



中国建材

Sinoma

中材国际环境工程（北京）有限公司

SINOMA INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL ENGINEERING CO., LTD.

工业窑炉替代燃料应用技术研究

中材国际环境工程（北京）有限公司

杨东方 高级工程师

目录

一、公司简介

二、替代燃料产业背景

三、替代燃料技术路线研究

四、替代燃料制备和燃烧技术



中国建材

第一部分 公司简介

一、公司简介



绿色设计国际大奖获得者。

中材国际环境公司是央企中国建材集团旗下中国中材国际的全资子公司，是中材国际环保产业专业化研发和投资发展平台，北京市高新技术企业。

是环境工程技术研发和提供商、总承包服务商、特许经营投资商及运营服务商。

——水泥窑协同处置国家标准的主要制定者。

——中国建材行业设计和服务业100强。

——水泥窑协同固废处置企业10强。

——水泥窑协同处置研发平台。

265

在职员工（人）

80+

技术人员

40+

工程人员

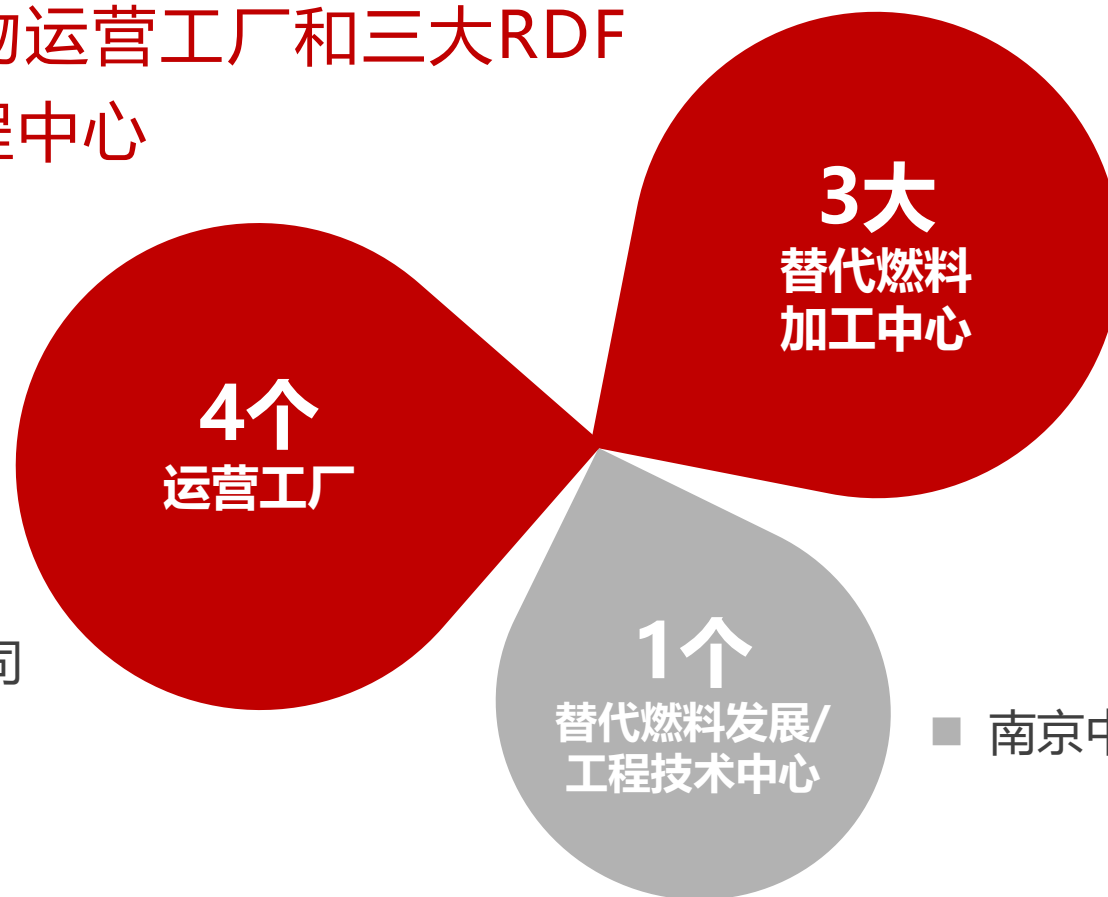
90+

运营人员

一、公司简介——公司研发、协同处置和RDF区域中心

中材环境拥有四家废弃物运营工厂和三大RDF区域运营中心及研发工程中心

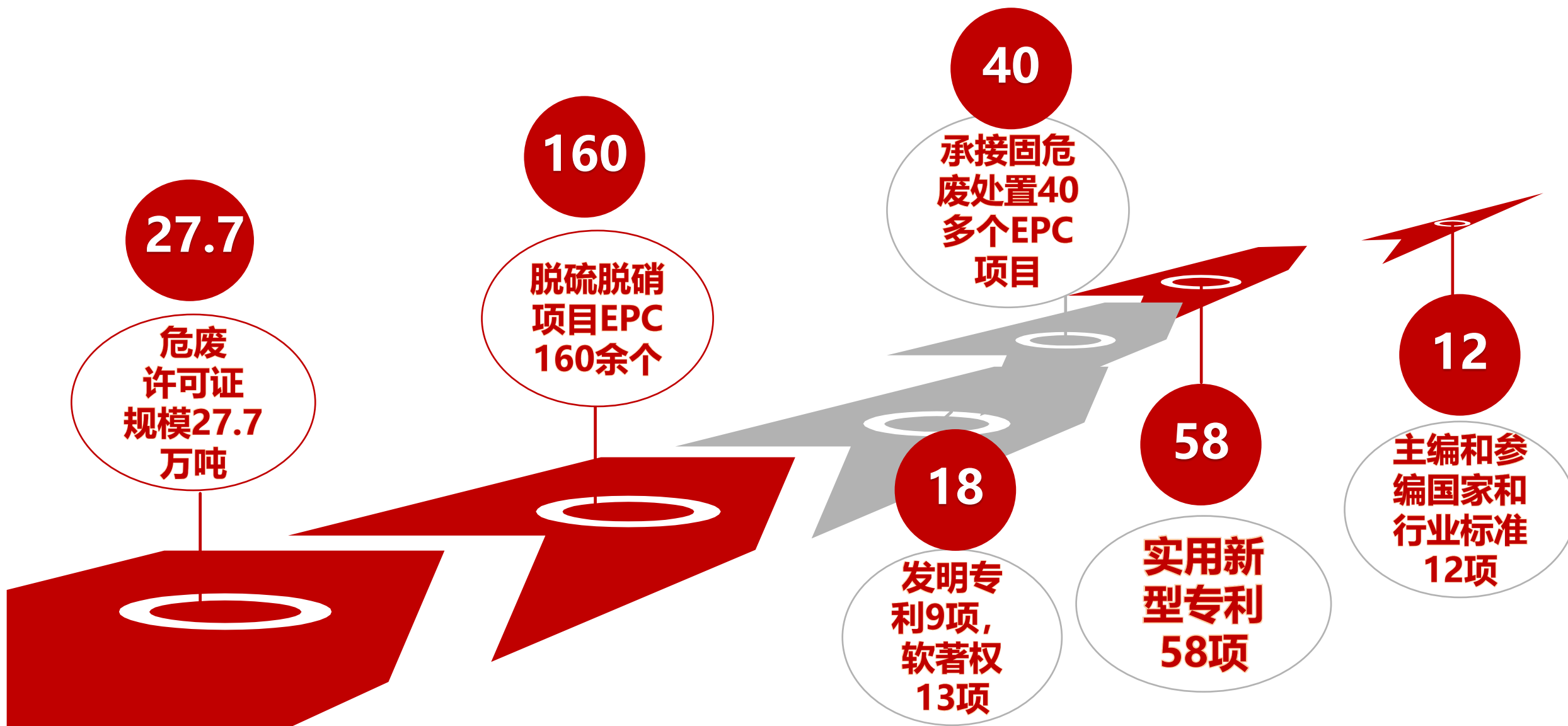
- 溧阳中材环保有限公司
- 临沂国建环境科技有限公司
- 淮南中建材腾锋环保科技有限公司
- 江苏中天共康环保科技有限公司



- 山东枣庄加工中心
- 江苏徐州加工中心
- 江苏溧阳加工中心

- 南京中材环保有限公司

一、公司简介——公司的专利和项目业绩



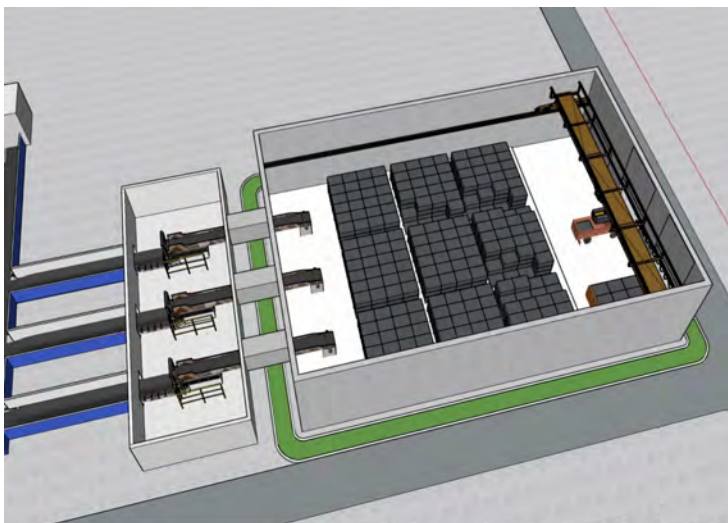
一、公司简介——投资的协同处置运营中心



一、公司简介——替代燃料RDF供应运营中心



一、公司简介——EPC总承包工程



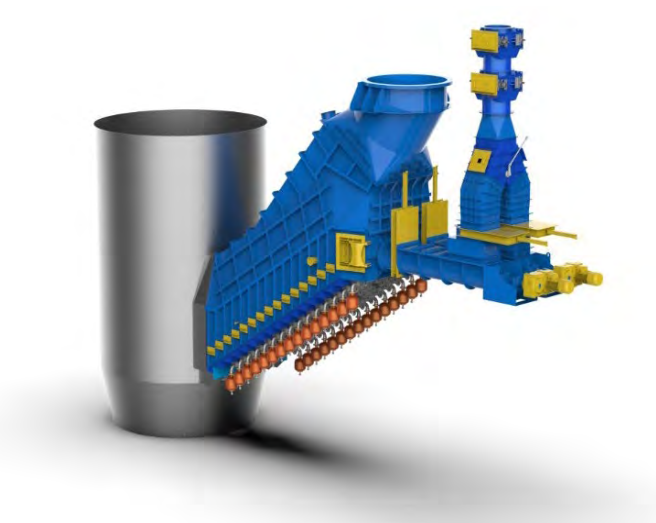
设计

来自中材国际专业的设计团队和生产运营人员，为客户定制化服务，了解客户生产使用痛点。



工程

完备的质量、进度控制体系，经验丰富的项目经理团队，为客户项目实施提供全方位服务。



设备

丰富的设备选型设计，可靠的使用寿命，为客户提供性价比高的产品和服务。

一、公司简介-核心装备





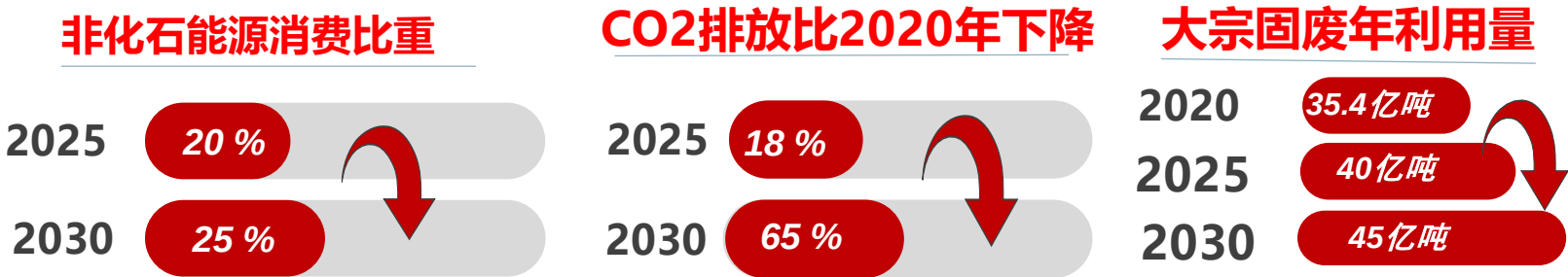
第二部分 替代燃料(RDF/SRF)

产业背景

二、替代燃料产业背景



2021年10月国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知国发〔2021〕23号，到2030年，经济社会发展全面绿色转型取得显著成效，重点耗能行业能源利用效率达到国际先进水平。到2060年，绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳安全高效的能源体系全面建立，能源利用效率达到国际先进水平，非化石能源消费比重达到80%以上。



双限双控

- 2021年8月12日，国家发展改革委印发了《2021年上半年各地区能耗双控目标完成情况晴雨表》。
- 2021年9月11日国家发展改革委 国家能源局关于印发《完善能源消费强度和总量双控制度方案》的通知。

地 区	能耗强度降低进度目标 预警等级	能源消费总量控制目标 预警等级
青 海	●	●
宁 夏	●	●
广 西	●	●
广 东	●	●
福 建	●	●
新 疆	●	●
云 南	●	●
陕 西	●	●
江 苏	●	●
浙 江	●	●
河 南	●	●
甘 肃	●	●
四 川	●	●
安 徽	●	●
贵 州	●	●
山 西	●	●
黑 龙 江	●	●
辽 宁	●	●
江 西	●	●
上 海	●	●
重 庆	●	●
北 京	●	●
天 津	●	●
湖 南	●	●
山 东	●	●
吉 林	●	●
海 南	●	●
湖 北	●	●
河 北	●	●
内 蒙 古	●	●

注：1. 西藏自治区数据暂缺，不纳入预警范围，地区排序的依据为各地区能耗强度降低率
2. 红色为一级预警，表示形势十分严峻；橙色为二级预警，表示形势比较严峻；绿色为三级预警，表示进展总体顺利

二、替代燃料产业背景

■ 2021年10月22日 发改委等五部委发文《冶金、建材重点行业严格能效约束推动节能降碳行动方案（2021-2025年）》

要求2025年30%以上水泥熟料产能吨熟料综合能耗达到100kg标准煤。到2025年，通过实施节能降碳行动，等重点行业 and 数据中心达到标杆水平的产能比例超过30%，行业整体能效水平明显提升，碳排放强度明显下降，绿色低碳发展能力显著增强。

2022年11月1日生效的——GB 16780-2021《水泥单位产品能源消耗限额》

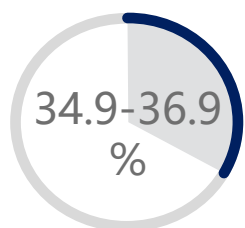
指标名称	3级（限定值）	2级（限定值）	1级（限定值）
熟料单位产品综合能耗/(kgce/t)	≤117	≤107	≤100
熟料单位产品综合煤耗/(kgce/t)	≤109	≤100	≤94

二、替代燃料产业背景

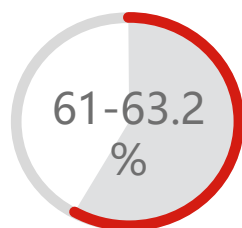
水泥生产过程中碳排放来源

熟料环节

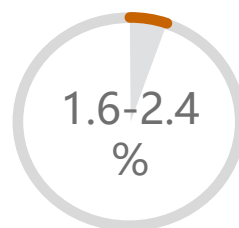
化石燃料排放



碳酸盐分解排放



购入电力排放



=

限定值:
0.905tCO₂/t熟料
准入值:
0.870tCO₂/t熟料
先进值:
0.845tCO₂/t熟料

水泥环节

单位熟料排放量 & 熟料系数

60-80%

+

吨水泥粉末电耗 & 电力排放因子

28-40kwh/t

=

单位水泥排放量

0.524-0.748
tCO₂/t水泥

参考《硅酸盐水泥熟料单位产品碳排放限额》不考虑余热发电因素

二、替代燃料产业背景——来源分析

水泥工业替代燃料的最佳来源



生活垃圾

生活类包括：生活垃圾及填埋场陈腐垃圾，通过精细化分选，破碎及脱水后，加工成RDF利用，热值可达到1500~3500kcal/kg。



农林垃圾

农业类包括：稻壳、玉米秸秆、榛子壳、椰子壳、咖啡荚、棕榈果壳、玉米棒子、花生壳等，通过干燥后热值能达到1500kcal/kg~5000kcal/kg。



工业污泥

工业类污泥包括：原生湿污泥含水率 $\geq 80\%$ ，通过深度干化后将含水率降至30%以下，加工成燃料球使用，热值能达到1200 kcal/kg以上。



一般工业固废

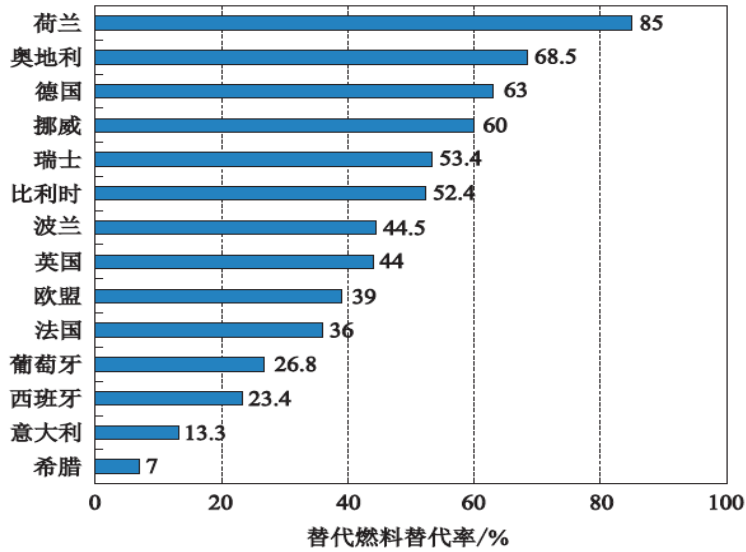
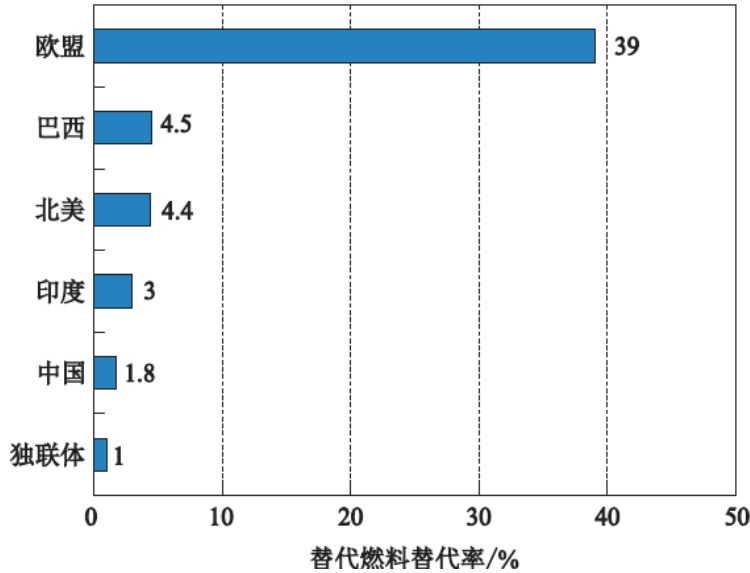
工业固废包括：废轮胎、废塑料、废橡胶、废纸板、废木材、废家具、废布条等一般工业固废，其热值能达到4000kcal/kg~5000kcal/kg以上，是良好的替代燃料。在欧洲该类替代燃料的比例超过了50%。

二、替代燃料产业背景——来源分析

水泥工业替代燃料的来源

国外目前采用的水泥工业的替代燃料

废液燃料	工业化学废物，废溶剂，废油，油漆废料，石油污泥，蒸馏残渣，蜡悬浮液，焦油，石化废物，沥青等
固体废物燃料	废旧轮胎，废纸，废塑料，废电解池（SPL），肉骨粉（MBM），污水污泥，城市生活垃圾（MSW），农作物（绿色垃圾、废木料、果壳、稻壳等）
气态废物燃料	垃圾填埋气，热解气体



二、替代燃料产业背景——欧洲情况

拉法基豪瑞

- RDF来源：破碎后的轮胎、烘干的污泥及调配后的废液。
- **燃料替代率为61%-62%。**
- 净零途径：与SBTI（科学碳目标倡议）认可的净零排放路径一致，他们承诺到2050年，在2018年基准年的基础上，每吨胶凝材料的温室气体排放量减少 95%

德国的海德堡水泥

- RDF来源：废纸、纺织布料、塑料以及有害垃圾等废弃物
- 2030年，CO₂排放减少1/3。

Climate protection HeidelbergCement Group ¹⁾

	2018	2019	2020
Specific net CO ₂ emissions (kg CO ₂ /t cementitious material)	599	589	576
Alternative fuel rate	22.0 %	24.0 %	25.7 %
Clinker ratio	74.7 %	74.5 %	74.3 %

墨西哥CEMEX

- ✓ 在2030年每吨胶凝材料减少40%的CO₂
- ✓ 混凝土中的碳含量减少35%*
- ✓ 清洁用电55%
- ✓ 达到熟料系数的71%。
- ✓ **替代燃料替代率达到50%**

他们的最终目标是到2050年仅交付净零二氧化碳混凝土，成为一个真正的净零排放企业。

二、可替代燃料产业背景——国内情况



华新水泥：国内水泥行业替代燃料使用的领跑者，目标为2025年替代燃料工厂全覆盖，平均替代率30%，截止到2021年，已投产13余条替代燃料利用生产线，其中阳新万吨线实现日处置2094吨，全系统热替代率达38.9%，多条5000t/d生产线利用替代燃料650t/d，总设计替代燃料利用规模9500t/d，日节约燃煤2500t。



红狮水泥：已建成投入使用的生活垃圾替代燃料项目10个以上，目前正在大力推广替代燃料项目建设，2025年实现替代率30%



台泥水泥：目前已在英德、贵港、重庆、句容等工厂大量使用替代燃料，利用规模3000t/d,2022年底实现所有生产线均具备利用替代燃料的能力。



华润水泥：华润替代燃料及生活垃圾项目累计10余个，在建2个，实现利用替代燃料4300t/d，日节约燃煤2000t/d。



塔牌水泥：已大规模开展替代燃料项目建设，投资规模较大，对替代率目标很高，蕉岭塔牌及惠州塔牌计划尾煤替代率在80%以上。



葛洲坝水泥：投产4条生活垃圾处置线，形成日处置生活垃圾1800t/d，并启动7条线的替代燃料利用项目建设，规模增加到3000t/d（替代燃料+生活垃圾）。

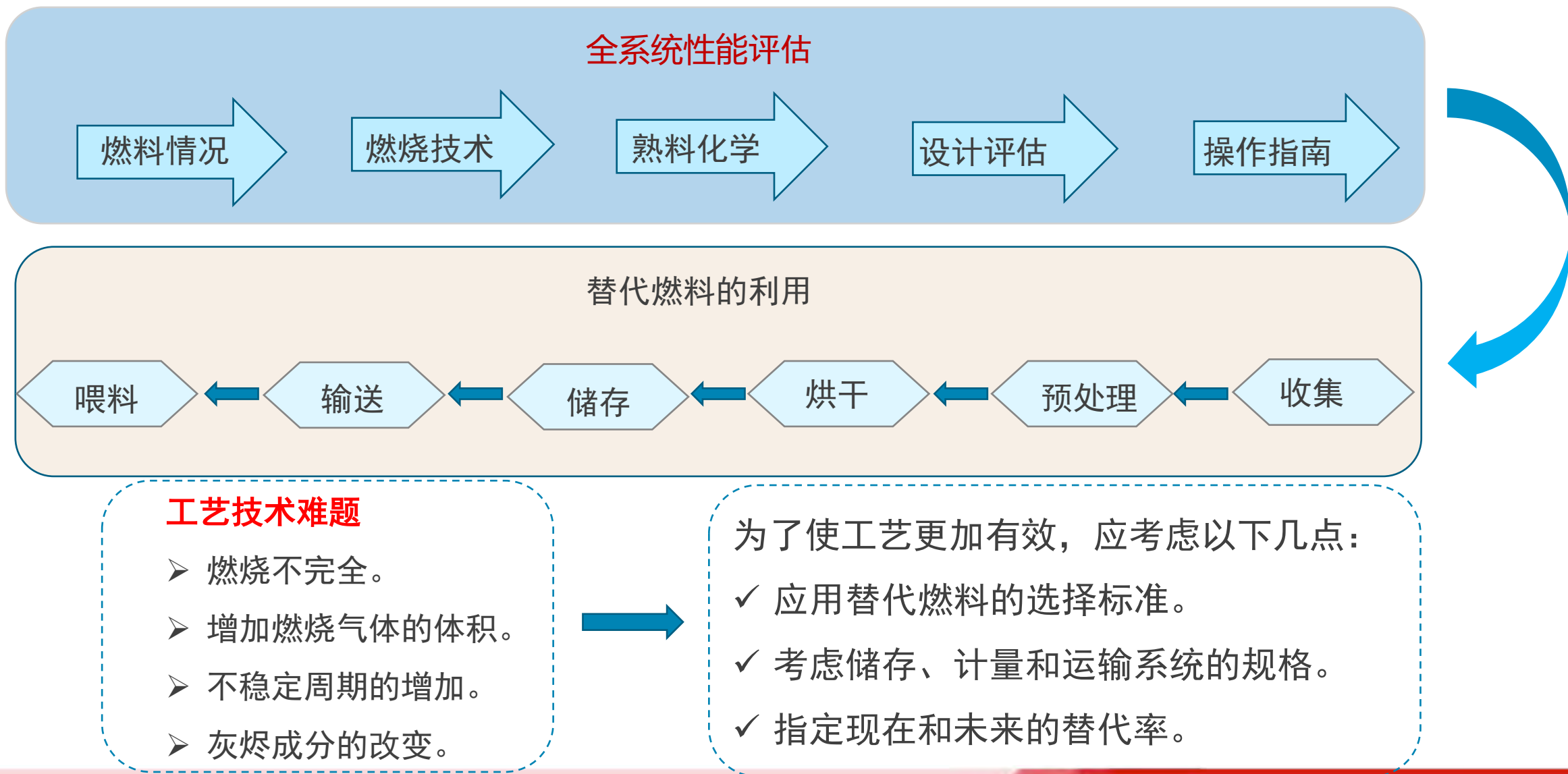


海螺水泥：截止到2019年，共有116个固废项目，形成日处置生活垃圾3.5万吨，日节约燃煤8000吨。



第三部分 可替代燃料技术路线研究

三、可替代燃料技术路线研究——全系统性能评估和保障



三、可替代燃料技术路线研究——系统解决方案



原料收储

- 生活垃圾/园林垃圾：和政府签订特许经营，承接生活垃圾和园林垃圾处置任务
- 工业固废：对接产废单位，固废端收集、运输和储存
- 生物质废弃物：对接种植单位，定向接收



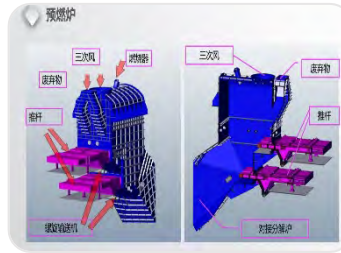
替代燃料制备

- 生活垃圾：通过破碎、筛分、风选等措施实行可燃物分离，均化细破碎后成为替代燃料
- 工业固废：通过破碎、除杂、精选后制备为替代燃料
- 生物质废弃物：通过破碎除杂后成为替代燃料



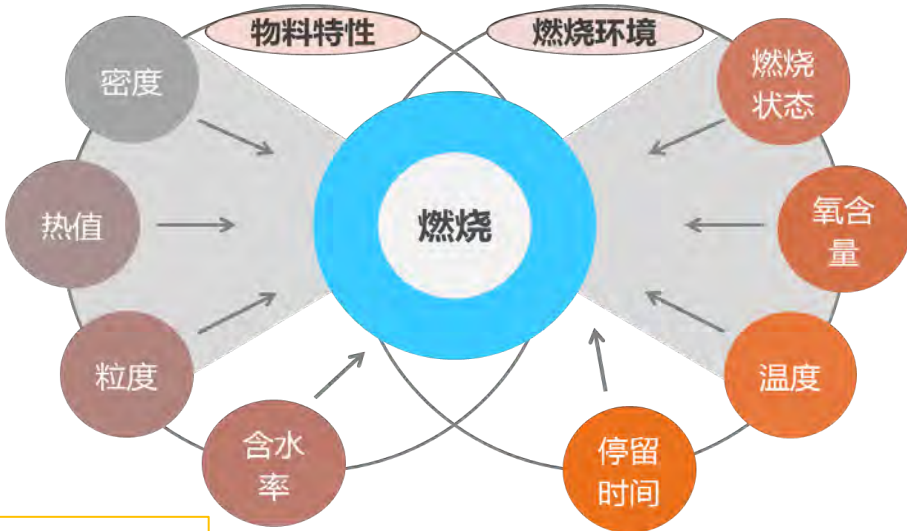
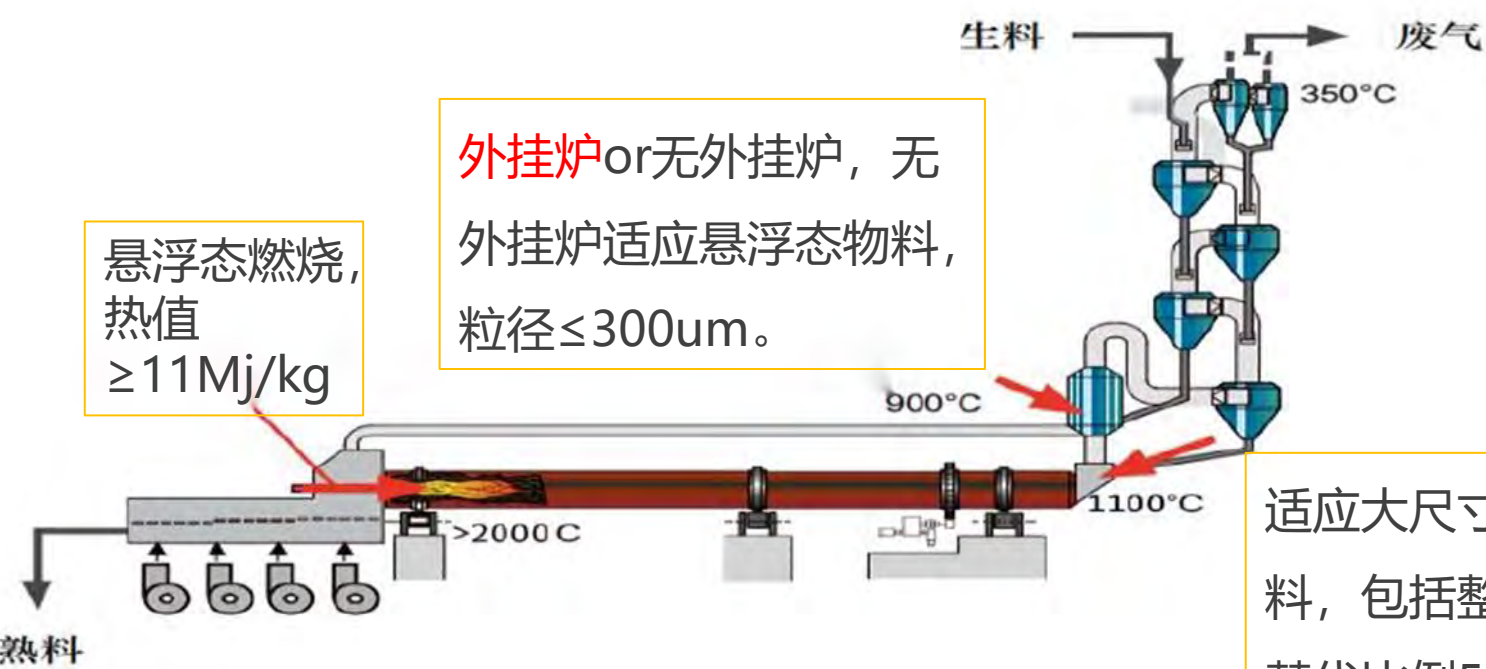
工厂的燃烧

- 精细易燃替代燃料：设置SC型式预燃炉，通过稳定喂料和计量系统接纳替代燃料
- 较劣质替代燃料：设置阶梯式预燃炉或者SPF预燃炉，通过配套喂料和计量系统接纳替代燃料



三、替代燃料技术路线研究——工厂接纳和焚烧应用端技术

实现高比例替代的方案——技术路线分析



解决方案：

- 1、选择3个喂料点，利用窑系统的燃烧特性和位置；

2、设置外挂炉，适应更广类别替代燃料；

3、选择对应替代燃料的标准；

4、选择合适的储存、计量和运输系统；

5、评估现在和未来的替代率；

6、开拓更多可用替代燃料。

三、可替代燃料技术路线研究——典型物料燃烧特性分析

典型物料燃烧特性和数据展示

物料名称	880℃不同长度的物料对应的燃烬时间（s）			
	60mm	80mm	100mm	120mm
废纺	85	100	95	96
干树枝	88	84	94	88
干秸秆	63	68	71	69



3D类的废纺物料和生物质燃料需要提供堆积态燃烧条件，实现燃料的充分燃烧

三、可替代燃料技术路线研究——物料燃烧特性分析和研究

典型物料燃烧特性和数据展示

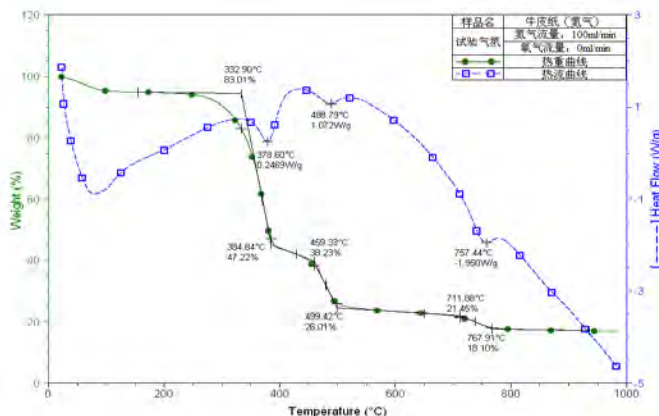


图3.8.1 牛皮纸在氮气气氛下的热失重及热流曲线

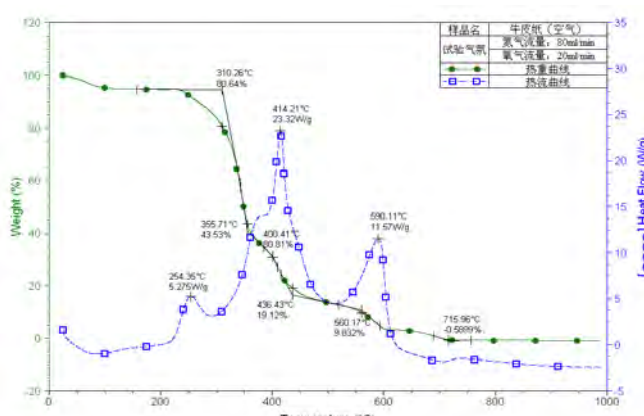


图3.8.2 牛皮纸在空气气氛下的热失重及热流曲线

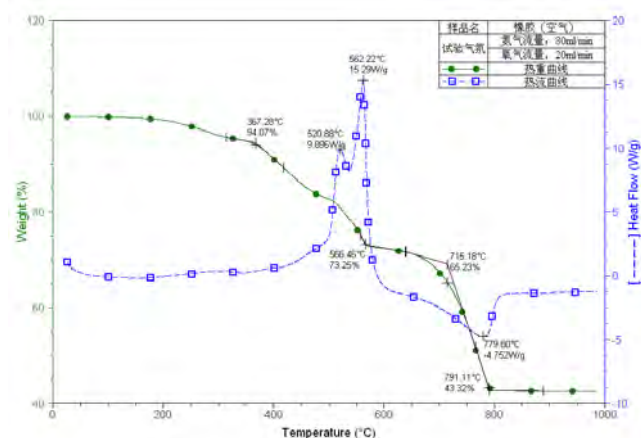


图3.2.1 橡胶1在氮气气氛下的热失重及热流曲线

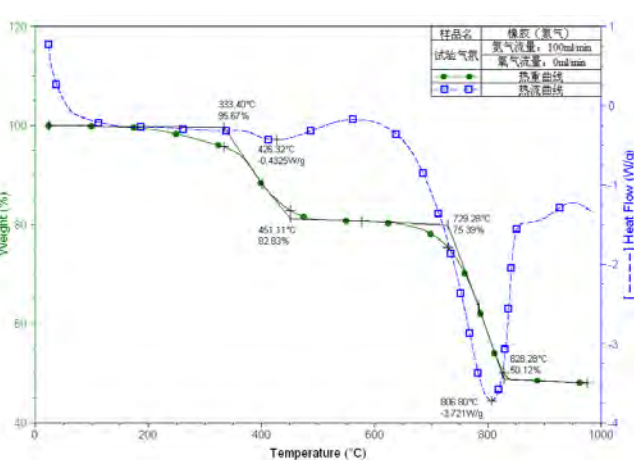
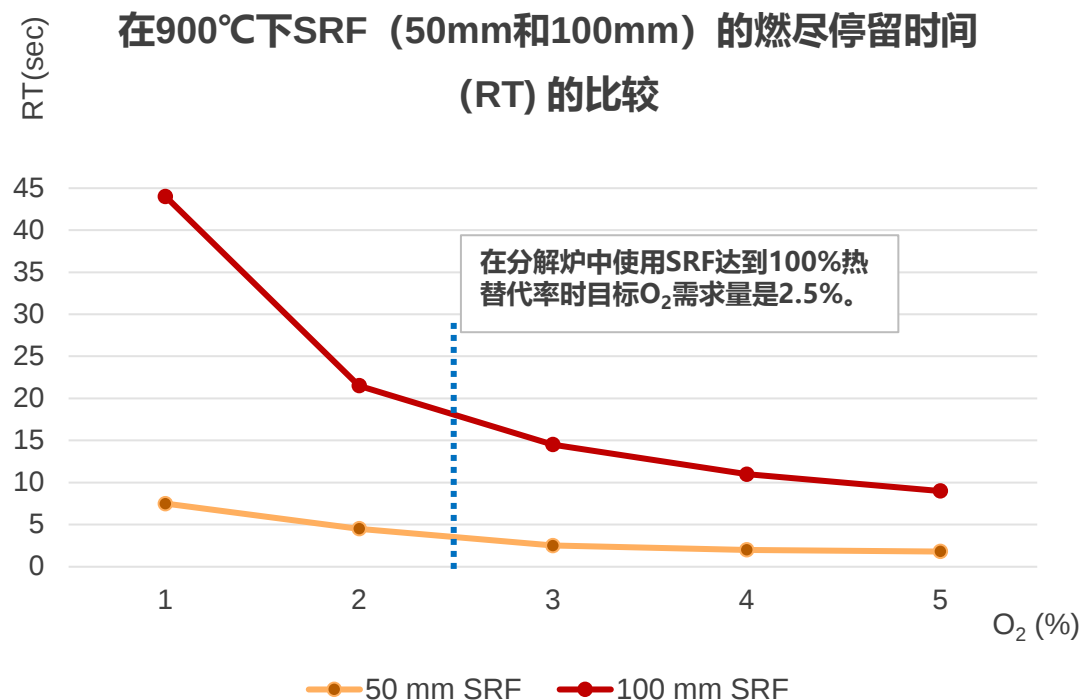


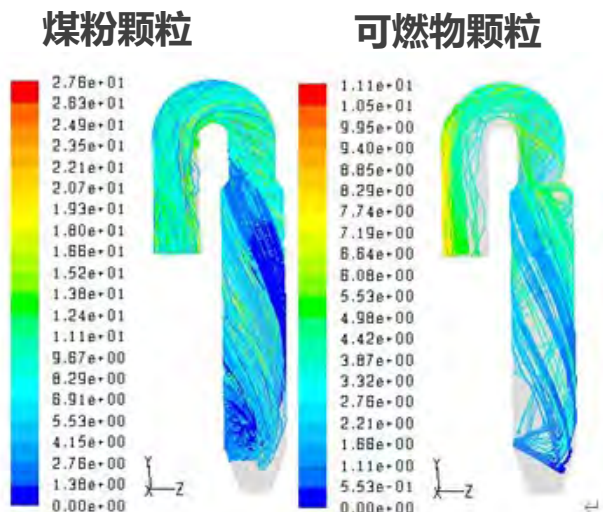
图3.2.2 橡胶1在空气气氛下的热失重及热流曲线



即使对于仅有2秒停留时间的分解炉，50mm粒径的2D-SRF也是非常好的。针对2D的SRF采用分解炉直投是最佳选择。

三、可替代燃料技术路线研究

分解炉的数值模拟



分解炉内颗粒运动轨迹及停留时间分布

数值计算结果与理论分析相一致，数值模拟出的可燃物的平均停留时间为**6.38s**，气固比为1.11，小于3.5~4.5的实测值，这与数值模拟没有考虑实际情况下颗粒的团聚效应，以及可燃物因其密度小，气流有关。

煤粉颗粒平均停留时间	煤粉颗粒燃尽率	可燃物平均停留时间	可燃物燃尽率
7.501s	99.1%	6.38s	97.30%

加可燃物后燃烧器端头黑火头略微延长，这是由于：

- ①可燃物的加入，带入了一股**一次风**；
- ②可燃物含有一定的**水分**，水分的气化需要热量。

高温区比未加可燃物高温区向前移了2米左右，这主要是可燃物**挥发分**的快速燃烧放出了大量的热量。

类别	标况风量 (Nm ³ /kg.cl)	温度 (°C)	压力 (Pa)	工况风量 (m ³ /s)	规格 (m)
分解炉	1.20	900	-900	5.18	Φ7.5×31+Φ5.65×33
回转窑	0.40	1400(avg.)	-300	2.54	Φ4.8×74

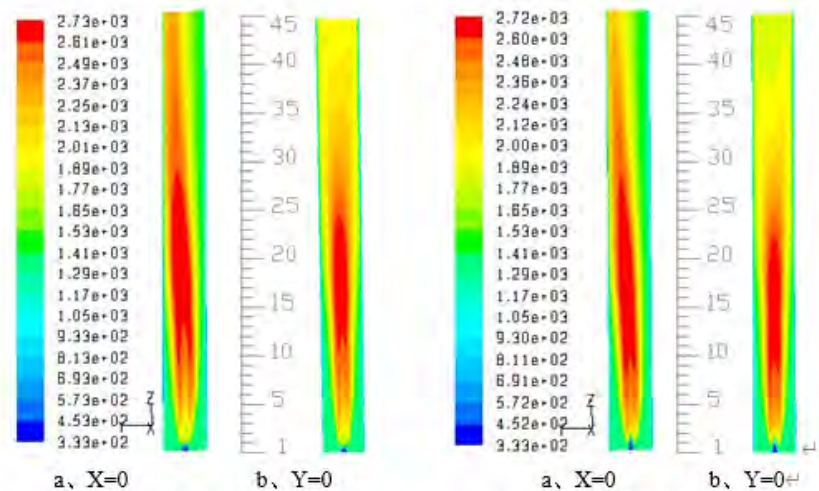
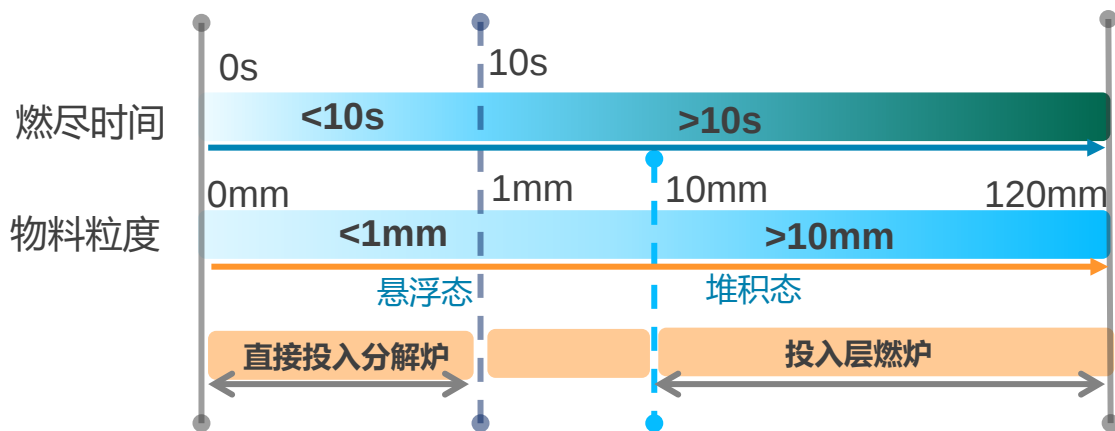


图14 未加可燃物各剖面温度云图 图15 加可燃物各剖面温度云图

三、可替代燃料技术路线研究

生物质燃料

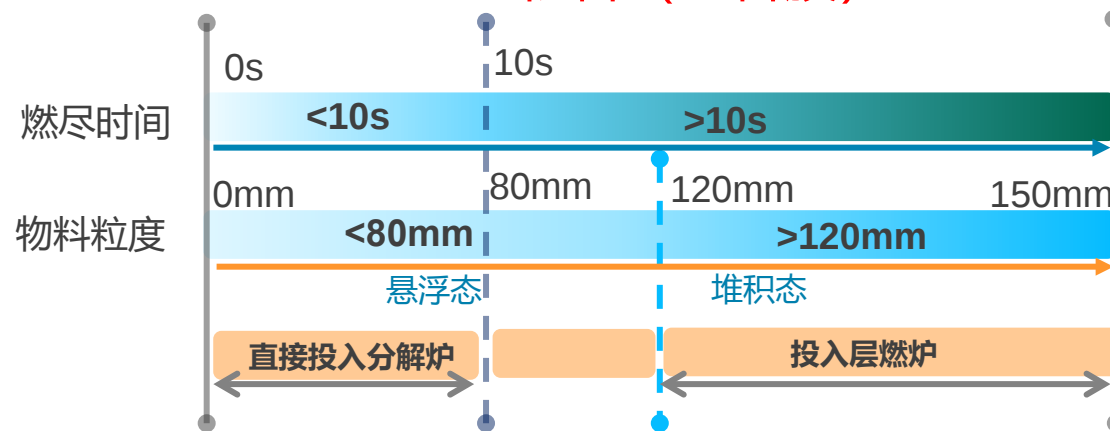


燃烧时间对应于分解炉工况条件下的燃烧反应，数据为木质类生物质，2D物料选择的生活垃圾类塑料，2.5D物料指生活垃圾源有一定厚度的塑料。

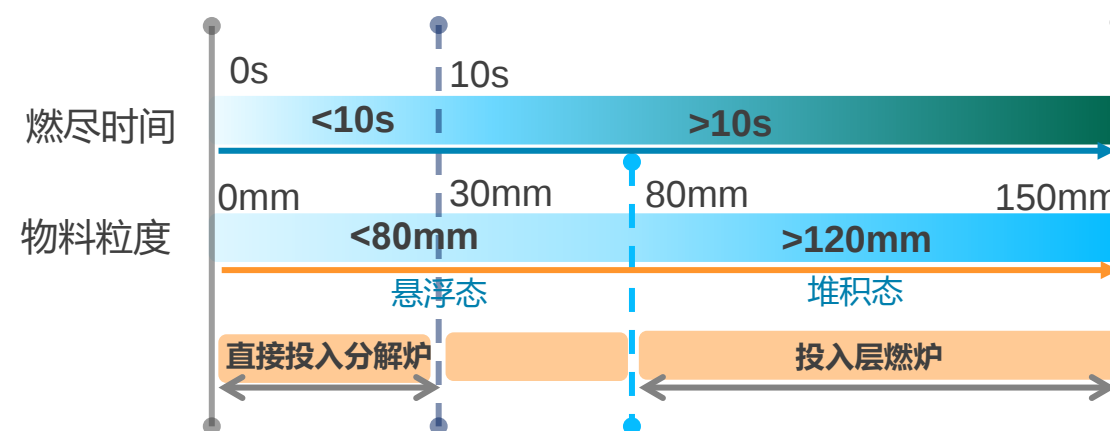
根据物料性质选择最佳燃烧环境：

- ◆ 生物质物料焚烧选择经过粗破碎后通过层燃炉预燃处理
- ◆ 生活垃圾源2D物料首选破碎到一定粒径后直投分解炉
- ◆ 复杂物料选择外挂炉处理。

2D物料（塑料膜）



2.5D物料（硬纸板）



三、可替代燃料技术路线研究

基本系统配置方案

	物料	热值 (Kcal/Kg)	分解炉直投 (粒径/替代率)	阶梯炉 (粒径/替代率)	窑头 (粒径/替代率)
2D	纸张	4000	≤80mm/30% ≤30mm/50%	≤80mm/80% ≤50mm/90%	≤10mm/30%
	塑料薄膜	4500	≤80mm/30% ≤30mm/50%	≤80mm/80% ≤50mm/90%	≤10mm/50%
3D	轮胎	7600	≤80mm/5% ≤40mm/20%	≤80mm/50%	≤4mm/15%
	鞋材边角料	4000	≤80mm/5% ≤40mm/20%	≤80mm/50%	≤4mm/15%
2.5D	硬塑料板/纸板	4000	≤80mm/10% ≤5mm/50%	≤80mm/80%	≤5mm/30%
	废纺织/皮革	4500	≤80mm/10%	≤80mm/80%	≤5mm/30%

以上参考数据，真正准确的数据需要对物料进行测试，根据测试结果选择相应的路径和参数

三、可替代燃料技术路线研究

高比例替代燃料实践经验

项目名称	替代位置	替代燃料种类	密度t/m3	控制粒径mm	最大粒径mm	热值kcal/kg	含水率%	热值替代率/%	合计替代率
法国拉法基	窑尾	绒毛类废物	0.1	60	100	3827	15	39.8	53
		碎轮胎	0.5	60	100	6689	2	10.6	
		低热量污泥	1.2~2	30	50	1435	10-60	2.6	
	窑头	含水溶剂	1			3827			27.1
		废油	0.9			9808	7	0.3	
		绒毛类废物细	0.1	30		4545	12.3	19.9	
		动物肉	0.7	10		4043	12	2.7	
		种子	0.5	10		4688	2.9	3.1	
		干污泥	0.74	10		3349	14.4	1.1	
埃及 Seweday	窑尾	RDF	0.2~0.3	70	100	4405~4705	24.74		42
		生物质燃料	0.2~0.3	70	100	3764-4050	14.43		
		轮胎		50					
溧水	窑尾-预燃炉	轮胎	0.4~0.53	80		7500	5		42
		RDF	0.15~0.18	120		3226	2.5		
		生物质燃料	0.08~0.1	40		3683	15		
		SRF	1.03	80		2629	10		

法国项目2022年5月份开始正常生产，燃料替代率超过50%，其中窑头替代比例15%，尾煤替代比例35%，占尾煤的比例超过60%，其他各项指标均达到设计要求。溧水项目2020年投产替代比例最高达到42%。



第四部分 可替代燃料制备和应用技术

中国建设



四、可替代燃料制备和应用技术——生活垃圾分选后的物料特征

时间	位置		不可燃物成品			可燃物成品		
			g	-	-	g	-	-
2017/6/10	不可燃	厨余	3018.8	76.21%	98.8%	410.2	15.69%	16.28%
		石、玻璃	896.3	22.63%		15.4	0.59%	
	可燃	塑料	46.3	1.17%	1.17%	480.9	18.39%	83.62%
		纸张				576.9	22.07%	
		树叶				741	28.34%	
		布				387.3	14.81%	
	金属	铁				2.6	0.10%	0.10%
	总计		3961.4	100%	100%	2614.3	100%	100%



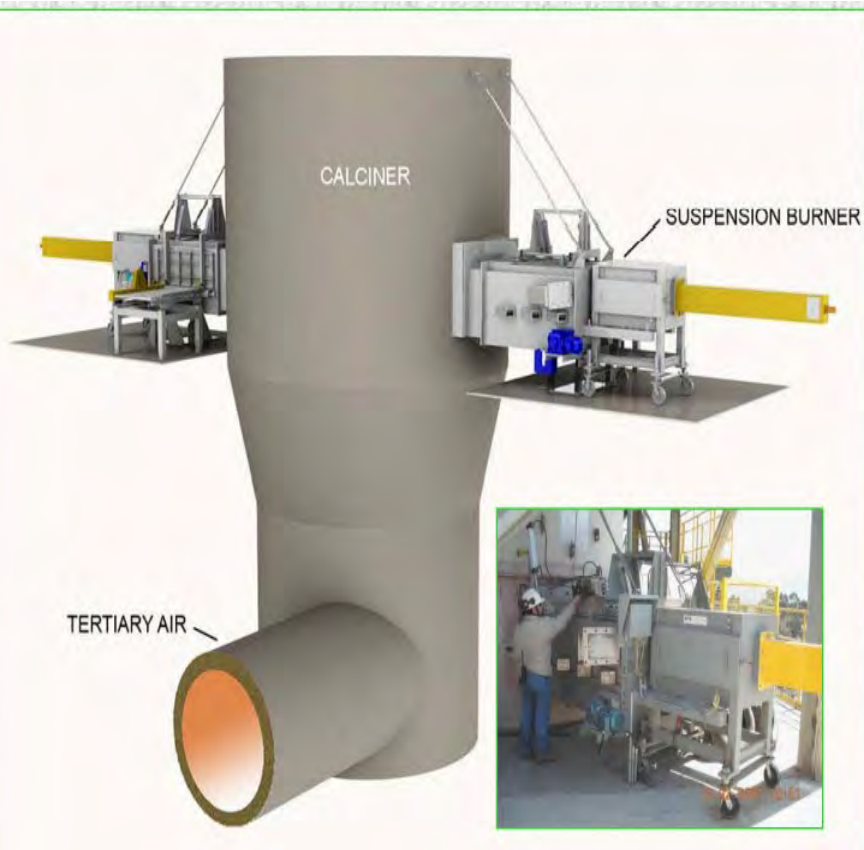
四、可替代燃料制备和应用技术——工业废物

优质一般工业固废制备技术-除杂、筛分和分级



四、可替代燃料制备和应用技术——工业废物

轮胎衍生燃料(TDF)-整胎焚烧应用



窑尾整胎焚烧技术



窑中整胎焚烧技术

四、可替代燃料制备和应用技术——应用端预燃技术

系统主要流程和装备-外挂炉

	热盘炉	回转外挂炉	阶梯外挂炉
停留时间	3-45分钟，取决于速度和固废喂料量	5-15分钟，取决于速度和喂料量	停留时间15分钟，取决于喂料量
RDF预燃能力	单位面积燃烧负荷低，燃烧机械负荷不超过100Kg/(m2.h)	单位面积燃烧负荷低， $\Phi 4.2 \times 16$ 焚烧能力5t/h。	单位面积燃烧负荷高，垃圾燃烧机械负荷超过400Kg/(m2.h)， 实测RDF负荷800Kg/(m2.h)。
适应处置物料	适应范围广，可处置多种状态的废弃物，作为替代燃料外挂炉主要适应于大尺寸如整轮胎类燃料	适应范围中等，作为替代燃料外挂炉主要适应于浆渣状类容重大难燃烧类替代燃料	适应范围小，主要适应于粒径均一，容重较小的废弃物，作为替代燃料外挂炉主要适应于轻质替代燃料

阶梯炉是目前针对垃圾类替代燃料优选的炉型

四、可替代燃料制备和应用技术——应用端预燃技术

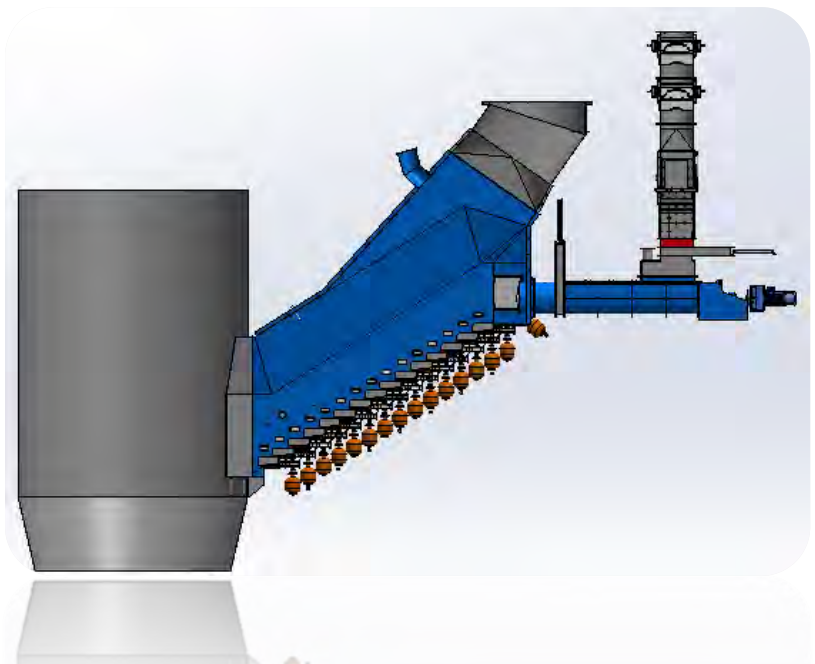
漂水项目阶梯预燃炉



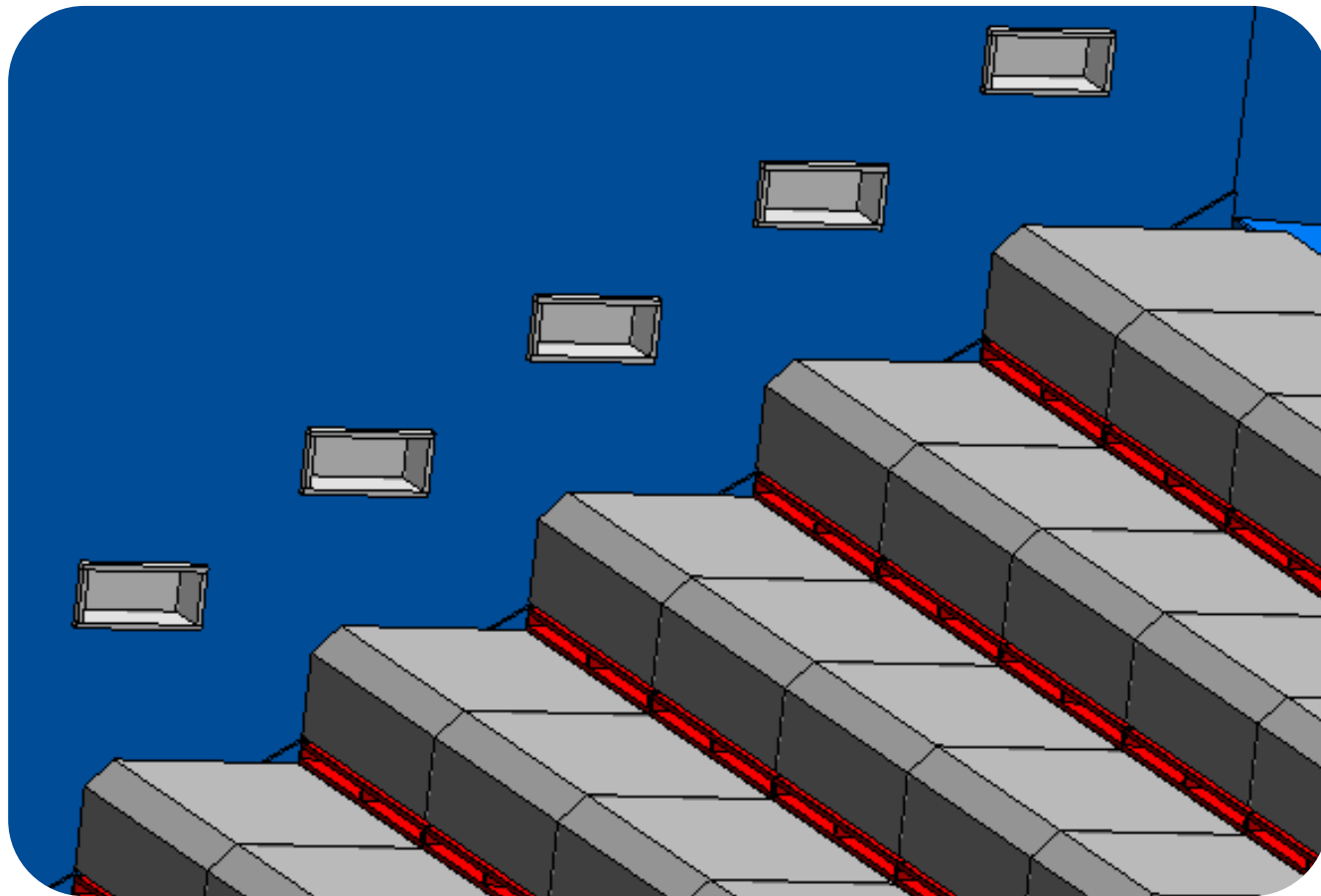
适应物料	
物料	粒度
生活垃圾	片状最大边200mm
RDF	片状最大边300mm
废旧轮胎	最大边300mm
废木机塑料	片/块状最大边300mm
生物质废料	块状最大50mm
城市污泥	块状最大50mm
危险废弃物	块状最大50--150mm

注：适应于处理量大($\geq 15\text{t/h}$)且应用于较难烧类物质如生活垃圾的处理

四、可替代燃料制备和应用技术——应用端预燃技术



整体采用阶梯式燃烧，物料入炉15-20min停留时间。通过空气炮智能喷吹控制空气搅动翻转，实现炉内燃料平稳燃烧，充分干燥、预热、热解，提高替代燃料燃尽率，对窑系统的影响降至最低。

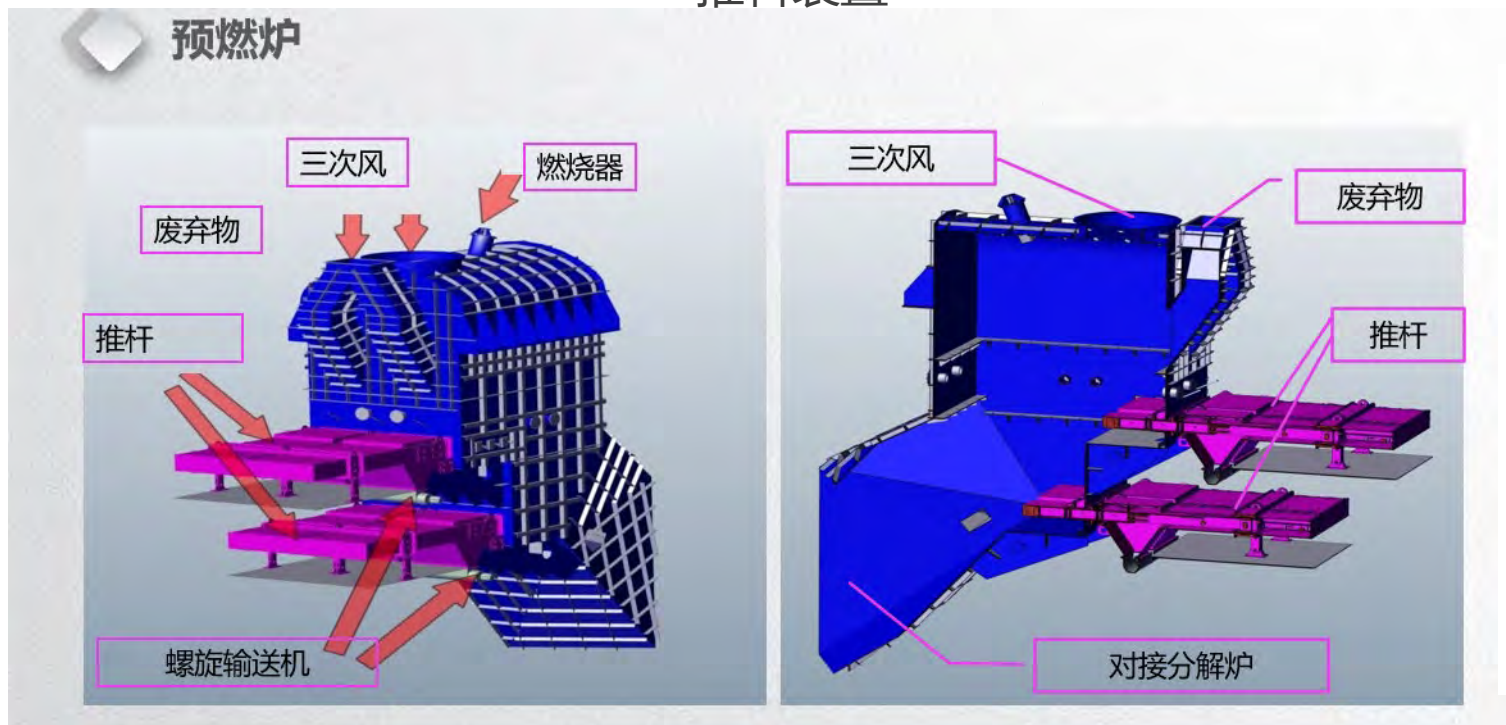


1200秒高热值替代

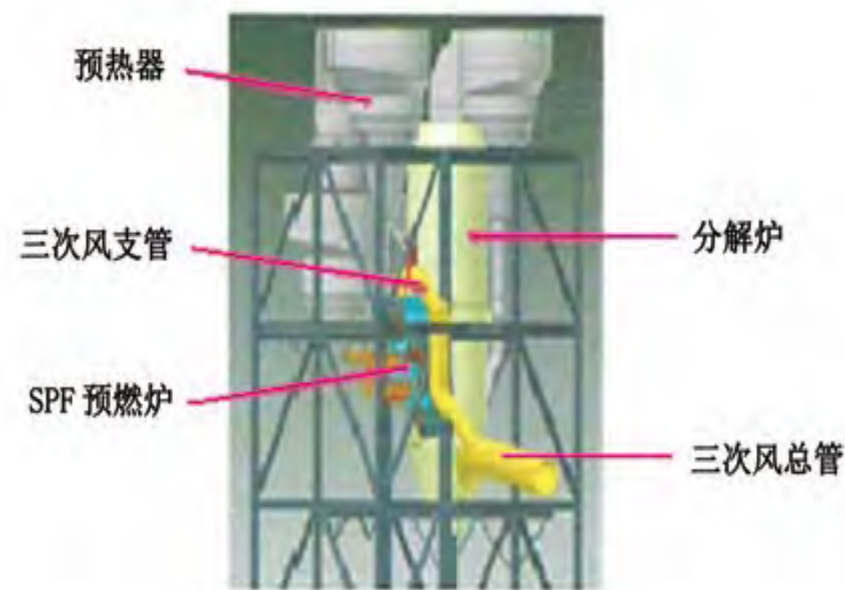
四、可替代燃料制备和应用技术-应用端预燃技术

当阳项目阶梯预燃炉

推料装置



安装位置示意

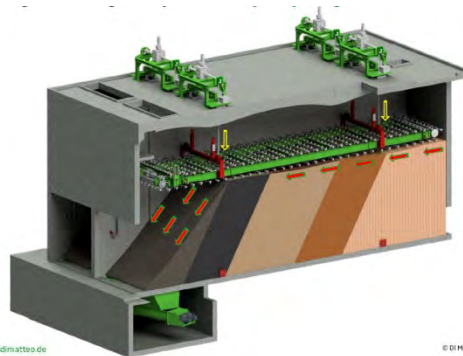


注：适应于处理量较小 ($\leq 10\text{t/h}$) 且应用于较难烧类物质如生活垃圾的处理

四、可替代燃料制备和应用技术——系统配套核心装备技术

其他核心装备技术-接收储存烘干计量设备

◆ 接收和喂料设备



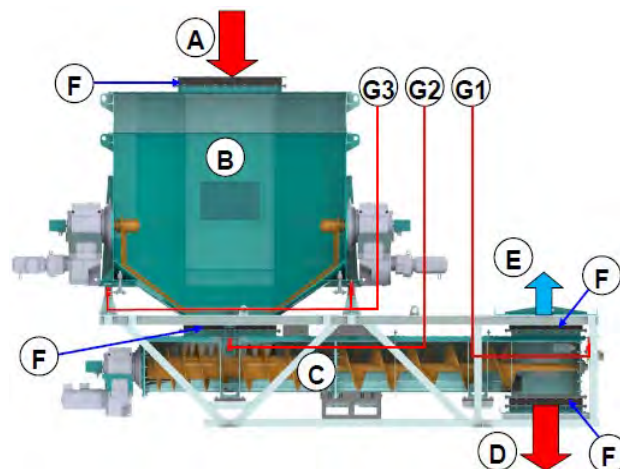
◆ 烘干设备



◆ 储存设备仓



◆ 稳定计量设备



四、可替代燃料制备和应用技术

不同替代燃料使用对水泥窑影响的实验和热工测试（天山）



	烧生活垃圾期间	纯烧煤期间	烧生物质燃料期间	备注
外挂炉喂料量 (t/h)	18	0	24.5	
尾煤用量 (t/h)	15.8	21.1	9.75	尾煤替代率54%
窑产量 (t/d)	5891	6100	6014	窑产量降低1.4%

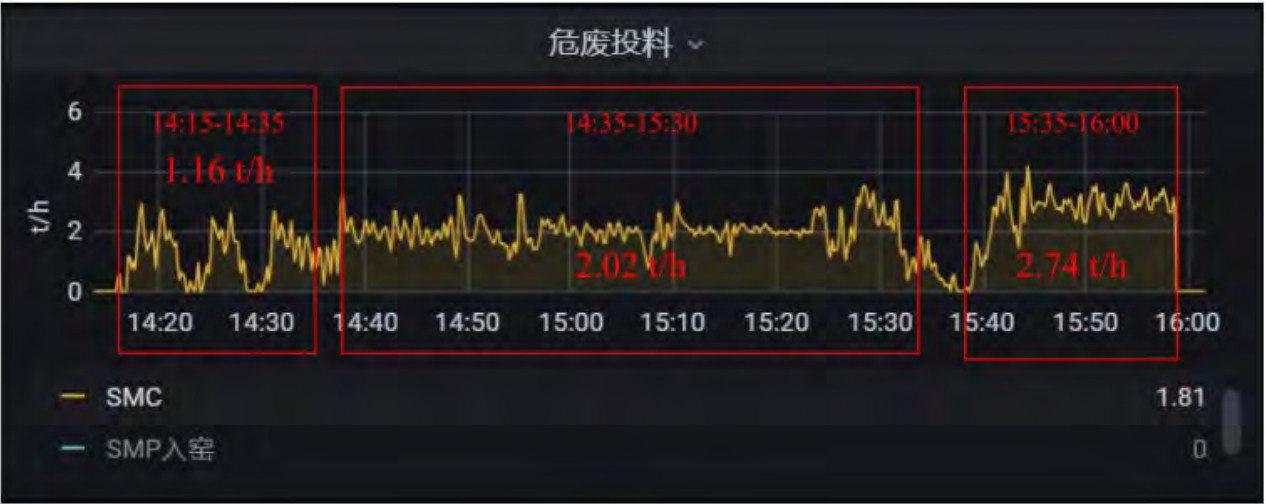
2022年1月15日在溧水天山水泥厂进行生物质燃料的试烧试验

- ◆ 投加量：220t
- ◆ 试验时间：12:00-24:00
- ◆ 燃料热值：3500Kcal/Kg
- ◆ 稳定喂料量：24.5t/h
- ◆ 整体效果：外挂炉燃烧稳定，炉内温度相比较烧垃圾时更高，熟料产量基本稳定，Nox浓度相比纯烧煤时波动变大，但小时平均值稳定在50mg/Nm3以内，尾煤替代比例达到54%。

四、可替代燃料制备和应用技术

替代燃料使用对水泥窑的影响实验（临沂中联）

替代燃料使用			
种类	热值 Qnet, ar	水分 Mar	投加量
废纺	5100kcal/kg	< 10%	2.0~3.0t/h
节煤情况			
节煤量	1.4~2.1 t/h	节煤比例	70%
产品及排放（检测期间均值）			
熟料产量	熟料强度	NO _x	SO _x
无变化	无变化	无影响	无影响



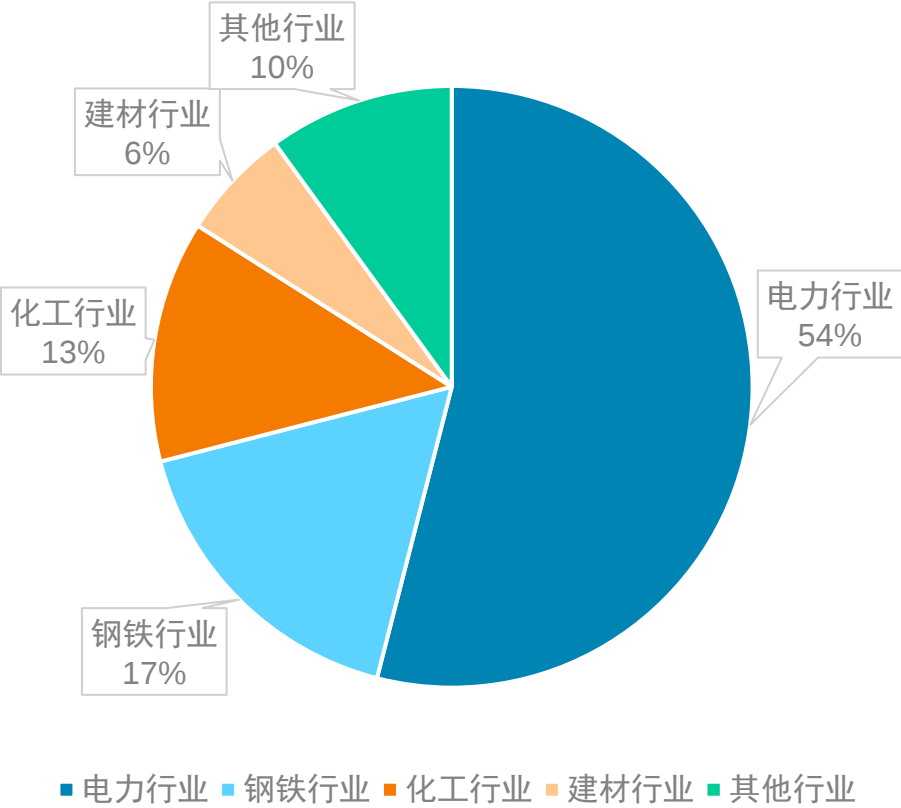
四、可替代燃料制备和应用技术

市场
容量

2021年熟料产量15.34亿吨，用煤1.8亿吨，按照50%的替代率，水泥行业替代燃料需求为1.5亿吨。

5500tpd熟料线替代燃料需求量（运转300d计算）		
替代率 %	节约标煤 万年/年	需求替代燃料 万吨/年
10	1.73	3.47
20	3.47	6.93
30	5.20	10.40
40	6.93	13.86
50	8.66	17.33
60	10.40	20.79
70	12.13	24.26
80	13.86	27.72

2020年全国煤炭用量统计
总量39亿吨



四、可替代燃料制备和应用技术

结论

- 替代燃料使用符合国家政策，是资源化循环利用以及碳减排的利好事宜。
- 替代燃料在水泥工业、钢铁、冶金等行业应用成熟，对水泥产品产量、质量和环保相关指标无明显影响，同时能减少碳排放，利于环境保护。
- 替代燃料使用能有效节约化石能源使用，节约水泥企业经营成本，符合企业的利益。
- 水泥窑使用替代燃料，可成为城市固废的消纳主体，可为城市发展保驾护航。



中国建材

守护绿水青山，共建美好家园

Thanks

联系我们

➤ **中材国际环境工程（北京）有限公司**

电话：010-64399805

手机：18120103061

地址：北京市朝阳区望京北路16号

邮箱：yangdongfang@sinoma.com.cn

邮编：100102

网址：<http://www.sinoma-envir.com/>