

有毒有害事业废弃物焚化处理厂之规划、设计、操作、营运与管理

张荣兴 博士

台湾丰映科技股份有限公司

摘 要

事业机构所产生的有毒有害废弃物通常因其产业特性有其独特性，不同事业单位所产生的事业废弃物除了数量可能迥异外，其物理 / 化学性质可能差异更大。此外，由于事业废弃物处理之技术层次较高，技术涵盖幅面亦广，稍有疏失即可能产生二次公害问题，影响深远。故于硬件处理设施工程实施之前，必须先以专业性的科学化系统化技术，进行软件规划，通盘考虑各项影响因子，选择设计最适用系统，俾尽量减少日后实施时之窒碍，以保障计画之必然成功。事业废弃物焚化处理厂之规划与设计工作包括：基本规划、系统设计、施工监督、试烧及执照申请等四大项。

有毒有害事业废弃物焚化处理厂之操作、营运、管理为一相当复杂的技术性工作，良好的工程规划、设计、与建造工作，可提供良好的操作环境，但却仍需有良好的操作、营运与管理技术才能确保系统之性能，并避免对环境造成影响。有毒有害事业废弃物焚化厂操作运转时，为避免发生意外或处置不当，而造成有害物质排放至周围环境，影响环境品质，甚而造成财物损失、危害人类的健康，必需拟定完整的操作营运管理计画；并且平时即须做好安全管制与灾变预防工作，并拟定妥善紧急应变计画，以备一旦灾变发生之际，能迅速、有效地对症下药，将损害减至最小。本文并以性能最好的 RESI-2000 型焚化系统为例，说明焚化系统的特性及相关设计特点以供各界参考。

关键词：INCINERATION; HAZARDOUS WASTE; DESIGN; OPERATION; MANAGEMENT

著作权说明：

- (1) 本文著作权为张荣兴博士所有，非经丰映科技股份有限公司或作者同意，请勿转载、节录、翻印、影印全文或部份文字。
- (2) 有关本文讨论，请洽 张荣兴博士 Tel: +886-987-070-398 Fax: +886-4-2475-5872 E-Mail: service@resi.com.tw

一、 绪 论

密西根大学的 George Granger Brown 教授于 1928 年举行的第一届燃烧研讨会中说『燃烧是人类进化过程中最重要的化学反应。人类与动物都仰赖燃烧提供维生所需要的能源。由洪荒而文明，人类最明显的成长即来自于对燃烧或火焰的控制；展望未来，人类的进步仍将或多或少仰赖更先进更有效率的燃烧控制。』时至今日，此言仍真。尤其是『更先进更有效率的燃烧控制』正是解决今日全球气候变迁、温室效率、空气品质、毒性物质排放及废弃物污染的必要手段。燃烧技术应用用于废弃物处理，即称之为“焚化”。

我国近年来积极推动开放性的经济建设，加上连续实施五年经济建设计画以来，经济成长快速，其中民间各产业机构所提供的重大贡献是不容抹灭的。然而由于往日对环境保护的观念或略有不周全之处，至今产业机构所产生的废弃物仍多未作妥善处理，致时遭非议与贬损。因此，基于现实的迫切需要，积极提升工业水准与层次，彻底解决事业废弃物所造成的环境污染困扰，提升事业机构之形象，建设幽雅舒适洁净安全的生产环境，实为刻不容缓的急务。

事业废弃物的管理 / 处理措施基本上可分为三大类：(1) 减少废弃物产量，(2) 处理或破坏，(3) 固定化、

包装、及掩埋。但近年来,由于环境保护意识的觉醒,法规管制的渐趋严格,使得弃物的管理方法产生明显的改变。较传统且费用较低廉的直接掩埋法,和地面掩体储存法及深井注入法,在短期内可能将被下列方法所取代:

- (1)产生源的废弃物减量化;
- (2)废弃物资源化再利用;
- (3)物理/化学/生物处理法;
- (4)焚化处理;
- (5)化学安定化/固化法。

而在这些处理技术中,废弃物减量化应列为最优先考虑,若无法完全去除废弃物的产生,才需考虑选用适当的处理技术加以有效地处理。其中又以正确设计的焚化系统最能有效地处理、破坏各种有毒有害废弃物。焚化系统的设计及操作,国外已累积相当可观的经验,并且已有多种商业化系统应市。国内对焚化系统中的部分零组件虽已具备自制能力,但却较缺乏对整个系统的规划及设计经验。以台湾地区为例,由于工业技术研究院能源与资源研究所在经济部科技顾问室的资助下,由作者领导自1987年开始积极进行焚化技术及资源化技术的研究开发工作,至今已累积相当成熟的焚化系统及废弃物资源化工厂的设计、建造及营运能力,目前已应用于中油、环保署示范设施及多项民营事业废弃物集中处理场之规划、设计及兴建。

事业机构所产生的废弃物通常有其独特性,不同事业单位所产生的事业废弃物除了数量可能迥异外,其物理/化学性质可能差异更大。而且事业机构所产生的废弃物通常可能涵盖一般事业废弃物及有害事业废弃物。由于事业废弃物依法应自行处理或委托公民营清除、处理机构代为清除、处理之。而就处理技术而言,一般事业废弃物处理技术要求较低,处理设施可较为简易,操作维护费用较低;有毒有害事业废弃物之处理,则由于有严格的法规要求,必须使用规划完善、设计要求高的处理设备,其所需设备费用及操作维护费均较高。因此,必须就事业机构之废弃物数量及性质,妥善评估,以期规划出最适用于该事业机构的焚化处理系统。

事业废弃物处理之技术层次较高,技术涵盖幅面亦广,稍有疏失即可能产生二次公害问题,影响深远。故于硬件处理设施工程实施之前,必须先以专业性的科学

化系统化技术,进行软件规划,通盘考虑各项影响因子,选择设计最适用系统,俾尽量减少日后实施时之窒碍,以保障计画之必然成功。

本文将以作者参与台湾地区事业机构委托进行「事业废弃物清理综合规划及建厂」的实际经验〔4,5,6,7,8,11,16〕为蓝本,说明事业废弃物焚化处理厂之规划设计操作营运管理技术;期以抛砖引玉、作为各界进行类似工作之参考。

二、處理廠之規劃與設計

事业废弃物焚化处理厂之规划与设计工作内容基本上可分为四部分,其主要工作要目如下:

第一部份 基本规划

- (1) 事业废弃物之产生、收集及处理现况调查
- (2) 废弃物处理方式研选
- (3) 空气污染控制技术研选
- (4) 废弃物处理系统组合分析
- (5) 经济分析与系统优劣排序
- (6) 最适系统组合推介及场址勘查与规划
- (7) 法律、经济及环境分析
- (8) 事业废弃物监测系统与应变计画

第二部分 系统设计

- (9) 焚化系统设计
- (10) 经费需求概估
- (11) 招标文件准备

第三部份 工程施工

- (12) 审标及监造
- (13) 工程施工

第四部分 试烧及执照申请

- (14) 试车
- (15) 试烧
- (16) 使用执照申请
- (17) 焚化设施管理及操作人员训练

以下简要说明进行「事业废弃物处理厂兴建工程」时,依以上所列工作要目执行计画之概要。

● 第一部分工作:事业废弃物清理之基本规画

(1) 事业废弃物之产生、收集及处理现况调查

1.1 废弃物之产量及性质评估

本项工作主要目的在依燃烧工学的观点,进行废弃

物产量及性质评估,确实了解事业机构所产生废弃物的真实情况及物理、化学性质,以便作为规划设计处理设施之依据。本项工作应包括下列工作细目:

a. 废弃物产源调查

借着重实地调查,确实了解事业废弃物产源,作为建立废弃物管理/处理计画之依据。

b. 废弃物产量调查

针对废弃物的分类方法,依燃烧工学观点作进一步的分析,以便作为处理设施规划之依据。此外,由于大部份事业机构于焚化炉建厂前大部分均无处理设施,因此废弃物累积量亦应列入规划考虑。

c. 废弃物性质评估

就燃烧工学而言,对焚化处理设施之规划设计及其操作性能影响最大的就是废弃物的物理/化学性质。为了确实掌握废弃物性质,以便规划出最适当的废弃物掺和及处理策略,宜进行废弃物调查及元素分析,以便规划设计出最适合的焚化处理系统。

1.2 废弃物清除系统评估

规划工作进行之初,宜彻底了解事业废弃物清除处理现况,作为规划处理设施之基础资料,以利规划出最适于该事业机构之废弃物管理及处理系统。

(2) 废弃物处理方式研选

以下将就事业废弃物焚化技术,废弃物特性与焚化之关系,焚化系统中各组件种类、特性、优缺点,适用范畴,选用要领及设计要领作一概述。作为规划废弃物处理之参考。

2.1 事业废弃物特性与焚化:

燃烧技术应用用于废弃物处理,即称之为"焚化"。就科学观点而言,燃烧与焚化可分别定义如下:

燃烧:

在适当控制空气供应量、温度及燃烧气体滞留时间的条件下,使有机物质与氧分子产生反应,生成二氧化碳、水及少量残留物,并有效抑制挥发性有机物质产生之行为称之为燃烧。

焚化:

在废弃物清理法及其它适用法规之规范下,将废弃物燃烧、破坏,生成无害产物:二氧化碳、水及少量残留物,并有效抑制挥发性有机物质产生之行为称之为焚化。

事业废弃物之焚化是利用燃烧所产生的高温环境,于氧化气氛下,将其中的有害物质分解破坏成无害的灰渣及气体,以合乎环保法规之要求。而燃烧反应受燃烧物(废弃物)之影响极大,因此要控制焚化过程及结果能合乎法规,必须先就废弃物的特性与焚化程序作通盘的了解。

废弃物和一般燃料不同,废弃物是许多种类物质所组成的混合物,其特性将受组成的影响而时有变化。废弃物性质(尤其是热值)的变化极大,于规划焚化处理设施前必须对所处理的废弃物性质有充分的了解,才能确保所规划设计之系统能符合所需〔10, 12〕。

影响废弃物性质的三大因素为:水份的含量、非可燃物的比例、及可燃物组成及其热值。其中水份的含量除因成份而异外,亦常因储存方法、地点,甚至季节,气候而异。这些都直接影响热值的估算。因此想得到具代表性之热值,除须对废弃物之组成各成份热值作分析,对非可燃物含量,甚至水份因地、因时而异亦须列入计算,才能使估计值正确,确保所设计系统之燃烧效果能达到最佳状况。

除废弃物的组成性质外,燃烧时的环境条件中亦有四大因素会直接影响焚化效率:

1. 废弃物的分散度、
2. 氧气的供给情况、
3. 废弃物之滞留时间长短、及
4. 气体的扰流效果。

废弃物于炉内分散度愈佳,和空气接触得愈充份,则焚化的效果就愈佳。氧气是燃烧反应的必要元素,其供应除须过量(因反应效率无法达到100%)外,供给的位置亦相当重要。通常是80%氧气采下供气式(under fire air),使氧气能充份与废弃物接触。另外20%氧气采上供气式(overfire air),除具搅拌气流外,更可除去废弃物上面之灰烬,而促进燃烧。但其设计细节则视各设计者之理念而有极大之差异。

废弃物要燃烧完全除供氧足够外,亦须提供足够的接触时间,所以足够的炉内滞留时间是设计上必须考虑的。另外气体在炉内的扰流混合效果充份与否,也是决定燃烧是否完全的因素之一。

由以上对燃烧过程的了解,可知要有效焚化废弃物,并使排气达到环保标准,则必须先对废弃物作详尽

的分析、了解，并配合焚化炉之设计，才能使焚化炉达到所需的性能要求。

2.2 事业废弃物中间处理技术——焚化

事业废弃物焚化系统的选择与设计极为复杂，依其使用频率，最常见的焚化炉设计有四种，依序为：(1) 液体喷注式、(2) 旋转窑、(3) 固定炉床、及(4) 流体化床焚化炉。



旋轉窯焚化爐



事業廢棄物焚化廠

不论所采用的焚化炉型态为何，废弃物的化学及物理性质均可决定燃烧室的体积、焚化炉的操作条件（温度、过剩空气比、流量）、空气污染防治设施及灰烬处理系统的特性。因此，在进行处理设施规划前，必须对废弃物性质有所掌握。

事业废弃物焚化系统可区分成四个主要次系统：

(1) 废弃物备料及进料系统；(2) 燃烧室，(3) 空气污染防治设施；(4) 残渣 / 灰烬处理系统。各单元的适当

组合，则视所要焚化的废弃物物理及化学性质而异。

元素分析及水份含量等基本数据可用于决定化学计量燃烧空气需求量，并用于预测燃烧产物流量及组成。这些数据对于燃烧温度、滞留时间、废弃物 / 燃料 / 空气混合效率、及空气污染防治设备种类的选择及设计均极为重要。

2.3 事业废弃物的最终处置——掩埋

事业废弃物不论可焚化部份经焚化后残留的灰烬，或不可燃物经特殊处理后，通常都需再以掩埋(Land Filling)作最终的处置。虽然掩埋是事业废弃物处理系统的最后步骤，但也却是很重要的一环；处置不当所造成的后遗症，后果将相当严重，绝对不能轻易忽视之。

以掩埋设施的安全性来区分，基本上可大略区分为卫生掩埋法、安定掩埋法及封闭掩埋三大类。其间之差别在于掩埋场内装置设备周密之程度。封闭掩埋法因具较多层的保护及监测设施，安全性较高，当然投资及操作费也较高。选用则视实际需要而定。

就封闭掩埋法而言，必须具备下列条件：

1. 选用恰当材质的不透水布。
2. 使用两层不透水布。
3. 具有渗透水收集系统及处理系统。
4. 掩埋场底部必须在二百年洪水周期的可能最高地下水位之上。
5. 两层不透水布间须设有漏水侦测系统及处理设备。

场地之选择也是掩埋法重要之一环，在选择掩埋场地时，必须考虑之因素有：

1. 运输距离。
2. 土壤情况、地形、气候、地质。
3. 地面水水文及地下水水文。
4. 可用的土地面积。
5. 当地环境情况。
6. 处理时之资源回收及竣工后场地之用途。

(3) 空气污染控制技术研选

焚化后可能排放气体成份有：

- 1) 粒状物：大部份为非有机物。
- 2) 酸气：如 HCl、HF、SO_x 与 NO_x 等气体。
- 3) 重金属：如 Pb、Zn 等含于尘粒或废气中。
- 4) 稀有有机物：大部份为挥发性有机气体。

针对这些进料与排放物性质的掌握,及焚化系统之主要单元间各种设备的选择有:

焚化部份: 旋转窑, 二次燃烧室(热旋风分离器)

排烟气冷却部份: 一般热回收交换器

粒状物去除部份: 静电集尘器(ESP)

袋式集尘器(BH)

湿式洗涤器(WS)

酸气脱除部份: 湿式洗涤器(WS)

半干式洗涤器(SDS)

喷雾干燥器(SD)

重金属脱除部份: 袋式集尘器(BH)

离子化湿式洗涤器(IWS)

湿式洗涤器(WS)

稀少有机物脱除部份: 文式洗涤器(VS)

填充塔(PBT)



目前可获得的空气污染控制策略与技术种类繁多,其评选必须考虑废弃物特性、法规要求、处理性能等经详细评估分析后才能作适当的选择。进行规划工作时,宜由法规要求及排放标准为依据,仔细评估各种可行技术,再以实际调查所得废弃物性质为依据,遴选出适用的空气污染控制技术。

典型的事业废弃物焚化系统烟囱采样口废气排放浓度之设计条件为(校正至 10 % O₂) (处理量 400 kg /hr(含)以上):

不透光率: < 10 %

粒状污染物: < 80 mg/Nm³

氯化氢(HCl): < 40 ppm

二氧化硫(SO₂): < 150 ppm

氮氧化物(NO_x): < 180 ppm

一氧化碳(CO): < 80 ppm

(Hourly Rolling Average)

总碳氢化合物: < 10 ppm

Hourly Rolling Average)

戴奥辛 < 0.1 ng/ Nm³

铅及其化合物: < 2.0 mg/Nm³

镉及其化合物: < 0.3 mg/Nm³

汞及其化合物: < 0.3 mg/Nm³

(4) 废弃物处理系统组合分析

俟针对各种焚化炉与空气污染防治设备之性能进行讨论及评选后,应继续针对现有废弃物的特性选择一适当且有效的焚化处理系统,以便正本清源地处理事业机构所排出的“事业废弃物”,并达无二次污染公害之虑。

常见之空气污染防治系统有以下几种组合:

1. 急冷室(气体冷却及调节)→ 高能量文氏洗涤器(去除粒状物)→ 填充涤气塔(去除酸性气体)→ 除雾器(去除可见之蒸汽烟柱)。
2. 急冷室(气体冷却及调节)→ 干式/半干式洗涤器(去除酸性气体)→ 袋式集尘器或静电集尘器(去除粒状物)→ 填充涤气塔(去除酸性气体)→ 除雾器(去除可见之蒸汽烟柱)。
3. 急冷室(气体冷却及调节)→ 文氏洗涤器(去除粒状物)→ 填充涤气塔(去除酸性气体)→ WESP(去除酸性气体)。

由于组合旋转窑焚化处理系统的现有各种设备,性能与效益等方面性质都有差异,因此在决定合理的系统组合之前,应有所准则,据以评断取舍。本项工作宜以定性分别列举系统组合的考虑因素,并给予各因素的加权系数,以简示其重要性的先后顺序。

基本上,对于旋转窑焚化处理系统,其组合所应考

虑的最主要因素有以下六点：

- 1) 系统处理性能(performance)
- 2) 安全性(safety)
- 3) 弹性度(fiexibility)
- 4) 可靠性(reliablity)
- 5) 操作因素(operational considerations)
- 6) 成本与商业市场(cost & commercial market)

(5) 经济分析与系统优劣排序

本工作项目着重于就投资成本与回收效益的观点，对各种系统作评估。每一系统投资成本的预估是以年营运成本与营运维护年金以及预期回收效益作为基础。

在做完对每一系统的经济分析之后，本工作项目应以其它与系统相关的变量，例如对环境的影响，与投资的风险性等，作初步的分析，以便进行系统优劣排序。最后以每一系统的投资成本与系统优劣排序之结果为基础来选于一较佳的焚化系统。

(6) 最适系统组合推介及场址勘查与规划

最适系统组合评估工作包括：焚化系统容量之正确推估、系统之评选、系统说明及设备设计 / 选择。系统说明应包括以下文件：

- 1.系统及操作说明；
- 2.初步的质能平衡；
- 3.程序流程图及设备配置图；
- 4.灰烬及废水性质与处置方法；
- 5.初步的成本及操作费用估计。

选定适当的焚化系统之后，需进行场址的勘查与规划工作。此项工作需建立下列资料，以利设计工作之推动，并有助于作好环境影响说明。

表四、场址的勘查与规划所需建立资料

地质资料	地文、水文	气象资料	人文及交通
地质构造	土壤组织	风向	人口分布
地层特性	深度	降雨量	民众意愿
岩床深度	排水	湿度	交通状况
地震频率	入渗率	暴风雨频率	
	坡度		

(7) 法律、经济及环境分析

俟最适系统组合遴选、场址勘查完竣后，宜同时完成法律、经济及环境分析工作。工作内容包括：

7.1 一般性考虑

焚化处理设施之建设，可能对厂区之交通、景观、安全等之影响，及周遭民众环保团体可能产生的反应，及因应考虑。

7.2 经济分析

规划完成后，正式执行焚化处理设施之建设、所需项目组织、焚化设施建造费用、焚化设施之操作维护费用分析。

7.3 环境分析及环境说明

- a.相关法律、规范之调查。
- b.环境基础资料之调查。
- c.焚化设施建造后，可能产生的影响说明。
- d.撰写环境说明书。

(8) 事业废弃物监测系统与应变计画

规划工作应包含研订监测项目，详尽地规划废弃物监测、记录、采样、化验、分析等所需人力、仪器设备，以期建立有害事业废弃物自生产源、收集、储存、处理至处置等一系列作业必须之监测制度。此项制度将包括：

- 记录保存作业
- 加卷标手续
- 追踪联单制度
- 最终处置报告
- 定期申报

● 第二部分：焚化设施设计与招标文件准备

(9) 焚化系统设计

焚化系统设计工作包含系统流程计算、整厂规划、硬设备初步设计及安全系统之规划设计。一般工作项目依 Turnkey Plant 或 Non-Turnkey Plant 而有别，如下表所示：

工作项目	Turnkey	Non-Turnkey
1.系统流程计算	○	○
2.整厂规画	○	○
- 厂区配置	○	○
- 土木功能设计	○	○
3.设备设计	B	○
- 机械设备设计	B	○
- 电气设备设计	B	○
- 仪控设备设计	B	○
- 设备规格书编列	B	○
- 施工说明书准备	○	○

注○ 表示完成完整的设计书及工程规格

B 表示只完成基本观念设计及性能需求规格

(10)经费需求概估

经费需求概估包括：硬设备费用、人事经费、及操作维护费。其中硬设备费用通常又区分为：1) 工程设计费；2) 机电设备费用；3) 土木建筑费用；4) 工程管理相关费用；及 5) 利润与税捐。

(11)招标文件准备

俟焚化设施规划、设计完备后，工程设计人员应依业主之要求，制备工程招标须知及工程预算及施工进度管制书，以供业主公开招标之用。招标文件通常可分成两种作法：1) 性能规范及工程规范，承包商负责全部工程责任；2) 招标文件明定程序规范、施工规范及相关工程规范，承包商负责依这些规范进行设计，并负责工程责任。

● 第三部分：工程施工

(12)审标与监造

工程招标工作进行后，计画工作人员应协助业主就所获得的投标文件进行审标工作，提供客观的咨询及审查服务。此项工作通常含盖厂商资格、技术能力、工作历程、及工程经费等之审查。工程开始进行时，计画工作人员应实际负责工程之监工，进行工程进度及工程品质之控制，撰写工程日志及施工报告。并负责检验之审核。

(13)工程施工

承包厂商应依业主所订严格的规范执行工程施工，依双方约定之质量及工期确实执行。

● 第四部分：焚化设施测试及人员训练

(14)试车

俟设备安装后，计画工作人员应协助业主，会同承包工程公司，进行焚化设施之试车工作，并协助承包工程公司解决设计或制作上之缺点，使整个系统可顺利运转，并达成原设计功能〔1, 2, 13, 14, 15, 16〕。

(15)试烧

15.1 试烧申请书准备

依"有害事业废弃物贮存、清除或处理方法及设施标准"之规定，有害事业废弃物之中间处理设施应符合下列规定：

- a. 基础结构必须坚固，且具抗压、抗震及抗温度变化。

- b. 设施之床面或地面，须采抗蚀及不透水材料构筑。
- c. 设施周围须有防止地表水流入之沟渠或设备。
- d. 应具有防止废弃物飞溅、流出、恶臭扩散及影响四周环境品质之必要措施。
- e. 应依设施之处理能力，具备足够空间，容纳贮存容器。
- f. 应具有充分处理能力之污染防制设备及防蚀措施。
- g. 排放之废气、废水应符合有关法令之规定。
- h. 燃烧室出口中心温度至少 1000°C 以上，燃烧气体滞留时间至少二秒以上。
- i. 有机氯化物总破坏去除效率达 99.99% 以上，多氯联苯及四氯戴奥辛 (2、3、7、8 TCDD)、四氯联苯夫喃 (2、3、7、8 TCDF) 总破坏去除效率达 99.999% 以上，其它毒性化学物质之破坏去除效率达 99.9% 以上。
- j. 具有能维持第 h. 款之温度所需之助燃装置。
- k. 具有能供给燃烧室充分空气量之调节装置。
- l. 其它必要之自动监测及紧急事故应变处理装置。

此外，有毒有害废弃物采热处理法中间处理时，应先提试烧计画呈报中央主管机关核准，并经测试合格后，始得为之。其试烧计画内容至少包括下列项目：

- a. 试烧步骤及试烧日期。
- b. 有机氯化物或其它经中央主管机关指定之毒性化学物质成分分析。
- c. 热处理后之残渣及洗涤物中之毒性化学物质总量分析。
- d. 排气中毒性化学成分，HCl、CO、CO₂、O₂、NO_x、SO_x 及总粒状物浓度之分析。
- e. 燃烧室之中心温度及滞留时间。
- f. 毒性化学物质之破坏去除效率 (DRE)。

15.2 焚化设施试烧

试烧之执行工作相当复杂，主要包括：

一 准备工作

- | | |
|---------|--------------|
| 进度之掌握 | 取样人员之准备 |
| 设备之准备 | 数据收集与处理系统之准备 |
| 安全措施之准备 | 观察员之安排 |

一 取样工作

设备安装 初步测试 实际测试

— 样品分析

样品检入 分析指令 分析测试

— 数据分析

— 报告结果

(16)使用执照申请

依政府公告之『事业废弃物贮存、清除或处理方法及设施标准』之规定，要求各事业单位应提出事业废弃物清理计划书，而从事有害事业废弃物之贮存、清除或处理者，应向地方主管机关申请核发许可证，经报中央主管机关核准后，始得发给许可证。

于焚化设施建造完成并完成试烧测试后，应协助业主拟具操作许可申请书，解说焚化系统功能、环境影响及试烧结果，向主管机关申请使用执照。

(17)焚化设施管理及操作人员训练

依规定焚化设施于激活操作之前，所有的焚化炉操作员应先由制造厂商代表及(或)其它代训机构安排进行一系列的操作程序训练。每一焚化设施至少须有一操作人员接受过完整的操作训练，以确保焚化设施之操作性能维持一定水准。

焚化设施管理及操作人员训练课程至少应包括：

- a. 适当之废弃物处理程序。
- b. 焚化炉可接受之废弃物种类。
- c. 焚化炉设计及废弃物燃烧基本理论。
- d. 正确的焚化炉激活、操作、关机及维护程序。
- e. 工作安全程序及紧急应变程序，包括厂区内之污染物外泄控制程序。
- f. 空气污染防治法、废弃物清理法、水污染防治法及其它相关法规。
- g. 空气污染防治设备之操作及维护。
- h. 在其它有经验操作人员或焚化炉制造厂商代表之指导下，至少 24 小时之焚化炉操作实习。

三、焚化处理设施之操作、营运、管理

3.1 废弃物接收系统

图 3.1 为有害事业废弃物集中处理设施接受废弃物之作业管制流程。废弃物产生者应于下列情况检送废弃物样品供处理场分析，研判适当之贮存及处理措施：

1. 签约前

2. 每年至少送检一次

3. 制程改变时送检

处理场应于接受样品后，进行详细的物理化学分析；依废弃物性质订立简易核检项目，并订立贮存方式及处理操作条件。

废弃物产生者将废弃物送往处理场之前，必须预先通知厂方管制中心（一般在 24 小时之前），管制中心再转告入厂管制站及分析实验室，将该批废弃物的档案资料准备好，以便废弃物到达时可立即进行登录和检验作业。

废弃物运送至处理厂时，应伴随携带下列资料：

(1) 递送联单(Manifest) -

为世界各国法规规定之必备文件，表 3.1 为目前台湾地区现行之废弃物递送联单。递送联单分为一式六联，进入处理厂时，应依规定递送第二至五联，并由厂方依规填具详实资料。

(2) 物质安全资料表(Material Safety Data Sheet)

由于递送联单上并未载明废弃物之详细物理化学性质及其应注意的安全事项，为了废弃物清除处理人员之安全及紧急应变之需要，因此，应由废弃物产生者填具一份物质安全资料表（亦即废弃物产生者对于其经常产生之废弃物，应具备有此方面的档案）。以美国为例，法规要求物质安全资料表之内容有：

- | | |
|--------------|-----------|
| a. 物质名称 | b. 物理性质 |
| c. 危害性资料 | d. 反应性资料 |
| e. 着火性及爆炸性资料 | f. 健康危害资料 |
| g. 特殊防护资料 | h. 处置建议 |
| i. 其它 | |

物质安全资料表除了可方便于废弃物处理厂确认该废弃物外，同时亦可提供运送和处理者应注意的安全防护措施和溢散时之紧急处置步骤等。目前国内已由工研院工业安全与卫生中心引进此种资料系统，并已完成中文化作业，可供参考使用。

(3) 特殊注意事项 -

对于有特殊安全顾虑之废弃物，除了在物质安全资料表中记载外，废弃物产生者并应将特殊安全措施另外载明，且在转交废弃物时告知运送者，并以明显文件及标示记号标示于运输工具上。如果废弃物与合约中有差异，最好是能将其产生制程的说明一并附上，以方便处

理厂研判适当的处理方式。

废弃物运抵处理场后，应于废弃物接收站进行采样，并于三十分钟内完成简易核验测试，判定是否可予接受处理。若所运送之废弃物非原合约议定之废弃物，则应进行详细分析，判定是否有能力处理并决定适当的处理单价。无法处理之废弃物应运回原产生者。

3.2 槽车卸料系统

槽车卸料系统主要用于下列废弃物之卸料：

- 可泵送之液体废弃物及污泥。
- 含有大量固体之液体废弃物及污泥。
- 以倾卸车装载之不可泵送固体废弃物，但可于添加液体后成为可泵送者。

3.2.1 设计所考虑之卸料方式

观念设计时可以考虑之槽车、倾卸车卸料方式如下：

- 泵送式卸料
- 重力流送或倾卸式卸料
- 以氮气加压槽车压送式卸料

运送车辆行经卸料站之方式则可以考虑为：

- 倒车进入卸料站，卸料后再行开离
- 直行进入卸料站，卸料后直行离开

各卸料方式之优缺点比较如下：

1. 泵送式卸料

- 可由泵浦直接将废弃物泵送至贮槽贮存，泵送过程可避免毒性挥发有机物质之排放，而造成环境损害。
- 可由车装泵浦或卸料站泵浦泵送，且可直接泵送至贮槽贮存，操作时有较大的弹性。
- 倒车或直行经卸料站方式均可适用。
 - 不适合倾卸含大量固体之废液或污泥。

2. 重力流送或倾卸式卸料

- 载运车卸料时之高度须较卸料贮槽为高，意即须建造地下贮槽或高于地面之道路。
- 适合含有大量固体之废液或污泥的卸料。
- 对须经稀释或向处理才能泵送之浓厚污泥，此法较适合其卸料。
- 倾卸卸料时可能有较大量的毒性挥发物质产生。
- 载运车倒车或直行经卸料站两种方式均可适用。

3. 氮气加压压送卸料：

- 使用此卸料法槽车须能耐压。
- 使用此法卸料贮槽亦必须耐压。
- 有较大的溢漏，污染等危险。
- 可直接输送至贮槽，因此挥发性物质泄漏较少。
- 载运车倒车或直行方式均可适用。

比较上述槽车卸料方式，建议事业废弃物焚化处理厂以采用泵送卸料及重力流卸料方式较佳。采用之理由为：

- 可安全有效的卸料。
- 无溢漏，污染之危险。
- 操作弹性大。
- 可同时可对可泵送及高固体含量之污泥等废弃物作卸料。
- 对须经前处理（如稀释）才可泵送之废弃物，可在卸料槽先行处理。

3.2.2 槽车及卸料槽设计安排

常见之观念设计通常考虑三种槽车及卸料槽设计安排，分别示于图 3.2，现分述如下：

设计安排 1：

建造高于地面之槽车道，卸料槽位于地面，槽车开至卸料槽槽顶卸料。卸料完后槽车可直行离去。

设计安排 2：

槽车于地面行驶，卸料槽位于地底，但顶上加盖使槽车卸料后能直行离去。

设计安排 3：

槽车于地面行驶，卸料槽建于地下，但顶上不加盖，卸料时槽车倒车进入，卸料完直行离去。

以上三种槽车及卸料槽设计安排各具优缺点，以下分别就场内交通运行动线及可能造成之风险等比较如下：

设计安排 1：

- 槽车直行，不须倒车空间，交通流动良好。
- 卸料槽位于地表，不须地下双层防漏结构。
- 槽车于高于地表之车道上卸料时所造成的溢漏难以清洗。
- 因须建造槽车上坡下坡之坡道，此安排所需空间较大。
- 此设计安排之建造成本较高。

设计安排 2：

- 交通流动状况良好。
- 所需用地最小。
- 卸料时会于车辆行驶地带造成溢漏，污染较难清洗。
- 卸料时溢散之挥发性有机物难以捕捉清理。
- 因车辆须驶过地下贮槽，此安排之建造成本亦高。
- 由于车辆须驶过贮槽，由排气造成火灾之可能性高。

设计安排 3：

- 交通流动状况较差，但可接受。
- 所需用地介于前二者之间。
- 车辆排气造成火灾之可能性低。
- 由于此种安排于卸料时大部份气体可由气罩收集，故对挥发性物质排放控制最容易。
- 已有成功之实际经验。
- 建造成本最低。

由以上优缺点之比较，建议事业废弃物焚化处理厂采用设计安排 3 作为槽车卸料站设计基准。

3.2.3 辅助及安全措施

所有卸料站均应设计为倾斜地面，且应具备防溢堤，以便于发生溢漏情况时，可以有效地收集溢漏之污染物。防溢堤之大小设计，最少要能容纳一整个槽车泄漏时所造成的污染物，确保不致扩散至场区其它地区，亦即最小体积容量应在 40 m³ 以上。所有卸料站均应为室内设施，以防止暴雨造成污染及便于控制挥发性物质排放。地下贮槽上则装置闸门，不卸料时闸门关闭并以抽风系统维持负压，以避免挥发性毒物排放。所抽空气在焚化炉操作时送入焚化炉焚化，焚化炉停炉时则由一活性炭吸附塔处理之。

所有地下贮槽之结构通常均采双层防漏设计，以防止渗漏。同时特别注意通风，以控制挥发物质排放。地下贮槽结构内并应装有碳氢化合物侦测器，于人员进入前预先侦测，以防止中毒造成伤害。不具地下卸料槽之卸料站应于防溢堤内设置水沟以将污染物排至地下卸料槽，地下卸料槽之构造则应有倾斜地面，及污染物收集槽以便将污染物泵出收集。

液态废弃物及污泥于焚化前须暂时贮存于塔槽区，贮槽区设置之目的有三，即：1) 安全贮存废弃物，不

同种类不兼容之废弃物可分开贮存。2) 可供废弃物前处理之用，如油水分离、固液分离等。3) 可供废弃物焚化前掺配之用，以作热值、硫氯含量等之调整。

贮槽及塔槽区之设计基准

- 塔槽区之设计须能提供最大的操作弹性，能兼顾所需处理废弃物之数量及其特性，并能于焚化设施岁修时容纳待处理之废弃物。
- 塔槽之布置必须能兼顾操作性能、防火、安全性及环境保护。
- 必须包括废弃物泵送前处理时所需使用水之水槽。
- 集中处理厂内产生之废弃物，如溢散之污染物、洗涤水、设备洗涤废水等必须能泵送贮存。
- 对某些特定之废弃物，如 PCB、杀虫剂等，必须能独立卸料及分开贮存。
- 必须有废弃物进料掺配槽。
- 塔槽区之操作、控制必须能由中央控制室进行，亦即与整厂其它设备必须为整个系统控制之一部分。

贮槽及塔槽区之辅助及安全措施

为防止火灾，所有贮存槽均应以安全距离隔离，每一贮存槽四周并应设置防溢堤。防溢堤除高度须符合防火规定外，其内容积大小须能容纳整个贮槽之内贮容积，以防止溢漏。

为了防火及防爆目的，所有贮槽（包括卸料、暂存槽）均应以氮气密封，氮气压力最低 14 KPa。贮槽排出之气体（含挥发性有机物之氮气）建议送至焚化系统焚化，在焚化系统停炉时，则以一活性炭吸附塔去除 VOC 后再行排放。

为降低废弃物之黏度，以利泵送；贮槽可装置加热设备，输送管线亦可予以保温。为控制液位，每一贮槽均采装置液位控制。此外，每一贮槽亦须装设清洗管线，以便于岁修或更换内贮物时进行清洗。

3.4 筒装废弃物处理系统

事业废弃物焚化处理厂处理之有害事业废弃物通常有一大部份以筒装进厂，筒装废弃物处理系统即提供筒装废弃物之卸料、取样、贮存及前处理等功能。通常虚设计适当系统处理下列筒装废弃物：

- 干、湿固体
- 液体废弃物
- 污泥

筒装废弃物处理系统依据下列设计基准设计：

- 尽量自动化操作以减少操作人员危险及操作成本。
- 于送入贮存区前，须有一暂存区，以使进厂之桶装废弃物于此进行采样，印证分析等工作。
- 处理系统必须能将筒内贮物倾卸干净，或连同一起送入焚化系统。
- 以堆高机输送筒装废弃物。
- 特殊筒装废弃物之贮存须设围篱，并加锁以防闲人进出。

由于废弃物之来源不一，成份多变，且装盛之桶子大小亦不一致，处理时多须人工判断，因此全自动处理系统并不合适。另外为避免操作人员伤害及节省操作成本，全人工处理亦不适宜。鉴于以上各点，建议筒装废弃物处理系统以半自动为宜。

为防止有机挥发气体溢散造成污染，及贮存筒因天雨，锈蚀而溢漏，筒装废弃物处理拟于废弃物前处理建筑物内进行。处理完之桶子，亦贮存于此建筑中。为避免工作人员因有机挥发物溢散而中毒，整栋大楼须作完善通风设计，桶处理区须设有气罩，以将溢散之有机物随时抽离。抽出之气体送入二次燃烧室燃烧，以摧毁有害有机物质。于焚化系统停炉时，抽出之气体则以一活性炭过滤器过滤，滤除其中之有害有机物后再行排放。

桶装废弃物处理系统示意图如图 3.5 所示。

载运筒装废弃物之卡车，先于卸料站卸下废弃物，再由堆高机运送至暂存区暂存。为方便卸料，卸料站设有一约与卡车同高（1.2m）之卸料台，且有一斜坡以方便堆高机行驶。

贮存于暂存区之桶装废弃物，预先检查其递送联单，再由实验室人员进行采样及印证分析。若分析结果与联单吻合，确为本厂签约代处理之废弃物，则由堆高机运往贮存区贮存。若不符合本厂处理标准，则暂存于暂存区，待下次运送卡车来时送回产源。

桶装废弃物依废弃物特性，处理需要分类分别贮存。贮存方式须利于后续之处理操作，如取桶时须能符合处理时程等。为避免接触人体产生危害，某些特殊性废弃物贮存时须设围篱隔离，并上锁以防止闲人进出，此种特殊性废弃物之贮存量约 200 桶左右。

贮存桶应定期检视，有泄漏之虞或已泄漏之贮存

桶，经检视后，应立即置入一较大的新桶后再行贮存。

桶装废弃物进行处理时，先由堆高机运送至处理输送带、称重、而后由输送带依不同处理方式送至不同处理站处理。一般于处理前，须先打开桶盖或钻取一液体流通孔。桶盖打开及钻铜由无火星机具，以人工进行，以防止火灾，桶盖打开后仍维持盖上形式输送，以免挥发性有机物外泄。

桶装废弃物经去除液体，打开桶盖等前处理后，即可进入焚化炉焚化。焚化炉进料系统主由输送带，贮桶升降机及推杆进料器组成。唯桶装废弃物前处理系统操作仅 8 小时一天，一天一班。而焚化炉则为一天三班，一天 24 小时操作。故桶装废弃物前处理须在 8 小时内处理出 24 小时及假日之焚化量，以便焚化炉操作。故桶装废弃物须有进料贮存区，贮存欲焚化之废弃物。贮存时须依照焚化序列贮存，如一桶污泥，续以一桶高热值油漆，再续以一桶再装填之空桶碎片等。

筒装废弃物处理系统之辅助及安全措施

桶装废弃物前处理通常于废弃物处理厂房内进行。为防止渗漏，地面应全部以钢骨水泥外敷环氧树脂建筑。地板采斜面设计，且设置有排水槽以便收集溢漏及易于清洗。

为防止操作人员因挥发性有机物中毒，前处理大楼之通风设计须特别注意。前处理大楼通常采两种通风设计标准，贮存区采一般通风设计标准，取样及处理区则采较高通风设计标准以维持低 VOC 浓度，保护操作人员。

处理区如液体吸除，污泥收集等地区均将设置气罩，以吸除排出之挥发性有机物。吸出之气体送入焚化系统焚化摧毁 VOC，于焚化炉停炉时，则由一活性炭吸附塔吸附 VOC 后再行排放。

3.5 进料系统

3.5.1 固体有害事业废弃物进料系统

为避免有害物质与操作人员发生接触以致产生危害，有害事业废弃物一律以桶装收集、运送、贮存及进料。桶装有害固体废弃物运送车进入焚化处理厂后，因每桶有害事业来源不一，不可能在短时间内逐桶取样来分析，故先于废弃物暂存区内卸料，再由分析实验室抽样化验，决定焚化处理厂是否接受此批废弃物。若决定接受处理，则此批废弃物由堆高机运送桶装废弃物贮

存仓库内贮存。若决定不接受处理,则此批废弃物即留置暂存区内,待下次清运卡车再来时,原车戴回废弃物产生源。

由处理中心决定接受焚化处理的有害事业废弃物,以桶装方法于废弃物贮存仓库内贮存。在焚化处理前,每桶须经操作人员开桶检视其中是否含有大量的液体废弃物,以避免在废弃物进料时大量可燃性液体突然引燃而引起爆炸。检视结果桶中如含有液体,则须送往液体倾出站,将液体以泵浦或真空抽取方式汲出,再依据硫、氯含量以及热值的不同,分别泵送至不同的贮槽贮存。液体倾出站之设计是顶部有一抽风机,采开桶时可能释出之毒性挥发物质随时抽去,以避免操作人员中毒。底部为水泥地面上衬环氧树脂,以避免渗漏之液体废弃物渗入地面,以及利于清洗。此外倾出站之地面须有一定之斜度,斜坡之底部须有一水槽以收集溢流之液体废弃物。

每桶废弃物内之液体除去后,再由操作人员检视装盛之桶是否为标准筒。若为标准筒则依废弃物特性(硫、氯含量、内含有机物质、重金属、热值等)运送至进料贮存区分开贮存。若非标准筒,则由一切碎装填机,切碎重新装填至标准桶再行贮存。非标准筒由一滚动式输送带运送进料,再由一降斗机提升至切刀上部。然后进料门开,非标准筒进料。进料后非标准筒由一推杆向下压挤,使其通过两组切刀切碎,切碎后之废弃物通过一筛网,使液体固体分开。切碎之固体由一标准筒装填,液体则装于容器内泵送至贮槽贮存。

为避免切碎装填机于切碎废弃物时产生之高热可能导致起火,整个切碎机以氮气密封,以隔绝氧气。另切碎机上方设有一防爆门,以免造成爆炸的危险。

经切碎装填于标准筒之固体废弃物依废弃物特性,如硫、氯含量、有害有机物成份,重金属、灰份、热值等分开贮存于进料贮存区,再由操作人员依焚化系统状况,作掺配进料。

旋转窑焚化炉的固体有害事业废弃物进料系统包括转筒输送带、升降机、推杆进料器、及进料斗。固体有害事业废弃物输送带将桶送至升降机,由升斗机将之提高,送入进料斗,由推杆推入旋转窑进料焚化。为防止旋转窑内毒性气体溢出及外界冷空气进入窑内降低炉温,进料系统采双闸门设计,一闸门位于进料斗开口,

为进料斗门。另一闸门位于旋转窑炉壁,为炉门。其操作顺序为进料斗门开,送入一废弃物筒,而后进料斗门关,炉门开,推杆座动将此筒送入旋转窑焚化。转筒输送带及升斗机由电动马达带动闸门启闭及推杆则由油压推动。所有动作由一可程序化控制器(Programmable Logic Controller, PLC)自动控制。

3.5.2 液体废弃物进料系统

液体废弃物以槽车或筒装运送进入厂区。槽车进入厂区后,于废弃物接收区暂时停留,由分析实验室人员进行采样分析,进行硫、氯含量、热值、兼容性测试等快速检验。由分析结果判定处理厂是否接受,接受此批废弃物,若决定接受处理,则槽车开至泵送站,依据硫、氯含量、热值、有害有机成份等采液体废弃物泵送至适当贮槽贮存,而后空车经洗车,称重后离开。若决定不接受处理,则原槽车离开处理厂。

筒装液体废弃物以卡车装运进入厂区,因各桶内废弃物成份可能不一,不可能在短时间内逐一取样化验。故卡车进入厂区后,先于废弃物暂存区内卸料,将筒装液体废弃物暂存。再由实验分析室抽样进行检验分析,进行硫、氯含量、热值、兼容性测试等快速检验。由分析结果制定处理厂是否接受此批废弃物,若决定处理。则由堆高机运送至液体倾出站,以真空抽取或泵浦泵送至适当贮槽贮存。若检验分析结果决定不接受处理此批废弃物,则待下次载运卡车来源,原筒载回产源。

液体废弃物由贮槽区之贮槽贮存,再行泵送进料焚化。为配合进料掺配,液体废弃物分高热值,低热值废液分开贮存。另设一废油贮槽,专门贮存进厂之废弃油品。废液贮存时除先考虑不同入料之兼容性,以免产生化学反应发生危险外,液体废弃物之硫、氯及有害有机物质含量在贮存前亦事先作掺配考量。为使固体沉积物能顺利排出,各废液贮槽均采锥型底设计,此外为了降低液体废弃物的黏度,以利泵送各贮槽之规划有加热装置。为避免可燃性液体于贮存时起火,各液体贮槽均以氮气密封。另为防止挥发性站之抽取气体,均抽往二次燃烧室焚化处理。

液体废弃物由泵浦泵送至旋转窑,由一喷嘴(lence)进料喷出进行焚化。喷嘴由合金钢制作,为避免高热受损,进料时由水循环冷却。停止进料则自动伸出炉外。另液体废弃物进料管线上设置雾化空气管,以厂用空气

采其雾化至微小雾滴再行喷出,以使燃烧完全。液体废弃物物的进料量由焚化炉的温度回馈控制。废油因其热值高,可用作辅助燃料,故由旋转窑及二次燃烧室之复式燃料燃烧机进料,当作辅助燃料使用。为使废油进料时雾化良好,燃烧完全,废油管线亦装有雾化空气管,使之在燃烧机内雾化喷出燃烧。

3.5.3 污泥进料系统

污泥以槽车或筒装运送进入厂内,进入厂区之采样分析认证程序大致同液体废弃物,详细认证程序请见废弃物接收系统之说明。

经由分析实验室确认处理厂接受处理之污泥,槽车驶泵送站采污泥泵送至适当之污泥贮槽贮存,筒装污泥则运往污泥清出站,以倾倒、真空抽送,或泵浦采污泥泵送至适当贮槽贮存;污泥中因一般固体含量较高,故贮槽均采锥型底设计,为降低污泥之黏度,贮槽中亦设有电热装置。因一般之转动型泵浦无法泵送高固体含量之物质,故污泥泵浦通常选用高扬程之唧筒式泵浦(schwing pump)。

污泥由唧筒式泵浦泵送至旋转窑,由进料管挤入窑入焚化。其流量由操作员于控制室内设定。

3.6 焚化系统

以下以性能可以达到 DRE>99.9999% 的 RESI-2000 型先进焚化系统为例,作简要说明。

3.6.1 旋转窑

旋转窑焚化系统之一次燃烧室为一旋转窑。旋转窑为一内衬耐火材料之钢筒,两端具有稍微之倾斜度。废弃物于进料后,即因旋转窑之旋转及重力的作用,一面焚化一面向下移动,直至成为灰烬排出,达成焚化的目的。

为避免过量冷空气进入窑内,旋转窑之活动本体与两端板间设有气密装置。旋转窑之气密采用金属片气密设计,金属片以 SS-316 不锈钢制造,表面维持紧密接触处理,使其具有润滑作用,同时只容许漏入微量空气(自然吸入或以一鼓风机吹入以达到冷却的效果)。估计两组气密装置漏入的空气量,通常约为燃烧空气的 10%。

旋转窑上装置有二组钢胎,此一钢胎座于支架上的四个滚轮上,以支撑旋转窑之全部重量。为防止旋转窑下滑,旋转窑底部同时设有二止滑轮。另旋转窑上有一

齿轮以带动旋转窑之转动,旋转窑之转动通常以油压趋动,转速可控制在 0.5 至 5 rpm 间。旋转窑之转动速度可同时控制固体废弃物之滞留时间,在 0.5 至 1 rpm 之转速范围下滞留时间约为 30~150 分钟。

旋转窑外壳通常由 ASTM A-36 碳钢制造,厚度最低 1/2 吋。旋转窑内衬之耐火材通常为厚度 6 吋之高铝耐火砖,其铝含量至少须在 85% 以上(如 A.P. Green KX-99-BF Superduty)。耐火砖内通常为 4 吋厚之断热砖(如 Greenlite KL IFD)。如此之设计下,在焚化时旋转窑外壳之温度约在 150°C,以避免酸性气体在钢壳内部凝结,造成钢材的腐蚀。耐火材之最高操作温度为 1400~1600°C。

旋转窑两端之端板通常亦以 1/2 吋 ASTM A-36 碳钢板制造,内衬可铸性耐火泥(如 Super Hybond Costable)。

旋转窑之释热容量以低于 15,000 - 20,000 BTU / ft³/hr 为原则,另旋转窑内之燃气流速以低于 12 - 15 ft/sec 为设计基准。

大型旋转窑之除灰系统建议采用湿式灰烬移除系统,旋转窑之底部设有一灰烬接收槽,通以空气污染防治设备所排出之废水或工业用水维持固定液位,焚化所剩之高温灰烬及旋风分离器所收集之灰烬即排入此收集槽中,冷却后再以一灰烬输送带排出运出掩埋。焚化操作时旋转窑之出灰口及旋风分离器之排灰端通常设计为浸渍于灰烬收集槽之液位下形或水封,造成焚化系统之气密,以免毒性物质于焚化时溢散于焚化炉外。

旋转窑之底部可装设一电视摄影监视器,将焚化状况,火焰情形等随时显示于控制室中,供操作人员监看。

旋转窑之操作温度通常设定于 800~1000°C,过剩空气 100%。但特殊设计者不在此限。

3.6.2 二次燃烧室

旋转窑之目的仅在使废弃物作热解及初步燃烧,所产生之未完全燃烧气体须在二次燃烧室内完全燃烧。焚化系统之二次燃烧室可采水平或垂直式设计,其大小主要设计使燃气能在 1000°C 以上滞留两秒,以符合法规的要求。

二次燃烧室之外壳可采用 ASTM A-36 碳钢制造,厚度至少 3/8 吋内衬 9 吋之高铝耐火砖(Superduty fire brick, H.W. Varnon 或其同等级产

品)及适当厚度之断热砖,以使表壳温度高于 160 °C。使酸性气体不致凝结以防止腐蚀。耐火材料将可抵抗酸气及盐类的侵蚀,同时可使二次燃烧室在 1400°C下连续操作。

3.6.3 燃烧机

因废弃物之热值并不稳定,在废弃物热值不足时焚化系统即须补以辅助燃料燃烧将炉内温度提高至焚化温度,故焚化系统须装设燃烧机。焚化系统常装设燃烧机三部,一位于旋转窑,二部于二次燃烧室。

焚化系统装设之燃烧机常采用高涡流,低 NOx 设计,可同时使用低硫燃料油,废油,与天然气为辅助燃料。于运转初期,若厂址并无天然气管线供应,辅助燃料宜采用 2 号柴油,待运转顺利后,视需要及天然气供应状况再装设天然气贮槽。初期可仅设桶装天然气供应站,供应少量天然气用作燃烧机之母火。

燃烧机之控制采用炉温串级(cascade)燃料及空气流量控制,燃烧机之设计采包含自动安全连锁停止阀,燃料、空气流量感应设备等,以维护操作时之安全。所有燃烧机之管线、安全阀、火侦测、燃料排出采依美国国家防火协会(NFPA)规定设定。

3.7 空气污染防治设备

废弃物在焚化处理时,会产生粒状污染物,酸性气体(HCl、SOx、NOx)重金属等二次污染,若不加以处理将会对人类健康与自然环境造成重大影响,因此在排放前须以空气污染防治设备予以处理。焚化炉之空气污染防治设备一般可分干式涤气及湿式涤气两种。湿式涤气使用文氏涤气塔,填充床涤气塔等设备,除酸效率较高,但会产生大量废水。干式涤气则选用半干式涤气塔,袋滤器等设备,随酸效率较高,但会产生大量废水。干式涤气则选用半干式涤气塔、袋滤器等设备,除酸效率较低但没有废水的问题。

若厂址没有既存的废水处理厂,规划一废水处理厂则既不经济,操作上又增添诸多困扰。因此空气污染防治设备的选用上可考虑采用干式涤气系统,典型的干式处理设备为:

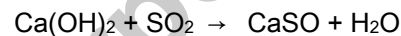
烟道气→半干式涤气塔→袋滤器(→填充床涤气塔)
→诱引风机→烟囱

填充床涤气塔会产生废水,但其量不大。整厂操作时,可采填充床排放之废水与石灰混合,产生半干式涤

气塔用以吸收酸气的石灰浆,而于半干式涤气塔内干燥成水蒸气排放,因此,整个焚化系统仍可维持没有废水排放。整厂之排放只有焚化灰烬、袋滤器收集之飞灰及烟囱排放之废气。

3.7.1 半干式喷雾干燥涤气塔

空气燃气热交换器后为半干式喷雾干燥涤气塔,以除去燃气中之酸份。半干式涤气塔的作用原理为在高温燃气中喷入石灰浆水溶液,石灰浆喷入后会用燃气高温而干燥,在干燥的过程中会与酸气形成下列反应而将燃气中之酸份(HCl、SO)移除。



涤除之 HCl 及 SO₂ 连同未反应完之 Ca(OH)₂ 采以飞灰或底灰方式排出。

焚化系统之半干式涤气塔移除效率通常设计值为

HCl : 95%

SOx : 85%

气体滞留时间通常控制在 12~15 秒。

半干式涤气塔可采用 6mm ASTM A-36 碳钢制造。小型焚化系统之石灰浆雾化方式通常使用双流体系雾化。即以厂用空气将石灰浆雾化成微细雾滴后再行干燥。雾化喷嘴材质可选用特殊合金钢或 SUS-316 不锈钢。

烟道气进入半干式涤气塔之温度通常约为 370°C,在半干式涤气塔内冷却至 170°C 离开,以利后续之袋滤器操作。

焚化系统之半干式涤气塔之烟道气可设计由底部进入,石灰浆亦由底部喷入。干燥后所产生之钙盐及未使用完之氢氧化钙由烟道气流体化,由底部向上流动至顶部旁的旋风分离器分离气、固相、气相排出至袋滤器除尘,固体则部分回流至半干式涤气塔既续使用,部份当作底灰排出。旋风分离器之底部设有一气锁及转动阀,用以排出底灰,底灰以输送带输送至灰烬收集场收集后掩埋。

半干式涤气塔使用之石灰为去水石灰,含 CaO 95%以上。由厂外购入使用。石灰购入后由卡车及升斗机运送至石灰贮存斗(Lime Silo)贮存,使用时由石灰贮存斗以输送带运至石灰消石槽(Lime Slaker),加水使 CaO 成为 Ca(OH)₂ 泥浆,再由泵浦送至石灰浆掺配

槽，以排放废水及工业用水配成 30%之氢氧化钙溶液后使用。

3.7.2 袋滤器

半干式涤气塔之后为一袋滤器，以滤袋除去烟道气中之尘粒及半干式涤气塔所产生之飞灰。为避免烟道气之水分在滤饼上凝结，造成极高压差堵塞燃气通路，袋滤器须在露点以上温度操作。烟道气进入袋滤器的温度通常设计在 170°C左右，在袋滤器中因热损及脉冲洗涤空气注入的关系，出口温度较进口稍低，约在 160°C。

焚化系统之袋滤器之空气 / 滤布比通常设计在 4:1，除尘效率在 99%。袋滤器之清洗方式为自动清洗，清洗系统拟采用冲压式清洗系统。即以高压厂用空气在滤袋累积之灰烬上端脉冲式注入，冲刷所滤除的灰烬。清洗系以差压作动，当滤袋两端之压力差超过 120 mm 水柱高时即激活清洗系统。

袋滤器之底部为一锥型灰烬收集槽，收集所滤除之尘粒。槽底装有气锁及旋转窑以移除灰烬，移除之灰烬以输送带运送至灰烬堆积场暂存而浸掩埋。

袋滤器本体可采用 6 mm ASTM A-36 碳钢制造，为防止热损，袋滤器之外部宜以 100 mm 之玻璃纤维保温，再包以铝皮。

3.7.3 填充床涤气塔

半干式涤气塔之除酸效率最高不超过 90%，而焚化系统所焚化废弃物之硫、氯含量若高达 5%，单独使用半干式涤气塔不可能达到法规排放标准的要求，故须在半干式涤气塔后可考虑再增设一填充床涤气塔。

为防止腐蚀，填充床涤气塔塔体可采用 FRP (PS 15-69) 制造，内衬 TPFE 膜。制成之填充床耐压上限为 10 psi，所能忍受的真空度为 200 吋水柱。填充床之填料一般多选用 2 吋贝尔环，填料材质可选用 P V D F 或其它耐酸材质。

为防止大量水滴随燃气排出，填充床之顶部宜装设一除雾器，除雾器可利用 PP 制造，金属部份采用 SS-366L 不锈钢。

填充床之液气比(GL/GV)通常设计于 10 左右，排放比 (排放水 / 洗涤水比值) 通常设定于 5%。填料之下方为填充床水槽，用以承接洗涤水，再以循环泵打至填料上方循环使用。

填充床涤气塔之排放通常以洗涤水之电导度控制，

水槽液位以补水维持。洗涤水同时设有 pH 控制器，由填充床上端注入碱液，维持洗涤水之 pH 在 8~10，以确保除酸效率。

填充床涤气塔通常使用较易购得的 45%之碱液。碱液由厂区外购入，由槽车运入后，贮存于碱液贮槽，再由碱液供给泵打入填充床涤气塔使用。

填充床涤气塔之除酸效率通常设计于

HCl : 99%

SOx : 90%

3.7.4 诱引风机

焚化所产生之废气通过空气污染防治设备，须由诱引风机提供动力。焚化有害事业废弃物时，为防止毒性物质溢出，焚化系统内须维持负压，此负压亦须由诱引风机维持。

为防止腐蚀，诱引风机之外壳宜采用 SS-316 或 A-36 内衬 FPP 或橡胶制造，叶片则以采用 Hastalloy 合金叶片较佳。

诱引风机之设计以能维持旋转窑内之负压，在 -25 mm 水柱为原则，其进出口压差通常约为 1000 mm 水柱。

诱引风机之转速通常以一变频器控制，旋转窑之炉压则由诱引风机前之蝴蝶闸控制。所有转动组件并以一振动侦测组件保护。诱引风机之设计应符合美国国家风扇协会(NFMA)标准。诱引风机所产生之噪音在一米外不得超过 80 分贝。

3.8 环境监测

有害废弃物焚化处理厂由于其运作时之潜在危害性，因此法规对平时和异常之排放情形有很严格的管制要求。操作正常的有害废弃物焚化处理厂应该有良好的环境监测及灾害应变体系，以便随时掌握全厂的运转状况并符合环保单位的规定。

3.8.1 厂内监测

环境监测广义定义应包含废弃物进厂、接收、贮存、处理、产生残渣、排放废水、逸出气体等之追踪监测，其中废弃物进厂、接收、贮存、处理之相关监测已在前文中分别讨论，此处便针对排放及逸出物之监测加以探讨。通常处理厂有关的监测可分为厂内和厂外二种，一般而言，厂内监测之目的则是确认处理厂之排放物对附近环境品质所造成的影响乃在法令允许的范围以内。

有毒有害废弃物集中处理厂的厂内监测项目,依照处理单元的功能区别,可分为三大部份说明:

(1) 焚化炉。

主要乃监测焚化后烟囱排放及产生的灰渣、飞灰等。对于烟囱排放污染物的监测,前节已有详细说明;炉渣及飞灰之测定,主要是进行溶出试验,以确认其性质是否乃属有害废弃物。

(2) 物理化学处理厂。

主要是监测其排放之废水,应符合放流水标准中共同适用之管制浓度(水温、pH值、重金属、有机农药类和其它污染物-参考放流水标准),以及化学需氧量(400 mg/l)和悬浮固体(300 g/l)。

(3) 固化场及掩埋场。

固化处理场主要监测的项目是固化体之毒性溶出试验(TCLP)。如果固化物以及厂内产生之其它污泥、灰渣等以安全掩埋之方式进行最终处置,则必需依照法规在其地下水上下游各设置一个以上的监测井,以掌握其影响地下水之情形。

3.8.2 厂外监测

厂外监测是属于对环境品质冲击影响之测定,因此应建立下列之测站以确实掌握厂区周围的状况:

(1) 空气品质监测站

a. 基本上它应包含一个简单气象站,自动记录每日风速、风向,对于空气品质监测的项目主要为SO_x、NO_x、悬浮固体物。

b. 可种植高敏感之空气污染指针植物来协助了解污染情形。

(2) 地下水监测井

监测井布置的要点与掩埋场地下水监测井相同,唯应依据处理厂设置前实测之地下水监测井。

(3) 地表水监测站

a. 虽处理厂之废水排放在厂内已作完善防止及监测措施,但为更进一步保证并不引起附近河川、排水水质恶化,须于处理中心排水与附近排水汇集处置地表水监测站。主要监测目的除了要能防止处理厂不知之意外排放情况发生以外,万一所测得水质发现恶化而并非处理厂排放时,可明确与其它污染源划分界线。

b. 水质监测项目为pH值、电导度、DO、

COD等。

(4) 噪音监测站

如果厂区运作时,有产生影响附近居民之噪音顾虑时,应设立噪音监测站,随时注意改善操作之机械运作。

四、 事业废弃物焚化厂之安全管制

4.1 人员训练

操作错误是伤害发生最大原因,为防止现场人员因不熟悉本身工作造成紧急事件,必需针对不同的人员施以不同之训练课程,内容包括安全、溢流防止及操作过程控制。训练计画概分为安全守则、首要支持、焚化炉操作、线上焚化炉操作(或焚化炉手动操作)、紧急应变等五个阶段。人人永远铭记意外事件之发生,事皆有因,而且一定可以预防,预防胜于善后。

4.2 作业程序标准化之建立

研拟可能导致事故状况之错误,参考类似焚化厂操作资料,制定最佳工作方法,订为标准作业程序,并严格要求操作人员熟悉安全规则,依标准程序操作、维修。

4.3 预防保养与维护

对厂区设备实施计画性的定期检查,发现不良时立即予以调整或更换,决不轻忽,以免因小失大,造成无法弥补的遗憾。

五、 事业废弃物焚化厂之紧急应变措施

5.1 防灾计画及防护设备

为作好紧急事件之预防,场区内需作24小时之安全管制。首先必需做好门禁管制,防止无关人员入场区误触设备造成危害。场区内必需设有防火、防爆设备,并订定溢流管制计画、预防故障程序,以及防止易燃、易反应或不兼容的废弃物发生反应之安全管制措施。

为避免人体直接接触或吸入有毒物质而造成人体潜在性的伤害,因此需使用个人防护装备。个人防护装备需能达到保护呼吸系统、皮肤、眼睛、手、脚、脸、头、身体及听觉之效用。对个人防护设备的选择及使用情况,需建立记录,并于每天或定期实施检查;使用过后,则需作除污处理。

5.2 紧急应变程序

假若紧急状况发生,第一个查觉人员需与紧急协调人或场地安全协调人连系,并立即压下警报器。所有

人员听到疏散警报，应立即疏散离开，非经安全人员或主管之指示不可留置或回到现场。

意外事件之发生通常为火灾或爆炸、溢流或释出物质及恶劣气候等。其处理程序为：

1. 有害物质之确认与评估：辨认任何释出物质的特性、正确来源、总量及程度。
2. 管制步骤：保护人员安全健康为优先，其次才是环境。紧接着是确认污染、污染处理及处理评估。
3. 防止灾害蔓延或再发生：包括停止步骤及操作，收集及容纳释出之物质，回收或隔离容器。

5.3 记录

在工作当中伤患与工作有关者，应立即向上级报告，迅速处置。人员的医疗记录、职业疾病及受伤记录、有害物质曝露环境的记录及意外事故之记录，需作保存。意外事件报告包括受害人、受伤部位及程度、地点、时间等。这些记录、报告可做为改进工场安全性的依据，以减少未来可能发生的紧急意外事故。

六、 事业废弃物之管制与处置

事业废弃物之焚化处理为目前对有机有害废弃物最有效率的处理方法，不论是环保署或是经济部工业局，均在这事业废弃物问题已成燃眉之际积极的倡导事业废弃物焚化厂之兴建，而如何能订定一套合理且可行的管理制度及操作系统，无疑的亦将是设立事业废弃物焚化处理场面临的迫切问题。因此，计画进行事业废弃物焚化厂之建设时，应拟定一套利于焚化厂操作维护、管理的管制系统。

焚化厂对废弃物之管制作业可区分为进入焚化厂前之管制、进入焚化厂后之管制及无法处理物之处置三个阶段。

A、对废弃物进入焚化厂前之管制作业要点为：

1.0 建立废弃物之详细分析资料

事业单位须将委托废弃物的详细分析资料提供作收费、核验、焚化操作参考；对于事业废弃物堆置场现存之废弃物，则须建立详细的分析资料。详细分析类别有废弃物一般特性、物理特性、燃烧特性、化学组成、危害性及安全注意特性。

2.0 送入焚化厂之管理

建立运送至焚化厂之废弃物须填具运送清单

(Manifest)、物质安全资料表(Material Safety Data Sheet)、特殊注意事项等相关资料的制度。这些制度将在营运时详加规定。

3.0 废弃物核验分析

对进入厂区废弃物，在短时间内以简单之核验方式，确认废弃物是否为规划处理范围内之废弃物。分析实验室采用快速检验法，通常每一样品在 5~20 分钟内完成，以指定废弃物之续处理步骤。一般核验分析项目有废弃物外观、味道、PH、悬浮固体沉降性、可燃性、含硫、总氯成份、C N、C r、N O等。依废弃物种类，由检验人员择项分析之。

B、对废弃物进入焚化厂后之管制作业要点：

1.0 厂区内废弃物之贮存

入厂区的废弃物应依性质分类贮存。

2.0 焚化操作之管制

焚化操作时须详实记录操作状况、影响操作之因素等以便随时掌握焚化炉及其附属设备运转状况。

C、无法处理物品之管制及处置：

无法处理之物品从分离出来的阶段，可将之分成焚化前及焚化后：

1.0 焚化前

投入焚化炉焚化之废弃物须先经分类、筛选，对于分类出来不可燃的成份，先行集中后，运至废弃物掩埋场掩埋。至于分类出来的金属及其它有用物质等不可燃部份，则加以回收利用。

2.0 焚化后

焚化后残余主要固体废弃物有从旋转窑所收集灰渣与空气污染防制设备去除污染物所收集之飞灰与循环使用后之石灰浆污泥。

焚化后残余之灰渣与飞灰，一般合称为灰烬。灰渣是废弃物在旋转窑炉体内，可燃成份气化成废气，剩余的不可燃部份于一次炉炉体后收集而得。飞灰则是废气经空气污染防治设备捕集而得。收集之灰渣与飞灰于各别集中后，将进行依环保署规定之废弃物溶出试验，若判定是毒性废弃物，则送至规划之安全掩埋场装于铁桶内查封，堆积于特定区，以水泥固封，以防止重金属等之毒物之渗出。试验结果合于标准，则送至一般废弃物掩埋场作掩埋。

石灰浆污泥为考量无废水处理设备情况下，使用干

式废气处理方式,半干式涂气槽及填充塔循环使用石灰浆,捕集废气中之尘粒及酸性物质后所排出,产生之石灰浆污泥运送至封闭安全掩埋场进行掩埋。

七、 结 论

事业废弃物之焚化处理厂之规划、设计、操作、营运、管理为一相当复杂的技术性工作,良好的工程规划、设计、与建造工作,可提供提供良好的操作环境。但却仍需有良好的操作、营运与管理技术才能确保系统之性能,并避免对环境造成影响。

事业废弃物焚化处理厂之规划与设计工作包括:基本规划、系统设计、审标及监工、试烧及执照申请等四大工作项目,或更细分为十七子项工作。事业废弃物通常各具特性,不同事业单位所产生的事业废弃物除了数量可能迥异外,其物理/化学性质可能差异更大;此外,由于事业废弃物处理之技术层次较高,技术涵盖幅面亦广,稍有疏失即可能产生二次公害问题,影响深远。故于硬件处理设施工程实施之前,必须先以专业性的科学化系统化技术,进行软件规划,通盘考虑各项影响因子,选择设计最适用系统,俾尽量减少日后实施时之窒碍,以保障计画之必然成功。

事业废弃物焚化厂操作运转时,为避免发生意外或处置不当,而造成有害物质排放至周围环境,影响环境品质,甚而造成财物损失、危害人类的健康。因此,必需拟定完整的操作营运管理计画,并且平时即须做好安全管制与灾变预防工作,并拟定妥善紧急应变计画,以备一旦灾变发生之际,能迅速、有效地对症下药,将损害减至最小。

参考文献

1. 张荣兴、洪美云" DRE 与有害事业废弃物焚化炉试烧",第二届工业废弃物清理与回收再利用研讨会, Dec. 1,2, 1988.
2. 张荣兴、洪美云、傅孟台"有害事业废弃物焚化特性与试烧",工业污染防治, July 1989.
3. 张荣兴、古清熏"焚化炉计算机辅助设计系统操作手册", Sep. 5, 1989.
4. 张荣兴、沈仲民" On-Site 废弃物焚化处理厂之规划与设计",事业废弃物处理技术研讨会, May 17-18,

1990.

5. 张荣兴、沈仲民、金顺志 『旋转窑焚化炉系统设计』; 经济部科技研究发展项目七十九年度计画执行技术报告; 经济部(污染与公害防治)项目计画; JUNE, 1990.
6. 张荣兴、章裕民、林辅汉、王培铭、蔡英材、吕明山、黄伯安、康展兴、祝经益、陈美燕、葛家贤、张丙垣 『焚化处理系统评估与规划』; Feb. 01, 1990.
7. 张荣兴、陈汉炯、章裕民、傅孟台、吕明山、王培铭、张国庆、罗有福、张丙垣、祝经益、黄伯安 『焚化处理系统评估与规划』; 行政院环境保护署设置特殊性废弃物焚化处理厂及相关设施技术报告, Apr., 1990.
8. 张荣兴 『工研院事业废弃物焚化技术研究中心之规划、设计与测试』; 近代工程研讨会; 台北; Nov. 1990.
9. 张荣兴 『有害废弃物之焚化技术』; 事业废弃物管理处理研讨会, 高雄, Nov. 4-8, 1991.
10. 张荣兴 『焚化炉燃烧室设计参数与控制系统设计』; 第六届废弃物处理技术研讨会, 台北, Nov. 15-17, 1991.
11. 张荣兴 『On-Site 事业废弃物焚化处理厂之规划与设计』; 废弃物焚化技术训练, 台北, Dec. 16-28, 1991.
12. 张荣兴 『焚化炉计算机辅助设计与仿真』; 废弃物焚化技术训练, 台北, Dec. 16-28, 1991.
13. 张荣兴 『试烧与操作许可』; 废弃物焚化技术训练, 台北, Dec. 16-28, 1991.
14. 张荣兴 『试烧与许可制度暨试烧与管理制度』 感染性事业废弃物焚化炉试烧检核技术训练班, 高雄, March 03-06, 1992.
15. 张荣兴 『试烧检核技术』; 感染性事业废弃物焚化炉试烧检核技术训练班, 高雄, March 03-06, 1992.
16. 『Development of an On-Site Incineration System for A Petroleum Refinery』; 1992 Pacific Basin Conference on Hazardous Waste, Bangkok, April 6-10, 1992.
17. 张荣兴 『焚化炉燃烧室设计参数与控制系统设计』

第二部分、控制逻辑与PLC程序设计 ,RESI Report, 2000.

18. 张荣兴『台湾地区有害废溶剂之资源化再利用』第一部份、技术可行性及产业发展策略 ;RESI Report, 1995.

19. 张荣兴『台湾地区有害废溶剂之资源化再利用』第二部份、升利化工三峡厂试运转计画书 ; RESI

Report, 1996.

20. 张荣兴『台湾地区有害废溶剂之资源化再利用』第三部份、升利化工三峡厂操作许可申请书 ; RESI Report, 1996.

21. 张荣兴『台湾地区有害废溶剂之资源化再利用』第四部份、设计图说及竣工报告 ;RESI Report, 1997.

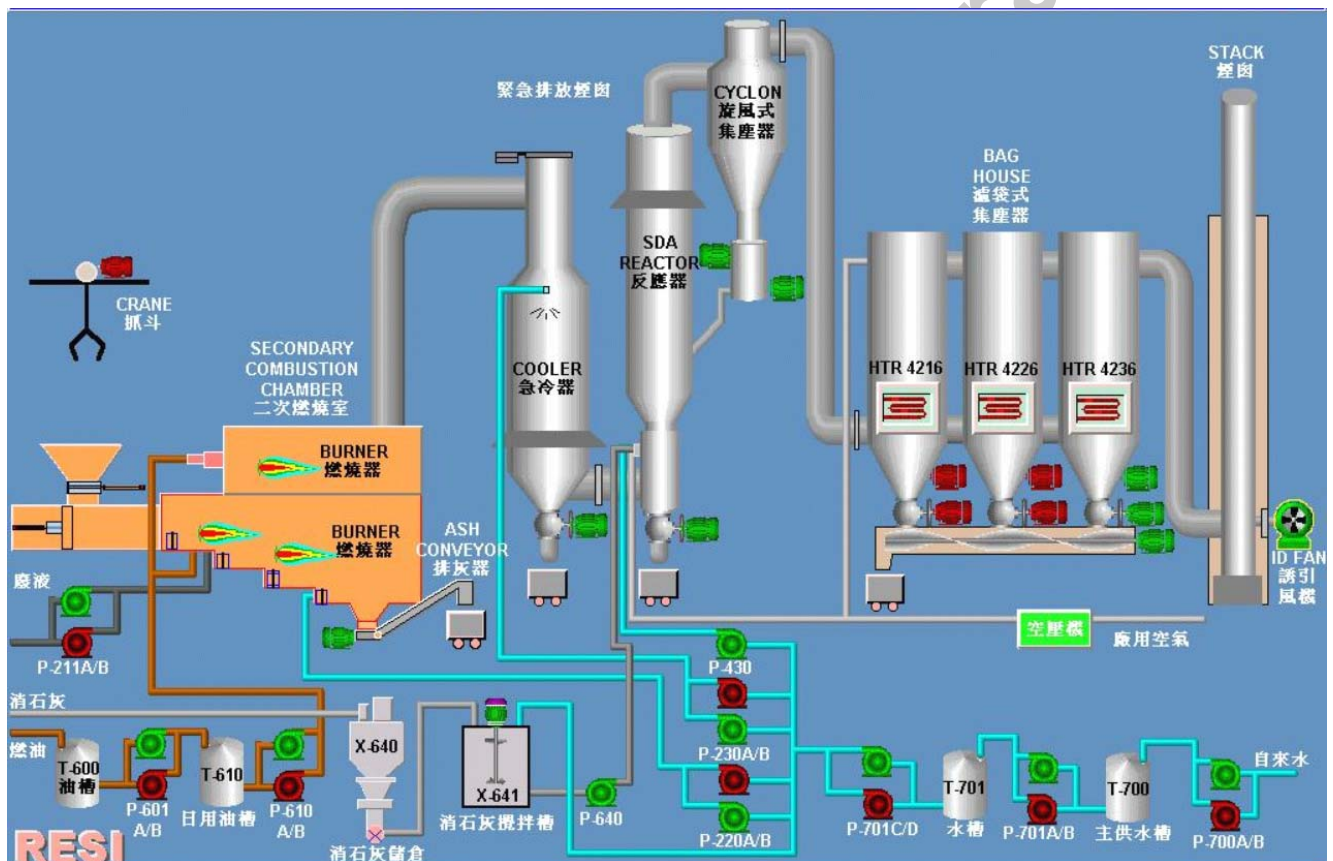


图 2.1 典型的废弃物处理厂流程图

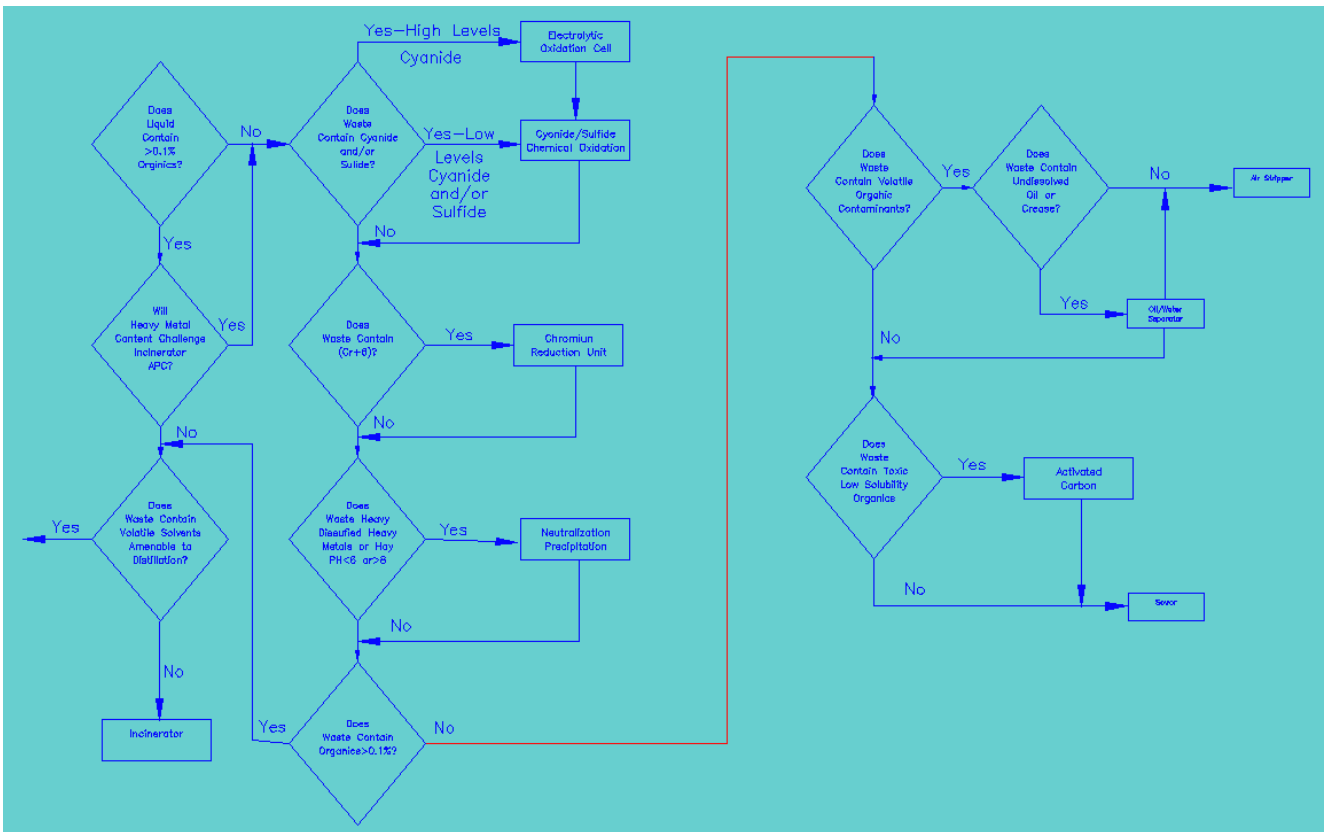


图 3.1 液体废弃物管制流程

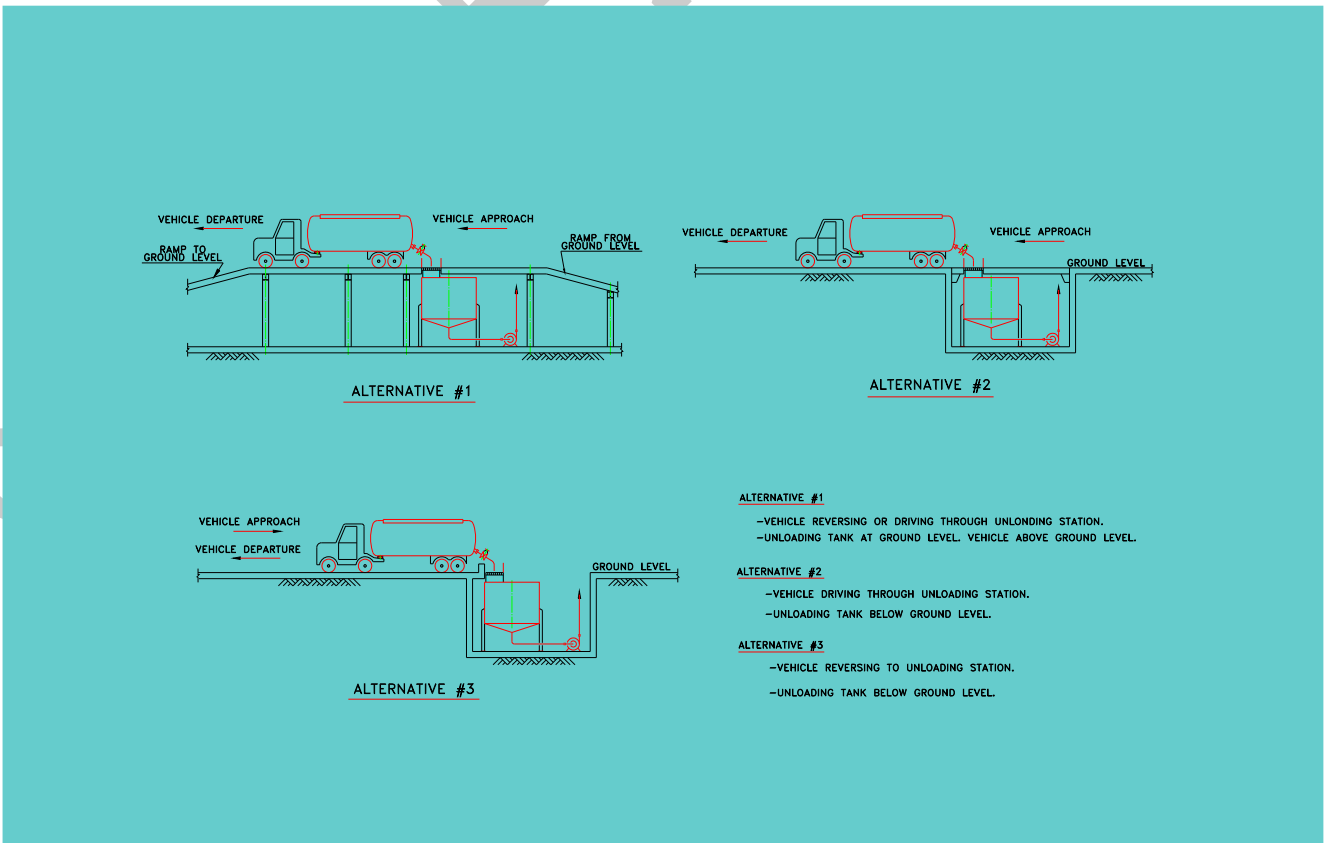


图 3.2 槽车卸料方式安排

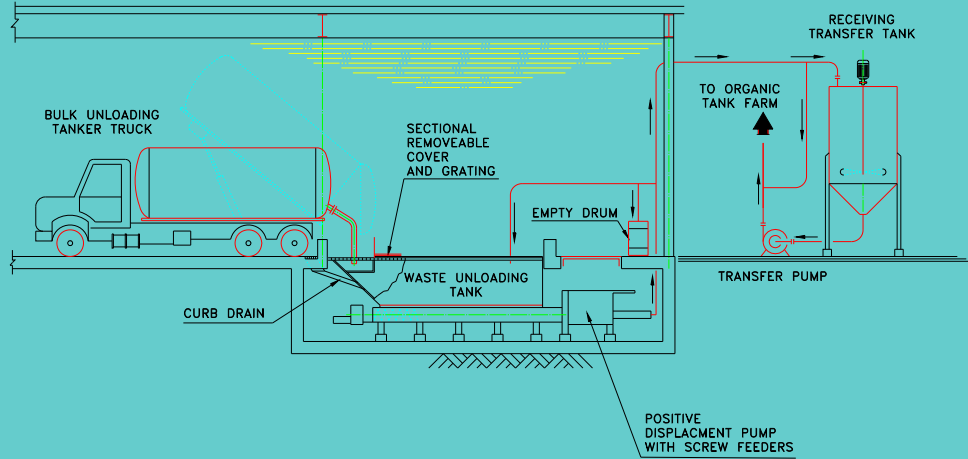


图 3.3 污泥卸料设计

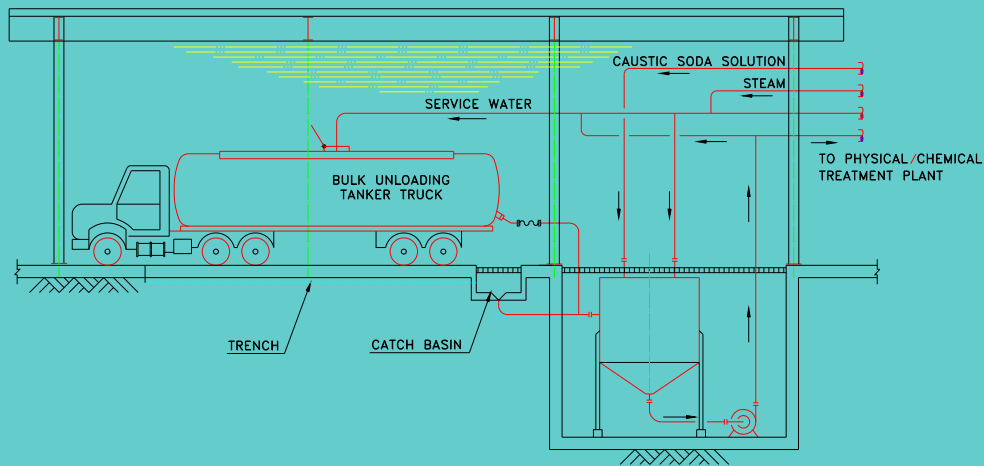


图 3.4 污泥卸料设计

