

国内外秸秆综合利用技术研究进展

赵立欣

农业农村部规划设计研究院

江苏 南京 2019.11.21

目 录

一

基本情况

二

秸秆综合利用技术

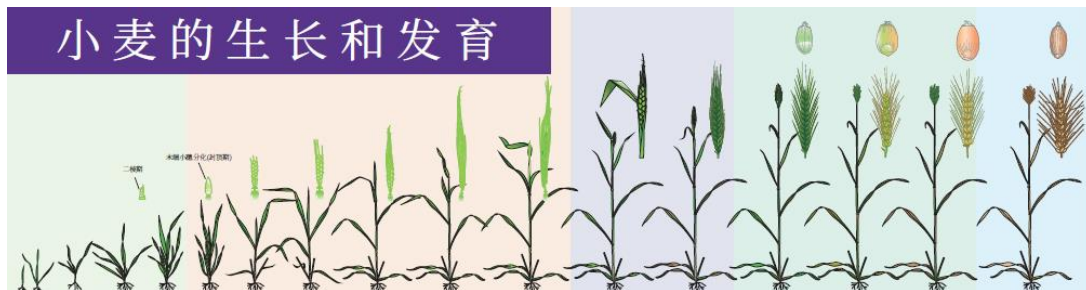
三

发展前景

一、基本情况

□ 背景——秸秆是农业的另一半

小麦的生长和发育



Day0  Day100

玉米的生长和发育



玉米、小麦一生中：

- ◆ 果穗生长时间仅占约1/4
- ◆ 生物量40%转化为秸秆
- ◆ 25-30%氮、20%磷在秸秆

- ◆ 农业的产物一半在籽实，一半在秸秆
- ◆ 秸秆是名副其实的另一半农业

□ 秸秆综合利用是实现农业可持续发展的保障

据农业农村部发布的十大农用车模式的数据表明：

- ◆ 肥料利用率提高10.6%
- ◆ 土壤耕层与亚耕层土壤有机质含量增加了14.7%和22.2%
- ◆ 玉米产量较常规耕种平均增加10.1%

（吉林省经连续4年秸秆深翻还田试验）



全国农技中心1923个秸秆还田田间效果监测点数据表明：

- ◆ 以粮食作物秸秆平均还田量450kg/亩计算，秸秆还田后提供的N、P、K纯养分平均值分别为1.5kg/亩、0.57kg/亩和3.4kg/亩
- ◆ 与秸秆还田前相比，还田后能明显改善土壤的理化性状，降低土壤容重、减轻土壤板结程度，提高土壤的有机质、全氮、有效磷、速效钾等养分含量

推广秸秆还田利用，促进用地与养地结合，提升耕地质量，切实做到藏粮于地，
有利于保障我国粮食尤其是“口粮”安全—藏粮于地

□ 秸秆综合利用是延伸农业产业链的重要方向



秸秆综合利用上联种植业，下联养殖业，辐射带动农产品加工业，
是实现一二三产业融合发展的新的重要领域

□ 秸秆综合利用是打赢蓝天保卫战的重要举措



➤ 秸秆焚烧:

- 产生大量颗粒物，污染大气环境
- 引发交通事故和火灾等，威胁公共安全

➤ 秸秆清洁供暖:

- 按照2吨秸秆替代1吨标准煤，减排2.5吨CO₂，减排24公斤SO₂
- 有效减少冬季燃煤用量，为蓝天“减负”

秸秆综合利用可改善产地环境，减少社会负面舆论，有利于产业持续健康发展

秸秆资源现状

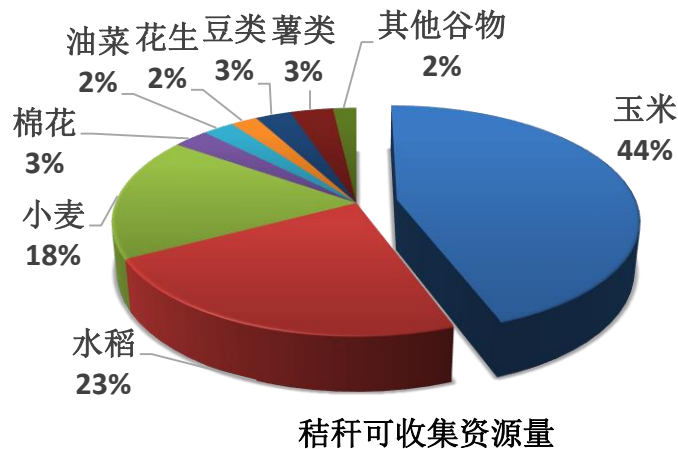
◆ 2017年全国秸秆资源量:

- 理论资源量**10.25**亿吨

其中：玉米、水稻、小麦秸秆分别占**41.8%**、**23.6%**、**17.9%**

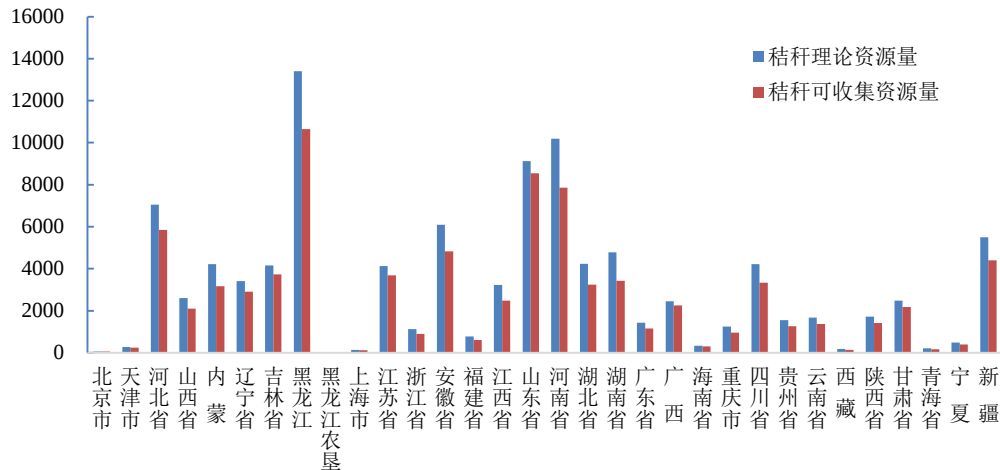
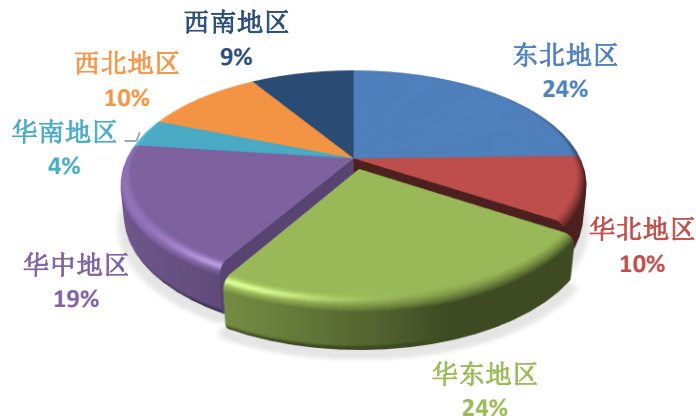
- 可收集资源量**8.37**亿吨

其中：玉米、水稻、小麦秸秆分别占**44.4%**、**22.8%**、**17.5%**



秸秆资源现状

◆ 秸秆资源分布：

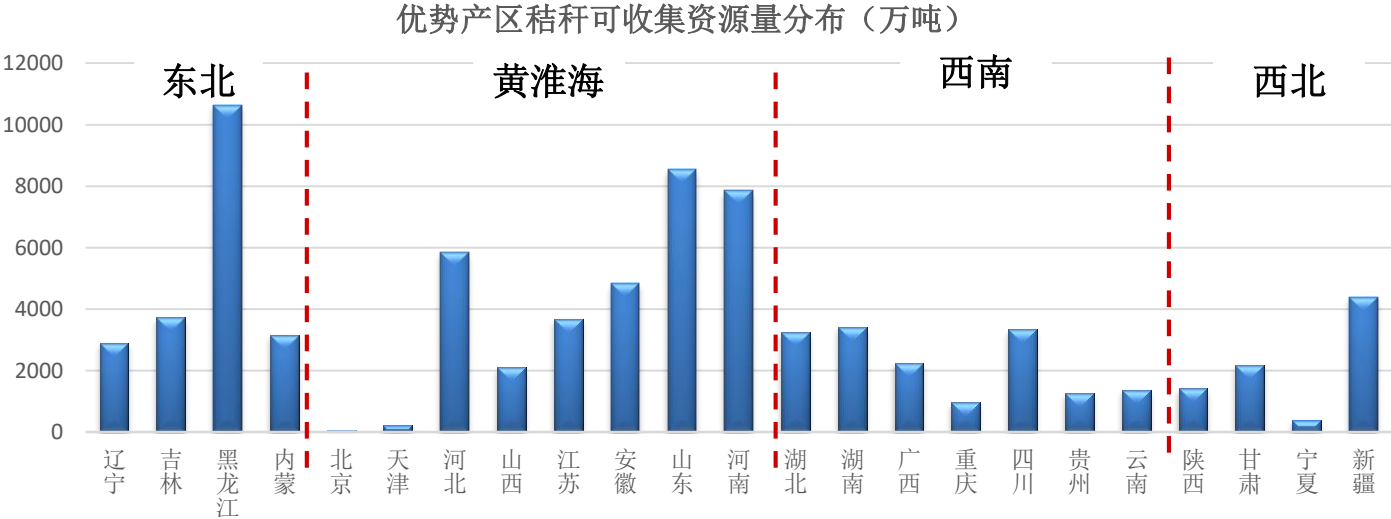


- 超过1亿吨的有2个：黑龙江、河南
- 6000~1亿吨的有4个：山东、河北、安徽
- 4000~6000万吨的有7个：新疆、吉林、内蒙古、江苏、湖北、湖南、四川
- 2000~4000万吨的有5个：广西、山西、辽宁、江西、甘肃



秸秆资源现状

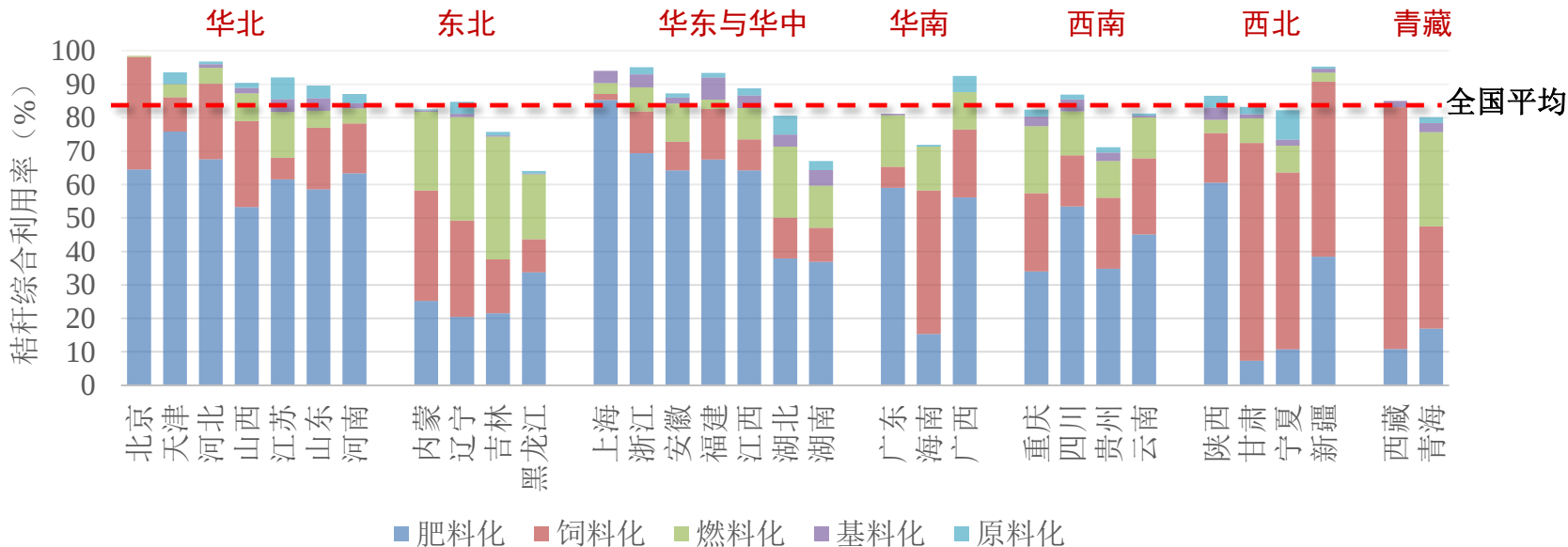
◆ 秸秆资源分布：



主要优势产区	秸秆可收集量（万吨）
东北地区	20447
黄淮海地区	33142
西北地区	15844
西南地区	8396

□ 秸秆资源综合利用情况

- 2017年全国秸秆综合利用率为83.68%，**肥料化、饲料化和燃料化**利用率为47.30%、19.44%、12.71%
- 北京、河北、新疆、浙江、上海、天津、福建、广西、江苏、山西等省份利用率超过90%
- 东北区秸秆综合利用仍需加快推进



秸秆综合利用推进工作

◆ 秸秆综合利用试点县

要求：秸秆综合利用率达到90%以上或提高5个百分点，基本杜绝露天焚烧。

- 2016年，**10亿**，黑龙江、吉林等10个省
- 2017年，**13亿**，黑龙江、吉林等9个省
- 2018年，**15亿**，黑龙江、吉林12个省份
- 2019年，**19.5亿**，由试点向全国铺开



◆ 建立秸秆资源台账制度

- 以县为单位，填报农作物秸秆产生量、还田量、离田利用量等基础数据
- 搭建国家、省、市、县四级秸秆资源数据共享平台

◆ 创设秸秆利用区域性补偿制度

- 实现由粮食生产激励性补贴向秸秆还田养地等功能性补偿的转变，提升我国农业“绿箱”政策支持力度
- 2019年选择**黑龙江双城和庆安**作为试点：围绕县域秸秆还田、离田产业链条，建立主要作物、不同利用方式的补贴标准体系

二、秸秆综合利用技术

□ 国外秸秆综合利用

◆ 北美地区秸秆还田实施保护性耕作



- 加拿大85%的耕地位于西部大草原，为保护耕地质量，采取免耕和少耕耕作体系促进秸秆还田。
- 推进玉米—大豆等轮作、休耕，每年的秸秆产生量相对少。

- 美国2015年秸秆还田率约为65%，预计在2020年达到70%。



□ 国外秸秆综合利用

◆ 丹麦

- 丹麦是欧洲乃至世界秸秆能源化利用技术最为成熟的国家之一。
- 丹麦秸秆总量为550-600万吨，其中能源化利用比例达27%，饲料化利用比例为18%。

丹麦秸秆能源化利用比例高，以直燃发电和供热为主，拥有1万个小型农场规模（0.1-1MW）的供热锅炉，55个集中供热厂（0.5-12MW），8个热电联产电场（2-28MWe），4个热电厂（最大规模35MWe）。



□ 国外秸秆综合利用

◆ 英国

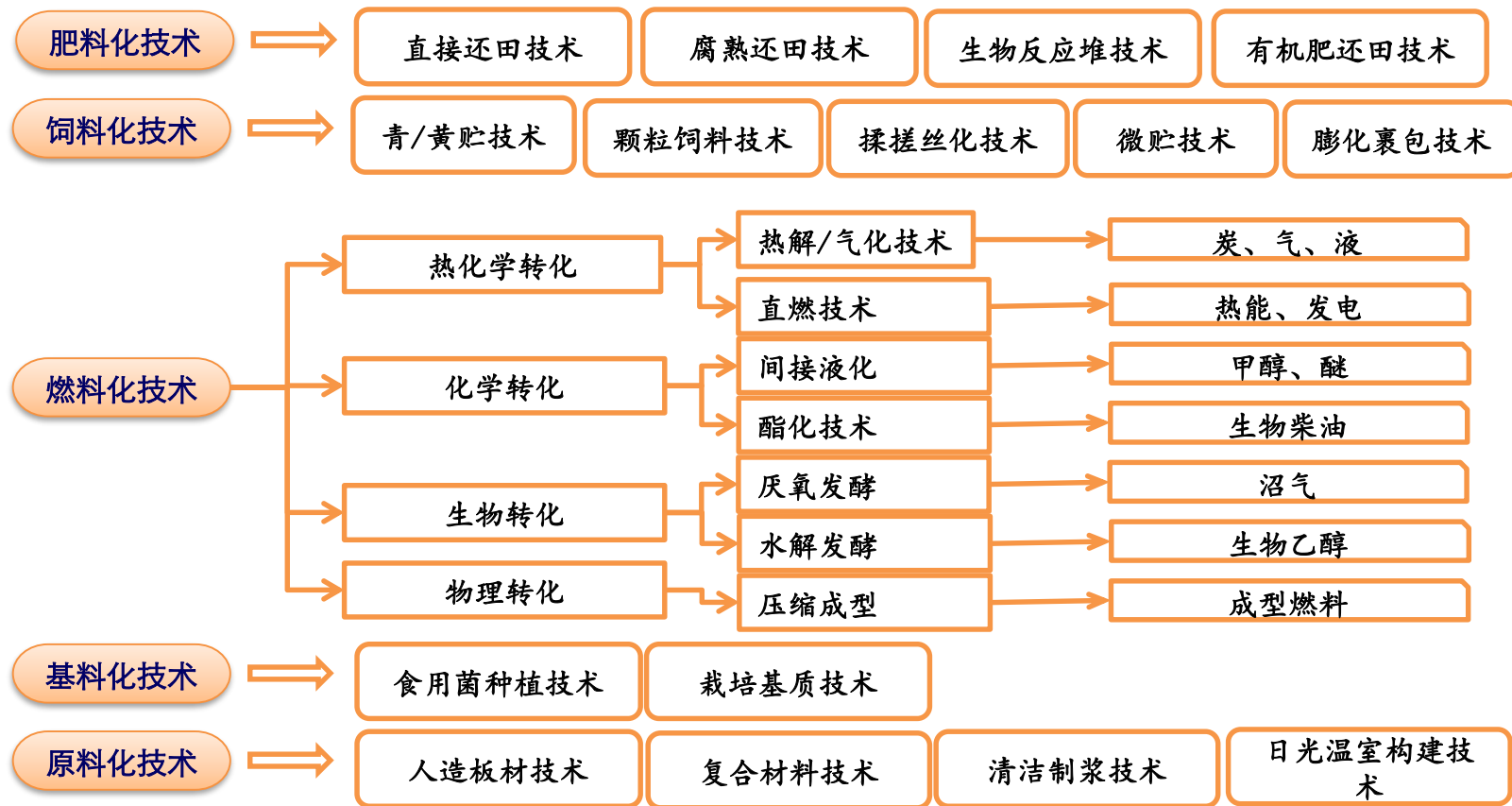
在英国，秸秆中的70%用于还田，25%用作饲料和养殖褥草，能源化利用率为3%，主要供38MWe秸秆发电厂使用（世界上最大的秸秆发电厂之一）。



◆ 德国

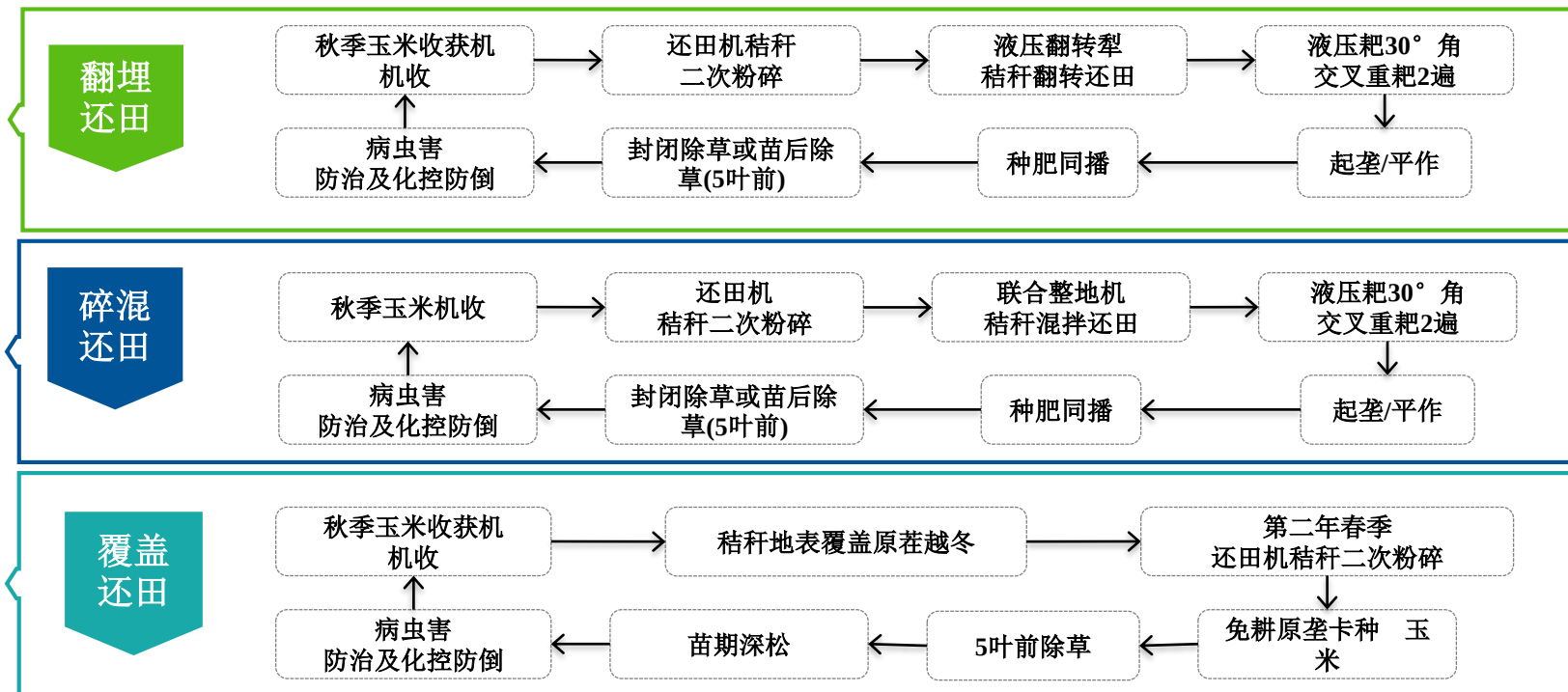
德国每年秸秆产量为3000万吨，其中16%用于畜牧业，能源化利用比例为30~40%，剩余的秸秆用于还田。

□ 秸秆综合利用技术



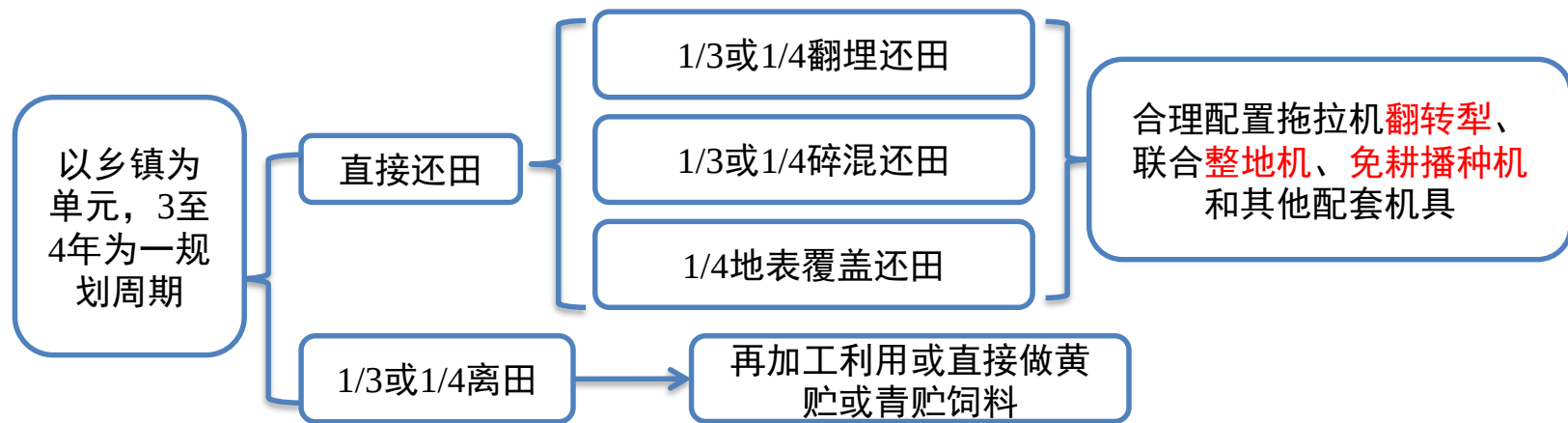
□ 秸秆还田——玉米秸秆机械化还田模式

◆ “一翻两覆盖还田”



适宜范围: 土壤耕层较厚, 气候条件为降雨量450mm以上或灌溉区, 积温2600℃以上。

□ 秸秆还田——玉米秸秆机械化还田模式

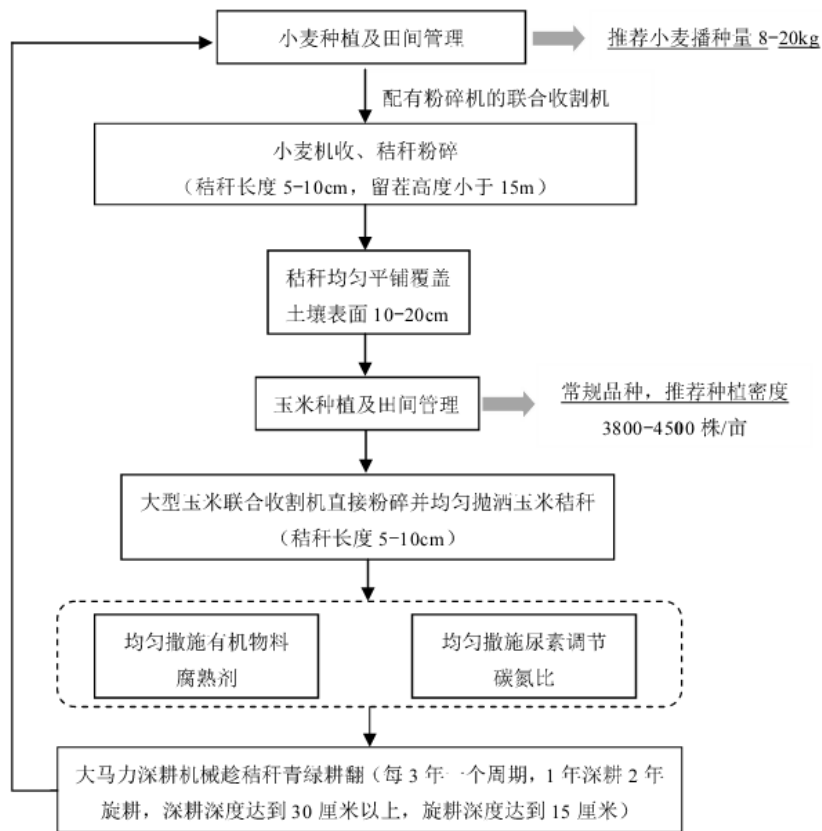


4年为一个周期：翻埋//离田//地表覆盖//碎混

4年为一个周期：碎混//离田//地表覆盖//翻埋

3年为一个周期：碎混//地表覆盖//翻埋

□ 秸秆还田——麦秸覆盖、玉米秸旋耕还田模式



- 麦秸覆盖还田免耕播种玉米，不用翻耕，节约成本，同时能减少土壤扰动，有利于提高作物产量。
- 玉米秸秆粉碎旋耕还田可同时完成碎土、松土、混拌秸秆、平整土壤等作业，生产效率高，成本低



适宜范围：一年两熟制小麦-玉米轮作区，光热资源丰富，在秸秆还田后有一定的降雨（雪）天气，或具有一定的水浇条件；土地平坦、土层深厚。

□ 水稻秸秆机械化还田模式：打浆还田模式

◆ 打浆还田模式

机收（带抛撒器） → 水田犁翻地 → 旋耕（可选环节） → 打浆 → 插秧（侧深施肥）

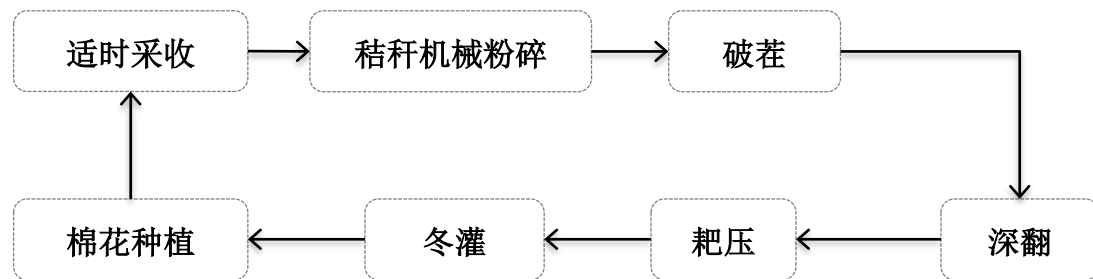
- 作物收获时秸秆粉碎10-20cm，田间抛撒；
- 水田犁将粉碎秸秆和根茬翻埋进入土壤，翻埋深度为18—20cm；
- 翌年春年，放水泡田（泡田水面高出耕层3—5cm，泡田时间3—5天），用弹齿式双轴打浆机打浆机进行搅浆平地作业（水深3cm），泯压秸秆和根茬，将部分搅浆到表层的秸秆、根茬再次压入土层，作业后水田表面平整，没有漂浮秸秆；
- 沉淀5—7天。



适宜范围： 具有秸秆全量还田、不影响春季插秧等特点，适宜于除沙土地和特别粘重土壤外的所有水田

□ 秸秆还田——棉秆机械化深翻还田模式

- 将棉秆粉碎还田，可以疏松土壤、改良土壤理化性、增加有机质、培肥地力等多重目标，同时消灭病虫害、提高产量、减少环境污染。



适宜范围： 全国棉花种植区域，尤其适宜于新疆等西北地区棉花规模化种植区域。



□ 秸秆还田——秸秆堆腐还田模式



发酵益生菌

分离出大量的发酵益生菌（8.5℃可以发酵）、耐高温秸秆腐熟剂菌种（86℃可以正常存活）等抗逆性强的不同功能的菌株。



粪便等N素

1、沟壑和坑塘法发酵腐熟（冬季）



2、阳光房法发酵腐熟



3、条垛法发酵腐熟



抛肥机还田



适宜范围：西南山地丘陵区等，积温较高，易于快速腐熟地区。

□ 饲料化利用

- 2017年，秸秆饲料化利用1.6亿吨，占秸秆资源总量的**19.6%**
- 主要包括**物理、化学、生物以及复合法**等饲料化利用技术。其中，物理法优化粒径适合牲畜采食；化学法优化风味营养价值高；生物法安全环保消化率高；复合法取长补短施用性广。

项目	处理方法	优点	缺点
物理法	切短、粉碎、揉搓、浸泡、蒸煮，热喷影化、 γ 射线、碾青、打浆、压块、制粒等	简单易行，明显提高秸秆适口性、采食量和消化率，容易推广，便于运输	机械化程度高，成本高，效果不明显
化学法	碱化、氨化、酸化、氧化剂处理，碱-酸复合处理、氨-碱复合处理等	能够提高适口性、营养价值和消化率	容易造成化学物质的过量，使用范围狭窄、成本高、污染环境
生物法	青/微/黄贮法、酶处理法、菌处理法、酶菌复合处理法	作用条件温和、专一性强；操作简单，制作成本低廉，效果明显；运输方便；可长期保存；绿色、环保、安全	生物制剂的优化筛选困难；制作条件严格控制
复合法	物理法、化学法与生物法的合理联合应用	具备了生物、物理和化学的优势，效果更佳，有效弥补单一处理的局限性	作用机理较复杂

饲料化利用

- 2017年，我国奶牛、肉牛等大牲畜存栏量**9763.6万头**，羊存栏**3.0亿只**，饲草需求总量**4.9亿吨**，秸秆饲料化利用占饲草需求量**37.8%**（为1.6亿吨）
- 按照草食畜牧业发展十三五规划，养殖规模按照年均增速2.2%测算，预计2020年大牲畜及羊存栏分别达到**1亿头**和**3.2亿只**，秸秆饲料化利用量将**超过2.1亿吨**

地区 Region	大牲畜存栏量 Large herbivore breeding stock (10 ⁴)	羊存栏量 Sheep breeding stock (10 ⁴)	饲草需求量 Forage demand (10 ⁴ t)	干草产量 Hay production (10 ⁴ t)	秸秆饲料利用量 Straw feed consumption (10 ⁴ t)	预计秸秆饲料 利用总量 Estimated total straw feed (10 ⁴ t)	秸秆占饲 草需求总 量比例 Straw ratio (%)
东北区 Northeast China	1237.2	2194.3	5384.2	1266.0	2827.4	4118.2	70.7
华北区 North China	1240.1	8113.8	8680.1	6140.5	3484.5	2539.6	27.1
华中区 Central China	1438.5	2855.8	6429.4	1039.3	1709.4	5390.2	77.4
华东区 East China	896.6	3568.8	5000.3	745.4	2442.0	4254.9	78.6
华南区 South China	645.8	302.1	2342.5	1127.6	434.5	1214.9	48.0
西北区 Northwest China	1572.5	8418.1	9968.2	8065.6	2955.8	1902.6	17.7
西南区 Southwest China	2732.8	4778.8	11855.5	10948.5	1741.0	907.1	7.1
全国 Total	9763.6	30231.7	49660.4	29332.9	15594.7	20327.6	37.8

基础数据来源：《中国统计年鉴（2018年）》《全国草食畜牧业发展规划（2016—2020年）》

□ 饲料化利用

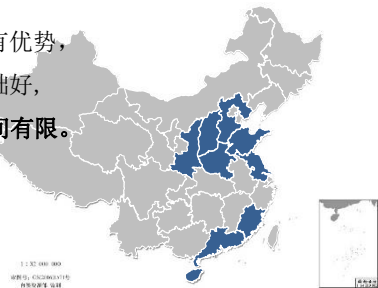
- **技术转化**——加快推进秸秆**青贮、氨化、微贮、颗粒饲料**等的快速发展
- **工程应用**——扶持重点技术专业化生产示范建设，重点**支持建设**秸秆青贮氨化池、购置秸秆处理机械和饲料加工设备，增强秸秆饲用处理能力，保障畜牧养殖的饲料供给
- **产业应用**——在**东北地区加快推进秸秆饲料化利用**，着力培育种植、饲料、养殖和加工一体化的大型农牧企业，促进饲料原料就地转化增值

- 综合考虑种养业发展优势、环境资源禀赋、区域优势和现有产业基础

稳定发展区（9省区）

河北、山西、山东、河南、江苏、陕西、福建、广东、海南

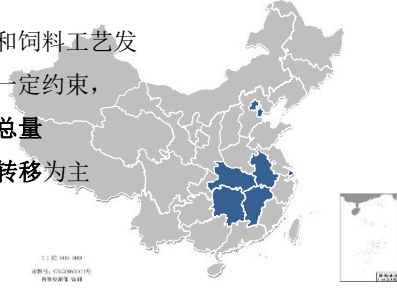
原料具有优势，
养殖基础好，
增量空间有限。



适度发展区（8省区）

北京、上海、天津、浙江、安徽、湖北、湖南、江西

养殖业和饲料工艺发展受到一定约束，
以**控制总量**
和**区域转移**为主

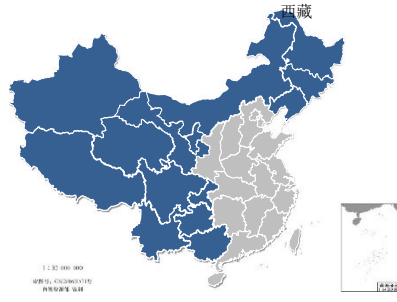


加快发展区（14省区）

重庆、四川、贵州、云南、广西、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、宁夏、甘肃、新疆、青海、

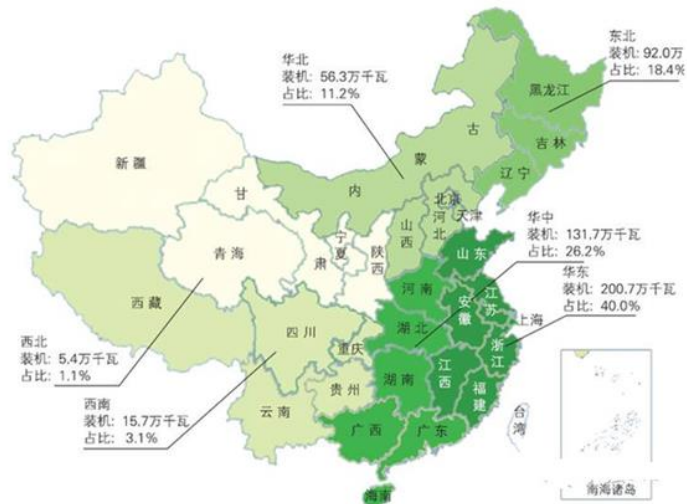
西藏

养殖区域布局调制的转移
承接区，资源丰富，养殖业还有发展空间，未来发展潜力大。

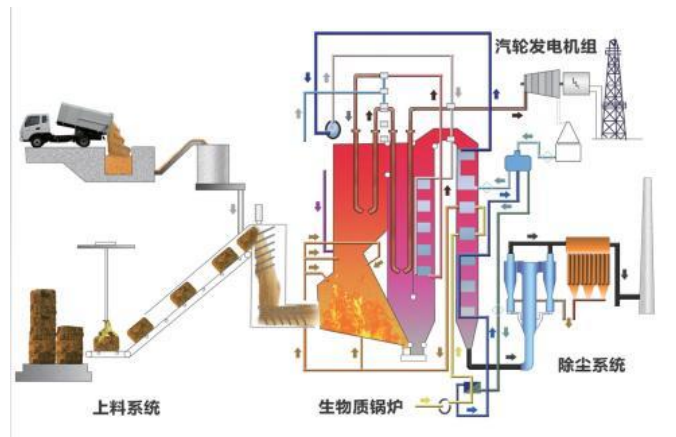


□ 秸秆能源化——直燃发电

- ◆ 指秸秆在专用锅炉中燃烧，产生的蒸汽驱动蒸汽轮机，带动发电机发电的技术，是已实现规模化和产业化的能源化利用方式。
- ◆ 2006年12月中国第一个规模化秸秆直燃发电项目在山东单县建成投产，标志着秸秆直燃发电进入产业化发展阶段。



全国农林剩余物直燃并网发电装机容量及分布（《中国可再生能源产业发展报告》）



- ◆ 目前，我国农林生物质发电项目（包括秸秆及林业剩余物），并网装机容量达8000MW，每年上网总电量约400亿kwh，约占生物质发电总装机容量的一半（另外一半为城镇垃圾焚烧发电）。

□ 秸秆能源化——秸秆成型燃料技术

◆ 技术特点

- 密度可达**0.8-1.4g/cm³**，热值为**3500大卡/kg**左右，相当于中质烟煤
- 燃烧特性改善明显，具有**点火容易、黑烟少、火力旺、燃烧充分、不飞灰、干净卫生**等优点，**NO_x、SO_x**极微量排放；
- 便于**运输和贮存**，可以作为商品，广泛应用于炊事、供暖等民用领域和锅炉燃烧、发电等工业领域。

截至2017年，全国成型燃料利用量约800万吨，主要用于城镇供暖和工业供热等领域。



□ 秸秆能源化——秸秆成型燃料技术

◆ 应用方向

- 推广先进低排放秸秆成型燃料锅炉供热的应用：标准化、自动化、区域分布式供热
- 成型燃料标准体系亟待健全：燃料质量要求、污染物排放、设备与供暖工程等相关标准



适用于医院、酒店、宾馆、学校等成型燃料锅炉

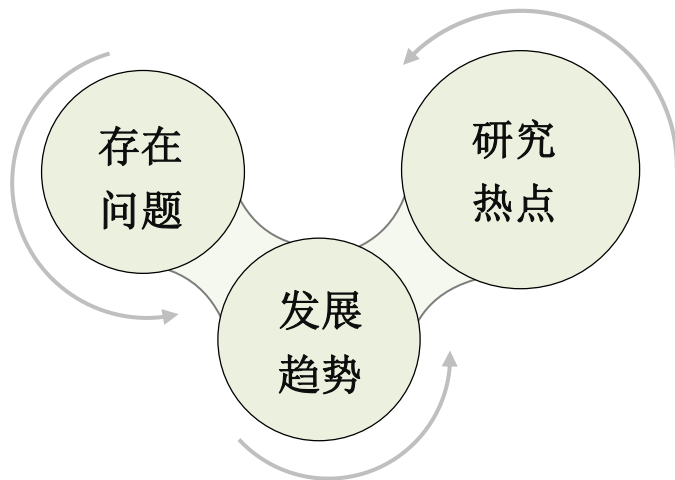


适用于户用小型成型燃料锅炉

□ 秸秆能源化——秸秆成型燃料技术

◆ 技术发展趋势

- 成型关键部件**易磨损**；成型**能耗高**；
- 成型生产线**设备耦合性差**
- 燃烧**易结渣**；NO_x与PM_{2.5}排放高



- **成型燃料清洁生产**：原料质量与粉尘控制
- **成型燃料定向改性研究**：脱除有害杂质、低温烘焙、添加剂等技术，提高燃料质量，改善燃烧特性，达到清洁排放
- **成型燃料质量分级评价指标体系研究**
- **产品、设备、工程标准化研究**

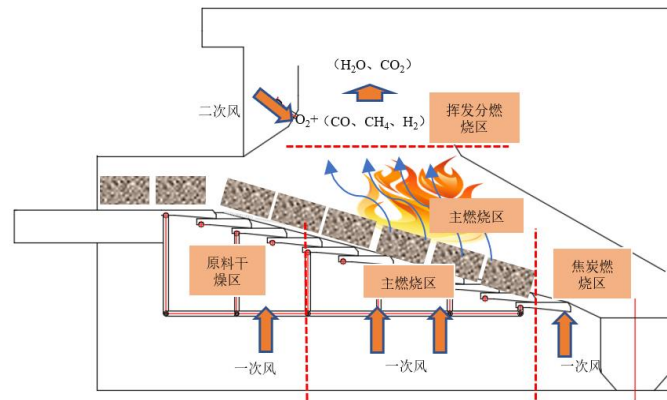
- 研发低成本低能耗成型**燃料清洁生产技术**体系
- 加快锅炉**低NO_x燃烧、PM_{2.5}调控与脱除**技术研究
- 加强炉具燃烧**污染物排放控制技术**研发
- 设备自动化研究，实现远程运行参数可监控：污染物、温度、压力等

□ 秸秆能源化——秸秆打捆直燃集中供暖

◆ 技术特点

将松散的农业秸秆打包后，采用专用锅炉直接捆烧直燃。

- 秸秆捆直接燃烧，减少中间环节、降低使用成本
- 设备结构简单，使用安全，操作和维护方便
- 燃烧后烟气净化系统要求高，否则会导致较高污染物排放



序批式捆烧



方捆连续捆烧



圆捆连续捆烧

- **序批式秸秆捆烧系统：**上料与清灰批次进行，工作不连续，功率一般较小，适用于中小型供暖系统
- **连续式秸秆捆烧系统：**可实时进料和清灰，工作连续，功率较大，适用应用于村镇社区为主的大中型集中供暖系统

□ 秸秆能源化——秸秆打捆直燃集中供暖

◆ 烟气除尘

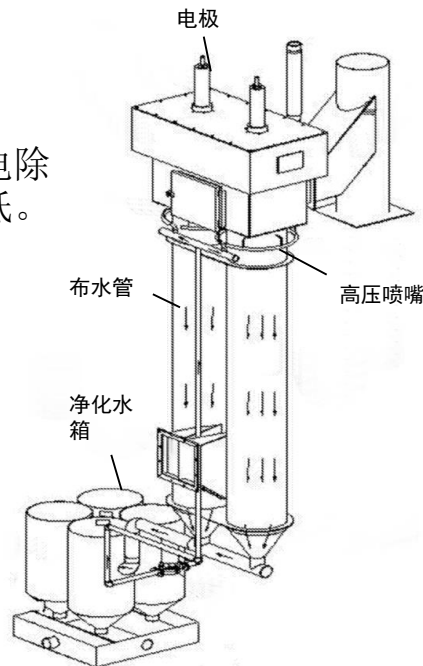
➤ 旋风+布袋除尘

- 结构紧凑，占地面积小
- 性能稳定
- 操作维护简便，运行维护费用低
- 处理风量大，设备噪音低



➤ 旋风、静电、水膜耦合一体化高效除尘

- 除尘率可达**99.5%**
- 有效清除微细尘粒
- 性能安全可靠
- 有效降低了旋风水膜静电除尘器的建造和运维成本低。



□ 秸秆能源化——秸秆打捆直燃集中供暖

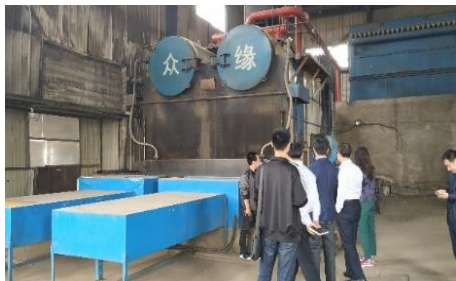
◆ 典型企业

➤ 众缘秸秆捆烧锅炉

- 燃烧方式：整捆层燃
- 进料方式：间歇式
- 技术特点：开发的产品以大中型秸秆捆烧热水锅炉和蒸汽锅炉为主，方捆热水锅炉系列产品功率0.7-7MW；圆捆热水锅炉系列产品功率4.2-24.5MW。采用半气化燃烧技术，燃烧充分，锅炉热效率达到80%左右。

➤ 本特秸秆捆烧锅炉

- 燃烧方式：整捆层燃
- 进料方式：序批式
- 技术特点：采用“逆流燃烧理论和二次燃烧技术”，产品以中小型秸秆捆烧热水锅炉为主，捆烧热水锅炉系列产品功率25~700 kW



□ 秸秆能源化——秸秆打捆直燃集中供暖

◆ 技术发展趋势

➤ 存在问题

- 燃烧易结渣；
NO_x与PM_{2.5}排放高
- 燃烧效率有提高潜力

➤ 研究热点

- 改善燃烧特性，达到清洁排放
- 设备自动化、系列化、标准化

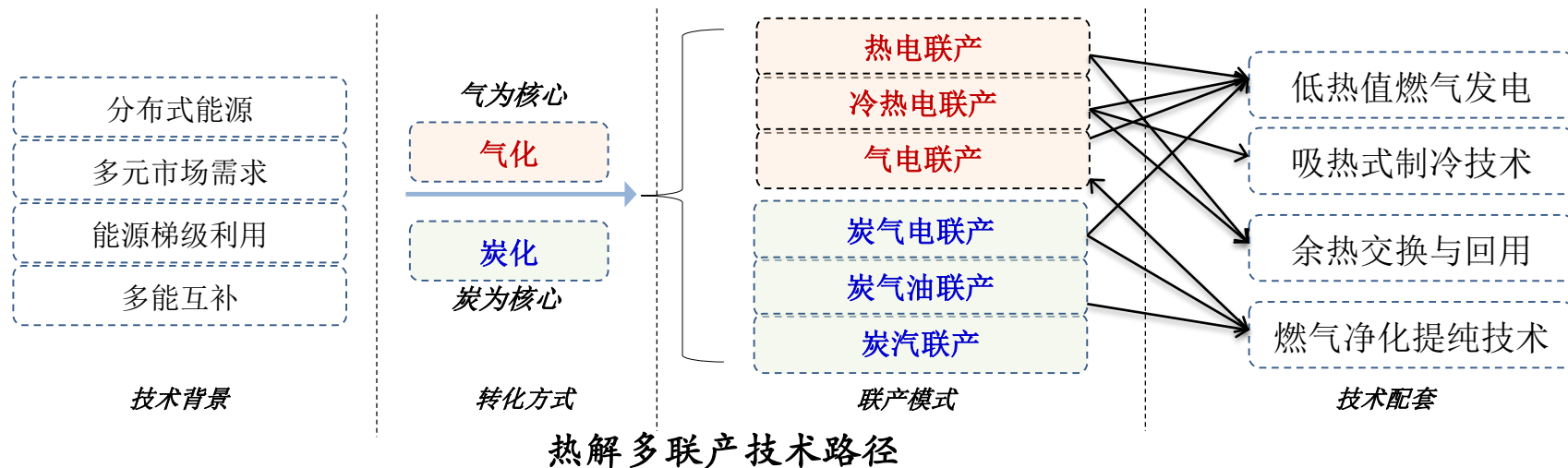
➤ 发展趋势

- 加快锅炉低NO_x燃烧、PM_{2.5}调控与脱除技术研究
- 设备自动化研究，实现远程运行参数可监控，如污染物、温度、压力等

□ 秸秆能源化——秸秆热解炭气联产

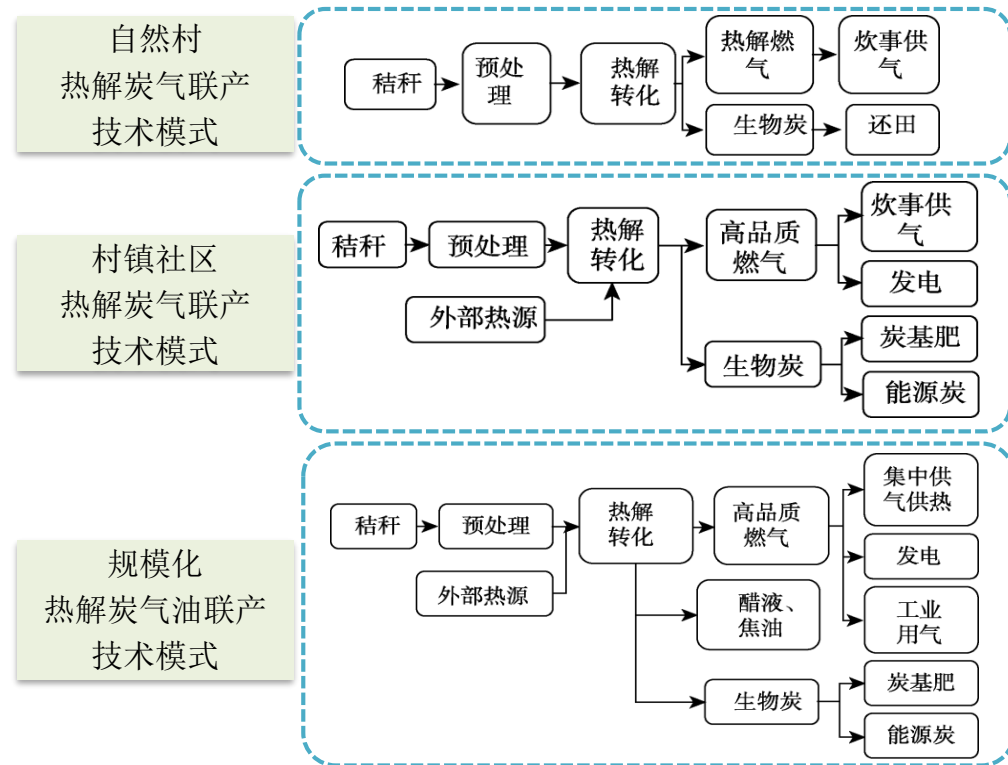
◆ 技术特点

- 在隔绝空气或供给少量空气的条件下，通过热化学转换，将秸秆转变成成为炭、液体和气体等低分子物质的过程。
- 将常规方法难以处理的低能量密度的生物质转化为高能量密度的气液固产物，减少了**秸秆的体积**，便于**储存和运输**。还能从生物油中提取高附加值的化学品。



□ 秸秆能源化——秸秆热解炭气联产

◆ 村镇秸秆炭气肥能源生态模式



- 通过低温热裂解工艺转化为生物炭，以生物炭为介质生产炭基肥料，并返回农田，以改善土壤结构及其他理化性状，增加土壤有机碳含量。



□ 秸秆能源化——秸秆热解炭气联产

◆ 技术发展趋势

存在问题

- 焦油处理难、燃气热值低
- 定向调控机理不明确

研究热点

- 产品定向调控机理技术
- 焦油消减机理与处理工艺
- 焦油与木醋液的高值利用
- 连续热解关键技术工艺

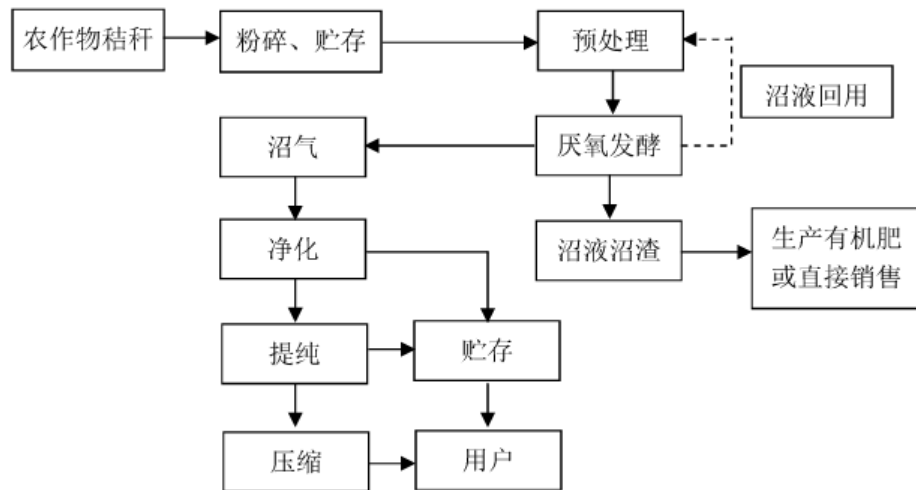
发展趋势

- 清洁化、低成本和便利化
- 分布式能源网络
- 农村供暖中的应用
- 能量梯级利用

□ 秸秆能源化——秸秆沼气

◆ 技术特点

- 利用秸秆制取沼气，通过管道或压缩装罐供应农村居民生活用能，或者提纯后制取“生物天然气”供车用或工业使用
- 沼渣、沼液可直接还田，也可经深加工制成含腐殖酸水溶肥、叶面肥或育苗基质等，应用于蔬菜、果树及粮食生产。



□ 秸秆能源化——秸秆沼气



□ 秸秆能源化——秸秆沼气



□ 秸秆能源化——秸秆沼气

◆ 技术发展趋势



三、发展前景

□ 秸秆综合利用的政策趋势

□ 国外秸秆利用政策

主要集中在目标政策、投资扶持政策（财政政策）、税收与信贷优惠政策、政策激励机制 等方面。

➤ 科技研发——秸秆利用科研项目

如2019年10月1日，美国能源部（DOE）宣布向35个生物能源研发项目拨款7300万美元，包括10个主题领域的35个生物能源项目，其中涉及到秸秆及高值化利用的有3个主题领域。

➤ 产前环节——秸秆收储农机购置补贴

如韩国农机补贴，一套价值1.3 亿韩元的分体式秸秆收储机械，可享受0.5 亿韩元的政府补贴。

➤ 产中环节——项目建设与设备购置投资扶持与财政补贴

如美国支持纤维素乙醇，资8 000 万美元扶持建设了3个产业化示范项目；丹麦的生物质锅炉、德国的沼气设备都给予补贴。

➤ 产后环节——产品补贴与固定价格政策

主要集中在秸秆发电和纤维素乙醇方面，如丹麦每度电补贴2欧分，美国每生产1 加仑乙醇，可以得到51 美分的政府补贴

□ 秸秆综合利用的政策趋势

□ 我国秸秆利用政策

行政管理和市场引导相结合的政策体系

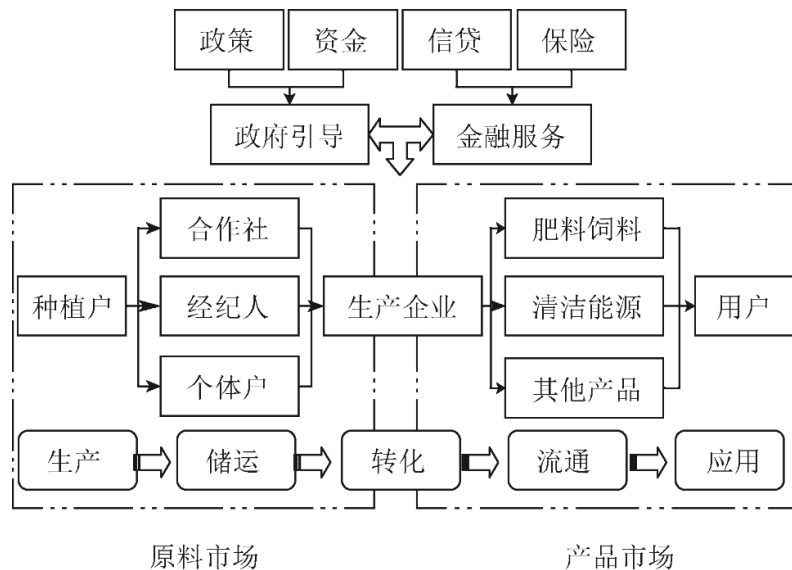
- **行政文件：**24个关于秸秆禁烧管理的行政规范性文件，全国各省市也出台了相关管理办法
- **规划引领：**出台东北地区秸秆处理行动方案等规划方案
- **财政补贴：**15亿元秸秆综合利用资金向全国铺开
- **技术指导：**推介技术模式，秸秆综合利用技术对接专家组技术指导

加快推进秸秆综合利用，探索企业、农民和政府三方共赢的利益链接机制，以及可操作、可复制、可持续的秸秆综合利用长效机制是今后秸秆政策创设的重点。

□ 秸秆利用的根本在于提高技术经济性 走产品高值化之路

□ 秸秆产业市场的形成与可持续发展，需要2个基本条件：

- ✓ 市场上存在有效的秸秆供给与有效的产品需求；
- ✓ 交易加工费用低于产品需求价格与秸秆供给价格之差



- 受原料储运环节成本高，以及目前秸秆利用技术经济性较差等因素制约。
- 目前中国秸秆产业完全市场化发展仍比较困难。增加秸秆高值化利用技术研发力度，提高技术经济性和产品高值化是秸秆利用的根本出路

谢谢！