

第二届燃煤锅炉耦合生物质发电技术应用研讨会



巩时尚

中国能建集团西北电力试验研究院有限公司锅炉技术研究所工程师，硕士。主要从事电站燃烧调整及新能源技术研究，主持完成国内10余台各类型火电机组的调试、燃烧调整、深度调峰及优化改造工作，目前在Journal of Thermal Analysis and Calorimetry、科学技术与工程、发电设备、电力勘测设计等国内外期刊发表论文数十篇。

玉米秸秆与油页岩半焦直燃混烧技术研究

2019年4月17-18日 中国·石家庄

玉米秸秆与油页岩半焦直燃 混烧技术研究

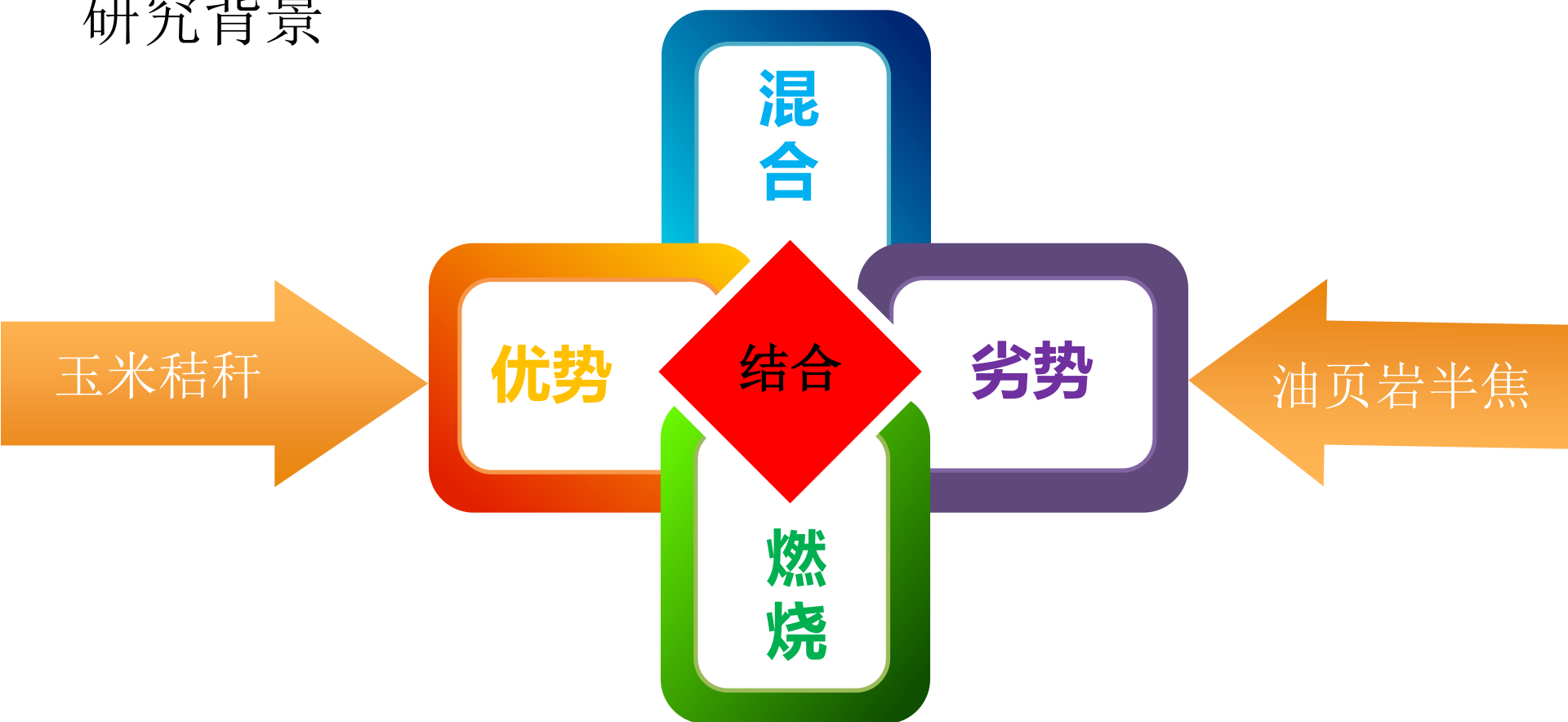
主讲人：巩时尚

锅炉技术研究所

中国能源建设集团西北电力试验研究院有限公司

CHINAENERGY ENGINEERING GROUP NORTHWEST CHINA ELECTRIC POWER TEST RESEARCH INSTITUTE CO.LTD.

研究背景



1. 基础燃烧特性分析
2. 不同比率及速率对燃烧特性的影响
3. 混烧协同作用的研究分析
4. 混合燃料燃烧产物释放分析
5. 结论

1.基础燃料特性

油页岩半焦和干燥玉米秸秆的工业分析及元素分析

样品	工业分析(%)				低位发热量	元素分析(%)				
	M _{ad}	V _{ad}	A _{ad}	FC _{ad}	Q _{net,v,ar} (kJ/kg)	C _{ad}	H _{ad}	O _{ad}	N _{ad}	S _{ad}
玉米秸秆	6.17	78.08	4.52	11.23	17167.5	44.12	5.18	39.25	0.74	0.02
油页岩半焦	1.18	11.73	81.75	5.34	3948.8	10.65	0.83	4.48	0.42	0.69

油页岩半焦是一个高灰分低热值的燃料，玉米秸秆则是高挥发分高热值的燃料。两者水分均较小，干燥作用可以增加碳含量，减小挥发分含量。

1.基础燃料特性

油页岩半焦和干燥玉米秸秆混合物编号及比例

质量比例（CS:SC）	半焦	10%	20%	30%	40%	50%	玉米秸秆
编号	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇

根据GB474-2008将收集到的油页岩半焦（SC）样品及玉米秸秆（CS）样品制成粒径小于0.2mm的分析试样，充分混合并对各样品进行编号。

CS:玉米秸秆；**SC:**油页岩半焦

2.不同比率及速率对燃烧特性的影响

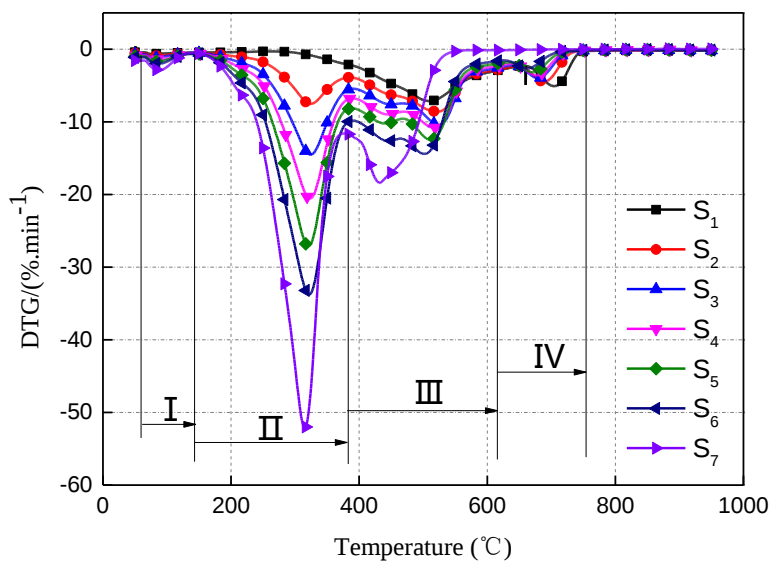
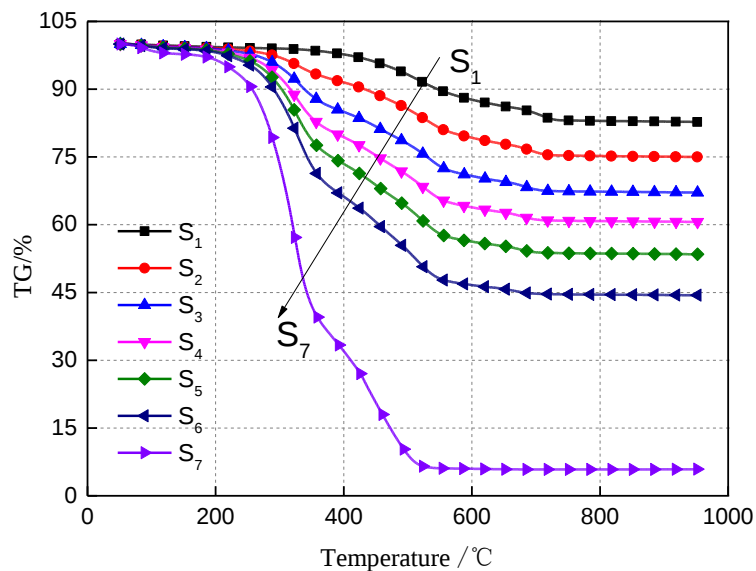


重点考虑因素

1、升温速率

2、混合比例

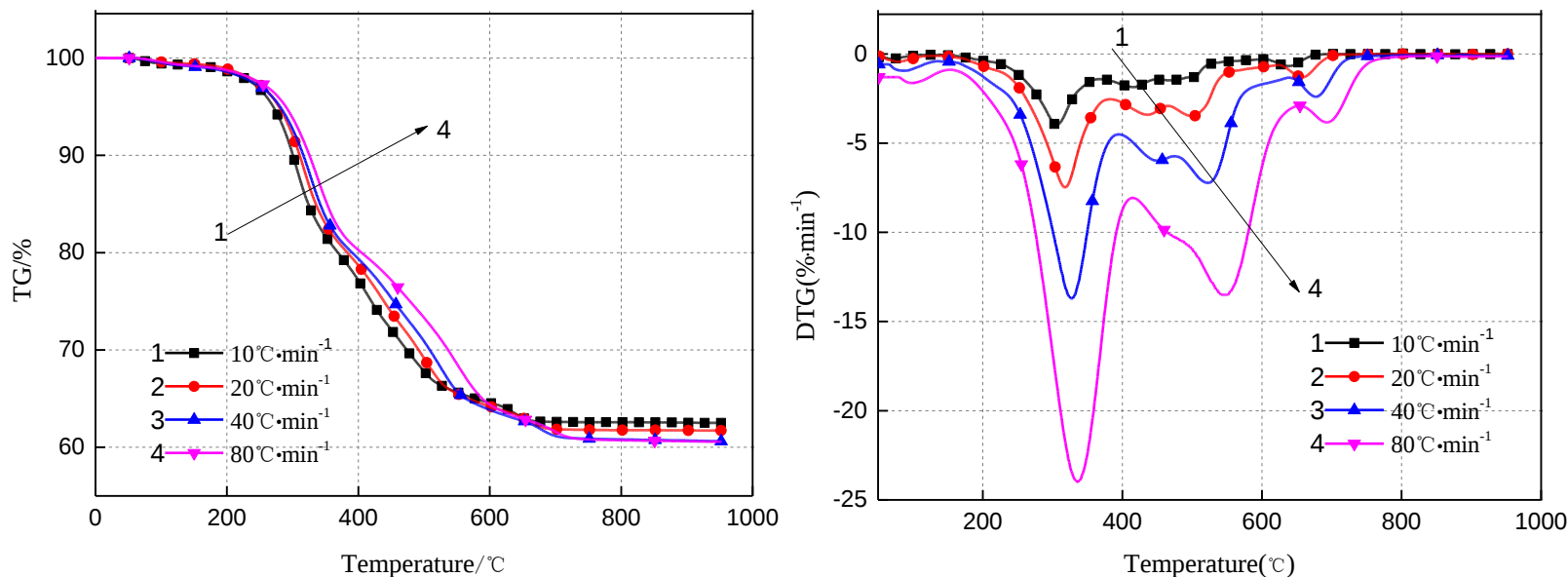
不同生物质质量比对燃烧特性的影响



混合样品在同一升温速率(40℃/min)下的燃烧曲线

随着玉米秸秆掺入比例的提升，混合试样的失重率增加，低温区产生明显失重峰，其峰值随着玉米秸秆掺混比例的增加逐渐增大。

不同升温速率比对燃烧特性的影响



样品S₄在不同升温速率下TG和DTG燃烧曲线

随升温速率的提高，燃烧向后移动，各失重峰逐渐变宽、变深、向右移动，同时燃尽程度逐渐变差。

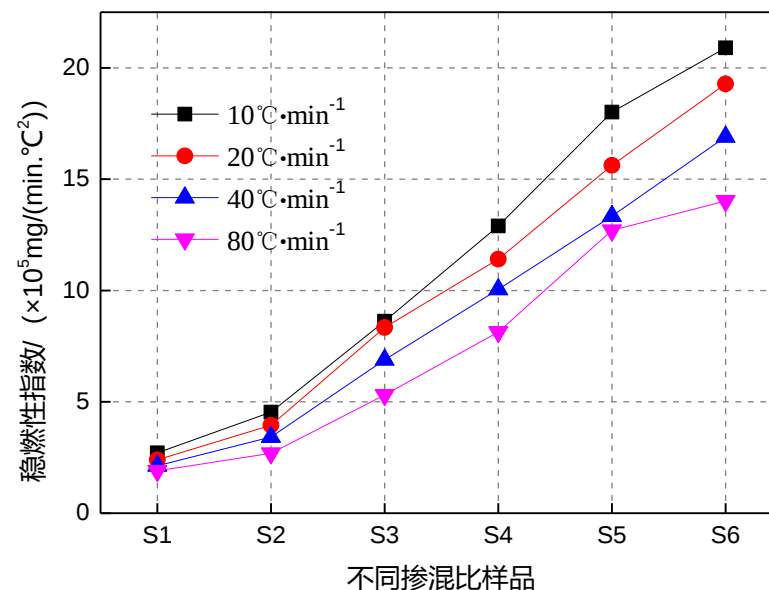
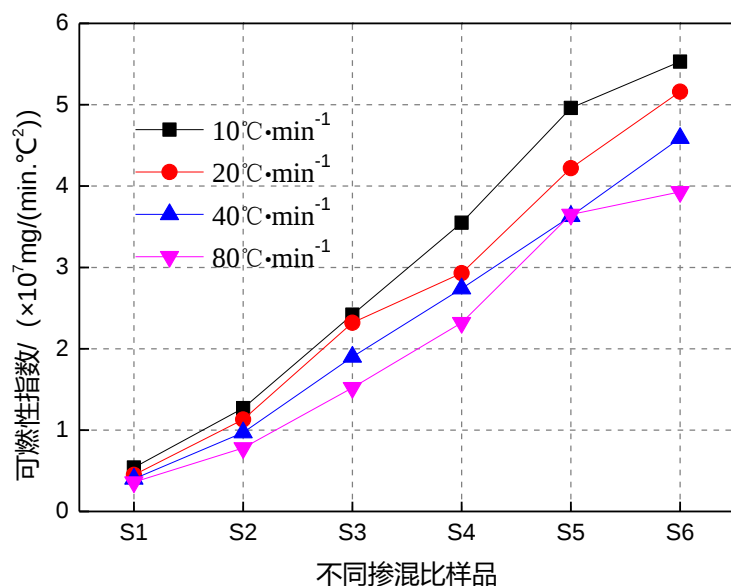
升温速率 $\beta=10$					升温速率 $\beta=20$			
样品	T_i	T_h	$(dw/dt)_{\max}$	$T_{\max}$	T_i	T_h	$(dw/dt)_{\max}$	$T_{\max}$
S_1	378	755	7.74	479.3	408	770	7.55	497.2
S_2	265	740	8.89	308.4	268	766	8.10	323.1
S_3	261	731	16.41	304.5	267	745	16.58	318.9
S_4	259	711	23.71	305.1	265	732	16.62	320.1
S_5	256	704	30.60	307.2	265	721	30.07	316.6
S_6	256	689	37.51	305.2	267	715	36.77	315.3
S_7	265	573	14.26	307.5	264	597	27.50	317.2
升温速率 $\beta=40$					升温速率 $\beta=80$			
样品	T_i	T_h	$(dw/dt)_{\max}$	$T_{\max}$	T_i	T_h	$(dw/dt)_{\max}$	$T_{\max}$
S_1	420	797	7.13	514.4	429	812	6.64	544.6
S_2	279	788	7.50	332.8	280	806	6.05	341.3
S_3	276	764	14.50	330.9	280	802	11.93	334.6
S_4	273	744	20.40	329.2	279	794	18.03	333.8
S_5	272	742	27.00	328.9	274	786	27.31	333.8
S_6	271	736	33.72	327.2	277	776	30.14	333.9
S_7	272	621	51.82	324.1	272	651	88.12	325.7

T_i : 着火温度;
 T_h : 燃尽温度;
 $T_{\max}$: 燃烧最大失重峰温度;
 $(dw/dt)_{\max}$: 燃烧最大失重速率;

1、随升温速率 β 的增加, 各样品的 T_i 、 T_h 及最大燃烧失重峰 $(dw/dt)_{\max}$ 及其所对应的温度 $T_{\max}$ 随之增加。

2、玉米秸秆的加入提高了混烧特性。

混烧特性指标分析



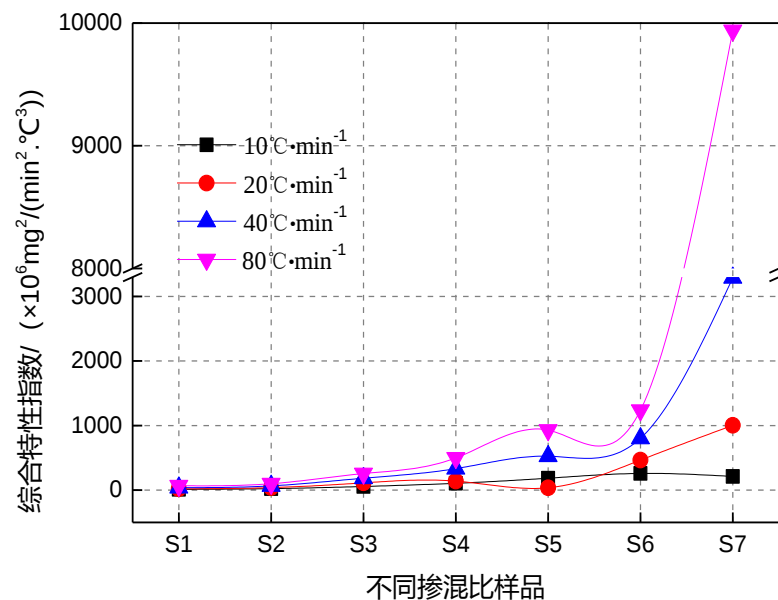
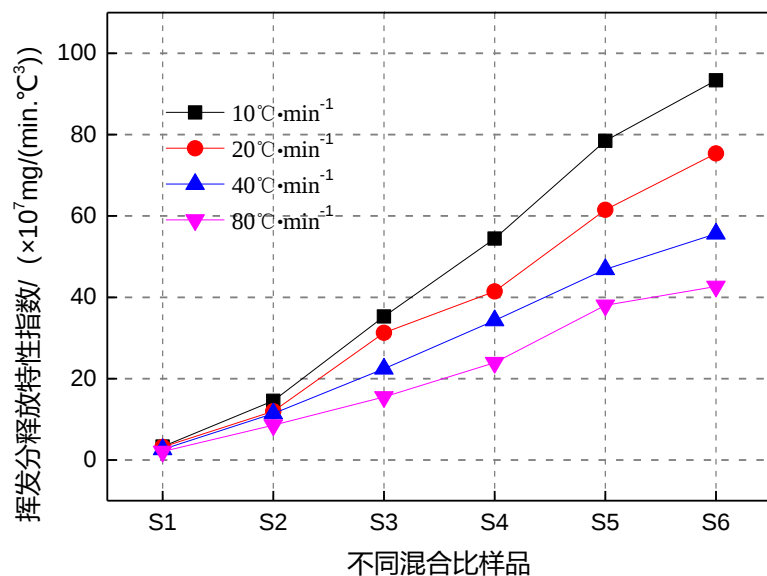
$$K_r = \frac{(dw/dt)_{max}}{T_i^2}$$

可燃性指数：反映燃料反应前期的反应能力

$$G = \frac{(dw/dt)_{max}}{T_i T_{max}}$$

稳燃性指数：反应样品的稳燃特性

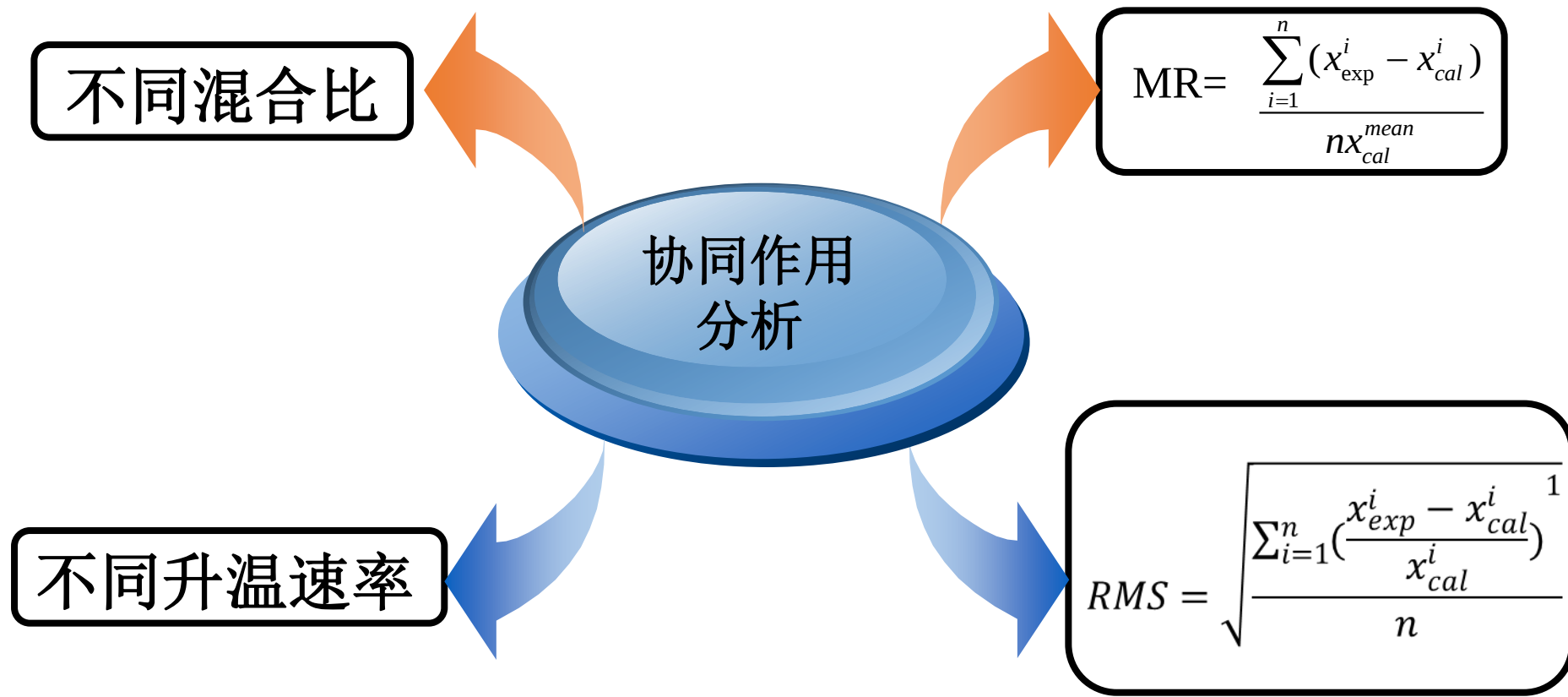
混烧特性指标分析



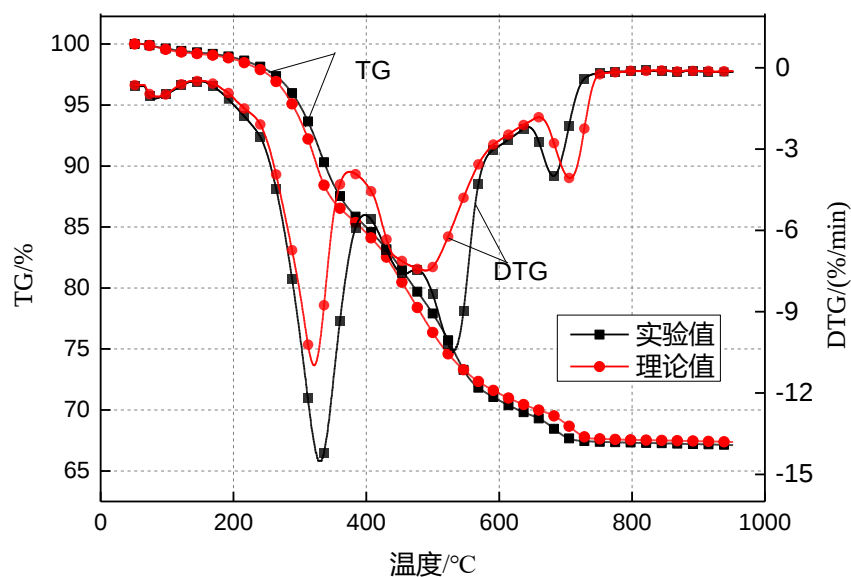
$D = \frac{(dw/dt)_{max}}{T_{max}T_s\Delta T_{1/2}}$ 挥发分释放特指数：反映了样品燃料挥发分释放难易程度

$S_w = \frac{(dw/dt)_{max} \times (dw/dt)_{mean}}{T_i \times T_h}$ 综合燃烧特性指数：能够对样品的综合燃烧情况进行全面评价

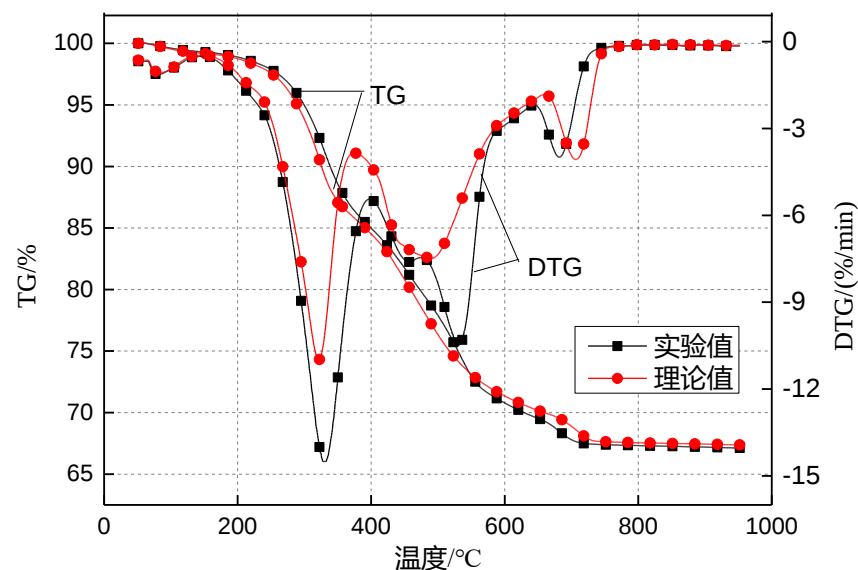
3. 混烧协同作用的研究分析



$$W_{cal} = x_1 W_1 + x_2 W_2$$



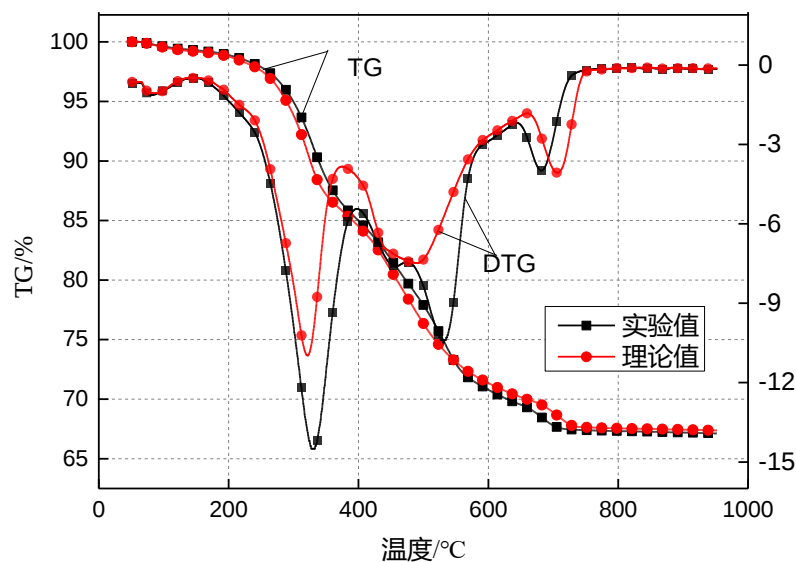
S₁



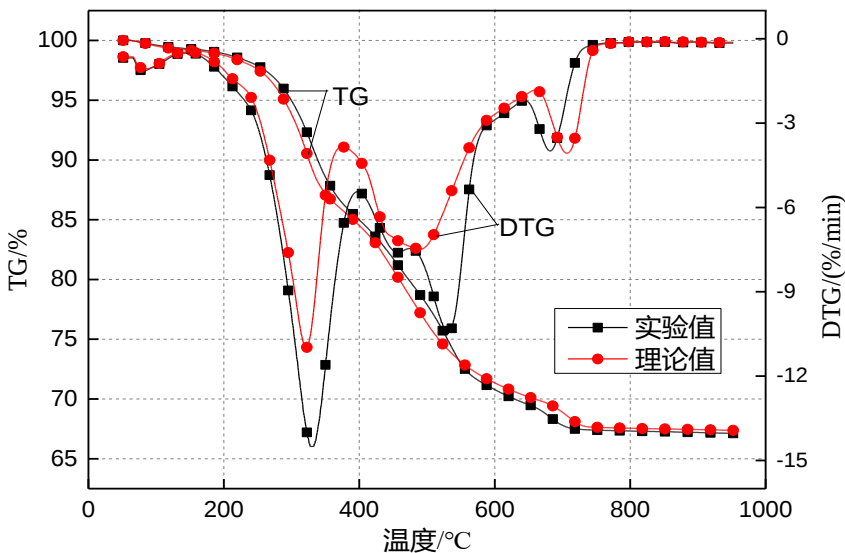
S₂

混合物S₁和S₂实验曲线和理论曲线的对比

$$\left(\frac{dW}{dt}\right)_{cal} = x_1 \left(\frac{dW}{dt}\right)_1 + x_2 \left(\frac{dW}{dt}\right)_2$$



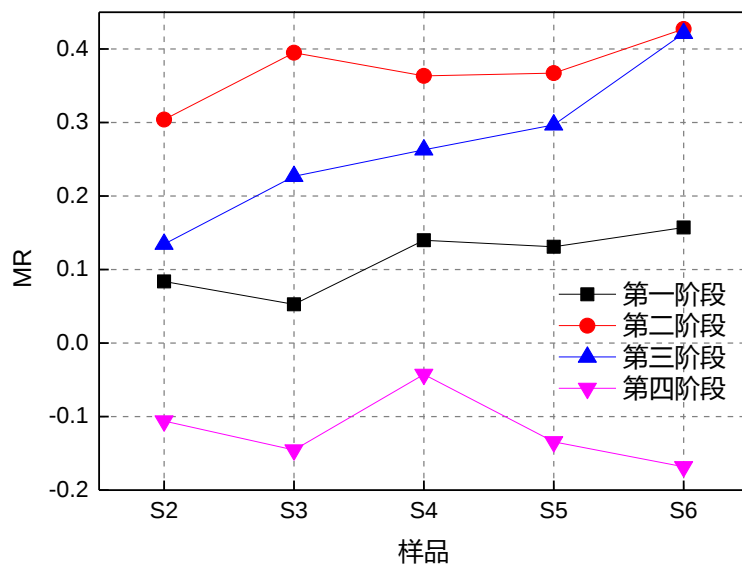
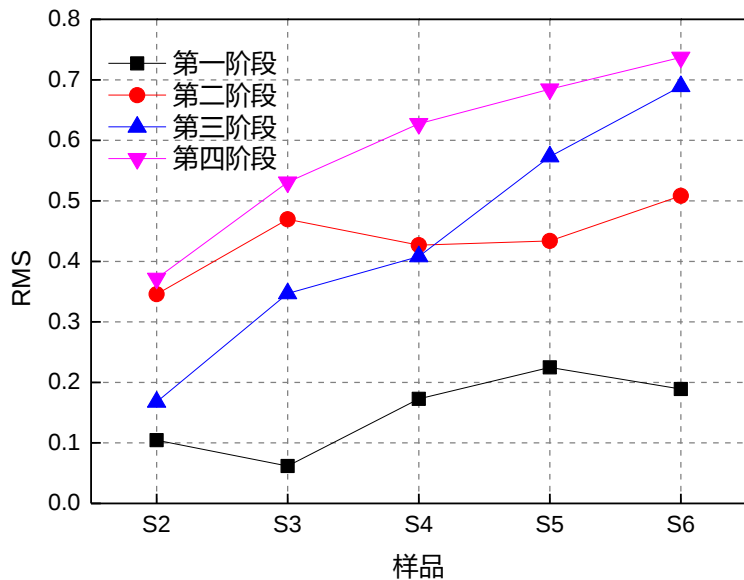
S₃



S₄

混合物S₃和S₄实验曲线和理论曲线的对比

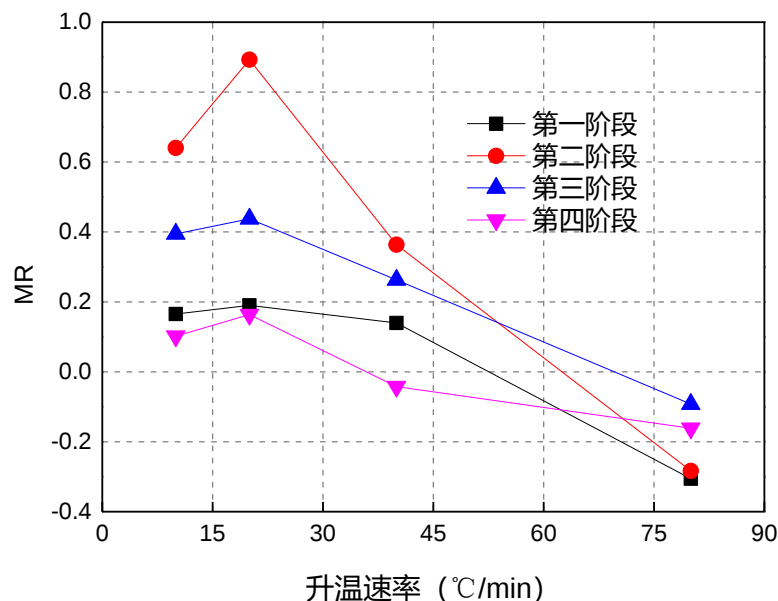
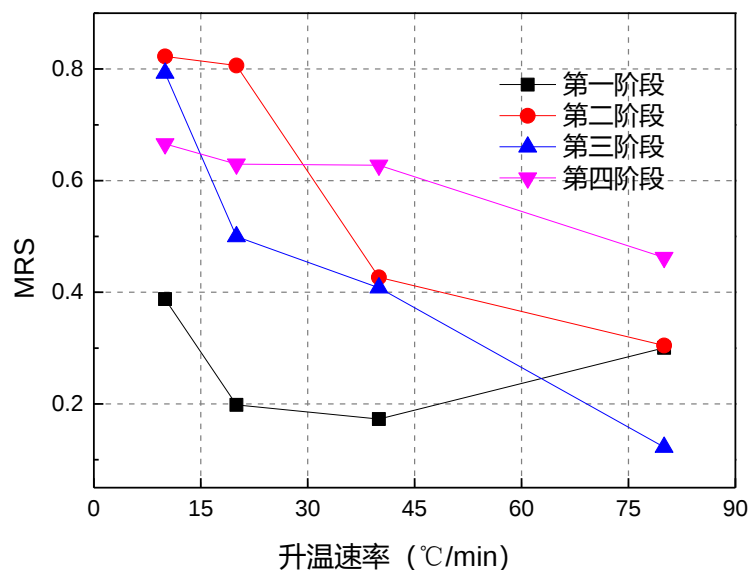
不同混合比下的协同作用分析



不同质量比的混合样品的RMS和MR指数

当半焦与玉米秸秆质量比为7:3(S_4)时, 相互影响最大且均为有利影响, 能够改善两种燃料的燃烧特性。

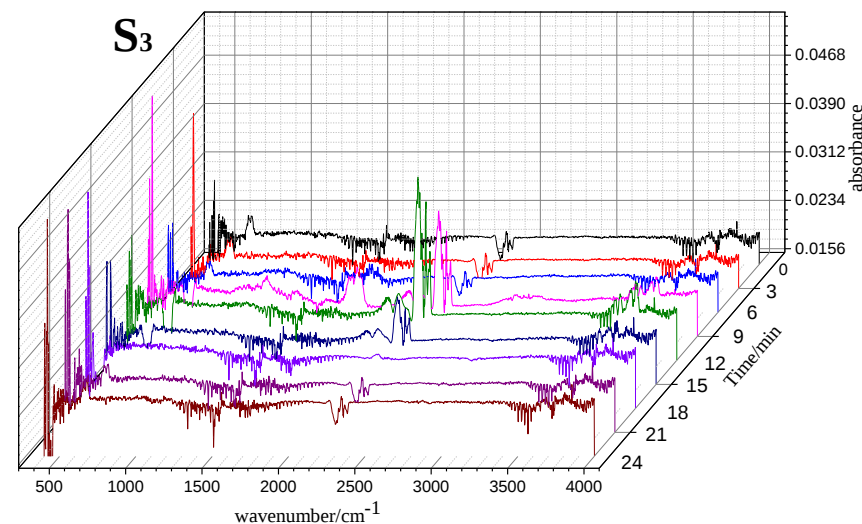
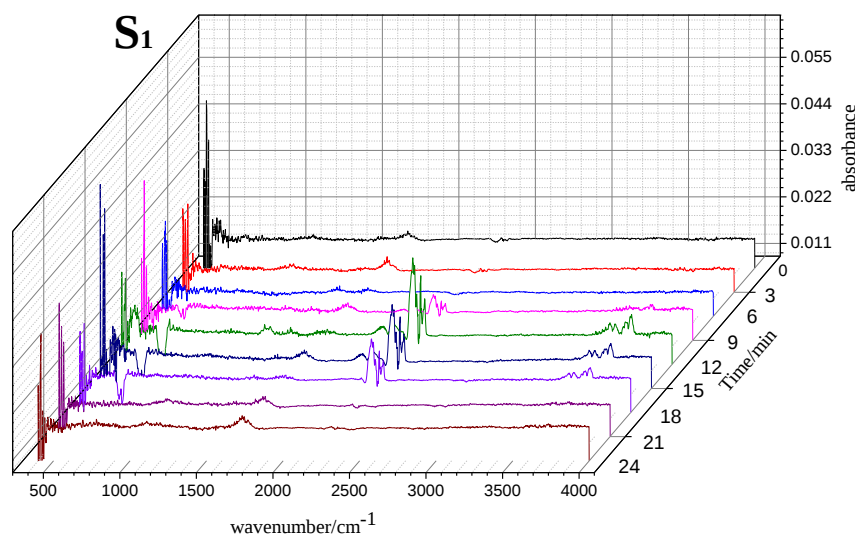
不同升温速率下的协同作用分析



样品S₄不同升温速率下的RMS和MR指数

混合样品在第一阶段即水分逸出段几乎没有影响，后面三个阶段在燃烧过程中相互影响剧烈，其中第二，第三阶段为有利影响，第四阶段为不利影响。当升温速率为20°C/min时油页岩半焦与玉米秸秆的相互影响最大且为有利影响，即两种燃料相互促进其燃烧，改善燃料燃烧特性。

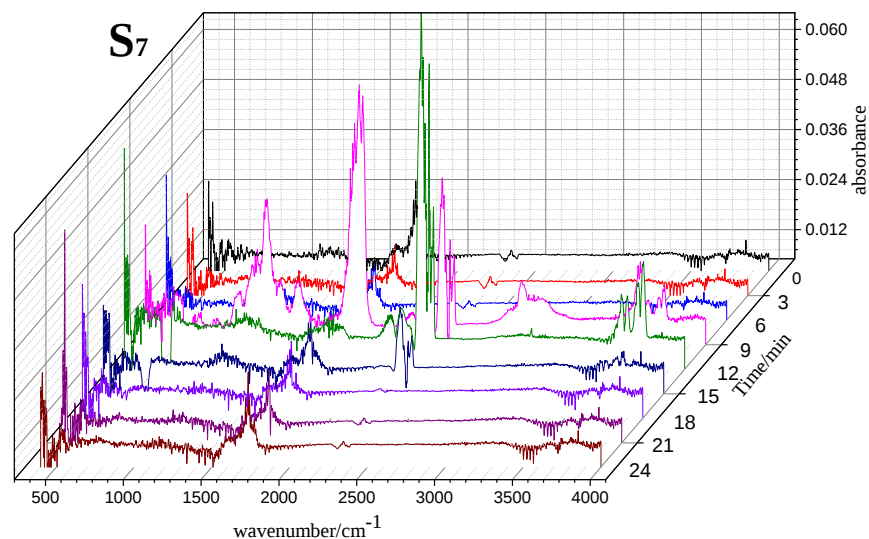
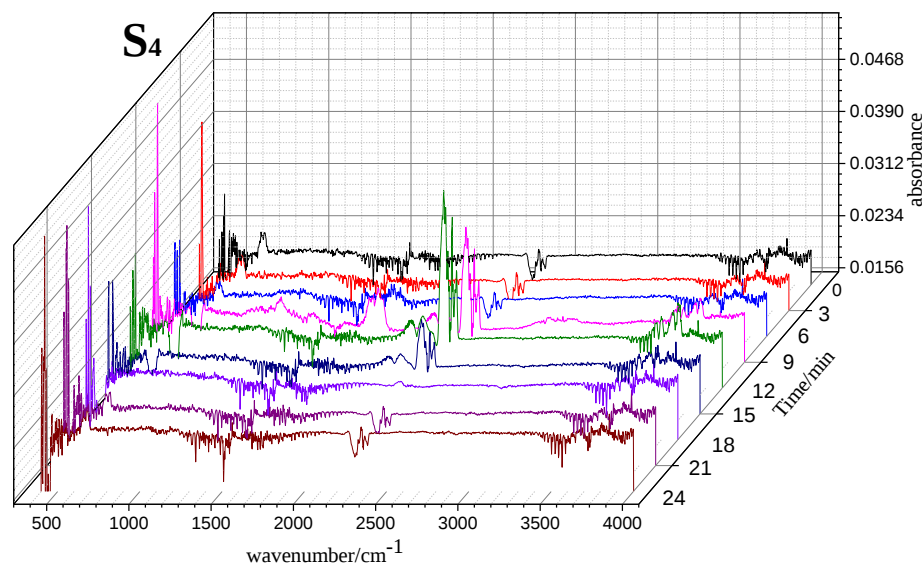
4. 混合燃料燃烧产物释放分析



升温速率为40℃/min条件下S₁和S₃燃烧时红外三维谱图

种 类	波 数 (cm ⁻¹)
CO ₂	2360&670
CO	2119
NO	1762
SO ₂	1342
NO ₂	1510

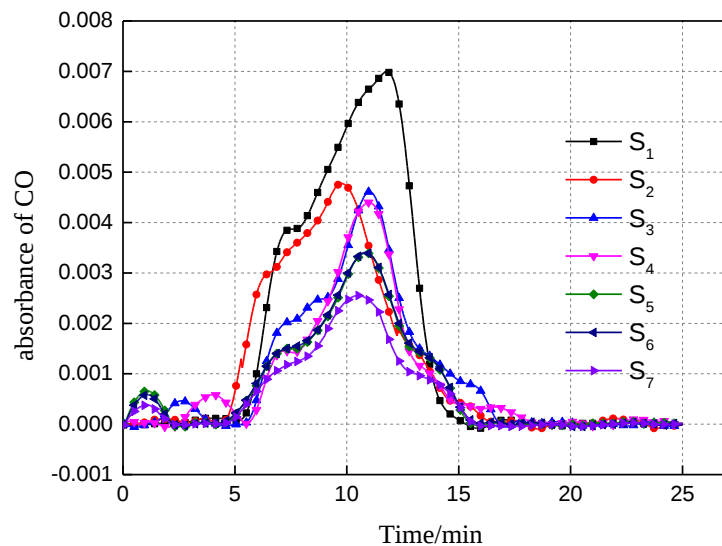
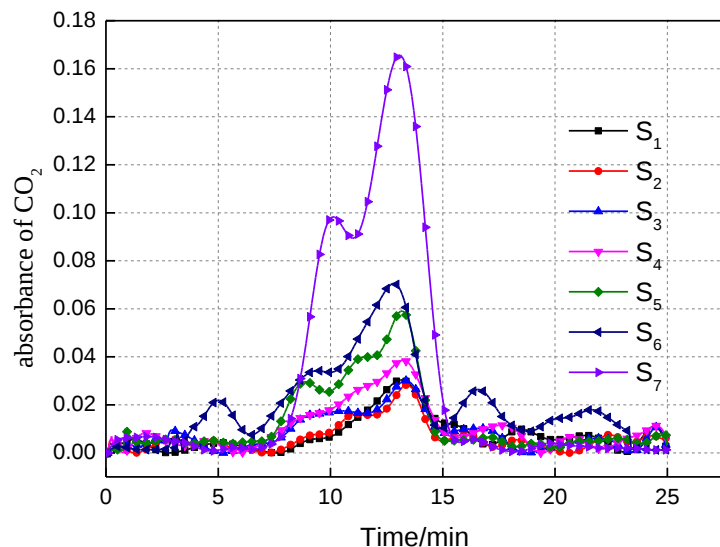
4. 混合燃料燃烧产物释放分析



升温速率为 $40^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 条件下 S_4 和 S_7 燃烧时红外三维谱图

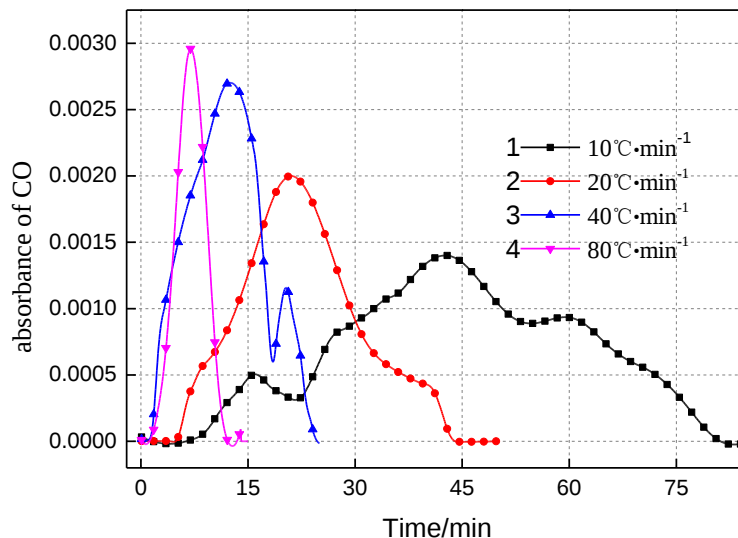
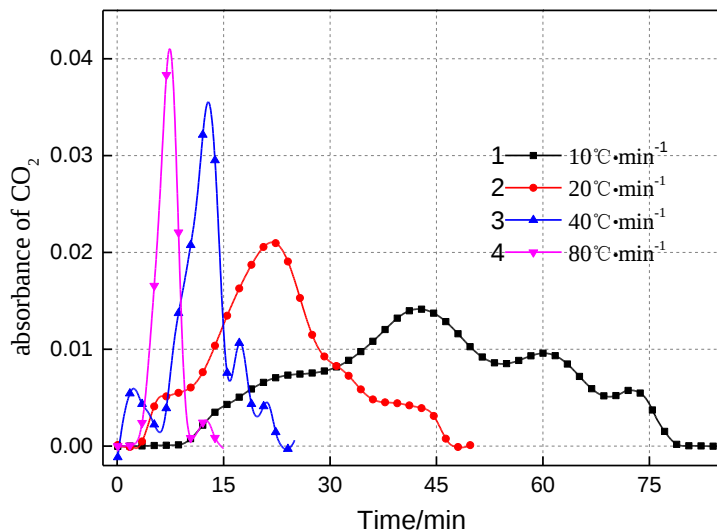
随着混合物中玉米秸秆的增加，燃烧气态产物和数量越来越靠近玉米秸秆，燃尽率提高，混合物燃烧逐渐完全。

不同混合比下的红外分析



参数	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
A_{CO}	0.03786	0.027958	0.023443	0.021178	0.018627	0.018772	0.013966
A_{CO2}	0.19065	0.16214	0.20912	0.26211	0.32324	0.49091	0.72717
A_{CO}/A_{CO2}	0.19856	0.172431	0.112103	0.080798	0.057626	0.038239	0.019206

不同升温速率下的红外分析



参数	升温速率/(°C/min)			
	10	20	40	80
A_{CO}	0.056856	0.037635	0.037778	0.015010
A_{CO2}	0.54337	0.39638	0.26201	0.14337
A_{CO}/A_{CO2}	0.104636	0.094947	0.097371	0.09982

5. 结论

- 混烧过程可以分为四个阶段（失水峰、挥发分逸出燃烧峰、固定碳燃烧峰、矿物质分解析出峰）。玉米秸秆的加入明显改善了半焦的燃烧特性。
- 混烧过程确实存在协同作用，并且样品S4影响较大；有利影响主要发生在第二、三阶段。升温速率为 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时，相互影响最大且有利。
- 研究样品S4燃烧过程中的气体产物释放特性，其燃烧气体产物以 CO_2 为主，升温速率在 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时，混合物燃烧效果最好，燃尽率最高。

谢谢! Thanks!

西北电力试验研究院有限公司

NORTHWEST ELECTRIC POWER TEST RESEARCH INSTITUTE CO. LTD.

地址: 西安市环城南路东段50号安东街北口 邮编: 710054

电话: 029-83231028 传真: 029-83231033

Add: No. 3, Chang le West Road,

Xi'an, Shaanxi Province, China

Tel: +86 029 83231028 Fax: +86 029 83231033

www.nwptri.ceec.net.cn