

附件 3

**《燃煤锅炉协同处理固体废物污染控制标准  
(征求意见稿)》编制说明**

《燃煤锅炉协同处理固体废物污染控制标准》编制组

2024 年 9 月

## 目录

<b>1 项目背景</b> .....	<b>1</b>
1.1 任务来源 .....	1
1.2 工作过程 .....	1
<b>2 行业概况</b> .....	<b>3</b>
2.1 行业在我国的发展概况 .....	3
2.2 行业在其他国家和地区发展概况 .....	6
<b>3 标准制订的必要性分析</b> .....	<b>8</b>
3.1 国家及生态环境主管部门的相关要求 .....	8
3.2 国家相关产业政策及行业发展规划中的生态环境要求 .....	9
3.3 行业发展带来的主要环境问题 .....	10
3.4 行业清洁生产工艺和污染防治技术的最新进展 .....	12
3.5 现行生态环境标准存在的主要问题 .....	13
<b>4 行业产排污情况及污染控制技术分析</b> .....	<b>14</b>
4.1 行业主要生产工艺及产污分析 .....	14
4.2 行业排污现状 .....	17
4.3 污染防治技术分析 .....	19
<b>5 行业排放有毒有害污染物环境影响分析</b> .....	<b>19</b>
<b>6 标准主要技术内容</b> .....	<b>20</b>
6.1 标准适用范围 .....	20
6.2 标准结构框架 .....	21
6.3 术语和定义 .....	21
6.4 污染物项目的选择 .....	21
6.5 污染物排放限值的确定及制定依据 .....	22
6.6 其他污染控制要求的确定及制定依据 .....	23
6.7 监测要求 .....	24
6.8 达标判定 .....	24
<b>7 主要国家、地区及国际组织相关标准研究</b> .....	<b>24</b>
7.1 主要国家、地区及国际组织相关标准 .....	24
7.2 本标准与主要国家、地区及国际组织同类标准的对比 .....	30
<b>8 实施本标准的成本效益分析</b> .....	<b>31</b>
8.1 实施本标准的环境效益 .....	31
8.2 实施本标准的成本分析 .....	32
<b>9 标准实施建议</b> .....	<b>32</b>

# 《燃煤锅炉协同处理固体废物污染控制标准》

## （征求意见稿）编制说明

### 1 项目背景

#### 1.1 任务来源

（1）标准制（修）订项目列入生态环境部计划的年度及下达计划的文件号。

为实现我国提出的碳达峰与碳中和目标，传统能源消耗行业绿色转型发展的需求逐渐增大。近年来，我国利用燃煤锅炉协同处理固体废物的发展需求呈上升趋势，既可以利用固体废物作为替代燃料减少化石燃料的适用，又可以在一定程度上解决区域内某些固体废物处置利用难的问题。我国目前对这类设施的污染控制与生态环境管理主要是参照《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484-2020）、《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014）、《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）、《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）等标准中的相关条文执行，缺乏针对协同处理固体废物过程的环境风险控制技术与污染排放的内容，无法满足燃煤锅炉协同处理固体废物的污染控制与生态环境管理要求。

2017年12月，原环境保护部土壤环境管理司向中国环境科学研究院下达了《高温锅炉协同处置固体废物污染控制技术规范》编制研究工作任务的委托函。2021年1月，生态环境部法规标准司《关于开展2021年度国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函[2021]312号）中正式立项（项目统一编号2021-3），委托中国环境科学研究院牵头研究编制《燃煤锅炉协同处置固体废物污染控制标准》。

（2）标准制（修）订项目的承担单位、参加单位的全称。

本标准的承担单位为中国环境科学研究院，参加单位包括浙江大学、清华大学、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、华中科技大学和辽宁省生态环境事务服务中心。

#### 1.2 工作过程

（1）任务下达后标准编制组所开展的相关调查、研究工作。

编制工作承担单位在前期承担的有关高温锅炉协同处理固体废物环境风险控制技术的环保公益性科研专项、国家自然科学基金等项目研究成果的基础上，广泛收集、分析了国内外相关资料，深入电力企业和工业企业对不同类型的高温锅炉进行了现场调研。

编制组开展本标准编制研究工作的重要时间节点如图1所示。编制组自2012年起开展了大量实验室模拟实验对燃煤锅炉协同处理固体废物过程中有机物降解特性和重金属迁移转化特性等机理进行了深入研究。同时，以嘉兴新嘉爱斯热电有限公司、河南华润电力古城有限公司、华能长江环保科技有限公司、国能龙源环保有限公司、辽宁阜新华电金山煤矸石热电有限公司等企业为平台，开展了15项工程试验（见表1），包括8台煤粉锅炉和7

台循环流化床锅炉，试验过程协同处理的固体废物类别包括 RDF、市政污泥等一般固体废物，也包括油泥、废活性炭、药渣等危险废物，其中 11 项工程试验开展了协同处理单一类别固体废物的研究，4 项工程试验开展了协同处理多类别固体废物的研究。



图 1 标准编制研究过程时间节点

表 1 编制组开展的燃煤锅炉协同处理固体废物工程试验

序号	企业名称	时间	工程试验基本情况
1	神华集团鄂尔多斯煤制油	2014	循环流化床锅炉协同处理自产煤液化残渣
2	华润古城电力	2019	煤粉锅炉协同处理多类别危险废物
3	荆门国电	2019	煤粉锅炉协同处理 RDF
4	山东琦泉热电	2019	循环流化床锅炉协同处理抗生素药渣
5	阜新华电	2020	循环流化床锅炉协同处理油泥
6	新疆新天煤化工	2020	煤粉锅炉协同处理自有煤气化焦油渣和污泥
7	华能苏州热电	2023	循环流化床锅炉处理市政污泥
8	华能淮阴电厂	2023	煤粉锅炉协同处理市政污泥
9	内江国电	2021	循环流化床锅炉协同处理多种危险废物
10	包钢集团	2023	循环流化床锅炉协同处理多种危险废物
11	宁煤集团	2021	循环流化床锅炉协同处理自产渣蜡
12	山西天脊煤化	2022	煤粉锅炉协同处理自产煤气化油渣
13	国电投良村热电	2022	煤粉锅炉协同处理抗生素菌渣
14	国电投重庆远达环保	2023	煤粉锅炉（W 火焰炉）协同处理油基岩屑
15	华能岳阳电厂	2023	煤粉锅炉协同处理 RDF

(2) 标准开题论证、征求意见稿技术审查等有关节点的情况

2021 年 1 月，生态环境部法规标准司《关于开展 2021 年度国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函[2021]312 号）中正式立项（项目统一编号 2021-3），委托中国环境科学研究院牵头研究编制《燃煤锅炉协同处置固体废物污染控制标准》，并成立了由中国环境科学研究院、浙江大学、清华大学、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、华中科技大学和辽宁省生态环境事务服务中心组成的编制组。

2022年4月27日，标准通过了生态环境部固体司组织的标准开题论证会。专家组建议将标准名称修改为《燃煤锅炉协同处理固体废物污染控制标准》，立足于国家污染控制标准，进一步梳理标准相关内容。

2022年5月至2023年4月，编制组结合最新试验研究结果分析和行业管理现状调研，形成《燃煤锅炉协同处理固体废物污染控制标准（征求意见稿）》及编制说明。2023年5月18日，标准通过了生态环境部固体司组织的征求意见稿审查会。会后，编制组按照审查会专家意见对征求意见稿进行了修改，并征求了生态环境部标准所和部内相关司局的意见，形成了公开征求意见的《燃煤锅炉协同处理固体废物污染控制标准（征求意见稿）》。

## 2 行业概况

### 2.1 行业在我国的发展概况

#### （1）锅炉的分类

锅炉是一类利用燃料、电或者其他能源将工质水或流体加热至规定参数（温度、压力）的设备。按照不同的用途，我国将锅炉分成工业锅炉和电站锅炉两大类。工业锅炉是将产生的蒸汽主要用于工业企业的生产工艺过程以及采暖和生活用的锅炉，我国工业锅炉的最大额定蒸汽压力为2.45Mpa，最大连续蒸发量为65t/h；电站锅炉是将产生的蒸汽主要用于发电的锅炉。

按照不同的燃烧方式可将锅炉分为火床炉（火床燃烧）、室燃炉（火室燃烧）、旋风炉（旋风燃烧）和流化床锅炉（流化燃烧）四类，每一类锅炉的燃烧方式及代表炉型如表2所示。

表2 锅炉燃烧方式和代表炉型

锅炉类型	燃烧方式	代表炉型
火床炉	固体燃料以一定厚度分布在炉排上进行燃烧	链条炉、炉排炉
室燃炉	燃料以粉状或雾状随同空气喷入炉膛中进行燃烧	煤粉炉、燃油炉、燃气炉
旋风炉	燃料和空气在高温的旋风筒内高速旋转，细小的燃料颗粒在旋风筒内悬浮燃烧，而较大的燃料颗粒被甩向筒壁液态渣膜上进行燃烧	立式炉、卧式炉
流化床锅炉	固体物料呈流态化燃烧	循环流化床、鼓泡床

#### （2）我国燃煤锅炉应用现状

国家市场监督管理总局《全国特种设备安全状况情况通报》显示，截至2020年，我国共有工业锅炉数量约35.59万台，蒸汽总产量约为43.9万蒸吨/年；电站锅炉约3500台，蒸汽总产量约为23.1万蒸吨/年，总发电量约7.4亿千瓦时/年<sup>1</sup>。

<sup>1</sup> 国家市场监督管理总局. 全国特种设备安全状况情况通报，2021.

工业锅炉中，燃煤锅炉、燃油/气锅炉和燃生物质锅炉的台数分别占 67.75%、25.84%、6.41%，无论从台数还是容量来看，燃煤锅炉仍是工业锅炉主流<sup>1</sup>。在燃煤工业锅炉中以层燃锅炉为主，层燃炉和循环流化床锅炉蒸汽产能分别占燃煤工业锅炉蒸汽产能的 95%左右和 3%-5%，层燃炉和循环流化床锅炉台数分别占燃煤工业锅炉台数的 90%和 10%<sup>2</sup>。

电站锅炉是火力发电厂的主要设备，火力发电是我国电力的主要来源，据电力行业统计，截至 2020 年底，全国发电装机容量 22.01 亿千瓦，其中火力发电 12.45 亿千瓦，占全部装机容量的 59.22%。2021 年，全国总发电量达到了 81121.8 亿千瓦时，其中火力发电量为 57702.7 亿千瓦时，占全国发电量的 71.13%。火力发电又以燃煤发电为主，燃煤发电量在火电发电中的占比达 81%。我国燃煤电站锅炉装机容量大、运行效率高，其中以煤粉炉和流化床为主，煤粉炉容量占 80%以上<sup>3</sup>。

### (3) 我国燃煤锅炉协同处理固体废物研究和应用现状

我国目前关于燃煤锅炉协同处理固体废物技术的研究处于起步和发展阶段，以实验室模拟实验为主，以单一的一般固废（市政污泥、农林生物质）为主。

目前我国燃煤锅炉协同处理固体废物的工程项目主要限于一般固体废物，在国内有小范围应用，约有数十项，协同处理的固体废物主要为农林生物质、市政污泥、印染污泥、废纺织物、废塑料等。2017 年，国家能源局、原环境保护部开展燃煤耦合生物质发电技改试点工作，最终确定了 84 家试点单位，其中 82 家为协同处理农林生物质和市政处理污泥，2 家为协同处理生活垃圾。由于种种原因，上述试点项目绝大多数尚未进行建设。

目前我国燃煤锅炉协同处理危险废物仅有个别工程试验和应用案例，协同处理的危险废物主要包括抗生素药渣、含油污泥、煤液化油渣、油基岩屑等，其中山东一家、河南一家和贵州二家锅炉协同处理单一类别危险废物项目已取得了危险废物经营许可证（山东为油田含油污泥、河南为抗生素药渣，贵州为油基岩屑）。

近两年，受“碳减排、碳达峰”国家战略引导和激励，多家环保公司联合发电企业开始积极推进燃煤锅炉协同处理可燃一般固体废物和危险废物项目。截至 2021 年底，我国在建和规划建设的燃煤锅炉协同处理危险废物项目如表 3 所示。

表 3 我国燃煤锅炉协同处理危险废物项目

序号	项目地点	项目内容	锅炉类型	危险废物类别	项目进展
1	内蒙鄂尔多斯	中国神华煤制油公司鄂尔多斯煤制油分公司采用自有循环流化床锅炉协同处理煤液化残渣	循环流化床	煤液化残渣	2014 完成评估试验后开始运行

<sup>1</sup> 常勇强，等. 工业锅炉定型产品测试数据统计分析. 中国特种设备安全，2016.

<sup>2</sup> 中国产业研究院. 2020-2025 年工业锅炉市场发展现状调查及供需格局分析预测报告，2020

<sup>3</sup> 朱法华，等. 中国电力行业碳达峰、碳中和的发展路径研究. 电力科技与环保，2021.

序号	项目地点	项目内容	锅炉类型	危险废物类别	项目进展
2	河南驻马店	华润古城电厂燃煤锅炉协同处理抗生素菌渣	煤粉炉	抗生素菌渣	2017年取得环评批复，2019年取得危险废物经营许可证
3	河南驻马店	华润古城电厂燃煤锅炉协同处理多类别危险废物	煤粉炉	HW02、04、06、08、09、49 总计 49 小类	2021年取得环评批复
4	山东济南	山东琦泉热电厂循环流化床锅炉协同处理抗生素菌渣	循环流化床	抗生素菌渣	2020年取得环评批复
5	山东东营	东营华新环保利用循环流化床锅炉协同处理含油污泥	循环流化床	含油污泥	2015年山东省配套发布了地方标准《油田含油污泥流化床焚烧处置工程技术规范（试行）》（DB37/T 2670-2015），2018年取得环评批复，2019年取得危险废物经营许可证
6	贵州绥阳	绿昇环保利用绥阳发电厂煤粉炉协同处理油基岩屑	煤粉炉	油基岩屑	2020年取得环评批复，2021年取得危险废物经营许可证
7	贵州毕节	华电毕节循环流化床锅炉协同处理油基岩屑	循环流化床	油基岩屑	2020年取得环评批复，2020年取得危险废物经营许可证
8	浙江台州	聚橙环保利用浙能台州发电厂煤粉炉协同处理含油污泥	煤粉炉	HW08、09、49 总计 23 小类	2022年6月取得危险废物经营许可证
9	新疆伊犁	新天煤化工利用自备锅炉协同处理煤气化焦油渣和工业废水处理污泥	煤粉炉	煤气化焦油渣和工业废水处理污泥	2020年底完成评估试验后开始运行
10	辽宁阜新	华电高科利用阜新金山热电厂循环流化床锅炉协同处理油泥煤	循环流化床	HW08 含油污泥	2022年1月取得环评批复
11	四川内江	爱地环保利用白马电厂循环流化床锅炉协同处理油基岩屑	循环流化床	油基岩屑	2021年12月完成工程试验，正在进行环评
12	宁夏银川	宁煤集团利用自备循环流化床锅炉协同处理渣蜡	循环流化床	渣蜡	2021年底完成评估试验
13	山西长治	山西天脊煤化工利用自备锅炉协同处理煤气化油渣	煤粉炉	煤气化油渣	2022年11月完成评估试验
14	河北石家庄	国电投良村热电利用自备锅炉协同处理抗生素菌渣	煤粉锅炉	抗生素菌渣	2022年8月取得危险废物经营许可证
15	内蒙古包头	包钢热电利用自备锅炉协同处理废活性炭	循环流化床	废活性炭	2023年1月完成评估试验，正在开展环评
16	重庆	重庆远达环保利用旗能电铝自备电厂锅炉协同处理油基岩屑	煤粉锅炉	油基岩屑	2023年7月取得环评批复，正在开展建设

#### (4) 我国燃煤锅炉协同处理固体废物的意义和定位

我国开展燃煤锅炉协同处理固体废物的主要意义是促进火电行业节能减排降碳和绿色转型，是火电行业实现碳达峰碳中和目标的重要途径；其次是提升固体废物应急处理能力；最后是补齐部分地区部分废物处理能力的短板。

燃煤锅炉协同处理固体废物技术是固体废物专业焚烧技术和水泥窑协同处置固体废物技术的重要补充。鼓励具有自备锅炉的大型企业通过燃煤锅炉处理自产废物，鼓励大型火电集团利用燃煤锅炉对大型产废单位的可燃废物进行“点对点”定向利用。

## 2.2 行业在其他国家和地区发展概况

国外燃煤锅炉协同处理固体废物已开展了从实验室规模到工业规模的研究，协同处理的废物类别包括生物质（如杨木、锯屑、秸秆、橘皮、稻壳等）、RDF、市政污泥、石油焦、泥煤、塑料、废旧轮胎、其他木质废物等。研究目的主要是评估锅炉协同处理单一固体废物的可行性，包括：对锅炉运行工况的研究，如锅炉燃尽率、腐蚀、结渣、燃烧效率等；对环境排放污染物的影响，如常规气体污染物的排放（CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物）、重金属、二噁英类等。

### (1) 美国应用现状

美国将锅炉分为工业锅炉和商业锅炉两大类。工业锅炉指生产蒸汽和热水为环境或工艺进行加热或进行发电的锅炉，包括我国锅炉分类中的工业锅炉和电站锅炉；商业锅炉泛指用于给学校、商场、医院等建筑物供暖的设备。

美国约有 163000 台锅炉，其中约 43000 台为工业锅炉，剩余 120000 台为商业锅炉。工业锅炉总功率为 160 万 MMBtu/hr（MMBtu：百万英热单位，1MMBtu/hr 约 300kw），商业锅炉总功率为 110 万 MMBtu/hr 43000 台工业锅炉中约有 19500 台功率大于 10 MMBtu/hr，而在其中有 1360 台功率大于 250 MMBtu/hr；120000 台商业锅炉中有 26000 台功率大于 10 MMBtu/hr，但其中仅有 130 台功率大于 250 MMBtu/hr。美国工业锅炉平均功率为 36MMBtu/hr，商业锅炉为 9.3 MMBtu/hr，具体如表 4 所示。此外，全美境内约有 16000 台工业锅炉（总功率达 26 万 MMBtu/hr）因特性不明，或被用于非工业生产环节中而没有被列入统计范围内<sup>1</sup>。

表 4 美国锅炉数量

功率	工业锅炉	商业锅炉	总数
<10 MMBtu/hr	23495	93650	117145
10-50 MMBtu/hr	12380	21850	34230

<sup>1</sup> Energy and Environmental Analysis, Inc. Characterization of the U.S. Industrial/Commercial Boiler Population, 2020



功率	工业锅炉	商业锅炉	总数
50-100 MMBtu/hr	3570	3040	6610
100-250 MMBtu/hr	2210	1120	3330
>250 MMBtu/hr	1360	130	1490
总数	43015	119190	162805

美国的 51% 的工业锅炉的一次燃料为天然气，剩余工业锅炉的一次燃料为煤、油和木材。美国的工业锅炉大量使用工业固废作为替代燃料，燃料替代率一般达到 50%<sup>1</sup>。

## (2) 欧盟应用现状

2020 年，欧盟成员国的燃煤锅炉数量表 5 所示。其中，东欧国家的燃煤锅炉数量较多，波兰、保加利亚和匈牙利的燃煤锅炉数量位居欧盟前三。除东欧国家外，燃煤锅炉数量依次是意大利、英国和比利时。

表 5 欧盟商用燃煤锅炉数量<sup>2</sup>

国家	<25 kW	25-100 kW	101-250 kW	>250 kW	总数
奥地利	8970	8970	0	0	17940
比利时	96771	0	0	0	96771
保加利亚	364759	13	65	0	364837
克罗地亚	1828	42	7	0	1877
塞浦路斯	0	0	0	0	0
捷克	92252	5514	995	0	98761
丹麦	0	0	0	0	0
爱沙尼亚	560	93	157	0	809
芬兰	2928	80	29	0	3037
法国	88652	700	648	0	90000
德国	9762	9762	0	0	19523
希腊	1430	164	0	0	1594
匈牙利	199448	10829	38	0	210315
爱尔兰	73260	12	0	0	73272
意大利	90394	18501	0	0	108895
拉脱维亚	31251	0	202	12	31465

<sup>1</sup> ETSAP. Industrial Combustion Boilers. Energy Technology Network, 2020.

<sup>2</sup> European Commission. Mapping and analyses of the current and future(2020-2030) heating/cooling fuel deployment(fossil/renewables),2019

国家	<25 kW	25-100 kW	101-250 kW	>250 kW	总数
卢森堡	0	0	0	0	0
马耳他	0	0	0	0	0
荷兰	0	0	0	0	0
波兰	1877098	57529	164515	0	2099142
葡萄牙	0	0	0	0	0
罗马尼亚	25144	0	1	0	25146
斯洛伐克	12632	193	110	0	12934
斯洛文尼亚	14	2	0	0	16
西班牙	11605	7750	1142	0	20497
瑞典	0	0	0	0	0
英国	91893	2544	960	0	95397
总数	3080651	122697	168869	12	3372229

欧盟境内有 63 家发电厂通过欧盟排放交易系统（EU Emissions Trading System）报告了锅炉协同处理固体废物的情况。协同处理的废物主要包括市政污泥、造纸污泥、RDF、动物组织废物和废木材，此外还有某些危险废物。电厂锅炉的燃料替代率一般约 10%，流化床锅炉以及仅协同处理木屑的煤粉炉的燃料替代率相对较高<sup>1</sup>。

德国约有 40 家电厂燃煤锅炉用于协同处理固体废物，燃料替代率约为 25%，每年协同处理约 280 万吨废物，其中包括约 130 万吨的市政污泥、50 万吨的造纸污泥、60 万吨废物衍生燃料以及 40 万吨废弃动物组织、受污染的废木材和其他工业废物。根据德国排放交易管理局（German Emission Trading Authority）的计算，德国电厂通过协同处理减少的二氧化碳总量为 210 万吨/年。

芬兰大约有 40 台电厂锅炉（主要是流化床锅炉）使用固体废物作为替代燃料，每年协同处理量约 40 万吨；荷兰现有 9 所协同处理电厂，主要用于处置焦炭、市政污泥、生物质颗粒、城市垃圾、咖啡渣和动物脂肪等。

### 3 标准制订的必要性分析

#### 3.1 国家及生态环境主管部门的相关要求

##### （1）符合国家减污降碳的政策方向

燃煤锅炉协同处理固体废物是利用电力行业与工业企业自有的燃煤锅炉将固体废物与燃料煤协同处理，在保证环境安全、满足正常生产要求的同时，实现废物的无害化处置和

<sup>1</sup> European Commission. Best Available Techniques(BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, 2017

资源化利用。这一技术同时可以减少对化石燃料的消耗，减少温室气体和大气污染物的排放，因此是符合国家减污降碳的政策方向，有利于实现碳达峰与碳减排目标的实现。

### (2) 符合生态环境保护的基本要求

本标准的发布实施能够规范从事燃煤锅炉协同处理固体废物的单位，对其从工艺的设计、废物的接收到投加、环境监测等全过程的污染控制提出了要求，为生态环境管理部门的监督管理提供科学依据，对于有效控制燃煤锅炉协同处理固体废物过程中的环境风险具有重要的意义。

## 3.2 国家相关产业政策及行业发展规划中的生态环境要求

近年来，国家和地方发布了多个鼓励燃煤锅炉协同处理固体废物发展的相关政策，如表6所示。

表6 我国燃煤锅炉协同处理固体废物相关政策

部门	文件名称	主要相关内容
工信部等8部委	关于印发加快工业资源综合利用实施方案的通知（2022年1月27日）	支持水泥、钢铁、火电等工业窑炉以及炼油、煤气化、烧碱等石化化工装置协同处置固体废物。依托现有设备装置基础，因地制宜建设改造一批工业设施协同处置生活垃圾、市政污泥、危险废物、医疗废物等项目，探索形成工业窑炉协同处置固废技术路径及商业模式。
国家能源局、科技部	“十四五”能源领域科技创新规划（2021年12月）	因地制宜推广燃煤耦合农林废弃物、市政污泥、生活垃圾等发电技术，进一步提升现役燃煤电厂耦合生物质发电水平。
国家发改委等18部委	“十四五”时期“无废城市”建设工作方案（2021年12月）	推动利用水泥窑、燃煤锅炉等协同处置固体废物
国家发改委等14部委	循环发展引领行动（2017年4月21日）	因地制宜推进火电厂协同资源化处理污水处理厂污泥
国家发改委等7部委	关于促进生产过程协同处置城市及产业废弃物的意见（2014年5月）	在水泥、电力、钢铁等行业培育一批协同处置废弃物的示范企业，在有废弃物处理需求的城市建成60个左右协同资源化处置废弃物示范项目，引导相关科研机构研发适合国情的成套技术装备，建立健全针对不同固体废物协同处置的技术规范和标准体系
国家发改委、住建部	城镇生活污水处置设施补短板强弱项实施方案（2020年7月）	将垃圾焚烧发电厂、燃煤电厂、水泥窑等协同处置方式作为污泥处置的补充
工信部	“十四五”绿色工业发展规划（2021年11月）	推动钢铁窑炉、水泥窑、化工装置等协同处置固废。
生态环境部	关于提升危险废物环境监管能力、利用处置能力和环境风险防范能力的指导意见（2019年10月）	支持工业炉窑协同处置危险废物技术研发，依托有条件的企业开展钢铁冶炼等工业炉窑协同处置危险废物试点

部 门	文件名称	主要相关内容
国家能源局	关于开展燃煤耦合生物质发电技改试点工作的通知（2017年11月）	确定了84家试点单位，其中81个试点单位协同处置的废物类别为农林生物质废物和生活污泥，另外2个试点单位协同处置的废物类别为生活垃圾
江苏省人民政府	关于加强危险废物污染防治工作的意见（2018年11月9日）	鼓励依托火电厂协同处置工业污泥等
广东省生态环境厅	广东省关于加快推进危险废物处理设施建设工作的通知（2020年8月）	各地级以上市要推进危险废物协同处置，利用钢铁企业的工业窑炉、火电厂锅炉等协同处置危险废物
浙江省生态环境厅	关于进一步加强工业固体废物环境管理的通知（2019年1月11日）	大力推进水泥窑协同处置危险废物项目，探索实施燃煤电厂协同处置油泥、钢铁厂协同处置重金属污泥试点项目。
浙江省人民政府办公厅	关于印发浙江省全域“无废城市”建设工作方案的通知（2020年1月20日）	重点研究并实施生活垃圾焚烧飞灰熔融、油泥燃煤电厂协同处置、重金属污泥钢铁厂协同处置、工业废盐综合利用等试点项目
山西省生态环境厅	推进危险废物利用处置设施建设 加强环境监测的实施意见（2020年9月）	在技术成熟，环境风险可控的前提下，支持火电、钢铁冶炼工业窑炉开展协同处置危险废物试点

### 3.3 行业发展带来的主要环境问题

#### (1) 行业产排污情况

##### (a) 固体废物投入锅炉后

##### (i) 锅炉排放烟气

锅炉排放烟气中的颗粒物浓度与烟气净化前的烟气含尘量以及烟气净化设施的除尘效率相关。锅炉烟气净化前的烟气含尘量主要与锅炉燃烧方式相关，协同处理固体废物不影响锅炉燃烧方式以及烟气净化设施除尘效率，因此锅炉协同处理固体废物不改变锅炉原有颗粒物排放浓度。

锅炉排放烟气中的 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HF、HCl、重金属排放浓度与入炉燃料（包括固体废物和煤）中的 N、S、H、Cl、重金属以及锅炉烟气净化设施对 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HF、HCl、重金属的去除效率相关。因此，若不进行固体废物中的 N、S、H、Cl、重金属含量的准入分析和不同废物、燃料之间的配伍，入炉燃料中 S、N 元素含量可能会超出燃煤锅炉及其脱硫脱硝系统的设计范围，重金属、Cl、F 元素含量相比煤可能会有增加，导致燃煤锅炉排放烟气中 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HF、HCl、重金属浓度与锅炉仅使用常规化石燃料时相比可能有显著增加。

煤粉锅炉火焰中心温度大于 1500℃，烟气在 1100℃ 以上温度停留时间约 5s，固相在 1100℃ 以上温度停留时间大于 2s；循环流化床锅炉烟气在 850℃ 以上温度停留时间约 3-4s，固相在 850℃ 以上温度停留时间大于 80min。因此燃煤锅炉协同处理适量的固体废物时，固体废物中有机成分在锅炉炉膛内可实现较为充分的分解；又由于燃煤锅炉炉膛内燃烧充

分，协同处理固体废物不会增加尾部烟气中的不完全燃烧产物和残碳含量，继而也不会增加尾部烟道中二噁英类再合成的风险。因此，燃煤锅炉协同处理固体废物时锅炉排放烟气中的二噁英类、CO、总烃浓度可以做到与锅炉仅使用常规化石燃料时相比不增加。

#### (ii) 锅炉废水排放

燃煤锅炉湿法脱硫废水和湿电排放废水中的污染物主要为固体悬浮物及可溶性重金属离子、F 离子和 Cl 离子。燃煤锅炉协同处理固体废物不会增加锅炉尾部烟道烟气中的二噁英类、总烃等有机物含量，因此也不会向湿法脱硫废水和湿电废水中引入上述有机物。湿法脱硫和湿电排放废水中的固体悬浮物浓度主要与废水处理工艺相关，由于燃煤锅炉协同处理固体废物不影响锅炉废水处理工艺处理效果，因此，燃煤锅炉协同处理固体废物时的锅炉排放废水中固体悬浮物浓度相比锅炉仅使用常规化石燃料时不会增加。

燃煤锅炉协同处理固体废物时，固体废物中的重金属、Cl、F 可能会进入锅炉湿法脱硫和湿电排放废水中，若未对固体废物中的重金属、Cl、F 含量进行准入分析和不同废物、燃料之间的配伍，燃煤锅炉排放废水中重金属、Cl 和 F 浓度与锅炉仅使用常规化石燃料时相比可能有显著增加。

#### (iii) 锅炉固体废物排放

燃煤锅炉协同处理固体废物基本不会改变锅炉粉煤灰、炉渣和脱硫石膏的产生量，但可能会增加粉煤灰、炉渣和脱硫石膏中重金属、Cl、F 等元素的含量，改变其管理属性，影响其后续资源化利用途径。

#### (b) 固体废物投入锅炉前

##### (i) 废气

固体废物贮存、预处理、转运、投加车间或区域的废气采用负压收集后通常导入锅炉高温区焚烧处置，因此一般无有组织排放源；当上述车间或区域远离锅炉时，采用负压收集后的废气会采用专用废气处理装置处理后排放，成为新增的颗粒物、VOCs、总烃、恶臭污染物有组织排放源。上述车间或区域未被负压有效收集废气形成新增的颗粒物、VOCs、总烃、恶臭污染物无组织排放源。燃煤锅炉协同处理固体废物项目的固体废物贮存、预处理、转运、投加车间或区域的无组织废气排放量与同等处置规模的固体废物传统焚烧项目相同。

##### (ii) 废水

固体废物贮存和作业区域的初期雨水，事故废水，贮存、预处理设施、包装容器和运输车辆清洗产生的废水以及一般固体废物预处理产生的废水通常导入锅炉高温区焚烧处置，不外排，如需外排，其排放量与同等处置规模的固体废物传统焚烧项目相同。危险废物预处理产生的废水不能导入锅炉高温区焚烧处置，应外排量与同等处置规模的危险废物传统焚烧项目相同。

##### (iii) 固体废物

固体废物预处理和贮存过程废气处理产生的废吸附剂可作为固体废物投入燃煤锅炉进行协同处理，不外排。废水处理产生污泥如属于一般固体废物，干燥基有机质含量不小于5%时可进入燃煤锅炉进行协同处理，如果属于危险废物，低位热值不低于3 MJ/kg时可进入燃煤锅炉进行协同处理，不外排。只有不满足上述有机质和低位热值要求的少量污泥需要出厂委外处理。

## (2) 行业主要污染物排放量占全国污染物排放总量的比例

火力发电行业主要污染物为SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>。《2021年中国生态环境统计年报》的数据显示，2021年，在统计调查的42个工业行业中，电力、热力生产和供应业SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放量最高，分别占全国工业源SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放量的30.6%和33.1%（如图2）。



图2 2021年各工业行业SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放情况<sup>1</sup>

由于锅炉NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>的排放总量与入炉燃料（包括固体废物和煤）中的N、S元素含量以及锅炉烟气净化设施对NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>的去除效率相关。因此，如果对固体废物中的N、S含量进行准入分析并进行不同废物、常规化石燃料之间的配伍，确保入炉燃料中S、N元素含量不超出燃煤锅炉及其脱硫脱硝系统的设计范围，则燃煤锅炉协同处理固体废物时的NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>排放总量可以实现与锅炉仅使用常规化石燃料时相比无增加。

## 3.4 行业清洁生产工艺和污染防治技术的最新进展

### (1) 清洁生产工艺及污染治理工艺的最新进展。

目前我国电站燃煤锅炉普遍配置了布袋除尘器或电除尘器，可有效降低颗粒物的排放；同时电站燃煤锅炉普遍配置了低氮燃烧-SNCR-SCR组合脱硝系统，可高效脱除NO<sub>x</sub>；煤粉锅炉普遍配置了石灰石-石膏湿法脱硫或氨法脱硫系统，循环流化床普遍配置了炉内+炉外脱硫系统，炉外脱硫系统一般采用石灰石-石膏湿法脱硫、氨法脱硫或半干法脱硫工艺。燃煤锅炉配置的脱硫系统除了可以高效脱除烟气中的SO<sub>2</sub>外，还可以有效去除烟气中的HF、HCl、重金属。电站燃煤锅炉一般还配有废水处理设施，且废水一般不外排。

燃煤锅炉协同处理固体废物的原理是利用燃煤锅炉内的高温氧化环境，对固体废物的中有机物进行充分的热降解（燃烧），利用燃煤锅炉原有的烟气净化设施对固体废物燃烧过程产生的二次污染物进行削减和控制。燃煤锅炉协同处理固体废物无需对锅炉主体和烟气

<sup>1</sup> 2021年中国生态环境统计年报

净化设施进行改造，而是通过固体废物入炉前的源头控制，限制重金属、氯、氟、硫等有害元素入炉速率，确保投加固体废物不影响锅炉原有的运行工况，避免二次污染。

(2) 国家推行相关先进技术的指导性文件。

2015年12月11日，原环境保护部、国家发展和改革委员会和国家能源局联合发布了《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》（环发〔2015〕164号），要求全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造，到2020年全国所有具备改造条件的燃煤电厂力争实现超低排放（即在基准氧含量6%条件下，烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于10、35、50mg/m<sup>3</sup>）。

目前我国在推行燃煤锅炉协同处理固体废物技术领域暂无相关的先进技术指导性文件。

### 3.5 现行生态环境标准存在的主要问题

目前我国还没有颁布锅炉协同处理固体废物的专用污染控制标准，锅炉协同处理固体废物首先应执行锅炉相关污染控制标准，分别为《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）和《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）。

《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）适用于以燃煤、燃油和燃气为燃料的单台出力65t/h及以下蒸汽锅炉、各种容量的热水锅炉以及有机热载体锅炉，各种容量的层燃炉、抛煤机炉。使用型煤、水煤浆、煤矸石、石油焦、油页岩、生物质成型燃料等的锅炉，参照本标准中燃煤锅炉排放控制要求执行。该标准不适用于以生活垃圾、危险废物为燃料的锅炉。

《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）适用于使用单台出力65t/h以上除层燃炉、抛煤机炉外的燃煤发电锅炉，各种容量的煤粉发电锅炉，单台出力65t/h以上燃油、燃气发电锅炉，各种容量的燃气轮机组的火电厂。单台出力65t/h以上采用煤矸石、生物质、油页岩、石油焦等燃料的发电锅炉，参照本标准中循环流化床火力发电锅炉的污染物排放控制要求执行。整体煤气化联合循环发电的燃气轮机组执行本标准中燃用天然气的燃气轮机组排放限值。该标准不适用于以生活垃圾、危险废物为燃料的火电厂。

2015年，原环境保护部、国家发展和改革委员会和国家能源局联合发布了《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》，针对燃煤电厂烟尘、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>三个污染物指标提出了超低排放限值。

《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）和《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）仅规定了烟尘（颗粒物）、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、Hg的排放限值，固体废物燃烧过程可能产生的HCl、HF、二噁英类、总烃、Hg之外的其他重金属均未涉及。对于除烟尘（颗粒物）、二氧化硫、氮氧化物、汞之外的其他污染物，我国现有的燃煤锅炉协同处理一般固体废物项目或参照执行《生活垃圾污染控制标准》中的排放限值，燃煤锅炉协同处理危险废物项目或参照执行《危险废物焚烧污染控制标准》中的排放限值。但燃煤锅炉与专业焚烧炉在炉型、燃烧方式、烟气处理工艺、入炉物料要求等方面都存在巨大差异，燃煤

锅炉协同处理固体废物执行传统焚烧炉排放限值并不科学。为此，2020年新修订的《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484-2020）在适用范围章节专门提出该标准不适用于利用锅炉和工业窑炉协同处理危险废物。但2014年发布的《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014）在适用范围中提出，掺加生活垃圾质量超过入炉（窑）物料总质量30%的工业窑炉的污染控制参照该标准执行。

## 4 行业产排污情况及污染控制技术分析

### 4.1 行业主要生产工艺及产污分析

#### （1）主要工艺

燃煤锅炉协同处理固体废物是指将满足或经过预处理后满足入炉要求的固体废物投入燃煤锅炉，在进行蒸汽、电力等生产的同时实现固体废物无害化处理的过程。

燃煤锅炉协同处理固体废物的原理是利用燃煤锅炉内的高温氧化环境，对固体废物中的有机物进行充分的热降解（燃烧），利用燃煤锅炉原有的烟气净化设施对固体废物燃烧过程产生的二次污染物进行削减和控制。燃煤锅炉协同处理固体废物无需对锅炉主体和烟气净化设施进行改造，而是通过固体废物入炉前的源头控制，限制重金属、氯、氟、硫等有害元素入炉速率，确保投加固体废物不影响锅炉原有的运行工况，避免二次污染。

因此，燃煤锅炉协同处理固体废物的主要控制环节是固体废物入炉前的各个工艺环节，主要包括：固体废物的准入评估、固体废物的接收与分析、固体废物的贮存、固体废物的预处理、固体废物的厂内输送和固体废物的投加。固体废物的预处理和投加是其中最为关键的工艺环节。固体废物根据形态可分为固态废物、液态废物和半固态废物，针对不同形态的固体废物和不同类型的锅炉，预处理和投加工艺要求也不同。

#### （a）煤粉锅炉

煤粉锅炉内燃料呈悬浮燃烧状态，因此对入炉燃料（废物）粒径要求高，液态燃料（废物）进入炉膛内应瞬间雾化，液滴直径不应超过 300 $\mu\text{m}$  且以 75 $\mu\text{m}$  为宜，碎片状轻质固态燃料（废物）的粒径应小于 10mm，其他固态燃料（废物）的粒径应满足 90 $\mu\text{m}$  筛余小于 20%。煤粉锅炉对入炉燃料（废物）的上述要求，决定了煤粉锅炉协同处理固体废物的预处理和投加工艺。

#### （i）固体废物

可磨性固体废物可与原煤一同投入煤粉锅炉原有磨煤机，利用磨煤机对其进行研磨预处理，并利用煤粉炉原有煤粉气力输送装置和煤粉燃烧器与煤粉一同喷入锅炉炉膛内；或将可磨性固体废物利用专用的粉磨设备进行粉磨后，通过气力输送装置由锅炉炉墙增设的专用投加口喷入炉膛内。

软性不可磨性固体废物可利用专用剪切式破碎机破碎成粒径不超过 10mm 的轻质片状后，通过气力输送装置由锅炉炉墙增设的专用投加口喷入炉膛内。

#### （ii）半固态废物



对于与煤混合后可以失去粘性的半固体废物（如油基岩屑），可以先与煤进行混合后再投入煤粉锅炉原有磨煤机，利用磨煤机对其进行研磨预处理，并利用煤粉炉原有煤粉气力输送装置和煤粉燃烧器与煤粉一同喷入锅炉炉膛内。

对于与煤混合后仍具有粘性的半固体废物（如石油炼制罐底泥），可以先加入改性剂使其脱粘，并将其形态转变为固态，再将其作为可磨性固体废物进行预处理和投加；或将该半固体废物投入专门设计的气化装置，将其转化为可燃气后导入煤粉锅炉，气化过程产生的气化炉渣另行处理；或将该半固体废物投入专门设计的碳化（热解）装置，热解过程产生的热解油按液态废物进行预处理和投加，热解过程产生的热解碳按可磨性固体废物进行预处理和投加。

### （iii）液态和气态废物

液态和气态废物可分别通过泵力和气力输送装置由锅炉炉墙增设的专用投加口喷入炉膛内，气态废物也导入助燃空气（一次风、二次风或三次风）通道与助燃空气一同进入炉膛内。

### （b）循环流化床锅炉

循环流化床锅炉内燃料呈流态化燃烧状态，相对悬浮燃烧的煤粉炉，对入炉燃料（废物）粒径要求低，碎片状轻质固态燃料（废物）的粒径应小于 100mm，其他固态燃料（废物）的粒径应小于 15mm，决定了循环流化床锅炉协同处理固体废物的预处理和投加工艺。

#### （i）固体废物

硬质脆性固体废物可与原煤一同投入循环流化床原有的煤破碎机，利用破碎机对其进行破碎预处理，并利用循环流化床锅炉原有煤输送系统和给煤机与煤一起进入循环流化床炉膛内；或将硬质脆性固体废物利用专用的破碎机进行破碎后，通过机械输送装置送入循环流化床锅炉煤仓或给煤机后再与煤一起进入循环流化床锅炉，或由锅炉炉墙增设的专用投加口送入锅炉密相区。

软质柔性固体废物可利用专用剪切式破碎机破碎成粒径不超过 100mm 的轻质片状后，通过气力或机械输送装置送入循环流化床锅炉煤仓或给煤机后再与煤一起进入循环流化床锅炉。

#### （ii）半固体废物

对于与煤混合后可以失去粘性的半固体废物（如油基岩屑），可以先与煤进行混合后再投入循环流化床锅炉原有的煤破碎机，利用破碎机对其进行破碎预处理，并利用循环流化床锅炉原有煤输送系统和给煤机与煤一起进入循环流化床锅炉。

对于与煤混合后仍具有粘性的半固体废物（如石油炼制罐底泥），可以先加入改性剂使其脱粘，并将其形态转变为固态，再将其作为硬质脆性固体废物进行预处理和投加；或将该半固体废物通过柱塞泵系统从锅炉炉墙增设的专用投加口泵入锅炉密相区。

#### （iii）液态和气态废物

液态和气态废物可分别通过泵力和气力输送装置由锅炉炉墙增设的专用投加口喷入炉膛内，气态废物也可以导入助燃空气（一次风或二次风）通道与助燃空气一同进入炉膛内。

## （2）产排污节点

### （a）固体废物投入锅炉后

固体废物投入锅炉以后的产排污节点与燃煤锅炉仅使用常规化石燃料时相同，废气主要排放源为锅炉排放烟气，废水主要排放源为脱硫废水和湿式电除尘废水，固体废物主要为炉渣、粉煤灰和脱硫石膏。

煤粉锅炉和单台出力 65t/h 以上的循环流化床燃煤锅炉排放烟气执行《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011），65t/h 及以下的循环流化床燃煤锅炉排放烟气执行《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）。燃煤锅炉排放烟气中的污染物包括烟尘（颗粒物）、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、重金属、HF、HCl、二噁英类、总烃、CO 等，但《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）和《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）仅规定了烟尘（颗粒物）、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和汞的排放限值。协同处理固体废物的燃煤锅炉排放烟气中的污染物类别与燃煤锅炉仅使用常规化石燃料时基本相同，目前我国还无相关标准规定排放限值。

燃煤锅炉脱硫废水和湿式电除尘废水如果外排，执行《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）。协同处理固体废物的燃煤锅炉脱硫废水和湿式电除尘废水中的污染物类别与燃煤锅炉仅使用常规化石燃料时基本相同，同样执行《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）。

根据《固体废物鉴别标准 通则》（GB 34330-2017），燃煤锅炉仅使用常规化石燃料时产生的粉煤灰、炉渣和脱硫石膏属于一般固废；根据《危险废物鉴别标准 通则》（GB 5085.7-2019），燃煤锅炉协同处理一般固体废物产生的粉煤灰以及协同处理危险废物产生的炉渣、粉煤灰、脱硫石膏应进行危险特性鉴别。根据《固体废物鉴别标准 通则》（GB 34330-2017），燃煤锅炉氨法脱硫装置产生的硫酸铵应进行副产品的鉴别，属于产品的按产品进行管理，不属于产品的按固体废物进行管理；燃煤锅炉协同处理危险废物时，若氨法脱硫装置产生的硫酸铵经鉴别不属于产品，还应根据《危险废物鉴别标准 通则》（GB 5085.7-2019）对其进行危险特性鉴别。

### （b）固体废物投入锅炉前

燃煤锅炉协同处理固体废物相比仅使用常规化石燃料正常运行时的新增产排污节点主要位于固体废物投入锅炉之前的各个工艺环节。废气排放源主要为固体废物贮存、预处理、转运、投加车间或区域的有组织和无组织废气。废水排放源主要为固体废物贮存和作业区域的初期雨水，事故废水，贮存、预处理设施、包装容器和运输车辆清洗产生的废水以及固体废物预处理产生的废水。固体废物主要为贮存、预处理过程废气处理产生的废吸附剂和废水处理污泥。

固体废物贮存、预处理、转运、投加车间或区域的有组织和无组织废气中的污染物主要包括颗粒物、VOCs、总烃、恶臭污染物。无组织排放源的恶臭污染物执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)中的排放浓度限值,挥发性有机物执行《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB 37822-2019)中的排放限值,颗粒物执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中的排放浓度限值;有组织排放源恶臭污染物执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)中的排放限值,非甲烷总烃执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中的排放限值,颗粒物执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中的排放浓度限值。

固体废物贮存和作业区域的初期雨水,事故废水,贮存、预处理设施、包装容器和运输车辆清洗产生的废水以及固体废物预处理产生的废水如果外排,经处理后应满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)的要求。

根据2021年版《国家危险废物名录》和《危险废物鉴别标准 通则》(GB 5085.7-2019),固体废物预处理和贮存过程废气处理产生的废吸附剂属于危险废物,危险废物贮存和作业区域的初期雨水,事故废水,贮存、预处理设施、包装容器和运输车辆清洗产生的废水以及预处理产生的废水经处理产生的污泥属于危险废物,一般固体废物贮存和作业区域的初期雨水,事故废水,贮存、预处理设施、包装容器和运输车辆清洗产生的废水以及预处理产生的废水经处理产生的污泥通常需要进行危险特性鉴别。

## 4.2 行业排污现状

### (1) 固体废物投入锅炉后

#### (a) 锅炉排放烟气

锅炉排放烟气中的颗粒物浓度与烟气净化前的烟气含尘量以及烟气净化设施的除尘效率相关。锅炉烟气净化前的烟气含尘量主要与锅炉燃烧方式相关,协同处理固体废物不影响锅炉燃烧方式以及烟气净化设施除尘效率,因此锅炉协同处理固体废物不改变锅炉原有颗粒物排放浓度。

锅炉排放烟气中的NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HF、HCl、重金属排放浓度与入炉燃料(包括固体废物和煤)中的N、S、H、Cl、重金属组成以及锅炉烟气净化设施对NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HF、HCl、重金属的去除效率相关。目前我国电站燃煤锅炉普遍配置了低氮燃烧-SNCR-SCR组合脱硝系统;煤粉锅炉普遍配置了石灰石-石膏湿法脱硫或氨法脱硫系统,循环流化床普遍配置了炉内+炉外脱硫系统,炉外脱硫系统一般采用石灰石-石膏湿法脱硫、氨法脱硫或半干法脱硫工艺。燃煤锅炉配置的脱硫系统除了可以高效脱除烟气中的SO<sub>2</sub>外,还可以有效去除烟气中的HF、HCl、重金属。因此,燃煤锅炉协同处理固体废物时,通过对固体废物中的N、S、H、Cl、重金属含量的准入分析和不同废物、燃料之间的配伍,控制入炉燃料中S、N元素含量在燃煤锅炉及其脱硫脱硝系统设计范围内,重金属、Cl、F元素含量相比仅使用

常规化石燃料时不明显增加，燃煤锅炉排放烟气中 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HF、HCl、重金属浓度可以做到与锅炉仅使用常规化石燃料时相比不增加。

煤粉锅炉火焰中心温度大于 1500℃，烟气在 1100℃ 以上温度停留时间约 5s，固相在 1100℃ 以上温度停留时间大于 2s；循环流化床锅炉烟气在 850℃ 以上温度停留时间约 3-4s，固相在 850℃ 以上温度停留时间大于 80min。因此燃煤锅炉协同处理固体废物时，固体废物中有机成分在锅炉炉膛内可实现较为充分的分解；又由于燃煤锅炉炉膛内燃烧充分，协同处理固体废物不会增加尾部烟气中的不完全燃烧产物和残碳含量，继而也不会增加尾部烟道中二噁英再合成的风险。因此，燃煤锅炉协同处理固体废物时锅炉排放烟气中的二噁英类、CO、总烃浓度可以做到与锅炉仅使用常规化石燃料时相比不增加。

#### (b) 锅炉废水排放

燃煤锅炉湿法脱硫废水和湿电排放废水中的污染物主要为固体悬浮物及可溶性重金属离子、F 离子和 Cl 离子。燃煤锅炉协同处理固体废物不会增加锅炉尾部烟道烟气中的二噁英、总烃等有机物含量，因此也不会向湿法脱硫废水和湿电废水中引入上述有机物。湿法脱硫和湿电排放废水中的固体悬浮物浓度主要与废水处理工艺相关，由于燃煤锅炉协同处理固体废物不影响锅炉废水处理工艺处理效果，因此，燃煤锅炉协同处理固体废物时的锅炉排放废水中固体悬浮物浓度相比锅炉仅使用常规化石燃料时不会增加。

燃煤锅炉协同处理固体废物时，固体废物中的重金属、Cl、F 可能会进入锅炉湿法脱硫和湿电排放废水中，但通过对固体废物中的重金属、Cl、F 含量的准入分析和不同废物、燃料之间的配伍，燃煤锅炉排放废水中重金属、Cl 和 F 浓度可以做到与锅炉仅使用常规化石燃料时相比不明显增加。

#### (c) 锅炉固体废物排放

燃煤锅炉协同处理固体废物基本不会改变锅炉粉煤灰、炉渣和脱硫石膏的产生量，但可能会增加粉煤灰、炉渣和脱硫石膏中重金属、Cl、F 等元素的含量。通过对固体废物中的重金属、Cl、F 含量的准入分析和不同废物、燃料之间的配伍，燃煤锅炉粉煤灰、炉渣和脱硫石膏中重金属、Cl 和 F 含量可以做到与锅炉仅使用常规化石燃料时相比不明显增加，不改变其作为一般固体废物的管理属性，不影响其后续资源化利用途径。

### (2) 固体废物投入锅炉前

#### (a) 废气

固体废物贮存、预处理、转运、投加车间或区域的废气采用负压收集后通常导入锅炉高温区焚烧处置，因此一般无有组织排放源；当上述车间或区域远离锅炉时，采用负压收集后的废气会采用专用废气处理装置处理后排放，成为新增的颗粒物、VOCs、总烃、恶臭污染物有组织排放源。上述车间或区域未被负压有效收集废气形成新增的颗粒物、VOCs、总烃、恶臭污染物无组织排放源。燃煤锅炉协同处理固体废物项目的固体废物贮存、预处

理、转运、投加车间或区域的无组织废气排放量与同等处置规模的固体废物传统焚烧项目相同。

#### (b) 废水

固体废物贮存和作业区域的初期雨水，事故废水，贮存、预处理设施、包装容器和运输车辆清洗产生的废水以及一般固体废物预处理产生的废水通常导入锅炉高温区焚烧处置，不外排；如需外排，其排放量与同等处置规模的固体废物传统焚烧项目相同。危险废物预处理产生的废水不能导入锅炉高温区焚烧处置，应外排量与同等处置规模的危险废物传统焚烧项目相同。

#### (c) 固体废物

固体废物预处理和贮存过程废气处理产生的废吸附剂可作为固体废物投入燃煤锅炉进行协同处理，不外排。废水处理产生污泥如属于一般固体废物，干燥基有机质含量不小于15%时可进入燃煤锅炉进行协同处理，如果属于危险废物，低位热值不低于3 MJ/kg时可进入燃煤锅炉进行协同处理，不外排。只有不满足上述有机质和低位热值要求的少量污泥需要出厂委外处理。

### 4.3 污染防治技术分析

#### (1) 固体废物投入锅炉后

燃煤锅炉协同处理固体废物无需对锅炉主体和烟气净化设施进行改造，固体废物投入锅炉，利用燃煤锅炉原有的烟气净化设施对固体废物燃烧过程产生的二次污染物进行削减和控制，也即燃煤锅炉协同处理固体废物的末端控制技术和工艺与燃煤锅炉仅使用化石燃料时完全相同。由于锅炉原有烟气净化设施并非针对燃烧固体废物专门设计，因此其对协同处理固体废物的污染控制能力是有限的，必须采取固体废物入炉前的准入和配伍控制措施，控制入炉废物中的重金属、Cl、F、S等有害元素含量，才能实现锅炉污染物的稳定达标排放。

#### (2) 固体废物投入锅炉前

固体废物投入锅炉前的贮存、预处理和投加等环节产生的废气、废水和固体废物一般采用投入锅炉焚烧处置的方式。如果贮存、预处理车间或区域远离锅炉时，经负压收集后的废气采用专用废气处理工艺处理，包括布袋除尘、活性炭吸附、碱洗、光氧催化降解、低温等离子等适用于含尘、VOCs、恶臭污染物和酸性气体的废气的传统处理工艺。如果固体废物贮存、预处理等入炉前工序产生的废水量较大，燃煤锅炉无法全部消纳时，采用传统废水处理工艺进行处理，包括物理、化学、生化等处理工艺。

## 5 行业排放有毒有害污染物环境影响分析

协同处理固体废物的燃煤锅炉排放的有毒有害污染物主要为锅炉排放烟气中的二噁英类、多环芳烃和重金属，由于燃煤锅炉内燃烧充分且配有高效除尘设施，绝大多数锅炉配

有湿法脱硫系统，因此燃煤排放烟气中的二噁英、多环芳烃和重金属浓度极低，且与仅使用化石燃料时相比不增加。

燃煤锅炉协同处理固体废物不会增加锅炉尾部烟道烟气中的二噁英类、多环芳烃等有机物含量，因此也不会向湿法脱硫废水和湿电废水中引入上述有毒有害有机物，湿法脱硫废水和湿电废水中的有毒有害污染物主要为可溶性重金属离子。燃煤锅炉协同处理固体废物时，通过对固体废物中的重金属含量的准入分析和不同废物、燃料之间的配伍，燃煤锅炉排放废水中重金属可以做到与锅炉仅使用常规化石燃料时相比不明显增加。燃煤锅炉湿法脱硫废水和湿电废水绝大部分回用于锅炉脱硫系统，外排的少部分废水出厂前也进行了物理化学法处理，因此其中的重金属浓度极低。

## 6 标准主要技术内容

### 6.1 标准适用范围

(1) 叙述本标准的适用范围及依据。

本标准规定了燃煤锅炉协同处理固体废物的设施、固体废物特性、运行、污染物排放控制、监测与环境管理和实施与监督等方面的生态环境保护要求。

本标准适用于利用燃煤锅炉协同处理一般工业固体废物、生活垃圾、建筑垃圾、农业固体废物、市政污泥和危险废物等固体废物过程的污染控制和监督管理，以及建设项目的环境影响评价、设施的设计与施工、竣工环境保护验收、排污许可管理及设施建成后运行过程中的污染控制和环境管理。其中仅协同处理农林生物质废物或煤矸石的燃煤锅炉只执行本标准 8.1.1 和 8.1.2 条的要求。

(2) 说明本标准不适用的情况及依据。

本标准不适用于生活垃圾焚烧炉、危险废物焚烧炉和以固体废物为唯一燃料的锅炉或处理设施。

燃煤锅炉与专业焚烧炉（生活垃圾焚烧炉和危险废物焚烧炉）在炉型、燃烧方式、烟气处理工艺、入炉物料要求等方面存在巨大差异，因此本标准不适用于生活垃圾焚烧炉、危险废物焚烧炉。

(3) 叙述本标准与其他标准的衔接关系。

《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）和《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）适用于以化石燃料和型煤、水煤浆、煤矸石、石油焦、油页岩、生物质成型燃料为燃料的锅炉，不适用于协同处理除煤矸石和生物质废物之外的其他固体废物的锅炉。《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014）和《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484-2020）分别适用于以生活垃圾或危险废物为唯一燃料的焚烧炉。本标准的出台，将填补燃煤锅炉协同处理固体废物领域的空白。

## 6.2 标准结构框架

(1) 标准文本包括的主要章节内容。

本标准文本包括：适用范围、规范性引用文件、术语和定义、总体要求、协同处理设施要求、协同处理固体废物特性要求、运行污染控制要求、污染物排放控制要求、监测与环境管理要求、实施与监督。

(2) 现有排放源、新建排放源的划分时间点，以及（包括特别排放限值）执行标准的时间。

本标准未对现有排放源与新建排放源执行的标准进行区分，也未按区域区别指定不同的排放限值，现有排放源与新建排放源以及所有区域执行统一的排放标准。

(3) 标准对适用行业中不同生产工艺、不同产品类型等的划分及划分依据。

协同处理固体废物的燃煤锅炉包括煤粉锅炉和循环流化床锅炉，本标准针对煤粉锅炉和循环流化床锅炉协同处理固体废物提出了不同的固体废物入炉要求，但两种锅炉执行统一的排放限值。

按照环境风险的不同，本标准针对燃煤锅炉协同处理危险废物和其他固体废物有不同的管理要求，对于协同处理危险废物，管理要求相对协同处理其他固体废物更为严格。

## 6.3 术语和定义

本标准中的固体废物、危险废物的定义参考了《固体法》；燃煤锅炉协同处理、标准状态等术语和定义参考了《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485-2013）；燃煤锅炉、煤粉锅炉、循环流化床锅炉、锅炉额定蒸发量、锅炉炉膛高温区、锅炉运行负荷率等术语和定义参考了锅炉相关教材，如《锅炉原理》、《循环流化床锅炉理论设计与运行》等。

## 6.4 污染物项目的选择

(1) 污染控制项目内容的确定

根据燃煤锅炉协同处理固体废物行业污染物产生过程和全过程污染控制原则确定本标准的污染控制技术要求的的相关内容。对协同处理固体废物燃煤锅炉的设施选择、设备建设和改造、入炉废物特性、运行操作等技术要求进行规定。

(2) 大气污染物排放控制项目的确定

综合我国现行《火电厂大气污染物排放标准》、《锅炉大气污染物排放标准》和《危险废物焚烧污染控制标准》、《生活垃圾焚烧污染控制标准》中的大气污染物监测项目，同时在借鉴欧盟及其典型成员国家和美国的锅炉协同处理固体废物专门标准的基础上，确定本标准的大气污染物排放控制项目。

主要包括：颗粒物、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、烟气黑度、氟化氢（HF）、氯化氢（HCl）、12种重金属（汞、铊、镉、砷、铅、铬、锡、锑、钴、铜、镍和锰）及其化合物、总烃、二噁英类。

## 6.5 污染物排放限值的确定及制定依据

编制组结合燃煤锅炉协同处理固体废物的技术特点、污染物产生特征、现有技术工艺的污染物控制水平、国内外相关标准中污染物浓度限值，确定了协同处理固体废物燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值，具体限值及其制定依据如表 7 所示。

表 7 协同处理固体废物燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值

序号	污染物	排放浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1, 2, 3)</sup>	制定依据
1	颗粒物	执行《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223)中该指标限值	协同处理固体废物不改变燃煤锅炉大气污染控制标准规定的污染物的排放限值
2	SO <sub>2</sub>		
3	NO <sub>x</sub>		
4	汞及其化合物(以 Hg 计)		
5	烟气黑度		
6	氯化氢(HCl)	10	依据不高于国内外相关标准的限值,且在大量试验验证其可达性的基础上确定
7	氟化氢(HF)	1	依据不高于国内外相关标准的限值,且在大量试验验证其可达性的基础上确定
8	总烃	10	依据不高于国内外相关标准的限值,且在大量试验验证其可达性的基础上确定
9	铊、镉及其化合物(以 Tl+Cd 计)	0.05	依据不高于国内外相关标准的限值,且在大量试验验证其可达性的基础上确定
10	铍、砷、铅、铬、锡、锑、铜、钴、锰、镍、钒及其化合物(以 Be+As+Pb+Cr+Sn+Sb+Cu+Co+Mn+Ni+V 计)	0.5	依据不高于国内外相关标准的限值,且在大量试验验证其可达性的基础上确定
11	二噁英类	0.1 ng TEQ/m <sup>3</sup>	依据不高于国内外相关标准的限值,且在大量试验验证其可达性的基础上确定
12	基准氧含量	6%	《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011)以及国外相关标准所采取的基准氧含量,并通过大量试验验证了其可达性
注:			
<p>(1) 重金属类和二噁英类排放限值指测定均值,即在一定时间内采集的一定数量样品中污染物浓度测试值的算术平均值。重金属类排放限值指在 0.5-8 小时内采集的不少于 3 个样品中重金属浓度测试值的算术平均值;二噁英类排放限值指在 6-12 小时内采集的不少于 3 个样品中二噁英类浓度测试值的算术平均值。</p> <p>(2) 其他污染物排放限值指 1 小时均值,即任何 1 小时污染物浓度的算术平均值;或在 1 小时内,以等时间间隔采集 3-4 个样品测试值的算术平均值。</p>			



## 6.6 其他污染控制要求的确定及制定依据

### (1) 其他指标限值制定依据

其他指标限值的确定及制定依据如表 8 所示。

表 8 其他指标限制要求

指标	限值	制定依据
单炉额定蒸发量	协同处理危险废物不小于 130 吨/小时； 协同处理其他固体废物不小于 65 吨/小时	小容量燃煤锅炉（如工业锅炉）炉内燃烧条件无法达到足够的温度和停留时间，且小容量燃煤锅炉在我国正处于逐渐淘汰过程中，因此本标准要求协同处理除危险废物外的其他固体废物的燃煤锅炉仅限于电站锅炉，根据电站锅炉容量的定义，单炉额定蒸发量不小于 65 吨/小时。协同处理危险废物相比其他固体废物风险较大，因此将单炉额定蒸发量提升至不小于 130 吨/小时。
燃煤锅炉运行单位的入厂废物和自产废物中固体废物（危险废物除外）干燥基有机质含量	不小于 15%	目前我国已有大量燃煤锅炉协同处理市政污泥、印染污泥等一般工业固废的项目，根据调研分析数据确定。
入厂废物自产废物中氟和氯含量限值	进入循环流化床锅炉协同处理的入厂废物和自产废物中氟和氯总含量应不超过 1%。	实验室模拟实验和工程验证试验数据表明，有毒有害有机物在煤粉锅炉热工环境内的热降解率可以达到 99.99% 以上，绝大多数有毒有害有机物在循环流化床锅炉热工环境内的热降解率也可以达到 99.99% 以上，仅少数热稳定极高的有机物如苯在循环流化床锅炉热工环境内的热降解率小于 99.99%，但也能达到 99.90% 以上。欧盟《关于工业排放的指令》（2010/75/EU）的规定：专业焚烧炉焚烧固体废物或工业窑炉协同处理固体废物时，如果固体废物中有机卤含量大于 1% 时，固体废物燃烧产生的烟气在 1100℃ 以上的停留时间应不小于 2s；如果固体废物中的有机卤含量不超过 1% 时，固体废物燃烧产生的烟气在 850℃ 的以上的停留时间应不小于 2s。基于编制组研究结果并参考欧盟相关标准，制定了该限值。
燃煤锅炉运行单位的入厂废物和自产废物中的危险废物低位热值	不低于 3 MJ/kg	燃煤锅炉协同处理的危险废物须具有替代燃料的效果，禁止单纯以处置危险废物为目的协同处理行为。根据欧盟对替代燃料的定义中低位热值的要求以及我国替代燃料的热值调研分析数据确定。
入厂危险废物重金属含量限值	表 1	以入厂危险废物中重金属含量不超过锅炉用煤中重金属含量为原则，依据我国锅炉用煤中重金属含量等级标准（本标准采用重金属高等级含量数据）以及我国用煤中重金属含量统计数据确定。
入炉危险废物重金属含量限值	表 2	以入炉危险废物中重金属含量不超过锅炉用煤中重金属含量为原则，依据我国锅炉用煤中重金属含量等级标准（本标准采用重金属中低等级含量数据）以及我国用煤中重金属含量统计数据确定。
协同处理固体废物燃煤锅炉炉渣、粉煤灰、湿法脱硫废水处理污泥和脱硫副产物重金属含量限值	$\frac{12Be+3Co+3Ni+3V+Mn+3Sb+2Zn+Pb}{30000} < 1$	结合大量工程试验中获得的炉渣、粉煤灰和脱硫石膏中重金属含量数据以及《危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别》（GB 5085.6）中规定的毒性物质含量限值要求计算确定。

### (2) 技术与管理措施的制定依据。

结合现有相关管理规定及政策，参考水泥窑协同处置固体废物相关标准中技术与管理要求，依托大量燃煤锅炉协同处理固体废物工程验证试验和示范工程，借鉴其建设和运行过程中技术要求和经验，本标准对燃煤锅炉协同处理过程中大气污染物、水污染物的

监测管理以及协同处理固体废物的准入评估、接收和分析、运行、监测与环境管理制度提出了技术和管理要求。

## 6.7 监测要求

(1) 对标准中选用的监测方法进行适用性说明。本标准实施后国家发布的污染物监测方法标准，如适用性满足要求，同样适用于本标准相应污染物的测定。

### (a) 大气污染物

对于有组织废气，本标准选用国内现行适用于燃煤锅炉排气筒采样口或烟道的固定源测定方法；对于无组织废气，则选用现行无组织排放监测方法。

### (b) 水污染物

本标准中水污染物的检测方法选用现行适用于污水中污染物的监测方法以及计量装置和自动监测设备。

(2) 对标准中的特殊监测要求进行说明。

本标准无特殊监测相关要求。

## 6.8 达标判定

(1) 详细说明手工监测方法对应达标判定要求的确定依据。

协同处理设施正常运行时，对于大气污染物，可以采用手工监测的测定均值（重金属类和二噁英类）或按照监测规范要求测得的1小时均值（其他污染物），作为判定排污行为是否符合排放标准以及实施相关生态环境保护措施的依据。

(2) 详细说明在线（自动）监测方法对应达标判定要求的确定依据。

协同处理设施正常运行时，连续监测系统的1小时均值数据可作为判定排污行为是否符合排放标准的依据。

# 7 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

## 7.1 主要国家、地区及国际组织相关标准

### (1) 欧盟

2000年，欧盟发布的《关于废物焚烧的指令》（2000/76/EC）<sup>1</sup>规定了专用焚烧炉和工业窑炉焚烧或共烧（协同处理）固体废物（含危险废物）的技术和管理要求，包括废物的接收要求、设施运行条件、污染排放限值、监测要求等。2000/76/EC指令定义的共烧是指废物作为燃料提供热能或以被处置的目的进行热处理。2000/76/EC指令针对不同的焚烧或共烧设施类别制定了不同的排放限值，对于同一类设施，焚烧（或共烧）危险废物和非危险废物采用统一的排放限值，在接收时的管理要求、焚烧（或共烧）的技术要求等方面有所不同。

---

<sup>1</sup> European Commission. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste.

欧盟 2010 年 12 月发布了《关于工业排放的指令》(2010/75/EU)<sup>1</sup>，该指令是 2008/1/EC、2000/76/EC 等 7 个之前发布的不同行业指令的合并、统一和改进，以解决各行业指令之间的重复和混淆问题，减少不必要的管理负担，改进各行业指令中的不足之处。2010/75/EU 指令保留了原行业指令中的原则，同时加强了 BREF 报告的法律效力，澄清和扩大了指令的适用范围。该指令于 2011 年 1 月实施，2014 年 1 月起 2008/1/EC、2000/76/EC 等原行业指令废止。2010/75/EU 指令进一步明确了共烧的定义是废物作为燃料提供热能或通过废物的氧化、热解、气化、等离子或其他热处理方式生成的产物的焚烧进行处置。

《关于工业排放的指令》(2010/75/EU) 规定：专业焚烧炉焚烧固体废物或工业窑炉协同处理固体废物时，如果固体废物中有机卤含量大于 1% 时，固体废物燃烧产生的烟气在 1100℃ 以上的停留时间应不小于 2s；如果固体废物中的有机卤含量不超过 1% 时，固体废物燃烧产生的烟气在 850℃ 的以上的停留时间应不小于 2s。

《关于工业排放的指令》(2010/75/EU) 规定锅炉协同处理固体废物大气污染物总排放限值按以下公式得到：

$$\frac{V_{waste} \times C_{waste} + V_{proc} \times C_{proc}}{V_{waste} + V_{proc}} = C$$

式中， $V_{waste}$ ：来自固体废物焚烧的烟气排放量（废物热值占比低于 10% 时以 10% 计）；

$C_{waste}$ ：固体废物焚烧炉排放限值；

$V_{proc}$ ：锅炉常规生产时的烟气排放量；

$C_{proc}$ ：锅炉常规生产时的排放限值；

$C$ ：总排放限值。

锅炉协同处理固体废物时，颗粒物、氮氧化物、二氧化硫的  $C_{proc}$  取值如表 9 和表 10 所示，重金属和二噁英的  $C$  取值如表 11 所示。

表 9 锅炉共烧的大气污染物排放限值  $C_{proc}^{(1)(4)}$

燃料类别	污染物	单位	排放限值			
			<50MW	50-100MW	100-300MW	>300MW
固体燃料 <sup>(2)</sup>	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	400 30（使用煤泥时）	200	200
	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	300 40（使用褐煤粉）	200	200

<sup>1</sup> European Commission. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions.

燃料类别	污染物	单位	排放限值			
			<50MW	50-100MW	100-300MW	>300MW
	粉尘	mg/m <sup>3</sup>	50	30	25 20 (使用煤泥)	20
生物质燃料 <sup>(2)</sup>	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	200	200	200
	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	300	250	200
	粉尘	mg/m <sup>3</sup>	50	30	20	20
液体燃料 <sup>(3)</sup>	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	350	250	200
	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	400	200	150
	粉尘	mg/m <sup>3</sup>	50	3050	25	20

注：（1）测量结果应该在以下状态下进行标准化：温度 273 K，压力 101.3KPa，干烟气，24 小时均值；

（2）校正为 6%氧含量；

（3）校正为 3%氧含量；

（4）2013 年 1 月 7 日前取得或申请许可证并在 2014 年 1 月 7 日前投入运行的锅炉从 2016 年 1 月 1 日起应满足该标准。

表 10 锅炉共烧的大气污染物排放限值  $C_{proc}^{(1)(4)}$

燃料类别	污染物	单位	排放限值			
			<50MW	50-100MW	100-300MW	>300MW
固体燃料 <sup>(2)</sup>	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	400 300 (使用煤泥)	200 300 (使用煤泥) 250 (使用煤泥的流化床)	150 200 (流化床)
	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	300 250 (使用煤泥)	200	150 200 (使用褐煤粉)
	粉尘	mg/m <sup>3</sup>	50	20	20	10 20 (使用煤泥)
生物质燃料 <sup>(2)</sup>	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	200	200	150
	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	250	200	150
	粉尘	mg/m <sup>3</sup>	50	20	20	20
液体燃料 <sup>(3)</sup>	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	350	200	150
	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	300	150	100
	粉尘	mg/m <sup>3</sup>	50	20	20	10

注：（1）测量结果应该在以下状态下进行标准化：温度 273 K，压力 101.3KPa，干烟气，24 小时均值；

(2) 校正为 6%氧含量;

(3) 校正为 3%氧含量;

(4) 除 2013 年 1 月 7 日前取得或申请许可证并在 2014 年 1 月 7 日前投入运行的锅炉之外的其他锅炉从 2013 年 1 月 7 日起应满足该标准。

表 11 锅炉共处置废物的大气污染物排放限值 C<sup>(1)</sup>

污染物	单位	排放限值	测试方法
Cd+Tl	mg/m <sup>3</sup>	0.05	0.5-8 小时采样周期内均值
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0.05	0.5-8 小时采样周期内均值
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/m <sup>3</sup>	0.5	0.5-8 小时采样周期内均值
二噁英类	TEQ ng/m <sup>3</sup>	0.1	6-8 小时采样周期内均值

注：(1) 测量结果应该在以下状态下进行标准化：温度 273 K，压力 101.3KPa，干烟气，6%氧含量。

(2) 美国

美国已制定了水泥窑、轻骨料窑、固体燃料锅炉、液态燃料锅炉、盐酸炉协同处理危险废物的大气污染物排放标准，编于 CFR Title40 Part63 Subpart EEE (National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Hazardous Waste Combustors)<sup>1</sup>。其中固体燃料锅炉协同处理危险废物的大气污染物排放标准如表 12 所示，液态燃料协同处理危险废物的大气污染物排放限值如表 13 所示。

表 12 固体燃料锅炉协同处理危险废物大气污染物排放标准

污染物	排放标准限值 <sup>(1)</sup>	
	现有锅炉	新建锅炉
二噁英/呋喃	CO 和 HC 达标即可	CO 和 HC 达标即可
Hg	0.011mg/ Nm <sup>3</sup>	0.011mg/ Nm <sup>3</sup>
半挥发性金属 (Pb+Cd)	0.18mg/ Nm <sup>3</sup>	0.18mg/ Nm <sup>3</sup>
低挥发性金属 (As+Pb+Cr)	0.38mg/ Nm <sup>3</sup>	0.19mg/ Nm <sup>3</sup>
总氯元素 (HCl+氯气)	440 (以氯计, ppmv)	73 (以氯计, ppmv)
颗粒物 (PM)	68mg/Nm <sup>3</sup>	34mg/Nm <sup>3</sup>
CO	CO100ppmv 或 HC10ppmv	CO100ppmv 或 HC10ppmv
碳氢化合物 (HC, 以丙烷计)	10ppmv	10ppmv
有机污染物 <sup>(2)</sup>	每种主要有机有害污染物的焚毁去除率应达到 99.99%。若燃烧危险废物含有 F020、F021、F022、F023、F026 或 F027 类废物(主要为含二噁英和呋喃类的废物) <sup>(3)</sup> 则每种主要有机有害污染物的焚毁去除率应达到 99.9999%。	

<sup>1</sup> US EPA. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Hazardous Waste Combustors. CFR Title40 Part63 Subpart EEE.

注：（1）以上排放均是基于 7%含氧量，293K，压力 101.3KPa，CO 和 HC 为小时滑动平均值；不透明度为 6 分钟滑动平均值；其他监测指标为性能测试的三次运行工况的平均值，日常监测时可通过监测运行参数限值替代数值排放限值，该运行参数限值通过综合性性能测试建立，即通过试验确定满足数值排放限值的运行参数限值，不满足运行参数限值等同于不满足数值排放限值。

（2）有机污染物的焚毁去除率（DRE）

$$DRE = (1 - \frac{W_{out}}{W_{in}}) \times 100\%$$

式中  $W_{out}$ ：废物进料中一种主要的有机有害组分质量流速；

$W_{in}$ ：进入大气前排放气体中同一种有机有害组分的质量排放速度；

（3）F020、F021、F022、F023、F026 和 F027 对应的危险废物分别为（参照 CFR Title 40 第 261.3 章定义）：

F020：三氯苯酚或四氯苯酚生产、使用或作为农药中间体生产农药过程中所产生的废物，但不包括从高纯度 2,4,5-三氯苯酚中生产六氯苯酚所产生的废物；

F021：五氯苯酚生产、使用或用于生产其衍生物的中间体所产生的废物；

F022：碱性条件下使用四氯苯、五氯苯或六氯苯作为原材料进行生产时产生的废物；

F023：原用于生产三氯苯酚或四氯苯酚的设备再用于生产其他材料所产生的废物，但不包括用于从高纯度 2,4,5-三氯苯酚生产六氯苯酚所使用的设备再生产其他材料所产生的废物；

F026：碱性条件下使用原用于生产四氯苯、五氯苯或六氯苯的设备再用于生产其他材料所产生的废物；

F027：不再使用的含有三氯苯酚、四氯苯酚和五氯苯酚的产品，或以三氯苯酚、四氯苯酚和五氯苯酚为原料的产品。

美国排放要求对常规酸性气体只列出了 HCl+Cl<sub>2</sub> 的要求，对于 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 和 HF 缺少说明，但增加了有机污染物焚毁去除率和 HC 的要求，并对重金属进行了更进一步的划分。

表 13 美国液体燃料锅炉协同处理危险废物大气污染物排放标准

污染物	排放标准限值 <sup>(1)</sup>	
	现有液体燃料锅炉	新建液体燃料锅炉
二噁英/呋喃	0.4 ng TEQ/Nm <sup>3</sup> （配有干法大气净化装置）；满足 CO 和碳氢化合物的排放要求（未配干法大气净化装置）	0.4 ng TEQ/Nm <sup>3</sup> （配有干法大气净化装置）；满足一氧化碳和碳氢化合物的排放要求（未配干法大气净化装置）
Hg	0.019 mg/Nm <sup>3</sup> （废物热值<23.26 MJ/kg）； 0.018 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> （废物热值>23.26 MJ/kg）	0.0068 mg/Nm <sup>3</sup> （废物热值<23.26 MJ/kg）； 0.00051 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> （废物热值>23.26 MJ/kg）

污染物	排放标准限值 <sup>(1)</sup>	
	现有液体燃料锅炉	新建液体燃料锅炉
Pb+Cd	0.15 mg/Nm <sup>3</sup> (废物热值<23.26 MJ/kg); 0.035 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> (废物热值>23.26 MJ/kg)	0.078 mg/Nm <sup>3</sup> (废物热值<23.26 MJ/kg); 0.0026 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> (废物热值>23.26 MJ/kg)
Cr	0.37 mg/Nm <sup>3</sup> (废物热值<23.26 MJ/kg) 0.056 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> (废物热值>23.26 MJ/kg)	0.012 mg/Nm <sup>3</sup> (废物热值<23.26 MJ/kg); 0.006 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> (废物热值>23.26 MJ/kg)
其他重金属 <sup>(3)</sup>	Cd+Pb+Se<0.15 mg/Nm <sup>3</sup> (废物热值<23.26 MJ/kg) Sb+As+Be+Cr+Co+Mn+Ni<0.37 mg/Nm <sup>3</sup> (废物热值<23.26 MJ/kg); Cd+Pb+Se<0.035 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> (废物热值>23.26 MJ/kg) Sb+As+Be+Cr+Co+Mn+Ni<0.056 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> (废物热值>23.26 MJ/kg)	Cd+Pb+Se<0.078 mg/Nm <sup>3</sup> (废物热值<23.26 MJ/kg) Sb+As+Be+Cr+Co+Mn+Ni<0.012 mg/Nm <sup>3</sup> (废物热值<23.26 MJ/kg); Cd+Pb+Se<0.0026 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> (废物热值>23.26 MJ/kg) Sb+As+Be+Cr+Co+Mn+Ni<0.006 mg/MJ·废物热值 <sup>(2)</sup> (废物热值>23.26 MJ/kg)
一氧化碳 <sup>(4)</sup>	100 ppmv 或 HC 10ppmv	100 ppmv 或 HC 10ppmv
碳氢化合物 (HC, 以丙烷计) <sup>(4)</sup>	10 ppmv	10 ppmv
HCl + Cl <sub>2</sub>	31 ppmv (以氯离子计, 废物热值<23.26 MJ/kg) 23 mg/MJ·废物热值 (以氯离子计, 废物热值<23.26 MJ/kg)	31 ppmv (以氯离子计, 废物热值<23.26 MJ/kg) 23 mg/MJ·废物热值 (以氯离子计, 废物热值<23.26 MJ/kg)
颗粒物	80 mg/Nm <sup>3</sup>	20 mg/Nm <sup>3</sup>
焚毁去除率 <sup>(5)</sup>	每种主要有机污染物 (Principle Organic Hazardous Constituent) 的焚毁去除率应达到 99.99%。但若燃烧危险废物中包含 F020、F021、F022、F023、F026 或 F027 类 <sup>(6)</sup> 废物, 则每种主要有机污染物的焚毁去除率应达到 99.9999%。	

注: (1) 排放均是基于 7%含氧量, 293K 以及 101.3KPa 条件下;

(2) 指来自废物的排放量;

(3) 液体燃料锅炉协同处理危险废物的重金属排放也可选择仅遵守该排放值;

(4) 一氧化碳和碳氢化合物的排放值取小时滚动平均值 (hourly rolling average), 即通过连续排放监测系统持续监测一段时间内的排放量后, 以小时为单位计算平均排放值。若液体燃料锅炉大气污染物选择仅遵守一氧化碳排放限值, 则需提供焚毁去除率测试期间碳氢化合物排放量不超过 10 ppmv 的报告;

(5) 焚毁去除率 (DRE) 计算公式:

$$DRE = (1 - \frac{W_{out}}{W_{in}}) \times 100\%$$

式中： $W_{out}$ 为废物进料中某一种主要有机污染物的质量进料速率；

式中： $W_{in}$ 为中同一种主要有机污染物在排入大气前的质量排放速率。

(6) F020、F021、F022、F023、F026 和 F027 对应的危险废物分别为（参照 CFR Title 40 第 261.3 章定义）：

F020：三氯苯酚或四氯苯酚生产、使用或作为农药中间体生产农药过程中所产生的废物，但不包括从高纯度 2,4,5-三氯苯酚中生产六氯苯酚所产生的废物；

F021：五氯苯酚生产、使用或用于生产其衍生物的中间体所产生的废物；

F022：碱性条件下使用四氯苯、五氯苯或六氯苯作为原材料进行生产时产生的废物；

F023：原用于生产三氯苯酚或四氯苯酚的设备再用于生产其他材料所产生的废物，但不包括用于从高纯度 2,4,5-三氯苯酚生产六氯苯酚所使用的设备再生产其他材料所产生的废物；

F026：碱性条件下使用原用于生产四氯苯、五氯苯或六氯苯的设备再用于生产其他材料所产生的废物；

F027：不再使用的含有三氯苯酚、四氯苯酚和五氯苯酚的产品，或以三氯苯酚、四氯苯酚和五氯苯酚为原料的产品。

## 7.2 本标准与主要国家、地区及国际组织同类标准的对比

表14对比了我国火电厂、危险废物焚烧炉、生活垃圾焚烧炉以及欧美锅炉协同处理固体废物的大气污染物排放限值。

可以看出，对于颗粒物、二氧化硫、氮氧化物，本标准执行我国火电厂大气污染排放标准限值，严于我国的危险废物焚烧炉和生活垃圾焚烧炉执行的排放限值；对于重金属，本标准与欧盟锅炉协同处理固体废物的排放限值相当，严于我国的危险废物焚烧炉和生活垃圾焚烧炉以及美国燃煤锅炉协同处理危险废物执行的排放限值；对于二噁英类，欧盟锅炉协同处理固体废物的排放限值严于我国的危险废物焚烧炉和生活垃圾焚烧炉执行的排放限值，美国没有制定燃煤锅炉协同处理危险废物的二噁英排放限值，但制定了液态燃料锅炉协同处理危险废物的二噁英排放限值，严于我国的危险废物焚烧炉，但松于我国的生活垃圾焚烧炉，本标准采用目前我国相对最严格的生活垃圾焚烧炉标准中的控制限值，与欧盟标准为同一水平。欧盟没有规定锅炉协同处理固体废物时氯化氢、氟化氢、总烃的排放限值，美国制定了燃煤锅炉协同处理危险废物时总氯和总烃的排放限值，本标准氯化氢、氟化氢和总烃的排放限值参考了欧盟水泥窑协同处理固体废物的排放限值，严于我国的危险废物焚烧炉和生活垃圾焚烧炉以及美国燃煤锅炉协同处理危险废物执行的排放限值。总体上，本标准制定的排放限值严于我国的危险废物焚烧炉和生活垃圾焚烧炉以及美国燃煤锅炉协同处理危险废物执行的排放限值，与欧盟锅炉协同处理固体废物的排放限值相当。



表 14 大气污染物排放限值的对比

污染物 <sup>(1)</sup>	本标准 <sup>1(2)</sup>	GB 13223-2011 <sup>(2)</sup>	GB 18485-2014	GB 18484-2020	美国	欧盟
HF	1			6.0		
总烃	10				17 <sup>(3)</sup>	
颗粒物	30/20	30/20	45	45	39	
SO <sub>2</sub>	100/50	100/50	150	150	-	
CO	-	-	150	150	134	
NO <sub>x</sub>	100/100	100/100	450	450		
HCl	10		90	90	127 <sup>(4)</sup>	
二噁英类	0.1		0.1	0.5	0.43 <sup>(5)</sup>	0.1
Hg	0.03	0.03	0.075	0.075	0.012	0.05
Tl				0.075		
Cd				0.075		
Pb				0.75		
As				0.75		
Cr				0.75		
Sn+Sb+Cu+Mn+Ni+Co				3.0		
Cd+Tl	0.05	0.15				0.05
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V		1.5				0.5
Be+As+Pb+Cr+Sn+Sb+Cu+Co+Mn+Ni+V	0.5					
Pb+Cd					0.21	
As+Be+Cr					0.22	

注：（1）浓度均指标准状态下干烟气浓度，已统一折算为本标准中基准氧含量为6%时的排放浓度，二噁英类单位为ng-TEQ/m<sup>3</sup>，其他污染物单位为mg/m<sup>3</sup>；

（2）斜线后的数值为特别排放限值；

（3）将美国标准中的碳氢化物折算为总烃；

（4）将美国标准中的总氯折算为HCl；

（5）该限值为液体燃料锅炉协同处理危险废物标中的排放限值，固体燃料锅炉协同处理危险废物标准无二噁英类排放限值。

## 8 实施本标准的成本效益分析

### 8.1 实施本标准的环境效益

本标准规定了燃煤锅炉协同处理设施、协同处理固体废物特性和协同处理过程中的污染控制和监督管理要求，可作为有关项目的环境影响评价、设计、验收及建成后运行与管理的技术依据。

本标准能够规范从事燃煤锅炉协同处理固体废物的单位，对其从工艺的设计、废物的接收到投加、环境监测等全过程的污染控制提出了要求，可实现燃煤锅炉协同处理固体废物时排放的污染物浓度、污染物排放量和固体废物产生量与锅炉仅使用常规煤燃料时相比不增加。燃煤锅炉协同处理固体废物项目的固体废物在投入锅炉前的无组织废气排放量、废水排放量与同等处置规模的固体废物传统焚烧项目相同，不会增加环境污染。本标准的发布实施为生态环境管理部门的监督管理提供科学依据，对于有效控制利用燃煤锅炉协同处理固体废物过程中的环境风险具有重要的意义。

本标准的实施，可实现在满足正常生产要求、保证环境安全的同时，对固体废物进行无害化处置和资源化利用，减少对环境的污染，防治和避免燃煤锅炉协同处理固体废物过程可能的二次污染。同时可以减少对化石燃料的消耗，减少温室气体和大气污染物的排放，符合国家减污降碳的政策方向，有利于实现碳达峰与碳减排目标的实现，实现社会、经济和环境效益的统一。

## 8.2 实施本标准的成本分析

燃煤锅炉协同处理固体废物技术的优势在于利用电力行业与工业企业自有的燃煤锅炉将固体废物与燃料煤协同处理，同时利用企业现有的烟气净化设施对烟气进行收集处理，无需新建主体设施和烟气净化设施。项目仅需新增建设固体废物贮存和预处理车间及其废气收集设施，固体废物贮存、预处理、转运、投加车间或区域的废气、废水和固体废物一般均进入锅炉不外排。仅在贮存、预处理车间或区域远离锅炉时，经负压收集后的废气需采用专用废气处理工艺处理，包括布袋除尘、活性炭吸附、碱洗、光氧催化降解、低温等离子等适用于含尘、VOCs、恶臭污染物和酸性气体的废气的传统处理工艺，或固体废物贮存、预处理等入炉前工序产生的废水量较大，燃煤锅炉无法全部消纳时，需采用传统废水处理工艺进行处理，包括物理、化学、生化等处理工艺。

燃煤锅炉协同处理固体废物可实现协同处理过程中排放的污染物浓度、污染物排放量和固体废物产生量与锅炉仅使用常规煤燃料时相比不增加。本标准的污染物排放限值是在大量试验验证其可达性的基础上确定，因此若按标准规范操作运行，污染物均可达标排放。实施本标准时，仅在固体废物贮存、预处理、转运、投加车间或区域的废气、废水和固体废物收集输送设施方面产生新增投资和运行费用。建设一个年协同处理能力为 10 万吨固体废物的燃煤锅炉协同处理固体废物项目，总投资约 5000 万元，处理 1 吨固体废物运行成本约 300 元，每年可节省锅炉燃煤消耗约 3 万吨。

## 9 标准实施建议

### (1) 拟定标准实施需配套的管理措施、实施方案建议

本标准实施后，建议编制配套的技术标准与管理文件，包括《燃煤锅炉协同处理固体废物项目环境影响评价技术导则》《燃煤锅炉协同处理危险废物经营许可证审查指南》等。《燃煤锅炉协同处理固体废物项目环境影响评价技术导则》用于指导和规范燃煤锅炉协同

处理固体废物项目环境影响评价报告书或报告表的编制，明确燃煤锅炉协同处理固体废物项目的特征污染物类别、主要污染物排放节点和源强计算方法等。《燃煤锅炉协同处理危险废物经营许可证审查指南》用于指导燃煤锅炉协同处理危险废物经营许可证的申请（包括新申请、重新申请领取和换证），规范燃煤锅炉协同处理危险废物经营许可证审批工作，提升燃煤锅炉协同处理废物行业的整体水平。

#### （2）与拟定标准实施相关的科研建议

建议开展燃油和燃气锅炉协同处理固体废物污染控制技术和标准的前期研究工作，分析立项编制燃油和燃气锅炉协同处理固体废物污染控制标准的必要性和可行性。