为露天焚烧污染环境面临罚款。



营养套餐A：

太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

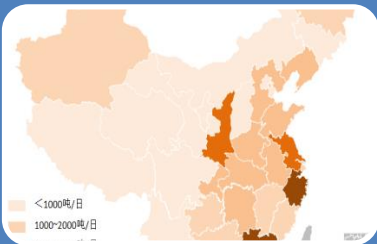
营养套餐B：

空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

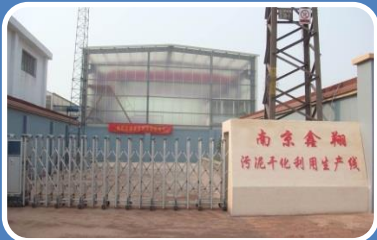
国家发改委、工信部等关于污泥处置的几个政策：

从“重水轻泥”到“泥水并重”，从“污水处理”到“再生利用”转变



2016年12月国家发改委和住建部联合发布了《十三五全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》

- 到2020年底，城市**污泥无害化处置率**由2015年的53%达到75%
- 到2020年底，新增污泥无害化处置设施规模6.01万吨/日，总处理能力由2015年的3.74万吨/日达到9.75万吨/日。



2017年11月三部委关于加快烧结**砖瓦行业**转型发展的若干意见（工信部联原[2017]279号文）（工业和信息化部、环境保护部、国家安全监管总局）

- 砖瓦行业正加速向无害化资源化**消纳固体废弃物**、构建循环经济产业链的绿色功能产业转型。
- 鼓励利用工业固废、矿物尾渣、淤泥、**污泥**、**农林废弃物**等**替代一次原燃料**，支持利用建筑垃圾**生产砖瓦制品**
- 探索**利用大型烧结砖隧道窑安全处置城市污泥**，提高综合处置能力和利用效率

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

从政策、规划看**污泥资源分布**

“十三五”主要目标及建设任务

指标		2015 年	2020 年	“十三五” 新增
污水处理 率 (%)	城市	91.9	95 其中：地级及以上城市建成区基本 实现全收集、全处理	3.1
	县城	85	≥ 85 其中：东部地区县城力争达到 90	/
	建制镇	/	70 其中：中西部地区建制镇力争达到 50	/
污泥无害 化处置率 (%)	城市	53	75 其中：地级及以上城市 90	22
	县城	24.3	力争达到 60	35.7
	重点镇	/	提高 5 个百分点	5

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

从政策、规划看污泥资源分布

附表6 “十三五”全国城镇新增或改造污泥无害化处置能力 单位：吨/日

地区	城市	县城	建制镇	合计
全国	45635	9173	5308	60116
北京	395	/	0	395
天津	666	/	56	722
河北	1895	524	63	2482
山西	630	228	124	982
内蒙古	566	229	0	795
辽宁	2390	186	136	2712
吉林	300	40	0	340
黑龙江	1072	199	135	1406
上海	1590	/	0	1590
江苏	2800	900	0	3700
浙江	7040	575	0	7615
安徽	1370	1255	471	3096
福建	1071	189	321	1581
江西	995	235	281	1511
山东	2000	500	0	2500

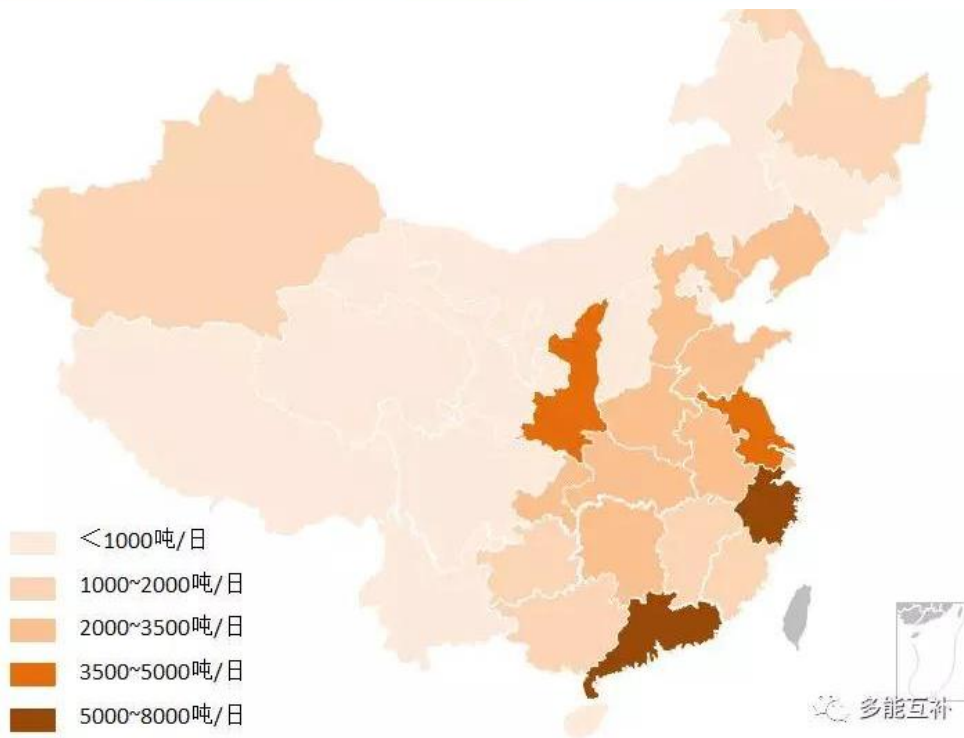
河南	2208	696	522	3426
湖北	2553	103	489	3145
湖南	2121	290	410	2821
广东	4420	242	691	5353
广西	1622	122	177	1921
海南	665	27	4	696
重庆	488	883	778	2149
四川	279	100	0	379
贵州	693	134	232	1059
云南	838	40	40	918
西藏	10	22	0	32
陕西	3064	1009	260	4333
甘肃	411	141	94	646
青海	140	10	24	174
宁夏	160	27	0	187
新疆	883	267	0	1150
新疆生产建设兵团	300	0	0	300

注：以含水 80%的湿污泥计。

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

从政策、规划看**污泥资源分布**

- (1) 相对饱和状态或治理需求较小：北京、青海、吉林、四川、西藏、海南等
- (2) 新建或改造需求相对较小：黑龙江、内蒙古、贵州、宁夏、甘肃、海南、天津、云南、安徽、山西、新疆等
- (3) 新建或改造需求相对较大：上海、湖北、辽宁、山东、湖南、河北、福建、重庆、吉林、河南、广西等
- (4) 污泥处理处置需求**远大于**实际处理能力：浙江、广东、江苏、陕西等

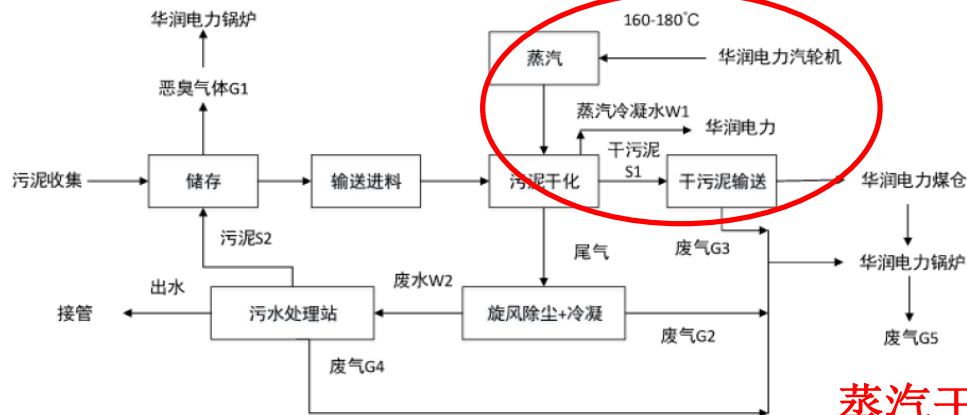


中国大陆十三五规划各省份**新建或改造**污泥无害化处置能力热点图

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

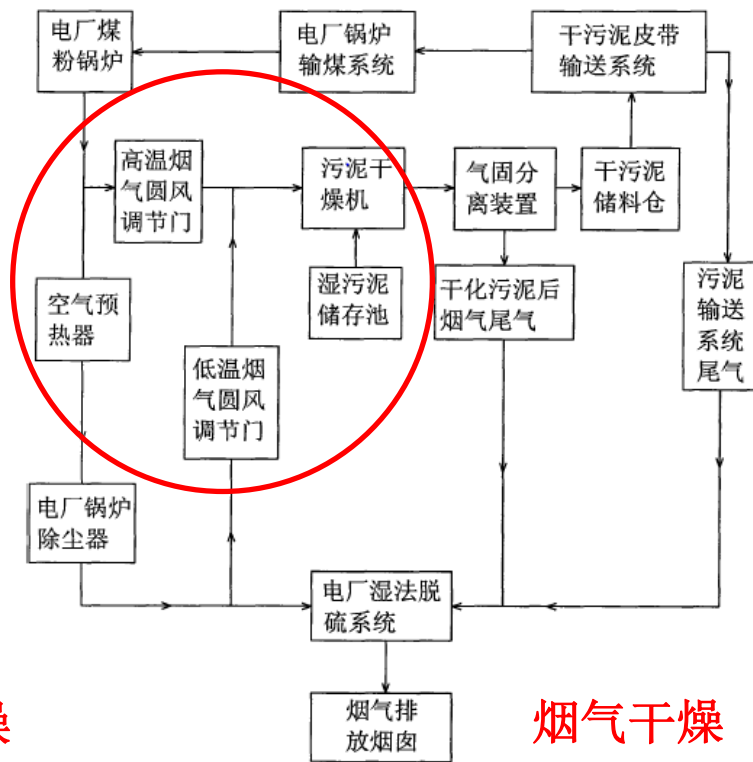
Q: 耦合和掺烧的区别?

A: 耦合是双向的，强调多能互补，如**烟气侧耦合、蒸汽侧耦合**等，而掺烧是单向的，强调主次分明



华润常熟电厂燃煤耦合污泥工艺流程图

©SPIC 2019. All Rights Reserved.



华电滕州电厂燃煤耦合污泥工艺流程图

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥



掺烧：罐车运输



太阳能干燥污泥



燃煤掺烧污泥

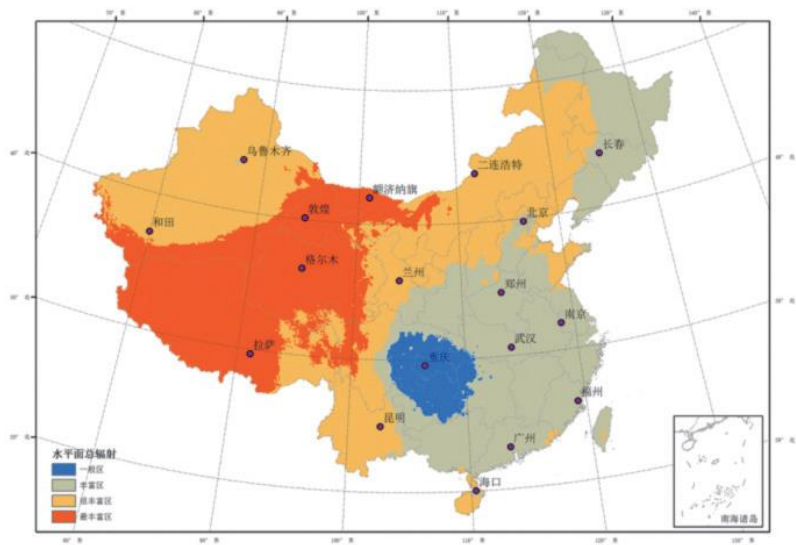
太阳能温室

太阳能非聚
光式热水器

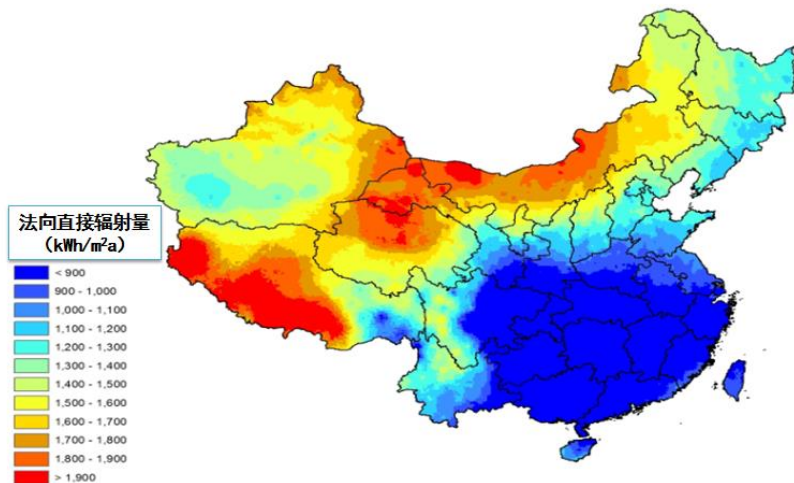
太阳能聚光
集热器

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

太阳能资源分布



全国陆地太阳能水平总辐射资源分布图



来自中国气象局风能太阳能资源中心

全国陆地太阳能直接辐射资源分布图

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

主动型太阳能温室干化污泥技术原理

太阳能

优势：能量巨大、清洁无污染。

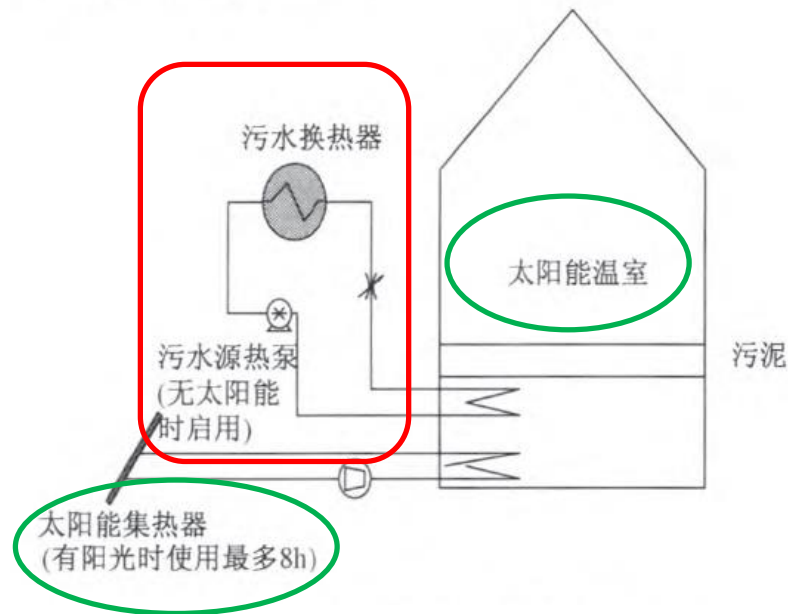
缺点：不稳定、不连续。

“互补”的思路之一：

将热泵技术与太阳能联用，在太阳能可用的时候利用太阳能作为热源进行干化，其余时间启动污水源热泵产生热量。热泵可以是污水源、空气源等。

“互补”的思路之二：谷电+储能？

“互补”的思路之三：工业废热……



“太阳能+热泵”互补供热干化工艺流程

二、营养套餐A：太阳能干燥污泥+燃煤掺烧污泥

主动型太阳能温室干化污泥技术现场照片



三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

国家和地方政府关于秸秆焚烧与综合利用农作物秸秆并重
依法查处违法焚烧

《中华人民共和国大气污染防治法》

- 对违法焚烧农作物秸秆的，依据《中华人民共和国大气污染防治法》第119条规定，由县级以上地方人民政府确定的监督管理部门责令改正，并可以处500元以上2000元以下的罚款

《中华人民共和国森林法》

- 故意焚烧农作物秸秆，致使森林、林木受到毁坏的，依据《中华人民共和国森林法》第44条规定，依法赔偿损失；由林业主管部门责令停止违法行为，补种毁坏株数一倍以上三倍以下的树木，可以处毁坏林木价值一倍以上五倍以下的罚款。

《中华人民共和国刑法》

- 对故意焚烧农作物秸秆引起火灾，致人重伤、死亡或者使公私财产遭受重大损失的，依据《中华人民共和国刑法》第115条规定，以放火罪处十年以上有期徒刑、无期徒刑或者死刑；过失犯前款罪的，处三年以上七年以下有期徒刑；情节较轻的，处三年以下有期徒刑或者拘役

《黑龙江省大气污染防治条例》

- 在禁止露天焚烧秸秆的区域内露天焚烧秸秆的，依据《黑龙江省大气污染防治条例》第83条规定，由县级以上农业行政主管部门责令改正，并可以处五百元以上二千元以下的罚款；引起火灾，造成严重后果的，由公安机关依法予以拘留；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

《吉林省2018年秋冬季秸秆禁烧工作方案》

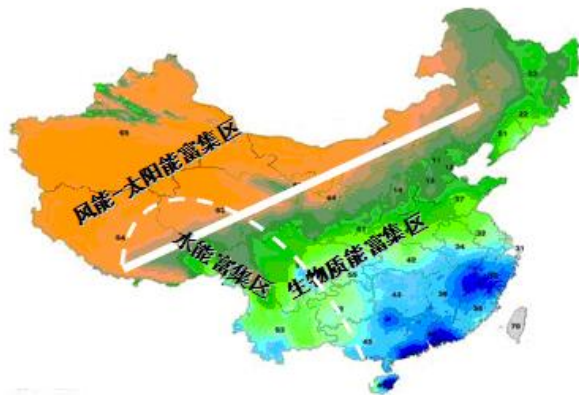
- 秸秆禁烧区,努力做到“不燃一把火、不冒一处烟、不留一片黑”,最大限度减少秸秆火点数量,力争实现“零火点”。秸秆限烧区,确保不发生因组织不力、管控不到位而导致秸秆露天随意焚烧引发的大气污染问题。

《甘肃省打赢蓝天保卫战三年行动作战方案（2018—2020年）》

- 严格落实禁烧规定，**严禁**焚烧秸秆、垃圾、枯枝落叶和烧荒等“**四烧**”行为，严厉查处各类焚烧行为。坚持堵疏结合，加大政策支持力度，全面加强秸秆综合利用，到2020年，全省秸秆综合利用率达到85%以上

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

生物质资源分布



生物质资源区域分布图

包括农业、林业生产和生活过程中产生的**所有**生物质

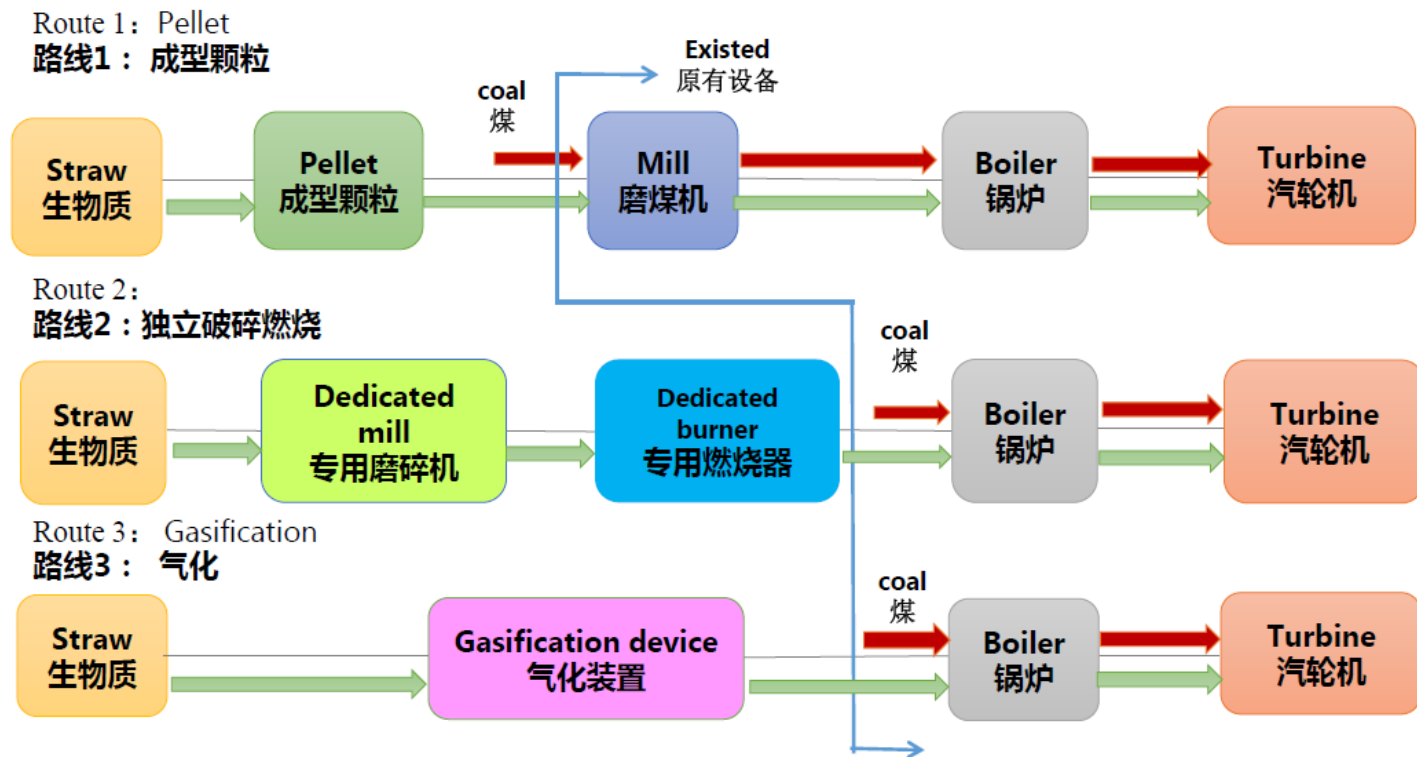


生物质能原料区域分布图

包括畜禽粪便、餐厨垃圾、能源作物、农产品废弃物**四种可获取的**原料

- 生物质能原料主要集中在斜向**中间带**。
- **西南地区**，山区导致原料收集运输成本偏高。
- **三北地区**生物质丰富，但山西等地区，由于煤矿丰富（煤是历史上的生物质），之前没有驱动力发展生物质发电。但不代表未来不发展。
- 截至2017年底，全国共有30个省（区、市）投产了**747个生物质发电项目**，其中农林生物质发电项目271个，生活垃圾焚烧发电项目339个，沼气发电项目137个。
- 2017年，生物质发电累计并网装机容量排名前四位的省份是**山东、浙江、江苏和安徽**（经济发达，地势平缓，人口和能源消费密度高，直燃小机组技术起步较早）

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质



三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

1、气化技术路线对生物质含水率的要求

对于国内大多数的生物质气化系统而言，一般要求进入气化炉的原料中含水量约为**10-20%**，过于潮湿的原料可能导致阻塞送料设备，并且会降低最后产生燃气的热值。国内大多数的流化床气化系统中，原料水分超过一定值如**20%**时，系统温度波动极大，将难以正常运行。

2、压块技术路线对生物质含水率的要求：通常也要求低于**20%**

对于不满足要求的原料，在气化或压块之前，需要针对燃料量、燃料特性、热源来源等，**“私人定制”**适合的干燥方法。

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

■对于燃煤耦合生物质技改项目，由于有燃煤机组作为发电主力，其可供选择的热源形式多样，例如**电力、蒸汽、烟气、热水、热风**等。

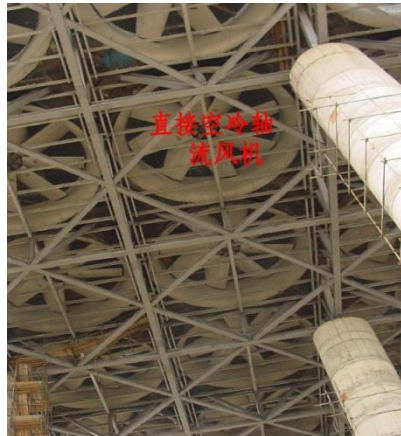
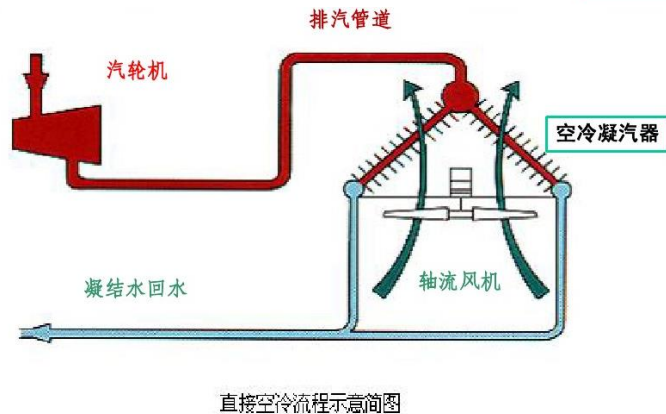
■与单独的生物质电站相比，存在着多种利用燃煤机组余热对生物质干燥系统供能的方案。

■生物质干燥的**热源温度不宜过高**。

■例如：秸秆干燥温度低于**150℃**即可,高于**150℃**时可燃成分开始挥发，颗粒物料开始有热解反应发生，而且低于**100℃**时，温度增加对干燥速率影响较大。

切入点：特别地，**直接空冷机组**的乏汽对于火电厂来说是废热，但对于燃煤耦合生物质耦合发电技改的生物质原料干燥预处理来说，正好属于**温度对口**的热量

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质



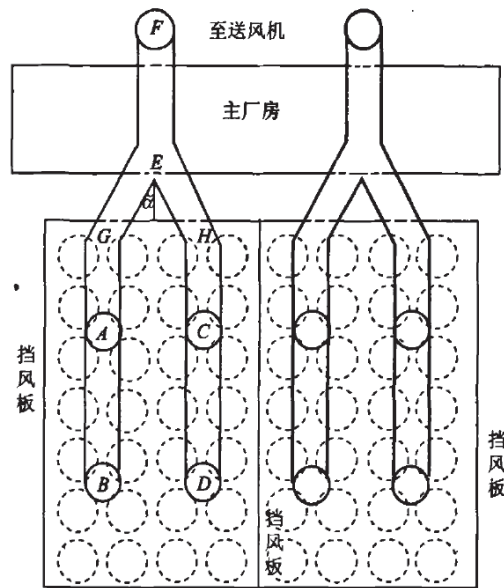
直接空冷机组的几点共识：

- 1、直接空冷机组的冷端损失占到燃料总发热量的40%左右。
- 2、我国北方电厂采用直接空冷电厂凝汽器进出口空气温度差约为40℃左右。
- 3、工程上已应用的余热利用技术：直接空冷机组高背压真空加热器技术、吸收式热泵供热技术等。

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

研究背景：参考文献1

相关文献研究认为：对于600MW直冷机组来讲，按照空冷中心岛内空气升温 36°C 计算，锅炉燃烧用风仅占空冷凝汽器出口热空气量的2.6%，可节约燃料量 4.32g/kWh 。



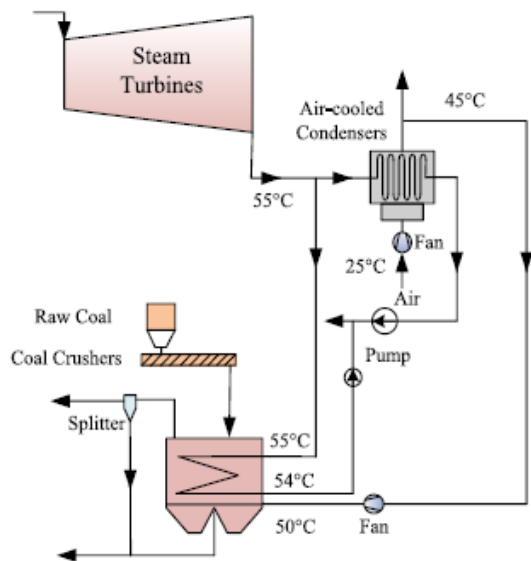
利用空冷器出口热风作为锅炉送风的示意图

(魏高升,刘立祥,杨立军等.火电厂直接空冷凝汽器出口热空气作为锅炉燃烧用风的综合分析[J].现代电力,2008,25(2):57-60.)

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

研究背景：参考文献2

Cheng Xu等研究了利用空冷机组余热低温干燥褐煤的技术，认为与不利用低温干燥相比，典型600MW机组的效率可提高1.3%，发电量可提高19.7MWe。



利用空冷机组低温余热干燥褐煤的系统图

(XU Cheng, XU Gang, YANG Yongping, et al. An Improved Configuration of Low-Temperature Pre-Drying Using Waste Heat Integrated in an Air-Cooled Lignite Fired Power Plant [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2015,90:312-321.)

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

问题：空冷机组余热是否也可以干燥农林生物质或污泥、煤泥？



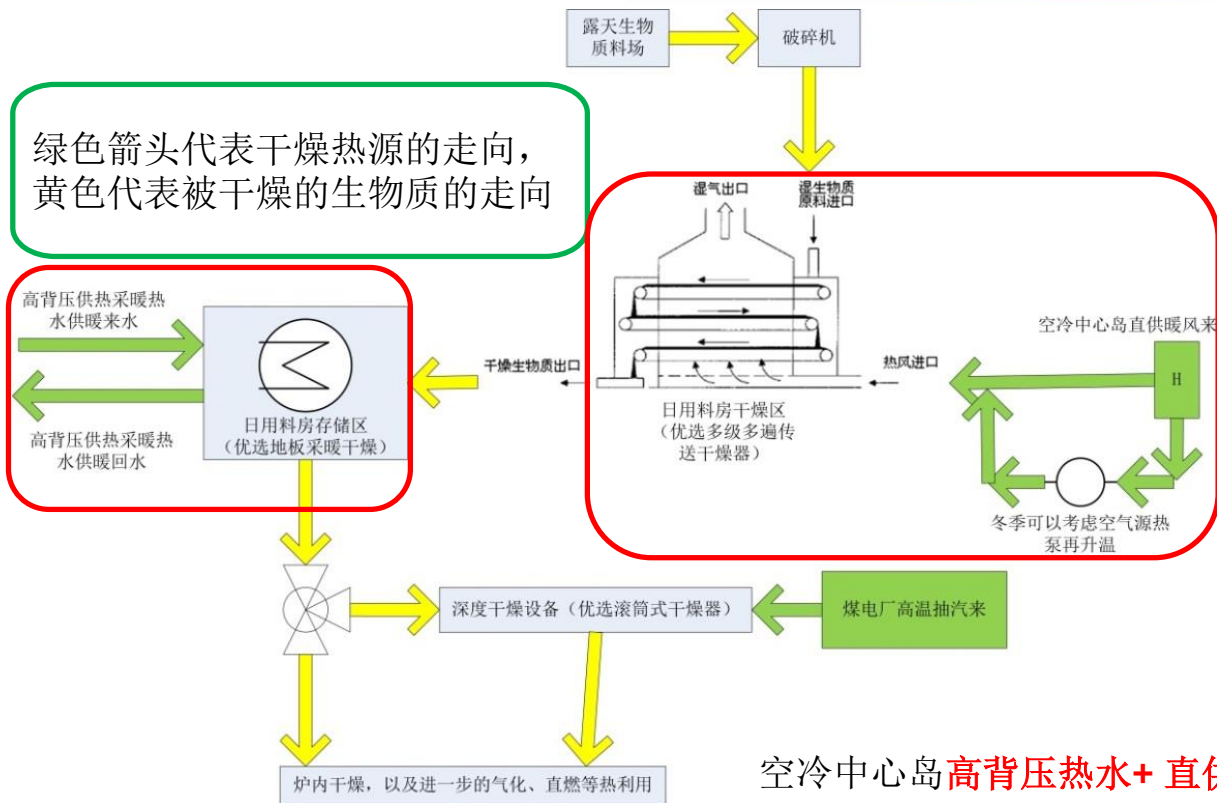
启示：能质综合利用（能量互补，品位耦合）

搭建蒸汽动力循环和空气能质利用双循环的大的联合工艺

使得小的子工艺之间（如**直接空冷工艺与生物质干燥工艺**）的能质可以优势互补，提高了整个能源系统的经济性

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

绿色箭头代表干燥热源的走向，
黄色代表被干燥的生物质的走向



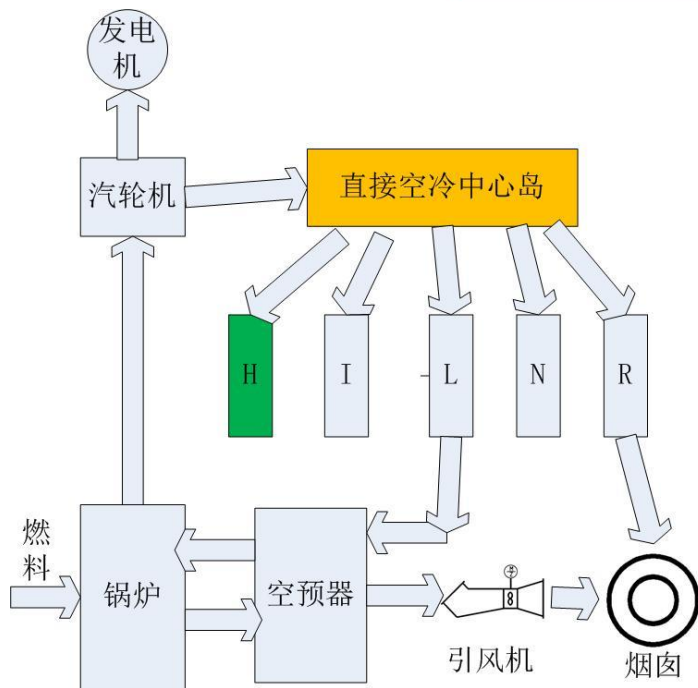
余热热源干燥生物质，至少可采用两种形式：

(1) 采用直接空冷系统高背压供热的水，通过暖气片采暖的形式加热日用料房里的空气并间接干燥物料，或者通过地板采暖的形式直接加热干燥物料；

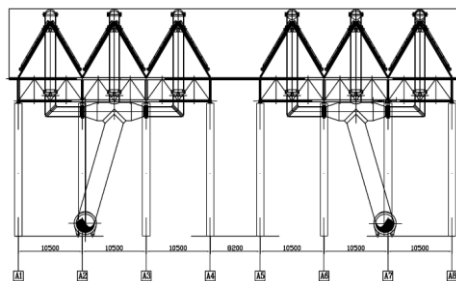
(2) 采用直接空冷系统的空冷中心岛直供热风，在典型干燥设备中对破碎后的生物质物料进行干燥

空冷中心岛高背压热水+直供暖风用于生物质物料干燥系统原理图

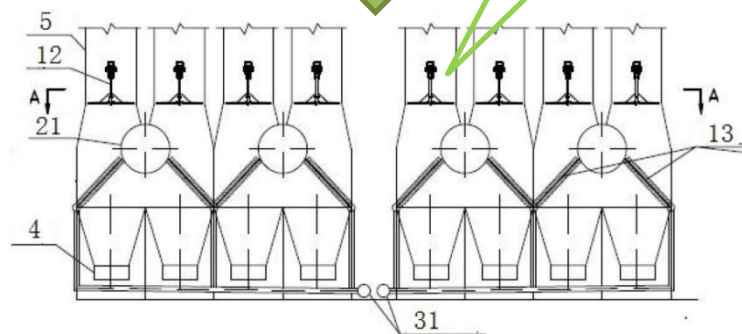
三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质



特别地，对于直供热风的热源方案，可以改造空冷岛：



也可以考虑
部分采用机
力冷却塔



基于空冷装置的**热电耦合式**能量综合利用系统**原理图**

©SPIC 2019. All Rights Reserved.

从常规空冷岛到**直接空冷中心岛**的设计构想

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

问题1：空冷岛的热空气热量充足吗？

问题2：采用直供热风方式时，干燥设备占地大吗？

问题3：采用热水方式时，太阳能温室充当日用料房怎么样？

问题4：问题3的结论是否可推广到其他煤电机组，不限于空冷？

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

□ 问题1：空冷凝汽器出口热空气的热量充足吗？

在破碎机之后接入多级多遍传送热风干燥器，干燥之后堆积在日用料房的存储区内

在该存储区内设有地板采暖，用于防止重吸收，并进一步干燥。地板采暖的热源来自直接空冷机组高背压供热技术制取的热水

如物料水分仍过高，则可进入深度干燥设备，采用煤电厂的高温抽汽来干燥；

如物料水分已满足气化或燃烧要求，则可进入气化炉气化或进入锅炉燃烧

假设需干燥8t/h农林生物质，干燥前水分28%，干燥后水分13%：
一吨物料所需热风量为748570Nm³/吨物料，
一小时所需热风量为6000000Nm³/h
假设湿空气密度为1.29 kg/m³，则所需所需热风质量流量为2150kg/s

600MW 机组直接空
冷凝汽器额定工况下
空气 质量 流量 约
10904 kg/s

本算例所需热风约占空冷凝汽器出口热空气总量的20%

✓ 结论1：空冷凝汽器出口热空气做耦合发电生物质干燥剂的能量裕量充足

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

问题2：采用直供热风方式时，干燥设备占地大吗？

处理物料量 $F=8000\text{kg/h}$ ，干燥所需时间 $t=1\text{h}$ ，带宽 $S=2\text{m}$ ，物料层厚度 $L=0.05\text{m}$ ，则计算得出带的总长度

$$l = \frac{Ft}{SL\rho} = \frac{8000 \times 1}{2 \times 0.05 \times 600} \approx 134 \text{ (m)}$$

每台锅炉对应的干燥机设置为三台，每台干燥机的带分成五层，则每层的带长（裕量按10%）为

$$l' = \frac{134 \times 1.1}{3 \times 5} \approx 10 \text{ (m)}$$

热风流速按 1.1m/s 选取，则每台干燥机布风板的面积约为

$$A = \frac{6000000}{3 \times 1.1 \times 3600} \approx 505 \text{ (m}^2\text{)}$$

- ✓ 结论2：单台干燥设备占地 505m^2 ，每台锅炉则占地 1500m^2 以上。布置时应考虑较大的占地空间，较难实现。

三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

问题3：采用热水方式时，太阳能温室充当日用料房怎么样？

- 污泥干化常用的太阳能温室占地仅约

$72\text{m} \times 16\text{m} = 1152\text{m}^2$ 。

- 太阳能温室可以借用到煤电耦合生物质项目的生物质干燥中。

- 某300MW煤电耦合10MW生物质项目，可研拟用地约 11560m^2 ，其中原料干料棚用地 10560m^2 ，气化耦合发电系统用地约 1000m^2 。

- 可见，太阳能温室仅占原料干料棚用地的11%

✓ 结论3：建议太阳能温室+地板热水干燥，地板热水可以来自煤电厂的高背压热水，或其他热水源。



三、营养套餐B：空冷机组余热干燥生物质+燃煤耦合生物质

问题4：问题3的结论是否可推广到其他煤电机组，不限于空冷？

- ✓ 结论4：不限于空冷，在太阳能温室干燥生物质系统中，除了高背压热水外，还可“私人定制”煤电厂其他余热。

四、多能互补技术路线的选择原则与耦合规划新思路

营养

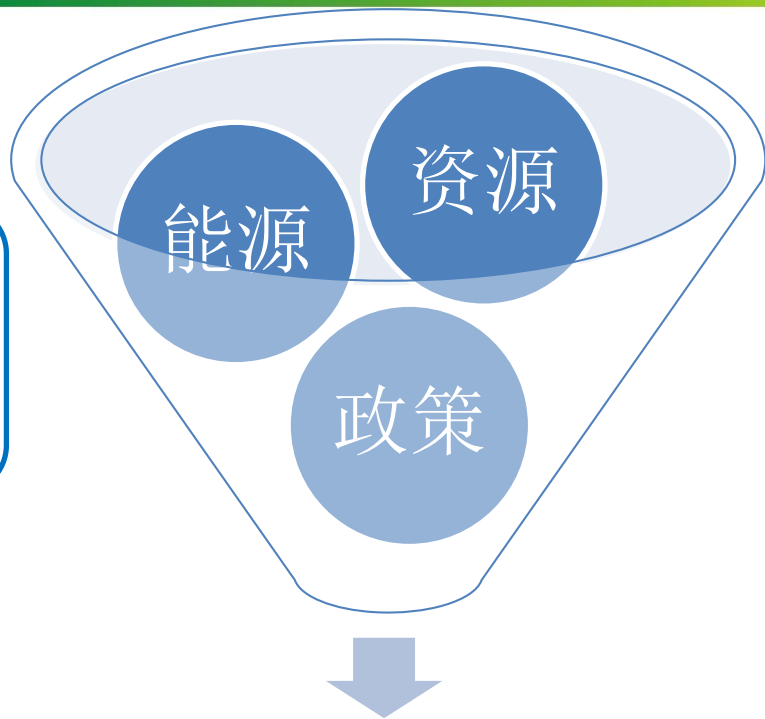


体质



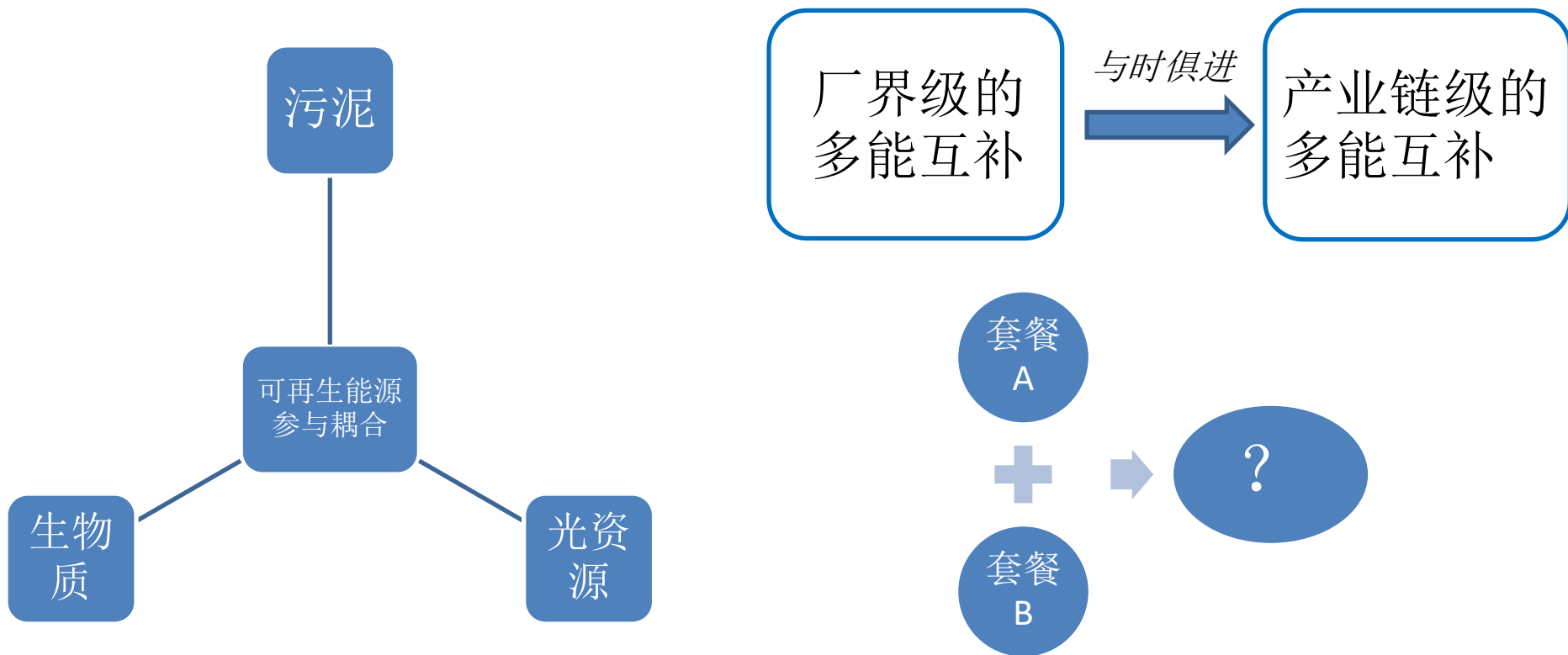
在搭配“营养”之前，需要先弄清楚具体**工程项目**的“**体质**”是什么

多能互补技术路线的选择原则：
宜能源化利用则能源化利用，
宜资源化利用则资源化利用



量体裁衣的“多能互补”技术方案

四、多能互补技术路线的选择原则与耦合规划新思路

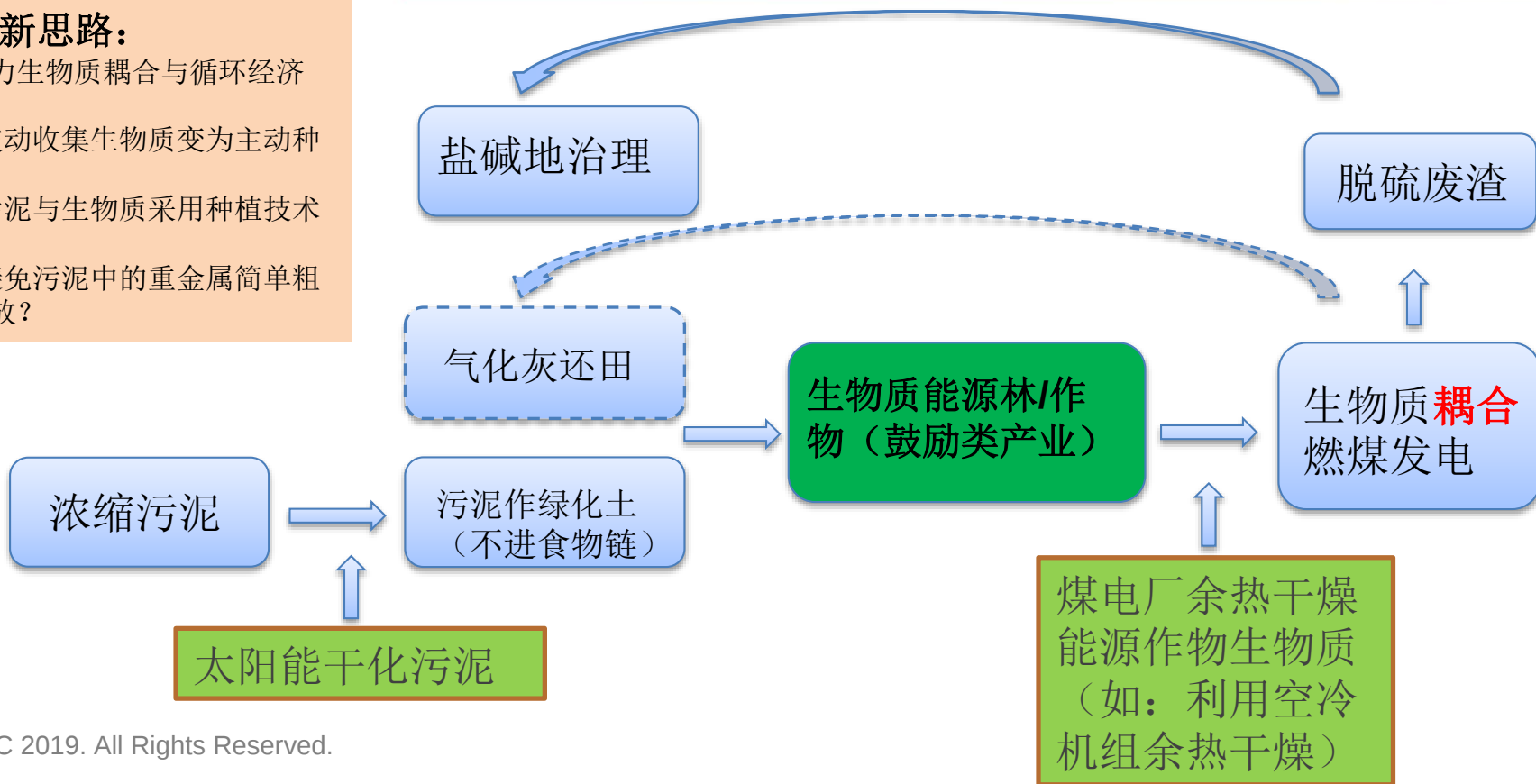


四、多能互补技术路线的选择原则与耦合规划新思路

耦合规划新思路：

多能互补助力生物质耦合与循环经济产业链：

- 1、可否由被动收集生物质变为主动种植生物质？
- 2、可否将污泥与生物质采用种植技术耦合？
- 3、是否可避免污泥中的重金属简单粗暴的燃烧排放？





**欢迎批评指正和技术交流！
期待更广阔的合作！
谢 谢！**

A decorative graphic element consisting of a red square and a green rounded rectangle overlapping each other is located in the bottom right area of the slide.

www.sdepci.com