

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.004

城镇污水污泥燃煤电厂协同焚烧技术解析

胡维杰

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 城镇污水污泥中汇集了许多污染物,因此污泥在燃煤电厂协同焚烧时,排放值中会明显增加额外的重金属输入(尤其是诸如汞等高挥发性物质),这是应将污水污泥燃煤电厂协同焚烧量限制在很小比例的原因之一;限制污水污泥协同焚烧量的另一原因是通常用作建筑材料的粉煤灰的质量必须符合相关建筑材料标准。污泥燃煤电厂协同焚烧如简单沿用《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011),而不结合污泥的污染物特性(尤其在污泥中的重金属浓度普遍高于燃煤的重金属浓度的情况下),则存在电厂“稀释排放”或二噁英类等其他未检测污染物的浓度超标的嫌疑。污泥电厂协同焚烧须注意污泥的“污染物”特性,而不可简单将污泥视作“生物质”,污泥的协同处理并非简单无条件的协同,而须全面遵循 HSE 原则。

关键词: 城镇污水污泥; 掺烧; 电厂

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0024-08

Analysis on the Urban Sewage Sludge Co-incineration Technology of Coal-fired Power Plants

HU Wei-jie

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Urban sewage sludge is a sink for a number of pollutants, and when the sewage sludge is co-incinerated in coal-fired power plants, the additional input of heavy metals (particularly highly volatile substances such as mercury) becomes a remarkable emission issue. This is one of the reasons that the sewage sludge co-incineration in coal-fired power plants should be limited to a very small amount. Another reason for limiting the co-incinerated sewage sludge quantity is the quality of the fly ash which is usually used as a building material, which must be evaluated by the relevant building material standards. Since the concentration of heavy metals in the sludge is generally higher than that in coal, the sludge co-incineration in coal-fired power plants may be suspected of excessive concentrations of power plants such as “dilution emissions” or other undetected pollutants such as dioxins when the *Emission Standard of Air Pollutants for Thermal Power Plants* (GB 13223-2011) is simply used without considering the pollutant characteristics of the sludge. The co-incineration of sludge in power plants must pay attention to the “contaminant” characteristics of the sewage sludge, rather than simply treating the sludge as a kind of “biomass”. The synergistic treatment of sludge is not a simple and unconditional synergy, and the HSE principle must be fully applied.

Key words: urban sewage sludge; co-incineration; power plant

1 燃煤与污泥的燃料特性

燃煤电厂使用的燃煤是一种化石燃料,不同的

燃煤锅炉类型及其设计参数对燃煤有不同的要求,因此锅炉设计时需考虑相应的燃煤性质。燃煤性质

变化范围越小,锅炉的尺寸越精确,燃烧效率也就越高。

除燃煤外,城镇污水处理厂的污泥在一定条件下也可在燃煤电厂中进行协同焚烧。如污泥性质越接近于燃煤,其协同焚烧时越能均匀燃烧并燃烬。污泥的主要燃料特性包括热值、物料密度、破碎特性、有机及无机污染物浓度、燃烧灰分特征等。表 1 列举了标准燃料褐煤与德国城镇污水处理厂消化脱水后污泥部分组分均值的对照(给定范围是指导值,其范围可能上下扩大)。

表 1 褐煤与消化脱水后污水污泥部分组分均值对照
Tab.1 Comparison of some components of lignite and digested and dewatered sewage sludge

组分	褐煤	消化脱水后污泥
水 (raw)/%	30 ~ 60	65 ~ 75
挥发物 (raw)/%	20 ~ 25	30
氟 (raw)/%	0 ~ 0.1	0 ~ 0.01
氯 (raw)/%	0.01 ~ 0.03	0.05 ~ 0.5
磷 (raw)/(g · kg ⁻¹)	< 0.2	2 ~ 55
锑 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	0.3	5 ~ 30
砷 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	10 ~ 13	4 ~ 30
铅 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	5 ~ 7	70 ~ 100
镉 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	0.05 ~ 0.35	1.5 ~ 4.5
铬 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	20 ~ 30	50 ~ 80
铜 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	5 ~ 20	300 ~ 350
锰 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	50 ~ 220	600 ~ 1 500
镍 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	11 ~ 30	30 ~ 35
硒 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	< 1	1 ~ 5
铊 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	0.2 ~ 0.3	0.2 ~ 0.5
钒 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	30 ~ 40	10 ~ 100
汞 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	0.1 ~ 0.3	0.3 ~ 2.5
锌 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	25 ~ 30	100 ~ 300
锡 (raw)/(mg · kg ⁻¹)	1	30 ~ 80
灰烬 (wf)/%	2.5 ~ 10	30 ~ 50

注: raw 指应用基;wf 指干燥基。

污水处理厂污泥的热值取决于污泥的稳定化程度及其含水率。消化污泥的干基热值约为 10 ~ 12 MJ/kg;机械脱水污泥的总固体含量约为 20% ~ 35%,污泥热值约为 1 000 ~ 3 500 kJ/kg;半干化污泥的总固体含量约为 40% ~ 85%,污泥热值约为 4 000 ~ 7 000 kJ/kg;全干化污泥总固体含量 > 85%,污泥热值约为 12 000 kJ/kg。干基污泥的灰分含量在 35% ~ 60% 之间,是煤的 3 ~ 5 倍。

以国内某污水处理厂 2017 年消化后污泥泥质检测数据为例,其部分泥质分析数据见表 2。

表 2 国内某污水处理厂 2017 年消化后污泥泥质检测数据
Tab.2 Digested sludge quality test data of a domestic sewage treatment plant in 2017

检验项目	数值
全水分/%	96.86
内水分/%	5.12
挥发分/%	44.30
固定碳/%	6.78
灰分/%	43.80
干基高位发热量/(MJ · kg ⁻¹)	12.55
硫/%	1.20
碳/%	27.70
氢/%	3.79
氮/%	4.31
氧/%	14.08

2 污泥燃煤电厂协同焚烧的泥质要求

按照《城镇污水处理厂污泥泥质》(GB 24188—2009)标准,我国城镇污水处理厂污泥泥质对部分重金属的控制指标及其限值见表 3。

表 3 我国城镇污水处理厂污泥部分重金属控制指标
Tab.3 Control indicators of heavy metals in sludge of urban sewage treatment plants in China

控制指标	限值/(mg · kg ⁻¹ DS)	相当于 80% 含水率污泥的限值/(mg · kg ⁻¹)
总镉	20	4
总汞	25	5
总铅	1 000	200
总铬	1 000	200
总砷	75	15
总铜	1 500	300
总锌	4 000	800
总镍	200	40

污泥电厂协同焚烧除考虑污染物排放限值之外,还需注意污泥的输送要求及其泥质要求,脱水污泥可泵送,半干化污泥适用于机械输送,全干化污泥适用于气动输送。表 4 列出了部分泥质要求。

表 4 污泥燃煤电厂协同焚烧部分泥质要求
Tab.4 Partial quality requirements for sludge co-incineration in coal-fired power plants

项 目	说明
稳定化要求	通过厌氧消化或好氧消化充分稳定
机械脱水要求	聚合物调理,而非添加无机盐
颗粒尺寸要求	最大尺寸 10 mm

污泥只有经过充分的厌氧或好氧稳定处理,才能保证臭气问题受控。在污泥储仓中储存未经稳定

的污泥会产生高浓度的甲烷,从而带来爆炸的可能性。

燃煤电厂的运行对协同焚烧的污泥泥质有更高要求。例如,为了限制灰分中的 CaO 含量,通常不能有或只能有少量经石灰调理的污泥进行协同焚烧。这是因为较高的 CaO 含量会降低灰分的熔点,可能导致灰分在锅炉受热面上的沉积。此外,对焚烧灰渣的危废界定也可能受到协同焚烧的不利影响。

3 污泥燃煤电厂协同焚烧的干化预处理

机械脱水污泥、半干化污泥或全干化污泥均可在燃煤电厂进行协同焚烧,作为预处理环节的污泥热干化通常不是必需的。由于污泥输送系统的形式取决于污泥的脱水程度,因此在决定实施污泥热干化前,应明确协同焚烧厂可接受的污泥含固率范围。

污泥干化可使其后续步骤(如储存、输送、处理)显著减量,特别是污泥在车辆运输过程中,污泥干化将减少道路交通量、废气排放量,并减小噪声污染。但是,污泥干化时,必须特别注意防爆问题。

污泥半干化设备主要有:圆盘式干化机、薄层干化机以及太阳能干化系统等。其中圆盘式干化机、薄层干化机是传热式干化机,即利用导热油或蒸汽将污泥中的水分蒸发掉,污泥在圆盘的外表面干化,防止污泥与传热介质混合。太阳能干化系统占地面积大,臭气难以控制,在有条件的地区方可考虑采用

太阳能干化。

对于全干化,则应尽可能优选无尘的干化工艺,可使用带式干化机、流化床干化机等。带式干化机产出的干化污泥呈块状,其流动性不好,但含有很少的细颗粒;带式干化机可以在很低的温度下运行,因此可以很好地利用余热。流化床干化机产出的干污泥呈圆形颗粒,其流动性好且耐磨,干化机排出的细粉尘比例主要取决于干化系统使用的分离技术。

污泥在燃煤电厂协同焚烧时,通常在焚烧前利用电厂余热对污泥进行干化预处理。一般而言,从生态环保和经济角度出发,应优先使用低廉的余热或可再生能源对污泥进行干化预处理。通过降低干化污泥的含水率,可提高污泥协同焚烧的处理量。如电厂可利用的余热有限而不足以对污泥进行干化预处理,则会限制污泥协同焚烧的处理量。

由于多种原因,电厂可能低负荷运行。与满负荷运行相比,电厂低负荷运行时协同焚烧处理的污泥量会显著降低。

4 污泥输送給料系统

① 不同含水率污泥的输送设备

通常,可使用脱水污泥、半干化污泥或全干化污泥与燃煤掺烧,但不同含水率的污泥需要不同类型的污泥输送设备。表5列出了不同含水率污泥采用不同输送设备的适应性情况。

表5 不同含水率污泥采用不同输送设备的适应性

Tab.5 Adaptability of sludge with different water content using different conveying equipment

输送设备	脱水污泥	半干化污泥	全干化污泥	备 注
	含固率 20% ~ 35%	含固率 35% ~ 85%	含固率 > 85%	
偏心螺杆泵	适用;如果需要可使用润滑剂	有条件适用;如添加润滑剂,含固率可高达 40%	不适用	若含固率高或输送距离较长或提升高度大时导致卸料口压力高,从而较易磨损
柱塞泵	适用	如添加润滑剂,含固率可高达 45%	不适用	采购和维护成本较高
有轴螺旋输送机	适用	适用	适用	仅用于小角度水平运输
无轴螺旋输送机	适用	适用	适用	耐异物;采购和维护费用较低;易磨损;制造要求高
双轴螺旋输送机	适用	适用	适用	特别适用于黏性大的污泥
斗链输送机	有条件适用	适用	适用	高效垂直输送
抓斗系统	适用	含固率可高达 70%	适用于细粉尘含量低的场合	高效的水平和垂直输送;可混合和储存
气动输送	不适用	不适用	适用	存在防爆要求

② 污泥输送的密闭性要求

无论采用何种输送方式,均需考虑污泥输送过程中的密闭性,应采取必要的密闭措施,以降低污泥

散发的臭气对周边环境的不利影响。

③ 污泥协同焚烧的计量和給料系统

半干化污泥及全干化污泥可以采用煤粉炉及循

环流化床进行协同焚烧。如污泥在煤粉炉中协同焚烧,可在磨煤机中添加污泥,以较好地实现污泥进料。使用柱塞泵时,污泥量可通过柱塞泵冲程量精确调节;使用螺杆泵时,污泥量可通过泵的旋转数精确调节。计量装置应整合到工艺控制系统中,以确保适当的污泥掺烧比。

通过已有的燃煤输送带将污泥添加到储存仓中是较经济的方案。然而,该方案因存在臭气散逸、健康卫生风险、甲烷危害等问题而通常受制于环保标准、劳动卫生与安全运行等要求。此外,该方案的缺点还包括料仓中的污泥与燃煤的比例不能调节。如果污泥单独输送到磨煤机,则可以随时调整污泥与燃煤的投加比例,当诸如燃煤机组启动或部分负荷运行时,可比较容易地调节污泥的掺烧比。

脱水污泥可以采用蒸汽喷枪直接注入靠近煤粉炉燃烧器的炉膛中,并利用蒸汽“雾化”污泥,从而使污泥充分焚烧。为了保证较细小的污泥入炉,喷嘴开口较小,这就使得污泥进炉系统对异物及杂质非常敏感;此外,蒸汽形式的额外水量注入燃烧室后会降低燃烧效率。

5 污泥储存及协同焚烧安全事项

在工程设计时,应考虑到半干化污泥、全干化污泥的潜在爆炸风险。全干化污泥作为燃料,与燃煤具有类似的潜在危害及风险,因此需要全面了解全干化污泥的危险特性以确保安全。应特别注意对脱水污泥或半干化污泥的储存安全性,以防其可能释放甲烷而发生爆炸。因此,需要通风系统对储存设施进行每小时几次的换气。应在储存设施的相应区域进行甲烷和硫化氢浓度的监测,一旦监测到其浓度增加,则应立即采取适当的安全措施(如增加换气次数等)。

在某些情况下,如工作人员需要进入储存料仓,则应在进入储存料仓前使用便携式气体检测仪进行气体浓度测定,以防有害气体对工作人员造成伤害。在对储存料仓进行维修之前,必须彻底清空污泥并予以彻底清洗,以防危险气体的产生。污泥干化过程如有粉尘产生,则需特别注意粉尘可能引起的爆炸。应安装温度仪和一氧化碳(CO)测定仪,以对全干化污泥料仓中潜在的闷燃进行早期预警。如其浓度超过临界值,则应充氮予以惰性化。

6 污泥燃煤电厂协同焚烧主要炉型及工艺

目前,污泥燃煤电厂协同焚烧对应的炉型主要

有煤粉炉、循环流化床炉。虽然炉型有别,但工艺流程基本相似(见图1)。在燃烧和烟气净化过程中,将生成炉渣、飞灰、烟气脱硫产物(FGD 石膏)及其他产物。

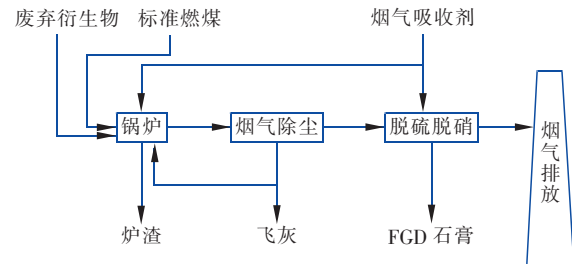


图1 污泥等废弃衍生物在燃煤电厂协同焚烧的工艺流程

Fig.1 Process for co-incineration of sludge and other waste derivatives in coal-fired power plants

7 相关烟气排放标准

污泥燃煤电厂协同焚烧涉及燃煤与污泥的焚烧,因而相关的烟气排放标准有污泥焚烧污染物控制标准及燃煤电厂污染物控制排放标准,其中国标有《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)。此外,各地还有地方标准,如上海已发布的地方标准有《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》(DB 31/768—2013)及《燃煤电厂大气污染物排放标准》(DB 31/963—2016)等。表6与表7分别列出了这些标准的适用范围及其对应的污染物标准限值。

表6 燃烧烟气相关排放标准及其适用范围

Tab.6 Combustion flue gas related emission standards and their scope of application

标 准	适用范围
GB 18485—2014	适用于全国的生活垃圾焚烧厂;生活污水垃圾处理设施产生的污泥焚烧污染控制参照本标准执行
DB 31/768—2013	适用于上海的现有生活垃圾焚烧设施;其他非危险废物焚烧设施和掺烧其他非危险废物的生活垃圾焚烧设施的大气污染物排放限值按本标准执行
GB 13223—2011	适用于全国的火电厂;不适用于各种容量的以生活垃圾、危险废物为燃料的火电厂
DB 31/963—2016	适用于上海的火电厂;单台出力 65 t/h 以上采用煤矸石、石油焦等燃料或煤掺烧其他燃料的锅炉参照本标准执行

由表6可知,《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)不适用于污泥电厂协同焚烧。

表7 燃烧烟气污染物排放标准及其限值

Tab.7 Combustion flue gas pollutants emission standards and their limit value

污染物名称	GB 18485—2014		DB 31/768—2013		GB 13223—2011	DB 31/963—2016
	日均值	小时均值	日均值	小时均值	燃煤锅炉	燃煤锅炉
烟气黑度(林格曼黑度)/级	—	—	—	—	1	1
烟尘/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	—	—	—	—	20	—
颗粒物/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	20	30	10/20(测定均值)		—	10
一氧化碳/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	80	100	50	100	—	—
氮氧化物/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	250	300	200	250	100	50
二氧化硫/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	80	100	50	100	50	35
氯化氢/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	50	60	10	50	—	—
汞及其化合物/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.05(测定均值)		0.05(测定均值)		0.03	0.03
镉、铊及其化合物/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.1(测定均值)		0.05(测定均值)		—	—
锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1.0(测定均值)		0.5(测定均值)		—	—
二噁英类/($\text{ngTEQ} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.1(测定均值)		0.1(测定均值)		—	—

由表7可知,无论是国标还是上海地方标准,燃煤锅炉仅对常规的烟气黑度、烟尘或颗粒物、氮氧化物、二氧化硫、汞及其化合物有限值要求,而对其他污染物包括氯化氢、镉、铊及其化合物,锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物,二噁英类等均无限值要求。

基于上述分析,如果污泥燃煤电厂协同焚烧,电厂简单沿用《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)而不结合污泥的污染物特性(尤其在污泥中的重金属浓度普遍高于燃煤的重金属浓度的情况)、环境容量等条件相应控制污染物浓度(如氯化氢、镉、铊及其化合物,锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物,二噁英类等),则客观上存在电厂“稀释排放”或二噁英等其他未经检测污染物的浓度超标的嫌疑。

结合国外经验(Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen—17. BimSchV)中要求的汞及其化合物的浓度限值为 $0.01 \text{ mg}/\text{m}^3$),虽然近年国内不少地区的电厂实施了所谓的超低排放,但如涉及掺烧污泥,则其中的汞浓度仍是明显高于国外标准($0.01 \text{ mg}/\text{m}^3$)。

8 污泥燃煤电厂协同焚烧技术的关注点

① 污水处理厂污泥的“污染物”特性^[1]

鉴于上述分析,有必要进一步分析污水处理厂的污泥的“污染物”特性。

目前,厂外管网硬件低质、废水与污水同网、源头废水污染物浓度超标纳网、厂网管理分离等问题客观存在,污水厂进水水质及污水处理产生的污泥

泥质存在诸多不确定性,这可从某些城镇污水处理厂水质的重金属浓度超标中得以印证。据公开资料统计,目前水中污染物已超过2000种,主要为有机化合物、金属物等,其中自来水中有765种(190种对人体有害、20种致癌、23种疑癌、18种促癌、56种致突变)。污泥作为污水处理的产物,源头上具有“污染物”的特性,为此,其从负资产转变为正资产的资源与能源客观上需要针对其不同性质的有效处理。未经有效的处理,污染物不可能摇身一变就轻易成为资源化与能源化的“燃料”。

欧盟发达国家的污泥治理都是在20世纪80年代初首先从工业污泥开始的,到了90年代才进入市政领域。而我国则正好相反,首先面临的是大量的城镇污泥。这一事实说明,我国的城镇污水处理事实上还承担了工业废水的治理任务,从而造成城镇污泥具有较明显的工业污染特征。

污泥的污染物特性至少体现出如下危害性:a. 有机物污染。污泥中有机污染物主要有苯、氯酚、多氯联苯、多氯二苯并呋喃(PCDFs)和多氯二苯并二噁英(PCDDs)等,且有机污染物不易降解、毒性残留时间长,这些有毒有害物质进入环境中将造成环境污染。b. 病原性微生物污染。污水中的病原性微生物和寄生虫卵经过处理进入污泥,污泥中的病原体对人类或动物的污染途径包括直接与污泥接触、通过空气与污泥接触、通过食物链与污泥接触、病原体污染水体、病原体先污染土壤而后污染水体等。c. 重金属污染。重金属元素主要来源于工业排放的废水(如汞、砷、镉、铬等),在污水处理过程中,大部

分重金属元素会通过吸附或沉淀转移到污泥中。d. 其他危害。污泥对环境的二次污染还包括污泥盐分的污染和氮、磷等组分的污染,污泥含盐量较高会明显提高土壤电导率,抑制植物对养分的吸收,破坏植物养分平衡,甚至对植物根系造成直接伤害;在降雨量较大地区且土质疏松土地上大量施用富含氮、磷等的污泥之后,当有机物的分解速度大于植物对氮、磷的吸收速度时,氮、磷等组分则有可能随水流进入地表水体造成水体富营养化或进入地下而污染地下水。

以某大城市为例,该城市中心城区污水处理厂针对 8 项重金属指标(分别是镍、铜、锌、铬、镉、铅、汞、砷)进行了月度监测。监测结果显示,部分污水处理厂污泥中的某些重金属指标超出了《城镇污水处理厂污泥泥质》(GB 24188—2009)标准的限值要求,如污水处理厂 1 的脱水污泥中镍、铜、镉含量超标,污水处理厂 2、3 的脱水污泥镍、镉含量超标,污水处理厂 4 的铜含量超标,污水处理厂 5 的锌、镉含量超标等。部分郊区污水处理厂由于工业废水的接入,某些重金属指标也时有超标现象,如郊区 A 的污水处理厂 1、2 中铜、锌、镍、镉、铅指标超标,其中污水处理厂 1 的镍含量约为标准值的 8 倍;郊区 B 的污水处理厂 1、2、3 的镍、铜、铬含量超标,其中污水处理厂 3 的铜、铬含量超标较严重;郊区 C 的污水处理厂的铜、锌、镍、镉超标严重,其中镍含量约为标准的 9 倍,铬含量约为标准的 12 倍。

② 协同处理须全面遵循 HSE 原则^[1]

污泥可在一定的条件下,实现与燃煤电厂的协同处理,但协同处理并非简单的协同,而是在满足相应的条件下方可实施。基于现况前述的污泥性质的复杂性,对污泥的协同处理方案,除了考虑相关产业的长期稳定性以外,仅从其对人身健康(Health)、全系统安全可靠运行(Safety)、全过程环保受控(Environment)的层面出发,理应持审慎原则。

如至今仍流行“污泥发电”“污泥代替燃煤”之类的协同焚烧处理项目,如果污泥中含有较高的重金属浓度,则为治理气态重金属或污泥焚烧可能产生的二噁英,一般采用活性炭吸附,因此富集了重金属或二噁英的飞灰将成为处置成本很高的危险废物,自然不能如非协同处理前一样仍作一般固废并加以利用。

任何一种污泥协同处理均应以健康、环保、安全

为首要原则进行设计和建设。污泥焚烧首先是污染物的一种减量、无害化,而不该简单将污泥视作“生物质”而将污泥发电渲染为一种纯经济行为,更何况所谓的“污泥发电”仅基于常识性的污泥工业分析数据已足可证明其在理论上不具普遍适用性。

又如某些工业污泥,诸如造纸污泥,进行电厂协同焚烧的技术风险更应引起注意,这从《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544—2008)中对可吸附有机卤化物 AOX、二噁英排放限值的规定中可得到一定的启发。

加上我国目前高污染能源(煤炭)仍占主要地位的特点,如简单盲目掺烧处置污泥而不充分注重污泥性质并相应采用合适的工艺技术及污染物控制,则可能产生长期且严重的环境污染风险。

③ 污泥协同焚烧运行风险

a. 对焚烧和蒸汽产量的影响

在一定情况下,锅炉结焦会有增加,这主要是由于污泥中的 CaO 成分会降低灰分熔点,并在高温区炉壁结焦。脱水污泥直接在燃煤电厂协同焚烧时,需消耗额外的蒸汽以用于污泥的干化,从而对电厂能量平衡产生影响。干化污泥进入燃煤电厂协同焚烧时,一般不需要消耗额外的蒸汽,因此通常不会对电厂的能量平衡产生影响。

b. 对烟气脱硫系统和 SCR 系统的影响

由于污泥协同焚烧增加了烟气中的硫含量,因此电厂烟气脱硫系统的脱硫能力需要加强。在大型电厂的运行过程中,污泥协同焚烧对烟气系统的 SCR 催化剂的影响程度取决于污泥的掺烧比及其运行参数。污泥中所含的磷、砷及碱金属对催化剂有一定影响。

c. 污泥散发臭气对电厂环境的影响

污泥散发的臭气中不但有常见的 H_2S 、 NH_3 等,还有许多无机或有机化合物,其在一般情况下都是挥发性强的物质。在污泥接收、储存、输送、入炉等环节,污泥散发的臭气容易对电厂及周边环境造成不良影响,同时对电厂工作人员的身心健康带来负面影响。因此,电厂掺烧污泥必须加强对污泥散发臭气的控制。

d. 烟气排放风险和残留物风险

电厂掺烧污泥的项目能否通过环评存在较大不确定性。污染物排放总量增加,需要新增排放指标;燃煤电厂的焚烧适合燃煤,而污泥是一种污染物,污

泥电厂掺烧需要满足污泥焚烧相关标准如上海《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》(DB 31/768—2013)的要求。

污泥协同焚烧的关键是不能妨碍电厂焚烧产物飞灰、炉渣及脱硫石膏的再循环利用。电厂焚烧产物必须根据危废的规定进行分类,如由于重金属或CaO(涉及灰分pH值增加)的浓度增加,其会成为对环境有害或刺激性/腐蚀性的危废。作为预防措施,DIN EN 405规定向燃煤中添加污泥的最大比例为5%,如果污泥协同焚烧超过了这个限度,则根据DIN EN 450建筑添加剂许可证将被强制撤销。根据法规,残留物必须作为废弃物处置,并根据危险废物鉴别标准系列标准定期对飞灰进行鉴别。

e. 电厂日常运行风险和运行调度风险

电厂掺烧污泥对污泥的品质及其掺烧比有较高的要求。污泥含水率、泥质及其掺烧比对电厂锅炉热效率有较大影响,污泥含水率越高,热值越低,焚烧污泥后烟气量增大,造成锅炉热效率下降。污泥的灰熔点较低,容易在锅炉炉膛结焦。同时污泥焚烧后的飞灰增加了尾部烟道的灰浓度,容易产生积灰和飞灰中的碱金属一起结焦,污泥中较高的CaO含量会进一步降低灰分熔点,从而加剧锅炉结焦问题。污泥只有经过充分稳定,才能保证臭气问题受控;储存未经稳定处理的污泥会形成高浓度的甲烷,从而对运行产生安全风险。

电厂节能调度期间,机组运行可能受到限制;受制于污泥的掺烧比要求,在电厂节能调度期间,可能不能确保污泥的全量掺烧处理要求。

9 污泥燃煤电厂协同焚烧工程实例

“水十条”发布后,全国各地污水处理的提标与扩建工程如火如荼,出水水质标准从二级标准、一级B标准、一级A标准提高到多地先后推出的准Ⅳ类标准、甚至准Ⅲ类标准。随着污水处理的提标与扩建,污水处理厂产生的不同种类的污泥量随之增加。

以上海为例,《上海市污水处理系统及污泥处理处置规划(2017—2035年)》于2018年12月获批,该规划明确“主城区及周边地区三大污水区域的污水处理厂污泥处理处置方式以独立焚烧为主、协同焚烧为辅,处理后的污泥建材利用或统筹利用。原有污泥深度脱水处理设施规划保留,污泥深度脱水后卫生填埋作为应急保障”。

2019年10月,上海上电漕泾发电有限公司2×

1 000 MW超超临界机组掺烧城镇污水处理厂污泥技改项目的环境影响报告表(以下简称报告表)获批。本项目拟建设在上海金山区上电漕泾发电有限公司,计划年最大掺烧 10×10^4 t的城镇污水处理厂污泥,机组年运行时间约230 d,掺烧比例不高于5%。项目掺烧的污泥为含水率60%的城镇污水处理厂污泥,用密闭专用车辆运输至电厂内煤场的地下应急煤斗,不存储,即到即烧。该项目环境影响报告表的审批意见明确了如下内容:

① 燃煤锅炉污泥掺烧比不应高于5%;严格落实污泥进厂要求及泥质保障措施,污泥泥质应满足《城镇污水处理厂污泥处置 单独焚烧用泥质》(GB/T 24602—2009)中的相关要求。严禁接收固废属性为危险废物的污泥进厂焚烧。

② 污泥掺烧过程中产生的燃烧废气所含的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物应达到《燃煤电厂大气污染物排放标准》(DB 31/963—2016)的要求,氯化氢,二噁英,镉、铊及其化合物,锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物应达到《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》(DB 31/768—2013)的要求。

③ 应按《上海市大气污染防治条例》提出的要求,严格控制废气的无组织排放。根据报告表要求,加强污泥卸料及运输过程掺烧的异味废气的控制,卸料区域增设植物液雾化喷淋系统,输煤皮带加装防尘除臭罩,确保厂界氨、硫化氢及臭气浓度达到《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB 31/1025—2016)限值要求。

④ 各类固体废物应分类收集,按《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》和上海市有关规定要求分别妥善处理。危险废物贮存场所设置应符合《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597—2001)及2013年修改单的要求。应做好脱硫污泥的固体废物属性鉴别工作,并加强废物在厂区内运输过程的管理措施,防止存放、装运过程中产生的二次污染。危险废物应委托有资质单位处置。

⑤ 本项目技改后烟粉尘、二氧化硫、氮氧化物的总排放量不得超出排污许可证中规定的许可排放量。此外,全国各地类似项目的实践可为后续项目的建设发挥指导作用,如南方某市政污泥掺烧处置服务项目的招标文件中,明确要求掺烧污泥的泥质须满足《城镇污水处理厂污泥泥质》(GB 24188—

2009),并同时要求污泥中的氯离子含量不大于400 mg/kg(按表1,污泥中的氯离子含量无法满足该含量要求)。

10 结语

① 污泥的燃料特性区别于燃煤,污泥中的重金属浓度普遍高于燃煤的重金属浓度。

② 污泥燃煤电厂协同焚烧,应有泥质要求,除考虑污染物限值之外,还包括通过厌氧消化处理或好氧消化处理的稳定化处理要求,以及经聚合物调理而非添加无机盐的机械脱水要求等。

③ 污泥燃煤电厂协同焚烧,须注重污泥的干化预处理系统、污泥输送给料系统技术,并注意污泥储存及协同焚烧的安全事项。

④ 污泥燃煤电厂协同焚烧,如简单沿用《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)而不结合污泥的污染物特性(尤其在污泥中的重金属浓度普遍高于燃煤的重金属浓度的情况下),则存在电厂“稀释排放”或二噁英类等其他未经检测污染物的浓度超标的嫌疑。

⑤ 污泥燃煤电厂协同焚烧,须注意污水处理厂污泥的“污染物”特性,而不可简单将污泥视作“生物质”,污泥的协同处理并非简单无条件的协同,而须全面遵循HSE原则。

⑥ 污泥燃煤电厂协同焚烧,须注重对焚烧和蒸汽产量的影响、对烟气脱硫系统及SCR系统的影响、污泥散发臭气对电厂环境的影响,以及运行中存

在的烟气排放风险、残留物风险、电厂日常运行风险与运行调度风险。

⑦ 上海上电漕泾电厂在污泥掺烧比、进泥泥质、烟气排放双控标准、恶臭排放控制标准、危废控制、污染物总量控制等方面的具体要求,为国内污泥燃煤电厂协同焚烧项目提供了有益借鉴。

⑧ 2021年4月上海市发布《燃煤耦合污泥电厂大气污染物排放标准》(DB 31/1291—2021),将加强对城镇污水污泥燃煤电厂协同焚烧大气污染物的排放控制,改善环境质量,保障公众健康,促进行业技术进步和可持续发展。

参考文献:

- [1] 胡维杰. 我国污水处理厂污泥处理处置需关注的若干内容[J]. 给水排水, 2019, 45(3): 35-41.
HU Weijie. Some contents of concern for sludge treatment and disposal of wastewater treatment plants in China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(3): 35-41 (in Chinese).

作者简介:胡维杰(1972—),男,浙江慈溪人,大学本科,教授级高工,上海市政总院三院总工程师,注册设备(给水排水)工程师,注册咨询工程师,研究方向为污水处理及污泥处理等。

E-mail: huweijie@smedi.com

收稿日期:2019-11-24

修回日期:2020-02-09

(编辑:丁彩娟)

像保护眼睛一样保护生态环境,
像对待生命一样对待生态环境