

文章编号: 1672 - 500X (2015) 01 - 0023 - 08

# 关于佛山市印染污泥现状分析及焚烧处理的研究

吴浩亮<sup>1</sup>, 杜伟志<sup>1</sup>, 陈繁忠<sup>2</sup>, 龚丽芳<sup>2</sup>, 马迎辉<sup>2</sup>

(1. 佛山市纺织丝绸学会, 广东 佛山 528000; 2. 中科院广州地化所, 广东 广州 510640)

**摘要:** 以佛山市印染废水污泥为研究对象, 研究了印染污泥的污染特性。在对印染污泥特性研究的基础上, 开展了印染污泥掺煤混烧的试验, 并对其过程的环境安全性进行了研究。印染废水污泥掺煤焚烧过程中的污染排放特性与环境影响分析研究表明: 焚烧可以在很短的时间内大大缩小污泥体积, 但是污泥焚烧的同时产生了一定数量的二次污染物, 如炉渣、飞灰、二噁英等。通过对污泥焚烧过程中重金属的含量变化研究表明, 除 Hg 外, 飞灰中的其余 7 种重金属的浓度均远远高于炉渣中的浓度。污泥焚烧飞灰及炉渣的浸出毒性实验表明, 污泥和炉渣的浸出液中大部分重金属质量浓度都很低, 远低于危废浸出毒性的限值。对印染污泥的焚烧可行性研究显示, 实验测得该印染污泥的干基高位热值为 6 320 kJ/kg, 属于较低水平。通过对现已开展的掺煤焚烧试验烟道气中二噁英类污染物的分析表明, 焚烧产生的二噁英浓度范围在 0.0125 ~ 0.022 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>, 远低于我国生活垃圾焚烧炉污染物排放限值和污泥焚烧炉污染物排放限值 (1.0 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>), 也低于欧盟标准 (0.1 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>)。

**关键词:** 印染污泥; 重金属; 掺煤焚烧; 二噁英

**中图分类号:** X791

**文献标志码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1672-500x.2015.01.007

## 引言

印染行业是佛山市重要产业, 也是佛山工业废水的主要来源。印染废水处理产生大量的剩余污泥, 含有染料、浆料、助剂等, 成分复杂, 其中染料的结构具有硝基和氨基化合物及铜、铬、锌、砷等重金属。目前佛山市印染废水处理厂的污泥处理大多只有简单的浓缩、脱水工艺, 而后外运处置。污泥经常规脱水处理后含水率在 80% 左右, 容量大、松软、土工强度差, 在堆放和运输过程中易腐败、有恶臭。印染污泥污染问题已经成为佛山市的一个重要工业污染问题。

印染污泥, 是纺织印染企业印染废水处理产生的污染物, 其数量约占处理水的 0.05% ~ 0.15% (以含水率 80% 污泥计)<sup>[1]</sup>。污泥中含有有机污泥和无机污泥。采用生物法处理工艺的污泥为有机污泥, 主要是剩余生物污泥, 此外还有油泥及固体有机物沉淀污泥等。印染污泥由于含有染料、浆料、助剂等, 成分复杂, 具有一定有害性。目前印染污泥大部分仍采用“浓缩 + 带式压滤机脱水 + 外运填埋”的模式处置。

2005 年以前, 印染污泥被纳入到国家 2005 年版危废目录; 2008 年后, 根据国家 2008 年版危废目录, 印染污泥已经榜上无名, 不再属于危险废物。在我省, 2008 年后印染污泥被省环

收稿日期: 2014 - 11 - 13

作者简介: 吴浩亮 (1946-), 男, 江苏无锡人, 高级工程师, 长期从事纺织服装行业技术开发和研究工作。

保部门定为“严控废物”；按照各地环保部门的要求，印染污泥“必须交给有资质的单位处理”。

据了解，到 2011 年，全省“有资质的处理单位”的处理能力大约只有 6~7 万 t/a，远远不能满足印染污泥的处理需求；事实上，据我们掌握的数据，仅佛山市每年的印染污泥量就达到 20 万 t，更遑论全省的印染污泥量了；如果加上城市生活污水处理产生的生活污水、其他行业产生的污水污泥，全社会污泥产生量十分惊人。事实上，印染污泥长期以来处于无序处置的状态，成为行业乃至全社会的环境问题。近年，媒体已经多次报导过乱倒污泥的环境事故。

探索印染污泥的出路问题，迫切的摆在我们业界的面前。

## 1 佛山印染污泥的现状

印染行业是佛山纺织产业的重要行业，全市纺织印染企业有近 300 家，其中大、中型企业约 70 家。印染废水含大量染料、浆料、表面活性剂和碱剂等组分，色度大、有机物浓度高、碱性强、水质水量变化大，是较难处理的工业废水之一<sup>[2]</sup>。目前对印染废水的处理大多采用物化法与生物法结合。印染废水处理产生大量的剩余污泥，其数量约占处理水的 0.1%~0.3%（以含水率 80%污泥计）<sup>[3]</sup>。印染污泥主要是有机污泥，其特性是易腐化，颗粒细小，呈絮凝体状态，相对密度小，含水率高，不易脱水。印染污泥由于含有染料、浆料、助剂等，成分复杂，其中染料的结构具有硝基和氨基化合物及铜、铬、锌、砷等重金属元素，具有一定毒性。

经过多年的调整转移，目前佛山市内的纺织印染企业主要分布在南海区西樵，顺德区杏坛、容桂、勒流、均安，高明区荷城，三水区大塘工业园等地。这些地方也就是印染污泥主要产生地。

## 2 印染污泥特性与讨论

### 2.1 污泥来源

印染污泥样板从佛山市 5 家印染厂废水站

及 1 家印染工业园区污水集中处理厂采集，均为已经普通带式压滤机或板框压滤机脱水的污泥。分别是泰源印染、溢达纺织、金纺集团、同盈环保、佳利达印染、鑫龙污水集中处理工程（以下简称 TY1、YD、JF、TY2、JLD、XL）。取样时，在污泥脱水传送带出口下方，以梅花形布点的方法取 4 个样，混合后作为一个污泥样品，按四分法保留约 1.5 kg，在 4℃下冷藏，备用。

### 2.2 实验方法

印染污泥理化性质的分析，包括含水率、pH 值、有机质和重金属含量。取 10.0 g 过 1 mm 筛孔的风干土，加无 CO<sub>2</sub> 蒸馏水 50 mL，采用 pH 计（pHS-3B）测定 pH 值。含水率的测定采用电热鼓风干燥箱，在 105℃下干燥 24 h。用马弗炉（SX-12-10）测定污泥有机质含量，在 600℃下灼烧 2 h，冷却至恒重。重金属含量的测定采用的是 MDS-8 型多通道密闭微波仪进行微波消解，并用 Iris Advantage 1000 感应耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）测定。

重金属浸出毒性按照《固体废物浸出毒性浸出方法：水平振荡法》（HJ557-2009）进行，取过 5 mm 筛网的自然风干的土样 25.0 g，置于具盖广口聚乙烯瓶中，固液比 1:20 加入浸提剂（将 5.7 mL 冰醋酸加入到 500 mL 蒸馏水中，再加入 64.3 mL 1 mol/L 的氢氧化钠溶液，用蒸馏水定容至 1 L 制得，pH 值为 2.88±0.05）。将瓶子垂直固定在振荡器上，调节振动频率为（110±10）次/min，振幅 40 mm，在室温下振荡 8 h，静置 16 h，用中速定量滤纸过滤，收集全部滤液为浸出液，然后测定浸出液中各重金属含量。

污泥掺煤焚烧烟道气的采样、分析方法采用美国 EPA1613B 方法。烟道气样品颗粒相和气相分别用玻璃纤维滤筒和聚氨酯泡沫收集后冷藏于-10℃待分析。检测项目包括 17 个 2, 3, 7, 8-PCDD/Fs。二噁英检测由有机地球化学国家重点实验室二噁英实验室完成，使用仪器型号为 HRGC/HRMS（2002747612854）。

### 2.3 污泥的基本特征分析

6 家印染废水污泥的基本性质如表 1 所示。

表 1 印染污泥的基本性质

污泥	含水率/%	有机质/%	pH 值	外观
TY1	78.8	52.0	4.03	黑色
XL	84.4	57.1	4.63	黑色
YD	86.1	36.8	7.30	黄褐色, 内黑色
TY2	83.2	38.6	7.17	棕黄色, 内黑色
JF	79.2	41.7	7.34	棕黄色, 内黑色
JLD	67.0	35.5	7.16	黑色
均值	79.8	43.6	6.27	

本试验所取污泥均为刚压滤出的新鲜脱水污泥, 其中 TY1、XL、JLD 的污泥外表呈黑色, YD、TY2 和 JF 的污泥外表呈黄褐色或棕黄色, 内部呈黑色。污泥颜色的差异与投加的混凝剂有很大关系。TY1、XL、JLD 三厂混凝剂主要是无机药剂, 如硫酸亚铁、氯化铁、石灰等, 可

能导致污泥外表呈黄褐色或棕黄色; 而 YD、TY2 和 JF 三厂以有机混凝剂为主 (PMA 等)。

从表 1 可以看出, 6 个厂的污泥含水率均较高, 平均含水率为 79.8%, 与污泥普通脱水工艺所得到的含水率范围基本一致。其中 YD 样品含水率最大, 高达 86.1%。含水率最低的是 JLD, 为 67.0%, 该厂采用的是板框压滤机脱水设备。这类污泥无法满足填埋对含水率低于 60% 的要求<sup>[2]</sup>。印染污泥的有机质含量范围 35.5%~57.1%, 污泥的 pH 值差异较明显, 其中 TY1、XL 的 pH 值明显低于其他 4 个印染厂。污泥有机质含量与 pH 值的差别, 与各印染厂具体工艺、以及投加的混凝剂有关。

#### 2.4 污泥的重金属含量

6 家印染废水污泥的重金属含量如表 2 所示。

表 2 印染污泥的重金属含量

污泥	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
TY1	2453.02	1881.26	1878.05	240.33	14.18	0.9567	38.76	未检出
XL	284.44	305.34	176.13	515.66	15.88	1.041	44.95	未检出
TY2	291.52	119.56	233.24	9018.63	21.97	0.6	22.21	未检出
YD	199.63	154.63	278.12	11181.76	7.703	0.152	13.42	未检出
JF	130.4	60.54	127.80	5484.54	50.45	1.713	84.12	未检出
JLD	57.52	34.34	137.37	548.91	17.32	1.168	22.38	未检出
均值	569.42	425.95	471.79	4498.31	21.25	0.939	37.64	
酸性土限值	600	100	250	500	75	5	300	5
碱性土限值 (GB4284-84)	1 000	200	500	1 000	75	20	1 000	15

从表 2 可以看到, 污泥中 Cr 的含量为 57.52~2 453.02 mg/kg 污泥, Ni 的含量为 34.34~1 881.26 mg/kg 污泥, Cu 的含量为 127.8~1 878.05 mg/kg 污泥, Zn 的含量为 240.33~11 181.76 mg/kg 污泥, As 的含量为 7.703~50.45 mg/kg 污泥, Cd 的含量为 0.152~1.713 mg/kg 污泥, Pb 的含量为 13.42~84.12 mg/kg 污泥, 对照农用污泥污染物限值 (GB4284-84) 和城镇污水处理污泥处置混合填埋用泥质污染物限值 (GB/T23485-2009), Cr、Ni、Cu、Zn 存在不同程度超标, 说明印染污泥不能作为农用, 也不能混合填埋。超标最严重的是锌, 除 TY1 外, 其他五个厂的污泥的重金属锌含量均超标, 其均值超过污泥农用酸性土

限值的 9 倍, 其中 YD 污泥中重金属锌的含量高达 11 181.76 mg/kg 污泥。锌超标与目前污水管道普遍采用镀锌管道可能有很大关系。

不同印染厂污泥中重金属含量差异较大。印染污泥中重金属主要来自于生产工艺和污水处理工艺, 例如加工过程中所使用的各种浆料、染料、表面活性剂、助剂等<sup>[4]</sup>。其中染料结构中含有硝基和胺基化合物及铜、铬、锌、砷等重金属。不同纤维原料需用不同的染料、助剂和染色方法。在印染生产过程中, 特别在印花工序中, 印花花筒的镀铬和剥铬, 就会把重金属铬带入废水中。从 6 个厂的污泥的重金属含量来看, 其中 JLD 污泥的重金属含量相对较低, 其中只有重金属锌的含量超过污泥农用的酸性

标准, 浓度为 548.91 mg/kg 污泥。该厂废水处理站生化段是与生活污水合并处理的, 重金属含量低可能与废水站生活污水占比大有关。

### 2.5 污泥的浸出毒性研究

重金属浸出浓度是危险废弃物的一个重要评判标准。本文对印染污泥进行了浸出实验。把印染污泥自然风干, 碾碎后过筛, 根据《固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法》进行浸出毒性实验。实验结果见表 3。

对比表 2 和表 3, 可以看出, 尽管 6 个印染厂的污泥的重金属含量都很高, 但是浸出液中大部分重金属浓度都很低, 远低于危废浸出毒性的限值, 其中 Hg 未检出。只有 TY 污泥浸出液中重金属 Ni 超标, 质量浓度为 27.35 mg/L。

通过表 3 中污泥浸出液的 pH 值, 与表 1 中各个印染厂污泥的 pH 值相比较, 发现污泥的 pH 值的大小与浸出液 pH 值的大小没有直接的关系, 这与前人研究结果一致。有研究表明污泥中重金属的浸出率与污泥中具体的组成有关, 尤其是与其中重金属化学形态相关。

图 1 为 6 个企业印染污泥重金属浸出率示意图。由图 1 可以看出, 污泥中的几种重金属浸出率都比较低, 大部分在 1% 以下。其中浸出率最大的三种元素为 Zn、Ni、Cd, 浸出率分别为 6%、4.87%、0.85% 左右。重金属浸出率大小的排序为 Zn > Ni > Cd > Cr > As > Pb > Cu > Hg。印染污泥中重金属的浸出机理有待进一步研究。

表 3 印染污泥的重金属浸出质量浓度

污泥来源	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb	Be	pH 值
JF	0.0046	0.0881	0.006	4.3190	0.0064	0.000088		0.00488	0.000092	5.63
TY1	0.0024	0.1056	0.002	0.2372	0.0052	0.00016		0.00368	0.00007	7.11
JLD	0.0038	0.0048	0.003	0.0332	0.0023	0.00012		0.00015	0.000025	7.73
XL	0.2315	1.9480	0.003	5.8180	0.0222	0.00106		0.00008	0.0015	4.81
YD	0.0211	0.8972	0.02	36.9	0.00027	0.000154		0.00462	0.000062	5.43
TY2	4.96	27.35	0.03	4.9490	0.0037	0.0025		0.00597	0.000895	4.6
浸出毒性限值 (GB5085.3-1996)	10	10	50	50	1.5	0.3	0.05	3	0.1	

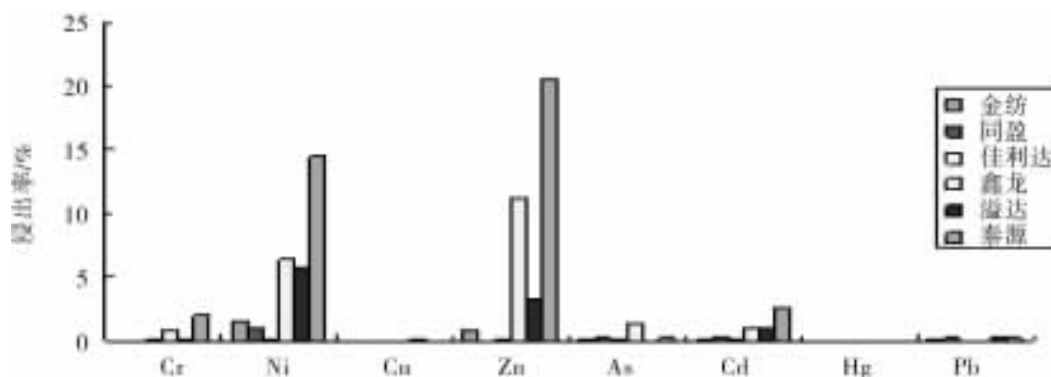


图 1 印染污泥重金属浸出率示意图

## 3 印染污泥掺煤焚烧过程的污染排放特性与环境影响分析

目前关于印染污泥焚烧的污染物排放特征, 尤其是广受公众关注的烟气、飞灰中二噁英类、重金属类污染排放水平、环境安全性, 以及相

应的污染控制技术规范等方面的研究资料很少, 给政府环境管理带来困难, 也无法消除公众疑虑, 限制了推广应用, 一定程度加剧了污泥处置难问题。

本次研究, 开展了金纺集团和泰源印染厂两企业印染污泥掺煤作为锅炉燃烧的试验。重点以佛山金纺集团污泥处置问题为例, 针对印

染污泥与煤混烧工程面临的突出环境安全性问题，研究印染污泥混烧过程中重金属和二噁英二类重点污染物的污染排放特征。

### 3.1 印染污泥掺煤混烧运行工况

金纺集团公司配套建有4台35 t/h的燃煤锅炉，日用煤350 t左右，每天产污泥约20~25 t。该厂浓缩池污泥经过厢式压泥机干化后，污泥含水率可降至65%。经输送带送至煤场与煤混合后，再经输送带进入锅炉燃烧。该厂每天用煤量约300~360 t，每天产污泥约15~23 t（含水率为65%），掺入比例为8%~10%。

锅炉型号为UG-35/3.82-M链条炉，共4台，每台额定蒸发量为35 t/h，额定蒸汽压力为3.82 MPa，过热蒸汽温度为450℃，烟气出口温度：炉膛1 028.3℃、凝渣管974.2℃、高温段过热器842.3℃，排烟温度166℃。炉排为连续运行燃煤分段干燥和燃烧，炉膛出口烟气温度为1 028℃，至高温段过热器均保持在840

℃以上，烟气在炉膛中停留时间大于5 s。

金纺集团开展的小型混烧试验已经证明，掺烧率10%以内不会影响锅炉燃烧稳定性。由于印染污泥中有机物含量高、组成复杂，相比城市污泥，重金属含量也普遍偏高，因此实施印染污泥混烧工程，特别需要关注环境风险。

### 3.2 印染污泥焚烧特性分析

污泥的燃烧过程是由外到内脱水、脱挥发分同时进行的过程，水分和挥发分的析出不但控制了污泥的燃烧过程，还决定了燃烬灰渣的特性。污泥的成分分析，工业分析是评价污泥焚烧可行性的一个重要参考指标。其中，固定碳的含量决定了物料完全燃烧的温度以及灰分的含量，是燃烧过程值得关注的的一个重要参数<sup>[5]</sup>。本实验采用元素分析法及量热仪法测定污泥热值，具体印染污泥工业分析结果及工业分析法热值计算结果见表4。

表4 污泥元素组成与工业分析

C/%	O/%	N/%	H/%	S/%	Cl/%	挥发分/%	灰分/%	固定碳	干基高位热值/(kJ·kg <sup>-1</sup> )
14.5	12.44	0.64	2.82	1.58	0.28	33.12	57.18	0	6 320

从表4可以看出，该印染污泥的固定碳含量极低，可以认为该厂污泥的固定碳含量对燃烧过程以及灰分的影响可以忽略不计。上述结果为干污泥热值，而实际污泥含有一定的水分，这些水分在污泥焚烧过程中将转变为蒸汽，并以气化潜热的形式带走部分能量，也就是说部分热量无法利用。有研究显示日本、意大利、德国、美国等发达国家的城市污泥干基热值较高，其范围在15 127~19 019 kJ/kg，而我国的城市污泥干基热值水平较低，范围在5 844~19 303 kJ/kg，均值为11 850 kJ/kg。本次实验测得印染污泥的干基高位热值为6 320 kJ/kg，属较低水平。

污泥中提供燃烧热的主要是有机物质，碳是有机物中主要的可燃元素之一，完全燃烧时生成CO<sub>2</sub>，此时每千克纯碳可放出32 866 kJ热量。污泥中的碳主要是存在于其有机污染物之中。氢是有机物中单位质量提供燃烧热最多的物质，每千克氢燃烧后的高位发热量达141 790 kJ/kg。从样品元素分析可知，该印染污泥碳和

氢的含量并不高，分别为14.5%和2.82%。在污泥焚烧过程中，碳和氢提供了主要的燃烧热，这两种元素的含量越高，也就说明污泥的热值越高。有研究表明，污泥在脱水过程中加入聚丙烯酰胺的话，会增加C、H、O这几种元素的含量。因此有机絮凝剂的添加可能导致单位质量的脱水污泥的燃烧热值有所增加。该印染厂使用的是硫酸亚铁等无机絮凝剂，所以可能导致污泥的燃烧热值较低。

污泥中的可燃硫主要是单质硫和有机硫，含量都较低，本次测得污泥中总S含量为1.58%。它的燃烧产物为SO<sub>x</sub>，与水结合生成稀硫酸会生成热，对物质燃烧热的测定存在一定的影响。氧和氮都不是可燃成分，当有机物燃烧时，其中的氧与碳或氢结合成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O析出，从而减少了碳和氢的热量。所以，当物质中氧含量越高时，被它夺走的碳和氢的热量也越多，物质的燃烧热也就越低。氮元素在高温下形成氮氧化物NO<sub>x</sub>，与水结合生成稀硝酸会产生生成热，因此氧、氮元素的存在会使燃料发热量

有所下降。

挥发分中含有的物质绝大多数是由 C、H、O、N、S 这 5 种元素构成，这 5 种元素又是影响污水和污泥燃烧的几种主要元素，所以挥发分可以从一定程度上反映样品的热值。而外灰分的含量则可以表征污泥焚烧后的炉渣的产生量。

### 3.3 印染污泥掺煤焚烧过程中重金属排放特性分析

污泥中的重金属的种类和浓度取决于不同的来源。污泥中的重金属主要以氧化物、氢氧

化物、硅酸盐、碳酸盐、磷酸盐或有机络合物的形式存在。印染污泥中的重金属主要有：Cu、Ni、Cd、Cr、As、Pb、Zn、Hg 等。其中 80% 以上的 Cu、Pb 和 60% 以上的 Cd、Cr 是以有机态和硫化物的形式存在。污泥焚烧过程中，重金属发生了复杂的反应，最终以何种形态出现，还取决于其化合物的热力学稳定性等<sup>[4]</sup>。限于条件，本次实验只对重金属的主要输入与输出进行测定，借其大概反映污泥焚烧过程中重金属含量变化的规律。实验分析结果如表 5 所示。

表 5 重金属元素分析结果

样品	mg/kg 污泥							
	铜(Cu)	镍(Ni)	铬(Cr)	镉(Cd)	锌(Zn)	砷(As)	铅(Pb)	汞(Hg)
污泥	127.8	60.54	130.4	1.713	5 484.54	50.45	84.12	未检出
燃煤	22	10	18	未检出	220	102	16	5
飞灰	177	66	81	4	3 460	253	364	2
炉渣	63	51	64	未检出	157	82	18	3
GB4284-1984 农用污泥中污染物控制标准(酸性土壤)	250	100	600	5	500	75	300	5
CJ/T309-2009 城镇污水处理厂污泥处置农用泥质(B级污泥)	1 500	200	1 000	15	3 000	75	1 000	15

从表 5 可以看出，该印染污泥所含的重金属浓度较高，尤其是 Zn 的浓度超过污泥农用酸性土限值的 9 倍，也超出 CJ/T309-2009 城镇污水处理厂污泥处置农用泥质(B级污泥)。印染污泥掺煤焚烧工艺，燃煤的掺入也是重金属的源头之一。污泥焚烧形成炉渣和飞灰两部分，污泥中重金属在炉渣和飞灰中的分配和形态受焚烧温度、停留时间、含水率以及添加剂的加入等因素的影响很大。通过实验数据可知，污泥焚烧后重金属主要富集与飞灰中。除 Hg 外，飞灰中的其余 7 种重金属的浓度均远远高于炉渣中的浓度。其中，重金属 Zn 和 As 的浓度更是超过了标准 CJ/T309-2009 的浓度限值。Pb 的浓度也超过了标准 GB4284-1984 浓度限值。

炉渣中的重金属浓度较低，其中只有重金属 As 的浓度超过了标准 GB4284-1984 的浓度限值。由此可见，污泥焚烧后产生的飞灰与炉渣所含的重金属浓度较高，必须进行有效的处理与处置。

### 3.4 印染污泥掺煤焚烧过程二噁英排放特性研究

泰源印染厂和金纺集团开展了印染污泥掺煤作为锅炉燃料的试验。本文对焚烧产生的烟道气污染进行了初步研究。泰源印染厂焚烧试验以印染污泥为主燃料，掺煤比例为 1 t 左右脱水污泥(含水率 80%左右)掺 100 t 煤；金纺集团泥饼最终含水率可降低至 65%左右，焚烧试验以煤为主燃料，掺混比例为 100 t 煤中掺入 10 t 脱水污泥。二家印染厂掺煤焚烧烟道气中二噁英类污染物检测结果如表 6 所示。

表 6 烟道气中二噁英类毒性污染物检测结果

样品来源	样品类型	采样地点	检测度/ (ng·Nm <sup>-3</sup> )	WHO-TEQ/ (ng·Nm <sup>-3</sup> )	1-TEQ/ (ng·Nm <sup>-3</sup> )	国家标准 (ngTEQ·Nm <sup>-3</sup> )	欧盟标准 (ngTEQ·Nm <sup>-3</sup> )
金纺	烟道气	焚烧炉烟气	0.2	0.0113	0.0125	1.0	0.1
泰源		排放口	0.051	0.026	0.022	1.0	0.1

氯是生成二噁英的主要元素，本实验测得该印染污泥中氯元素含量 0.279%。有研究发现参与形成二噁英的氯主要是以氯气或者是氯化

氢形式存在的，和金属化合的氯离子在发生 Deacon 反应后，以游离的氯释放到焚烧环境中，构成二噁英反应的重要因素。目前我国关于污

泥焚烧产生二噁英浓度的基础数据较少。有资料表明, Copenhagen 市政污泥处理系统采用西格斯流化床焚烧系统可以焚烧 6 MJ/kg 以下的低热值污泥, 实际运行中二噁英和呋喃的浓度  $< 0.1 \text{ ngTEQ/Nm}^3$ <sup>[6]</sup>。对我国已投产的生活垃圾焚烧厂二噁英的排放监测结果表明, 引进先进设备的大多生活垃圾焚烧厂, 二噁英的排放浓度大多可达到  $\leq 0.1 \text{ ngTEQ/Nm}^3$  的国际标准 (我国现行标准为  $1.0 \text{ ngTEQ/Nm}^3$ ), 如广州李坑焚

烧厂二噁英的排放浓度为  $0.031 \text{ ngTEQ/Nm}^3$ <sup>[7]</sup>。

本检测分析表明, 污泥掺煤焚烧工艺, 二噁英的排放浓度也是比较低的, 可以达到我国现行的垃圾焚烧烟道气标准和欧盟标准。

### 3.5 掺煤飞灰、炉渣的重金属浸出毒性研究

重金属浸出浓度是危险废弃物的一个重要评判标准。对印染污泥、飞灰以及炉渣进行了浸出实验。根据《固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法》进行浸出毒性实验测定。实验结果见表 7。

表 7 重金属浸出质量浓度

	mg/L							
样品	铜(Cu)	镍(Ni)	铬(Cr)	镉(Cd)	锌(Zn)	砷(As)	铅(Pb)	汞(Hg)
污泥	0.006	0.0881	0.0046	0.0001	4.319	0.0064	0.0049	未检出
飞灰	0.4425	0.47	0.0065	0.0235	73.18	0.1275	1.389	未检出
炉渣	0.0335	0.0305	0.0075	未检出	0.5555	0.0505	未检出	未检出
浸出毒性限值 (GB5085.3-1996)	50	10	10	0.3	50	1.5	3	0.05

对比表 6 和表 7, 可以看出, 尽管污泥和炉渣的重金属含量都很高, 但是浸出液中大部分重金属浓度都很低, 远低于危废浸出毒性的限值, 其中 Hg 未检出。飞灰的浸出液所含的重金属浓度较高, 其中重金属 Zn 的浸出质量浓度高达  $73.18 \text{ mg/L}$ , 超出标准 GB5085.3-1996, 属于危险废物。由此可知, 印染污泥焚烧后产生的飞灰具有较大的环境污染性, 必须按照危险废物的处置标准进行处理与处置。

## 4 结论与建议

(1) 本文以佛山市印染废水污泥为研究对象, 通过调研, 摸清了佛山市印染废水污泥的产生量, 通过典型污泥样品的采样分析, 掌握了印染污泥的组成特性, 包括含水率、有机质含量、重金属污染物含量情况, 参照国家相应的污泥处置标准 (农用、填埋、焚烧) 对其污染水平进行了评价; 对佛山顺德金纺集团现有的印染污泥干化掺煤焚烧处置设施的环境安全性进行了评价, 采样分析了焚烧烟道气中的二噁英污染水平, 并对印染污泥掺煤焚烧过程中重金属的含量变化以及焚烧飞灰和炉渣的重金属浸出毒性进行了研究。本次研究还对印染废水污泥的固化处理方法进行了研究, 采用石灰、粉煤灰、污泥焚烧灰等材料, 以达到直接填埋

或用作一般回填土的要求为技术目标, 研究筛选固化材料配方、优化固化剂添加量及固化工艺参数, 考察评价了固化污泥的土力学特性 (抗压强度、抗剪强度), 以及固化污泥的环境安全性 (重金属浸出毒性); 本文对此未作分析和论述。

(2) 对佛山 6 家印染厂污泥的污染特性研究表明: 印染厂污泥外观大多呈黑色或棕黄色, 其含水率和有机质含量均较高。对比 GB4284-84 和 GB/T23485-2009, 印染污泥中重金属 Cr、Ni、Cu、Zn 含量均存在不同程度的超标。污泥浸出毒性试验表明, 浸出率最大的三种元素为 Zn、Ni、Cd, 浸出液中重金属质量浓度除极个别情况外, 大部分重金属质量浓度都很低, 远远低于 GB5085.3-1996。尽管如此, 试验研究表明, 印染污泥是不能不经处理直接填埋的。

(3) 印染废水污泥掺煤焚烧过程中的污染排放特性与环境影响分析表明: 焚烧可以在很短的时间内大大缩小污泥体积, 但是污泥焚烧的同时产生了一定数量的二次污染物, 如炉渣、飞灰、二噁英等。通过对污泥焚烧过程中重金属的含量变化研究, 表明除 Hg 外, 飞灰中的其余 7 种重金属的浓度均远远高于炉渣中的浓度。其中, 重金属 Zn 和 As 的浓度更是超过了标准 CJ/T309-2009 的浓度限值。污泥焚烧飞灰以及

炉渣的浸出毒性实验表明, 污泥和炉渣的浸出液中大部分重金属质量浓度都很低, 远低于危废浸出毒性的限值, 其中 Hg 未检出。飞灰的浸出液中的重金属质量浓度较高, 其中重金属 Zn 的浸出质量浓度高达 73.18 mg/L, 超出标准 GB5085.3-1996, 属于危险废物。对印染污泥的焚烧可行性研究显示, 实验测得该印染污泥的干基高位热值为 6 320 kJ/kg, 属于较低水平。通过对现已开展的掺煤焚烧试验烟道气中二噁英类污染物的分析表明, 焚烧产生的二噁英浓度范围在 0.0125 ~ 0.022 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>, 远低于 GB18485-2001 和 GB/T24602-2009。试验表明, 印染污泥焚烧可以在很短时间内大大缩小污泥体积, 实现了印染污泥大幅度减量化的处理。

(4) 存在的问题。本文对佛山印染污泥特性进行了分析评价, 对现有污泥掺煤焚烧实验处置设施的环境安全性进行了评价。研究结果已为有关厂家开展污泥处置设施技术改造提供了依据。由于污泥焚烧是个十分复杂的过程, 与水分、焚烧温度、添加剂等多种因素有关, 还需要更进一步深入研究, 弄清楚污染物产生的机理, 研究切实可行的焚烧工艺, 从整体上对污泥焚烧二次污染控制过程进行优化研究, 努力降低投资和运行成本, 减少污泥焚烧带来的环境风险。

(5) 污泥治理对相关环保产业的推动作用。污泥, 包括印染污泥、城市生活污水污泥以及其他行业污泥, 是当前一种数量巨大的环境固体废物; 加强对污泥的治理, 既是社会环境对我们的迫切要求, 也是我们发展相关环保产业的机会。污泥处理环保产业的市场商机无限。以印染污泥为例, 它从产生到末端治理再到最终处置, 经历了印染生产、印染污水处理、印染污泥焚烧减量化处理、污泥剩余物处置等漫长的

过程。推动污泥的全周期、全方位治理, 对推动相关环保产业发展具有积极意义。在印染生产阶段, 创新印染生产工艺与设备, 采用新型环保染料、助剂, 从源头上减少印染污水量、污染物总量, 从而减少印染污泥产生量并减少末端处理负荷。由此, 将为针对污泥减污、减量的环保印染设备产业、环保染料助剂产业提供发展空间; 在印染污水处理阶段, 高效少泥的处理目标, 将推动先进新型处理工艺、处理助剂、处理设备等污水处理工程产业发展; 在印染污泥减量化处理 (例如污泥焚烧处理) 阶段, 将推动相关的锅炉燃烧系统改造、污泥输送混合装备、污泥高效脱水装备、废热利用污泥干化装备、灵敏传感器系统、计算机控制系统、烟气监测网络系统等工程产业的创新发展; 在污泥剩余物最终处理阶段, 将推动相关的固化材料产业创新发展。总之, 由污泥处理所引出的相关产业, 将由于巨大的社会污泥量而获得发展商机。

#### 参考文献

- [1] 龚丽芳, 陈繁忠, 马迎辉, 等. 印染污泥的污染特性及其焚烧处置的环境影响初步研究 [J]. 环境工程, 2013 (3): 106-109.
- [2] 梁佳, 曹明明. 印染废水特点及处理技术 [J]. 地下水, 2011, 33 (2): 67-69.
- [3] 陈勇. 印染污泥处理技术分析 [J]. 染整技术, 2009, 31 (8): 26-28.
- [4] 陈涛, 孙水裕, 刘敬勇, 陈敏婷. 城市污水污泥焚烧二次污染物控制研究进展 [J]. 化工进展, 2012, 29 (1): 157-162.
- [5] 刘亮, 张翠珍. 污泥燃烧热解特性与焚烧技术 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2006: 83-93.
- [6] 王涛. 污泥焚烧技术现状、存在问题与发展趋势 [J]. 西南给排水, 2007, 29 (1): 7-11.
- [7] 陈泽峰, 汪建国. 垃圾焚烧厂二噁英达标排放探讨 [J]. 中国环保产业, 2010 (7): 39-41.

(下转第 34 页)



## ANALYSIS ON STANDARD QUALITY AND CHOOSE AND MAINTENANCE OF DOWN DUVET

ZHAI Qing, GU Wei, ZHU Guo-qing

(Suzhou Institute of Inspection on Fiber, Suzhou 215158, China)

**Abstract:** Function and advantages of down duvet was introduced, according to the implementation new standards of down feather, in the supervision and spot check of the common quality problems of down duvet was introduced in recently years. And based on the characteristics of down duvet to consumers about how to choose and how to maintain the down duvet was introduced.

**Keywords:** down duvet, standard quality, identify and maintenance

.....  
(上接第 30 页)

## ANALYSIS ON PRINTING AND DYEING SLUDGE PRESENT SITUATION IN FOSHAN AND RESEARCH ON INCINERATION

WU Hao-liang<sup>1</sup>, DU Wei-zhi<sup>1</sup>, CHEN Fan-zhong<sup>2</sup>, GONG Li-fang<sup>2</sup>, MA Ying-hui<sup>2</sup>

(1.Foshan Institute of Silk Textile, Foshan 528000, China; 2.Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:**Printing and dyeing wastewater sludge in foshan as the research object, studied the characteristics of printing and dyeing sludge pollution. On the basis of the research on characteristics of printing and dyeing sludge, carried out the printing and dyeing sludge mixed coal & coal mixing experiment, and the environmental safety of process were studied. The results of research on characteristic of printing and dyeing wastewater sludge mixed coal burning pollution emission and environmental impact show that burning can greatly reduce the sludge volume in a very short period of time, but also produced a certain number of sludge incineration of secondary pollutants, such as slag, fly ash, dioxin and so on. By studying the variation in content of heavy metals in the sludge incineration process, it shows that except the Hg, the concentration of the remaining 7 kinds of heavy metals in fly ash are far higher than the concentration of slag. Sludge incineration fly ash and slag leaching toxicity experiment showed that most of the heavy metals in the sludge and slag leaching liquid concentration is very low, far below the limit value of waste leaching toxicity. Feasibility study of printing and dyeing sludge incineration, according to the experiment measured the printing and dyeing sludge dry basis of high calorific value of 6 320 KJ/Kg, belongs to the lower levels. By in the mixed coal burning test of dioxin-like pollutants in flue gas analysis show that the burning of dioxins concentration range at 0. 0125 ~ 0. 022 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>, which is far below pollutants limits of domestic refuse incinerator (1. 0 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>) and the pollutant limits of sludge incinerator (0. 1 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>).

**Keywords:** printing and dyeing sludge, heavy metals; coal blending incineration, dioxin