

某种固体废弃物喷水效果的研究分析

彭黄梅

重庆三峰卡万塔环境产业有限公司 重庆 400084

【摘要】：固体废弃物燃烧一般分为干燥、燃烧、燃烬三个阶段，燃烧阶段分为挥发分燃烧和固定碳燃烧。挥发分燃烧一般发生在物料前端，固定碳燃烧发生在物料末端。燃烧过程产生大量化学热，使得燃烧室中温度升高。在燃烧室内喷入常温水，能降低燃烧室内温度，减少燃烧室内结焦等问题。本文根据相关数据及计算分析固体废弃物在燃烧过程中喷水后造成的影响，探索对炉膛燃烧的影响效果。

【关键词】：固体废弃物；燃烧；喷水；炉膛温度

固体废弃物燃烧一般分为干燥、燃烧、燃烬三个阶段，燃烧阶段分为挥发分燃烧和固定碳燃烧。挥发分燃烧一般发生在物料前端，固定碳燃烧发生在物料末端。燃烧过程产生大量化学热，使得燃烧室中温度升高。

固体废弃物的燃烧型式一般有固定床燃烧、循环硫化床燃烧、回转窑炉燃烧等。其中，运用较多的为固定床燃烧型式。固定床燃烧即固体废弃物在一个固定的燃烧面完成干燥、燃烧、燃烬过程。

1 固体废弃物的常用处理方式

固体废弃物的常用处理方式一般为卫生填埋、生物处理、焚烧处理，这是固体废弃物处理的三大基本技术。

卫生填埋指将固体废弃物运到填埋场指定的填埋区倾倒，然后推平、压实、消毒、覆土碾压，填埋场底部采用复合防渗结构防止渗滤液进入土壤造成污染，渗滤液通过导流管道收集进行集中处理。

生物处理指在一定的外部条件之下，通过自然界广泛存在的细菌、真菌等微生物，把固体废弃物中的可降解的有机物转化成稳定的物料，根据微生物生长的环境，可分为好氧堆肥和厌氧发酵。

焚烧处理是指固体废弃物中的可燃物与氧在燃烧室中进行燃烧，并对燃烧产生的热量进行利用的过程。

2 固体废弃物焚烧处理

固体废弃物的燃烧型式一般有固定床燃烧、循环硫化床燃烧、回转窑炉燃烧等。其中，运用较多的为固定床燃烧型式。固定床燃烧即固体废弃物在一个固定的燃烧面完成干燥、燃烧、燃烬过程。

固体废弃物经过焚烧处理，使固体废弃物的重量和体积减量化显著，处理周期短，节约土地资源，是为减量化。

能最大限度地消灭有毒有害病菌，防止恶臭，使复杂有

机物转变为简单的物质，需要处理的残余物（灰、渣等）基本是惰性物质，通过控制二次污染，使固体废弃物无害化。

焚烧产生的热量可以加以回收利用来供热、发电等，达到回收利用资源的目的，是为资源化。

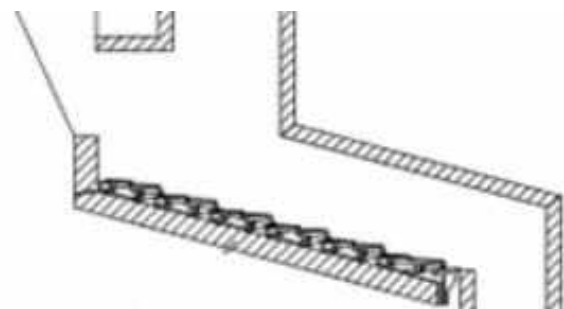
固体废弃物焚烧产生的烟气处理要求比较高，运行处理成本也相对较高。

3 固定床燃烧

燃烧是一种发热发光的化学反应，其反应过程极其复杂，游离基的链锁反应是燃烧反应的实质，光和热是燃烧过程中发生的物理现象。

固定床在工业锅炉领域被广泛运用。固定床燃烧为层状燃烧，层状燃烧方式是燃料在燃烧面上形成一定厚度的燃料层进行燃烧，其中只有少量的细屑被吹到燃烧室的空内形成悬浮燃烧。

固定床燃烧适用于固体燃料，由机械或人工将燃料送到固定燃烧面上形成燃料层，送入空气，燃料与空气混合后完成燃烧过程。固定床燃烧设备有多种型式，如往复式炉排、固定式炉排、双层炉排、链条炉排等。



一种固定床燃烧炉膛

4 某种固体废弃物燃烧喷水

4.1 水质

固体废弃物喷水一般采用自来水、市政污水、江河等地表淡水、地下水或地表海水、其他污水等。也可采用除盐水，但由于除盐水成本高、能耗高，故一般少有采用。各种水水质有所不同，考虑不同水质对燃烧可能有不同影响，对各水质进行初步分析。

4.1.1 自来水

自来水是指由水厂汲取江河湖泊及地下、地表水，再经过各种工艺流程处理后，通过加压泵输送到各用水的水源。

饮用水水质标准 pH 值不小于 6.5 且不大于 8.5。

自来水一般水质如下表：

表 4-1 水质常规指标及限值

| 指标 | 限值 |
|--------------------------------|------------------|
| 1.微生物指标① | |
| 总大肠菌群 (MPN/100mL 或 CFU/100mL) | 不得检出 |
| 耐热大肠菌群 (MPN/100mL 或 CFU/100mL) | 不得检出 |
| 大肠埃希氏菌 (MPN/100mL 或 CFU/100mL) | 不得检出 |
| 菌群总数 (CFU/mL) | 100 |
| 2.毒理指标 | |
| 砷 (mg/L) | 0.01 |
| 镉 (mg/L) | 0.005 |
| 铬 (六价, mg/L) | 0.05 |
| 铅 (mg/L) | 0.01 |
| 汞 (mg/L) | 0.001 |
| 硒 (mg/L) | 0.01 |
| 氰化物 (mg/L) | 1.0 |
| 氟化物 (mg/L) | 10 |
| 硝酸盐 (以 N 计, mg/L) | 10 (地下水源限制时为 20) |
| 三氯甲烷 (mg/L) | 0.06 |
| 四氯化碳 (mg/L) | 0.002 |
| 溴酸盐 (使用臭氧时, mg/L) | 0.01 |
| 甲醛 (使用臭氧时, mg/L) | 0.9 |
| 亚氯酸盐 (使用二氧化氯消毒时, mg/L) | 0.7 |

| 指标 | 限值 |
|---|------------------------------|
| 氯酸盐 (使用复合二氧化氯消毒时, mg/L) | 0.7 |
| 3.感官性状和一般化学指标 | |
| 色度 (铂钴色度单位) | 15 |
| 浑浊度 (NTU-散射浊度单位) | 1 (水源与净水技术条件限制时为 3) |
| 臭和味 | 无异臭、异味 |
| 肉眼可见物 | 无 |
| pH (pH 单位) | 不小于 6.5 且不大于 8.5 |
| 铝 (mg/L) | 0.2 |
| 铁 (mg/L) | 0.3 |
| 锰 (mg/L) | 0.1 |
| 铜 (mg/L) | 1.0 |
| 锌 (mg/L) | 1.0 |
| 氯化物 (mg/L) | 250 |
| 硫酸盐 (mg/L) | 250 |
| 溶解性总固体 (mg/L) | 1000 |
| 总硬度 (以 CaCO ₃ 计, mg/L) | 450 |
| 耗氧量 (CODMn 法, 以 O ₂ 计, mg/L) | 3 (水源限制, 原水耗氧量 > 6mg/L 时为 5) |
| 挥发酚类 (以苯酚计, mg/L) | 0.002 |
| 阴离子合成洗涤剂 (mg/L) | 0.3 |
| 4.放射性指标② | |
| 总α放射性 (Bq/L) | 0.2 |
| 总β放射性 (Bq/L) | 1 |
| <p>MPN 表示最可能数, CFU 表示菌落形成单位。当水样检出总大肠菌群时, 应进一步检验大肠埃希氏菌或耐热大肠菌群。水样未检出大肠菌群, 不必检验大肠埃希氏菌或耐热大肠菌群。</p> <p>放射性指标超过指导值, 应进行核素分析和评价, 判定能否饮用。</p> | |

表 4-2 水质非常规指标及限值

| 指标 | 限值 |
|---------------|-------|
| 1.微生物指标 | |
| 贾第鞭毛虫 (个/10L) | <1 |
| 隐孢子虫 (个/10L) | <1 |
| 2.毒理指标 | |
| 锑 (mg/L) | 0.005 |
| 钡 (mg/L) | 0.7 |

| | | | | | | | |
|----|---------------|------------|----------|----|----------------|------|------------|
| 1 | pH 值 | mg/L | 6~9 | 19 | 总铅 | mg/L | 1 |
| 2 | 悬浮物 | mg/L | 150(400) | 20 | 总铜 | mg/L | 2 |
| 3 | 易沉固体 | mg/L-15min | 10 | 21 | 总锌 | mg/L | 5 |
| 4 | 油脂 | mg/L | 100 | 22 | 总镍 | mg/L | 1 |
| 5 | 矿物油类 | mg/L | 20 | 23 | 总锰 | mg/L | 2.0(5.0) |
| 6 | 苯系物 | mg/L | 2.5 | 24 | 总铁 | mg/L | 10 |
| 7 | 氰化物 | mg/L | 0.5 | 25 | 总砷 | mg/L | 1 |
| 8 | 硫化物 | mg/L | 1 | 26 | 六价铬 | mg/L | 0.5 |
| 9 | 挥发性酚 | mg/L | 1 | 27 | 总铬 | mg/L | 1.5 |
| 10 | 温度 | °C | 35 | 28 | 总硒 | mg/L | 2 |
| 11 | 生化需氧量 (BOD5) | mg/L | 100(300) | 29 | 总砷 | mg/L | 0.5 |
| 12 | 化学需氧量 (CODcr) | mg/L | 150(500) | 30 | 硫酸盐 | mg/L | 600 |
| 13 | 溶解性固体 | mg/L | 2000 | 31 | 硝基苯类 | mg/L | 5 |
| 14 | 有机磷 | mg/L | 0.5 | 32 | 阴离子表面活性剂 (LAS) | mg/L | 10.0(20.0) |
| 15 | 苯胺 | mg/L | 5 | 33 | 氨氮 | mg/L | 25.0(45.0) |
| 16 | 氟化物 | mg/L | 20 | 34 | 磷酸盐 | mg/L | 1.0(8.0) |

| | | | | | | | |
|----|----|------|------|----|--------|---|----|
| | | | | | 以 P 计) | | |
| 17 | 总汞 | mg/L | 0.05 | 35 | 色度 | 倍 | 80 |
| 18 | 总镉 | mg/L | 0.1 | | | | |

注：括号内数值适用于有城市污水处理厂的城市下水道系统

4.1.3 海水

海水是海中或来自海中的水。海水是一种非常复杂的多组分水溶液。海水中各种元素都以一定的物理化学形态存在。

海水一般水质如下表：

| 序号 | 项目 | 第一类 | 第二类 | 第三类 | 第四类 |
|----|--------------|-------------------------------------|-------|------------------------------------|----------------------|
| | 漂浮物质 | 海面不得出现油膜、浮沫和其他漂浮物质 | | | 海面无明显油膜、浮沫和其他漂浮物质 |
| | 色、臭、味 | 海水不得有异色、异臭、异味 | | | 海水不得有令人厌恶和感到不快的色、臭、味 |
| | 悬浮物质 | 人为增加的量≤10 | | 人为增加的量≤100 | 人为增加的量≤150 |
| | 大肠菌群≤(个/L) | 10000 (供人生食的贝类增殖水质≤700) | | | - |
| | 类大肠菌群≤(个/L) | 2000 (供人生食的贝类增殖水质≤140) | | | - |
| | 病原体 | 供人生食的贝类增殖水质不得含有病原体 | | | |
| | 水温 (°C) | 人为造成的海水温升夏季不超过当时当地 1°C, 其他季节不超过 2°C | | 人为造成的海水温升不超过当时当地 4°C | |
| | pH | 7.8~8.5 (同时不超出该海域正常变动范围的 0.2pH 单位) | | 6.8~8.8 (同时不超出该海域正常变动范围的 0.5pH 单位) | |
| | 溶解氧> | 6 | 5 | 4 | 3 |
| | 化学需氧量≤(COD) | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | 生化需氧量≤(BOD5) | 1 | 3 | 4 | 5 |
| | 无机氮≤(以 N 计) | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
| | 非离子氨≤(以 N 计) | 0.020 | | | |
| | 活性磷酸盐≤ | 0.015 | 0.030 | | 0.045 |

| 序号 | 项目 | 第一类 | 第二类 | 第三类 | 第四类 |
|----|--------------------|---------|--------|-------|--------|
| | (以 P 计) | | | | |
| | 汞≤ | 0.00005 | 0.0002 | | 0.0005 |
| | 镉≤ | 0.001 | 0.005 | 0.010 | |
| | 铅≤ | 0.001 | 0.005 | 0.010 | 0.050 |
| | 六价铬≤ | 0.005 | 0.010 | 0.020 | 0.050 |
| | 总铬≤ | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.50 |
| | 砷≤ | 0.020 | 0.03 | 0.05 | |
| | 铜≤ | 0.005 | 0.01 | 0.05 | |
| | 锌≤ | 0.02 | 0.05 | 0.1 | 0.5 |
| | 硒≤ | 0.01 | 0.02 | | 0.05 |
| | 镍≤ | 0.005 | 0.01 | 0.02 | 0.05 |
| | 氰化物≤ | 0.005 | | 0.1 | 0.2 |
| | 硫化物≤ (以 S 计) | 0.02 | 0.05 | 0.1 | 0.25 |
| | 挥发性酚≤ | 0.005 | | 0.01 | 0.05 |
| | 石油类≤ | 0.05 | | 0.3 | 0.5 |
| | 六六六≤ | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.005 |
| | 滴滴涕≤ | 0.00005 | 0.0001 | | |
| | 马拉硫磷≤ | 0.0005 | 0.001 | | |
| | 甲基对硫磷≤ | 0.0005 | 0.001 | | |
| | 苯并(a)芘≤ (μg/L) | 0.0025 | | | |
| | 阴离子表面活性剂 (以 LAS 计) | 0.03 | 0.1 | | |
| | 放射性核素 (Bq/L) | 60Co | 0.03 | | |
| | | 90Sr | 4 | | |
| | | 106Rn | 0.2 | | |
| | | 134Cs | 0.6 | | |
| | | 137Cs | 0.7 | | |

4.2 基本条件及设备设置

采用固定床往复炉排燃烧固体废弃物，燃烧室内进行砌筑。分别通入一次风和二次风对燃料进行混合和扰动，使得燃料充分燃烧并释放化学热。

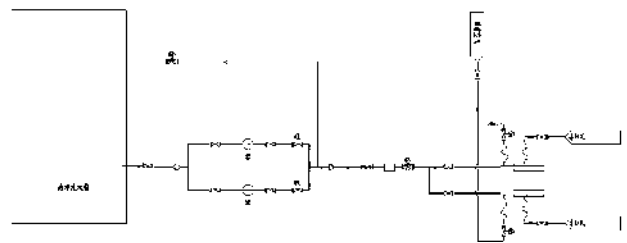
在燃烧炉膛中上部设置水喷入口。水源中的氯离子等含量不应过高，主要考虑减少对后续烟气处理系统的腐蚀等。水源由一定容量的水箱进行暂存，水进入燃烧室前应进行雾化，雾化需达到一定粒度要求，避免喷入水柱影响燃烧室内

局部燃烧。供水管路需设置流量调节装置，以便根据燃烧情况对喷入水量进行实时调整。

当喷水系统停止运行时，应采用冲洗水对系统管道进行冲洗，防止杂质在管道中沉积、结垢。

4.3 系统流程

暂存在水箱中的水通过输送泵送到安装在燃烧室中上部的水喷枪处，水输送泵设置 2 台，1 用 1 备。水进入雾化喷枪后通过压缩空气雾化成一定粒径后喷入燃烧中。燃烧室共设置 2 只喷枪，左右对称布置，将水尽量均匀地喷入燃烧炉膛。由于喷枪安装处温度较高，为保证喷枪的使用寿命，喷枪需设置冷风进行冷却。喷入时水与压缩空气混合以雾状进入燃烧室与高温烟气充分混合燃烧。



喷水系统图

4.4 注意事项

从喷枪的材料选择上，应保证喷枪的使用寿命。

喷水系统具有良好的负荷适应性，确保水不能冲到燃烧室壳体上，避免造成燃烧室壳体腐蚀或损坏。

喷水系统设计简单、建造、运营、维护成本低，自动控制程度高，操作方便。

4.5 喷水对固体废物燃烧的影响情况

喷水喷枪布置在燃烧室中上部燃烧区，有利于水分及时蒸发，避免影响燃料的干燥着火。水喷入在燃烧区，即在较高温度区域喷入，喷入后的水可以迅速蒸发，减少对炉排、炉墙造成的磨损冲刷。

水喷入量可实时调节，必须保证燃烧室内最低燃烧温度，同时也不能使烟气中含水率过大。因此，水的喷入量需根据燃烧实际工况进行实时调节。

4.6 燃烧情况分析

影响燃烧室温度主要与燃料特性、燃烧室大小、燃料量、水喷入量、喷水温度有关。热值、含水率、挥发份在焚烧过程中对焚烧温度均有比较明显的影响，因此在废物焚烧前必

须对这几类理化特性进行控制；热值、挥发份对一燃室的燃烧效率影响明显；含水率对一燃室的燃烧效率影响不明显。

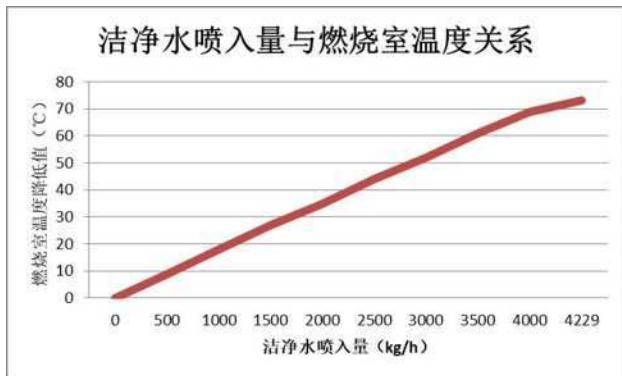
在相同条件下，各种水质水（自来水、市政污水、江河等地表淡水、地下水或地表海水、其他污水等）喷入燃烧室，对燃烧室温度影响基本一致。

4.6.1 水喷入量对温度的影响

在燃烧同种燃料、固定燃烧室大小、燃烧同样燃料量、固定温度的水源的情况下，将水喷入量作为因变量，将炉温作为变量，测算喷入不同的水量对炉膛温度的影响。根据测算显示，不同的水喷入量对炉温的影响较为明显，喷入水量越多，燃烧室温度降低越大。具体数据见下表：

水喷入量与燃烧室温度降低的关系表

| | | | | | | | | |
|----------|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 水喷入量 | kg/h | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| 燃烧室温度降低值 | ℃ | 9 | 17 | 26 | 35 | 44 | 52 | 60 |



由于喷入的水形态对喷入处周围燃烧情况造成影响，且喷入粒度越大对周围局部燃烧情况影响越显著。故在运行中需保证喷入喷枪处的雾化粒径较小，以使得进入燃烧室的水颗粒较均匀且容易进入燃烧烟气中，不至于出现将喷入处燃

参考文献：

- [1] 刘玉兰,吴勇强,徐志刚,朱子彬.固定床有效导热系数的研究[J].华东理工大学学报,2004(02).
- [2] 徐德平,何红梅,张香兰,等.固定床燃烧所产生烟道灰组成特性及利用探讨[J].粉煤灰综合利用,1990(3):18-21.
- [3] 林宗虎.循环流化床锅炉[M].化学工业出版社,2004.
- [4] 王晓峰.危险废物理化特性分析及其对废物焚烧的影响[D].同济大学,2006.
- [5] GB 5749-2006.生活饮用水卫生标准适用范围[S].
- [6] GB/T 31962-2015.污水排入城镇下水道水质标准[S].
- [7] GB 3097-1997.海水水质标准[S].

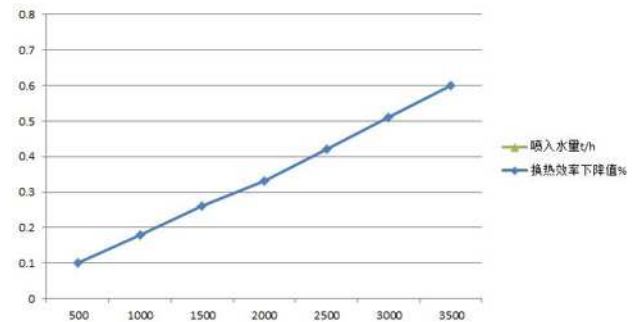
烧火焰局部浇灭的情况。建议在水喷入流程为：喷入量开始调到最小喷入量，再根据燃烧情况做适当调整。

4.6.2 水喷入量对换热效率的影响

燃烧室内喷入水，相当于增加了燃料中水分含量，造成燃烧生成的烟气中含水率增大，烟气体积增大。在相同的后续换热条件下，增大的含水率会造成由排放烟气带走的能量增大，造成后续换热效果下降，即换热效率下降。

在燃烧同种燃料、固定燃烧室大小、燃烧同样燃料量、固定温度的水源的情况下，将水喷入量作为因变量，将降低的换热效率下降值作为变量，测算喷入不同的水量对换热效率下降值的影响。根据测算显示，不同的水喷入量对换热效率下降值有一定影响，但影响比较小。喷入水量越多，换热效率略有下降。

对某特定工况下喷入水量对换热效率下降值的影响，形成如下曲线：



5 结语

在燃烧固体废弃物的固定床燃烧室中喷入雾化到一定粒度的水，可以在不将局部燃烧火焰浇灭的情况下，降低燃烧室内温度；同时，不同的水喷入量对换热效率下降值有一定影响，喷入水量越多，换热效率略有下降。降低燃烧室内温度能有效改善燃烧室内结焦、结灰问题。同时，可以通过调节喷入水量调整降低炉膛温度量，以更好适应负荷变化及后续工艺的设计和优化。