



# 德国斯图加特市污水处理厂污泥焚烧工艺

李 媛

(北京市市政工程设计研究总院, 北京 100045)

**摘 要:** 本文介绍了德国Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen污水处理厂的鼓泡式流化床焚烧炉结构及污泥焚烧工艺流程。

**关键词:** 污泥焚烧; 流化床焚烧炉; 污泥处理

**中图分类号:** X703.1

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-5377(2004)05-0038-03

## Sludge Incineration Technology of Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen Sewage Plant in Germany

Li Yuan

### 一、德国污泥焚烧工艺的发展

在德国污泥焚烧工艺已有40年的历史,1962年第一台焚烧炉在德国投入使用。与垃圾焚烧相比,污泥焚烧炉的抗干扰性更强,而且污水污泥中不含有庞大的成分物质,便于人们设计出比较牢固的炉膛。目前在德国,每年约有2.5~3百万吨的污水污泥产生,其中30%用于农业(堆肥),56%填埋,14%焚烧,不久将达到4百万吨/年。由于污泥中含有有害重金属,农民不愿接受,预计用于农业方面的比例会逐年下降。又因填埋土地有限,而对这方面的卫生标准日趋严格,特别是《城市废物技术指南》(the Technical Directive for Municipal Waste)[TA-siedlung sabfall]带来了更加严格的规定。已经通过的新版本明文规定,禁止填埋有机物含量超过5%的污泥。由于这一法令的颁布,当前被认为最重要的处理路线——没有无机化的填埋,将不再实用。污泥无机化处理的唯一出路就是污泥焚烧工艺。近年来,焚烧工艺变得越来越成熟,也越来越适应环保的要求。特别是在焚烧炉烟气净化这一重要领域,烟气中的有害成分经过一系列设备的处理后,已完全达到德国严格的大气环保要求。当然,石油危机的影响也不能被忽视,人们在设计焚烧炉时,有意识地考虑到能源的回用。

目前在德国境内,已有近40个污水处理厂拥有多年的污泥焚烧工艺的实际运行经验。其中10家工厂混烧生活垃圾和污水污泥,20多家焚烧城市污水污泥,9家专门进行工业废水污泥的焚烧处理。在德国,污泥焚烧炉首先始于多段竖炉,而后流化床炉逐渐取代了多段竖炉。目前,流化床焚烧炉的市场占有率超过了90%,焚烧污泥的含水率在45%~80%。另外,在燃煤CFB锅炉中也正在

考虑混烧污泥。图1是典型的流化床焚烧装置。

在柏林自1985年以来运行着欧洲最大的活性污泥流化床焚烧炉,其炉格栅面积为25m<sup>2</sup>,处理75%水分的污泥15t/h。在法兰克福,有一家

德国最现代化的污泥焚烧厂,在Essen的一台流化床,以0.5~1mm的石英砂为床料,只使用一次风。德国Renkum/Netherlands的Parenco造纸厂流化床锅炉用于发电,燃料有四种:(1)废水污泥,20000t/a;(2)脱墨污泥,20000t/a;(3)树皮,40000t/a;(4)辅助燃料为垃圾球(refuse pellets),它主要由废纸和木材组成,另外含有8%的废塑料,其灰分含量大约为11%。锅炉的最大蒸汽连续输出量22t/h,最大工作压力75bar,蒸汽压力50/65bar,蒸汽温度470℃,给水温度105℃。排放气体温度180℃;灰含量(max)30mg/m<sup>3</sup>;NO<sub>x</sub>(max)200mg/m<sup>3</sup>;SO<sub>2</sub>(max)200mg/m<sup>3</sup>;HCl(max)100mg/m<sup>3</sup>;CO(max)500mg/m<sup>3</sup>。德国Hamburg-Harburg技术大学建立的流化床与循环床试验台系统,主要开展了流化床和循环床燃用污泥污染排放特性的比较研究。

### 二、Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen 污水处理厂流化床焚烧工艺

该厂是德国第一个使用焚烧工艺来处理污水污泥

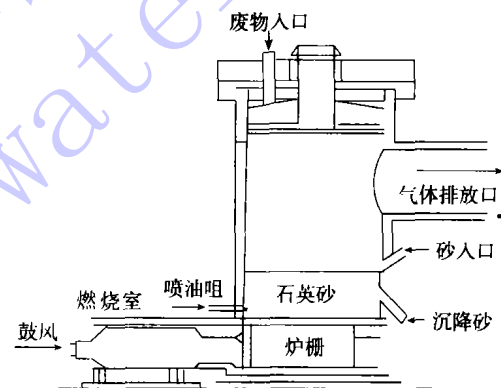


图1 典型的德国污泥FB焚烧装置

的水厂。在1982年该厂投入使用了两台流化床焚烧炉，取代原来两个已有20年历史的多段竖炉。这是由于Mühlhausen污水处理厂原来的多段竖炉在运行过程中，所排放的烟气对空气造成了严重污染，无法达到环保要求；其次它的运行还需要大量的热油和天然气助燃，从而花费巨大；此外，在炉膛内部不能保证炉内的栅后物质和悬浮污泥完全混合一起被燃烧。基于以上劣势，人们决定采用流化床这种新的炉型。该厂污泥焚烧运行的主要技术参数如表1所示。

表 1 Mühlhausen 污水处理厂污泥焚烧区主要技术参数

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| 处理污泥量（流化床焚烧炉） | 4t/h GTS + 1t/h 栅后物质        |
| 残渣量           | 2040 kg/h 粉末状灰 + 200 kg/h 盐 |
| 焚烧            | 无附加燃料                       |
| 安装连接功率        | 1225 kW                     |
| 自烟囱排出的废气量     | 30800 m³/h(74℃)             |
| 排放标准          | NOx≤100 mg/m³               |
| 运转方式          | 连续运行                        |

Mühlhausen污水处理厂污泥焚烧区主要处理设备有：3台污泥干燥机，1台废气冷凝器，1台污泥输送机，1台格栅物质处理器，1座流化床焚烧炉，1座余热锅炉（饱和蒸汽压 9bar），1台静电除尘器，1台准干燥烟气洗涤装置（2个洗气池，1个喷射干燥机，1个静电除尘器），钢结构，MSR-E技术，100m高的烟囱等。

### 1.流化床焚烧炉的结构

在Mühlhausen污水处理厂所使用的鼓泡式流化床焚烧炉的结构如图2所示。

在该焚烧炉的炉膛内，有一个悬浮的焚烧区。当处于静止状态时，炉膛内有一个大

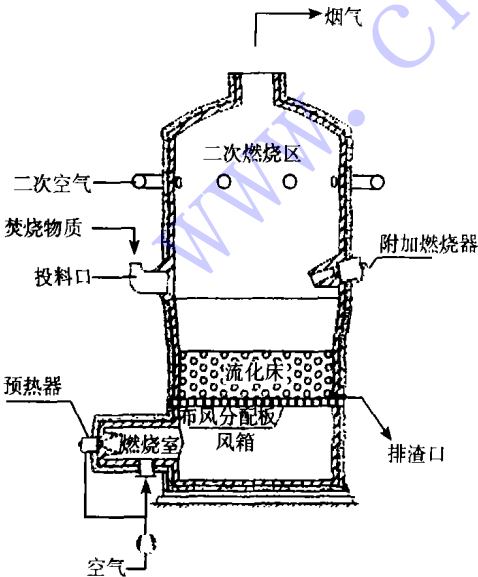


图 2 Mühlhausen 污水处理厂流化床焚烧炉结构图

约50cm厚的细砂床置于喷嘴式气体分配板之上。在焚烧炉运转过程中，热空气从炉膛下部通入，并以一定速度通过分配板，从而细砂床呈“沸腾”状态，产生了一个约1.5~2.0m的流化床。污泥从塔侧的投料口投入到流化床上，污泥便急速燃烧。直接位于流化床区域上的炉区是二次燃烧区。该流化床具有的特性是：在焚烧过程中，污泥中有机物所产生的热量，可作为污泥中所含水分蒸发所需的能量，这样对于流化床的二次燃烧区来说，附加燃烧室就不需要了，从而使流化床的温度比烟气的出口温度要低25~60℃。

在燃烧过程中过剩空气系数为1.4，所产生的烟气在850~900℃的温度范围从炉膛上部排出，进入余热锅炉（在此所产生的9bar的饱和蒸汽用于污泥干燥机的加热），同时烟气在这里被冷却到210℃。该流化床的另一特性是它在运转过程中所产生的炉渣非常少，主要是很细的飞灰，散布在烟气中，可通过余热锅炉后的静电除尘器来捕集。烟气中所含有的有害污染物通过喷雾式湿法洗涤去除。在该水厂，共设有2个洗气池，分别采用的是水和NaOH溶液进行湿法洗涤。

### 2.污泥焚烧工艺流程

Mühlhausen污水处理厂的污泥焚烧工艺由离心机—干燥机—流化床焚烧炉—余热锅炉—静电除尘器—灰尘贮房—准干燥烟气洗涤装置—烟囱等几部分组成。其工艺流程如图3所示。

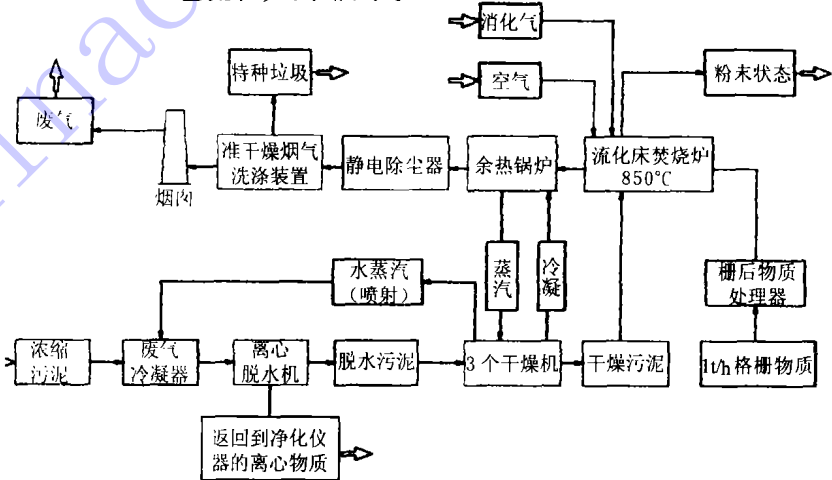


图3 污泥焚烧工艺流程

流向离心脱水机的污泥是由约65%的消化污泥和35%的剩余污泥所组成，经机械脱水后，污泥含水率降至75%。在该水厂的污泥焚烧系统所使用的干燥机形式为圆盘干燥机（饱和蒸汽压为9bar），污泥经过干燥处理后，可达到50%~55%的含固率。这种组分的污泥在流化床炉中可保证自行燃烧，无需额外添加助燃剂，可大大减少能源的浪费。



1982年投入使用的流化床焚烧炉是该污泥焚烧系统的核心部分。它几乎无须额外添加燃料和烟气再焚烧。因此它大大优于多段竖炉。烟气和飞灰在850℃左右时在同一个方向离开焚烧炉，在余热锅炉中温度降至210℃，在接下来的静电除尘器I中进行脱尘，剩余的灰尘含量约为100mg/m<sup>3</sup>。经过准干燥烟气洗涤装置净化后的烟气通过烟囱排放，灰尘被贮存在灰尘贮房中，稍后再利用或者运走。

所谓“准干燥烟气洗涤装置”是由喷射干燥机、静电除尘器II、两个洗气池所构成的，它的处理流程如图4所示。这套装置是为了进一步去除烟气中尚存的灰尘、重金属和硫、氯、氟、氮氧化物等有害物质，烟尘量可以降低到目前含量的1/10(<10mg/m<sup>3</sup>)。特别需要指出的是，对于去除烟气中所含有的金属汞单质和汞离子，Mühlhausen污水厂使用了专门的去除方法——活性炭(KOH)气流吸附法和在碱洗池添加药剂TMT15。

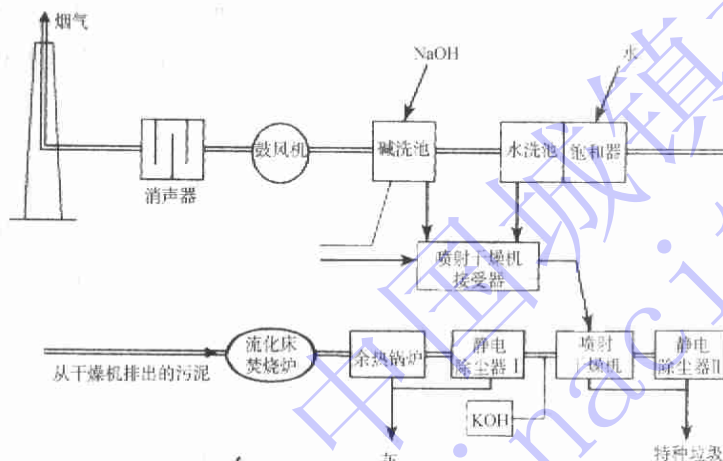


图4 准干燥烟气洗涤装置工作流程

在静电除尘器I和喷射干燥机之间的连接管道中，放有一种活性炭(KOH)，它的目的是为了吸附烟气中所含有的金属汞单质，大约每立方米烟气需300~330g KOH。这样含有汞的颗粒在静电除尘器II中，可以与烟气完全分离。接着烟气流入到两个洗气池中，第一个为水洗池，主要为吸附灰尘和一些硫氧化物、HCl、HF等有害气体，pH<1；第二个为浓度33%的NaOH洗气池，主要为去除SO<sub>2</sub>等酸性气体，同时必须考虑到汞离子的去除——添加少量的TMT15，使之与Hg<sup>2+</sup>结合后去除。这样通过积聚汞的颗粒和其它剩余物(盐)最后一起从静电除尘器II中排出，作为特种垃圾被处理。

德国环保总局1986年所制定的“气体排放保护法”中规定有毒有害物质的排放限值，如表2所示。Mühlhausen污水处理厂所排放的烟气经洗气池处理后，有害成分去除率完全符合气体排放保护法规定。被净化

的烟气以74℃离开烟气洗涤过程，最后经100m高的烟囱排入大气。

### 3. 污泥焚烧系统的能量流程

Mühlhausen 污水处理厂正在运转的整个污泥焚烧系统，非常注重能源的经济性。在保证污泥良好的脱水、干燥和焚烧的前提下，对污泥焚烧流程中各个处理单元所产生的热量进行了充分的循环再利用。

流化床焚烧炉所产生的烟气在850~900℃被排出，进入余热锅炉，在这里被冷却到210℃（该温度是静电除尘器工作的适宜温度），此时所产生的9bar的饱和蒸汽供给焚烧炉前面的干燥机使用。

干燥机在对含水率约为75%的脱水污泥进行干燥时，将从污泥中所蒸发出来的水分的热量进一步通过废气冷凝器装置收集。该热量分为三部分被利用：一部分作为工厂厂房的直接热源；第二部分是将消化污泥与来自废气冷凝器中的部分热量相混合，可将到达离心脱水机时的液态污泥预加热至50℃，利用这种提取热量的方法可以达到一个意想不到的效果：脱水污泥的含固率提高了2%，并且节省了10%的絮凝剂；第三部分，可通过热交换器将热量作为消化池的加热热源。

参考文献：(略)

## 日本防止光污染的措施

中图分类号:X122 文献标识码:D

为满足天文爱好者和市民“让灿烂星光重现”的强烈愿望，日本正在推广诸如安装向路面聚光的街灯，实施禁止探照灯向空中照射等各种防止光污染的措施。

专家认为，过度的照明是一种公害，可能破坏自然生态。为此，日本各地相继出台防止光污染的条例。据日本时事社报道，最早出台防止光污染条例的是冈山县，该县从今年开始加大了光污染的控制力度，规定禁止使用探照灯向空中照射，违反者将受到处罚。熊本县城南町也从去年开始安装一种路灯，其光源外装有反光板，上方不漏光，由于反光板的聚光作用，灯光不再四处扩散，而路面却变得更加明亮，同时还能节约能源。(王敏)

表2 1986年气体排放保护法部分规定

| 烟气中的有害污染物       | 排放限值<br>(含有11%O <sub>2</sub> 的烟气)<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| 灰尘              | 20                                                        |
| HCl             | 20                                                        |
| HF              | 1                                                         |
| CO              | 100                                                       |
| SO <sub>2</sub> | 70                                                        |
| NO <sub>x</sub> | 360                                                       |
| 总C              | 20                                                        |
| 无机物(难溶金属)       | 5                                                         |