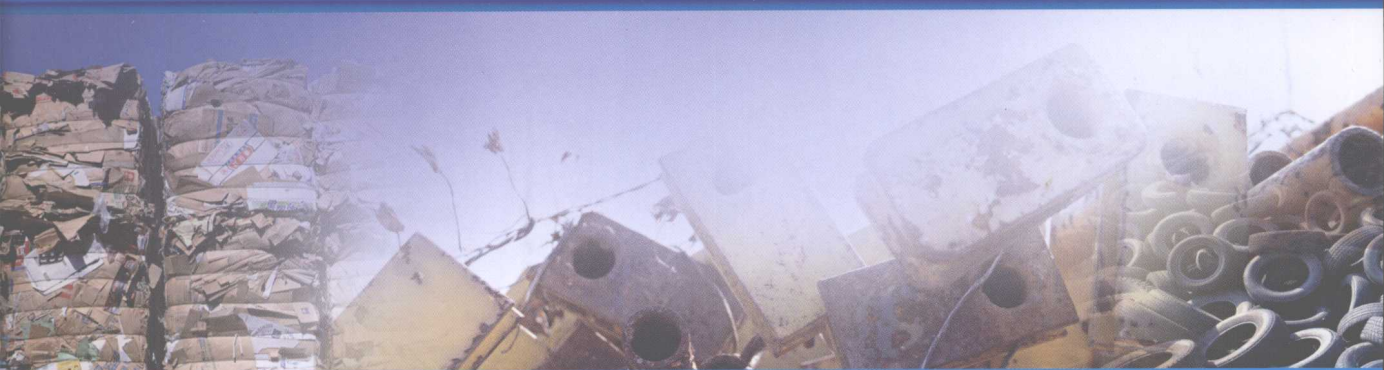


高 等 学 校 教 材

固体废物处理与资源化实验

宋立杰 赵天涛 赵由才 主编



化学工业出版社

高 等 学 校 教 材

固体废物处理与资源化实验

宋立杰 赵天涛 赵由才 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本实验教材是与普通高等教育“十一五”国家级规划教材《固体废物处理与资源化》(赵由才主编)相互配套的,共有38个实验,主要内容包括生活垃圾、危险废物、一般废物、污泥等的单项处理技术或其组合。绝大部分实验是由学生自行操作的,也有一些难度较大的极少数实验是模拟性质的。

本书可作为高等院校环境工程、市政工程专业学生的实验用书,也可供从事固体废物处理的科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

固体废物处理与资源化实验/宋立杰,赵天涛,赵由才主编. —北京:化学工业出版社,2008.1

高等学校教材

ISBN 978-7-122-01866-3

I. 固… II. ①宋…②赵…③赵… III. ①固体废物-废物处理-实验-高等学校-教材②固体废物-废物综合利用-实验-高等学校-教材 IV. X705-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第002235号

责任编辑:满悦芝

文字编辑:刘莉珺

责任校对:宋 玮

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张9½ 字数249千字 2008年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:18.00元

版权所有 违者必究

前 言

《固体废物处理与资源化》是高等学校环境工程、市政工程、环境科学、农业环境保护等专业本科生的必修课或选修课，内容一般包括生活垃圾、危险废物、一般工业废物、建筑垃圾等。由于自来水厂和污水处理厂产生的污泥与生活垃圾有一定的相似之处，可把污泥作为固体废物的一类讲授。放射性废物的性质非常特殊，一般不列入固体废物讲授范围。

经过多年的努力，我国在《固体废物处理与资源化》课程的教材建设方面已经取得了很大进展。本书的编写人员也于2006年由化学工业出版社出版发行了《固体废物处理与资源化》教材，影响颇佳。《固体废物处理与资源化》基本上是实践为主的课程，绝大部分内容是讲授各类固体废物的处理与资源化技术、工程措施和基本流程，因此要求教师在课堂讲授的同时，还应该带领学生到现场实习、参观、实践等。

然而，仅仅到现场短间接触实际情况是无法满足课程建设需要的，学生也很难深刻理解每一种处理与资源化方法的核心内容。编者多年来一直从事《固体废物处理与资源化》课程的教学工作，认为除了课堂讲授、现场实习以外，非常重要的一点是创造条件让学生能够根据课堂讲授的内容进行实验室的操作和实践，以加深学生对各种方法和技术的认识和感知。

据编者了解，目前我国还未有任何有关固体废物处理与资源化实验教材出版发行。

全书由宋立杰、赵天涛和赵由才担任主编，编写人员分工如下：宋立杰编写实验一～实验四、实验七、实验八、实验十、实验十二～实验十七、实验二十～实验二十五、实验二十九、实验三十、实验三十三～实验三十五、附录，赵天涛编写实验四、实验五、实验八～实验十一、实验十八、实验十九、实验二十六、实验三十一、实验三十二，赵由才编写实验六、实验八、实验九、实验十六、实验十七、实验二十、实验二十九、实验三十、实验三十六～实验三十八，李鸿江编写实验二十六～实验二十八，张丽杰编写实验三十一、实验三十二，顾莹莹编写实验二十六，郭秀军编写实验二十七，王星编写实验十七，王莉编写实验二十九，蒋家超编写实验三十六～实验三十八。

由于时间及编者水平所限，书中疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年1月于同济

目 录

实验一	固体废物的采样与制样	1
实验二	生活垃圾的特性分析	9
实验三	生活垃圾热值测定	13
实验四	生活垃圾收集线路推演	18
实验五	生活垃圾滚筒筛分选	20
实验六	生活垃圾风力分选	23
实验七	生活垃圾制复合板材	28
实验八	有机垃圾堆肥过程模拟装置操作	31
实验九	有机肥腐熟度表征(发芽率、外观检验等)	34
实验十	有机垃圾厌氧发酵产甲烷	39
实验十一	厌氧发酵沼液沼渣生物毒性判断	42
实验十二	生活垃圾炉排焚烧炉模拟装置操作	45
实验十三	生活垃圾流化床焚烧炉模拟装置操作	47
实验十四	布袋除尘器性能测定	49
实验十五	垃圾焚烧炉渣的利用(制砖)	54
实验十六	污泥的热解	57
实验十七	污泥厌氧发酵产氢	60
实验十八	污泥的脱水	63
实验十九	污泥的干燥	66
实验二十	危险废物(飞灰)浸出毒性鉴别实验	70
实验二十一	危险废物(飞灰)的药剂稳定化实验	72
实验二十二	危险废物(飞灰)的水泥固化	74
实验二十三	危险废物回转窑焚烧过程模拟装置操作	77
实验二十四	危险废物配伍与以废治废	79
实验二十五	固体废物填埋场防渗层的铺设	81
实验二十六	生活垃圾卫生填埋场防渗层渗透性能测试	83
实验二十七	生活垃圾卫生填埋场防渗层渗漏测试及地下环境污染动态监测	89
实验二十八	生活垃圾卫生填埋场封场设置	93
实验二十九	矿化垃圾的表征	97
实验三十	矿化垃圾反应床处理垃圾渗滤液的研究	107
实验三十一	矿化垃圾固定床穿透曲线的测定	110
实验三十二	矿化垃圾中微生物的分离纯化	113
实验三十三	建筑垃圾表征与利用(制砖等)	117
实验三十四	煤矸石燃烧性能测定	119
实验三十五	粉煤灰作为路基材料配制	121
实验三十六	炼钢厂含锌烟尘的处理及锌资源回收	126
实验三十七	废酸渣和废碱渣的中和处理	129

实验三十八 钢渣用作印染废水处理的吸附剂.....	132
附录.....	135
附录一 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别 (GB 5085.3—1996)	135
附录二 国家危险废物名录.....	136
参考文献.....	144

实验一 固体废物的采样与制样

一、实验目的

固体废物的产生过程决定了其具有很大的不均匀性。对于特定的固体废物，只有通过采样分析才能确定其具体的组成和特性，从而制定出合理可行的无害化处理处置或资源化利用技术方案。

在固体废物的分析中，采取固体废物样品是一个十分重要的环节。所采取样本的质量如何直接关系到分析结果的可靠性，特别是在实验室对某些有毒有害物质的分析方法已能达到纳克（ng）级高水平的今天，采样可能是造成分析结果变异的主要原因，在某种情况下，它甚至起着决定性作用。有时，为满足实验或分析的要求，对采集的样品还必须进行一定的处理，即固体废物的制样。

通过本实验，可以达到以下目的：

- （1）了解固体废物采样和制样的目的和意义；
- （2）掌握固体废物的采样、制样的基本方法；
- （3）分析固体废物的性质及分析需要，学会制定采样和制样的方案。

二、实验原理和方法

（一）采样技术

1. 采样工具

采取生活垃圾样品的工具主要有锹、耙、锯、锤子、剪刀等；采取固态工业废物样品的采样工具主要有锹、锤子、采样探子、采样钻、气动和真空探针、取样铲等；采取液态工业废物样品的采样工具主要有采样勺、采样管、采样瓶（罐）、泵、搅拌器等。

2. 份样数的确定

根据统计学原理，样品数的多少，由两个因素决定：一是样品中组分的含量和固体废物总体中组分的平均含量间所容许的误差，亦即采样准确度的要求问题；二是固体废物总体的不均匀性，总体越不均匀，样品数应越多。

当已知份样间的标准偏差和允许误差时，可按式(1-1) 计算份样数：

$$n \geq (ts/\Delta)^{1/2} \quad (1-1)$$

式中 n ——必要的份样数；

s ——份样间的标准偏差；

Δ ——采样允许误差；

t ——选定置信水平下的概率度。

取 $n \rightarrow \infty$ 时的 t 值作为最初 t 值，以此算出 n 的初值。用对应于 n 初值的 t 值代入，不断迭代，直至算得的 n 值不变，此 n 值即为必要的份样数。

当份样间的标准偏差和允许误差未知时，可按表 1-1~表 1-3 经验确定份样数。

3. 份样量的确定

采样误差与样品的颗粒分布、样品中各组分的构成比例以及组分含量有关。因此，当废物组分单一、颗粒分布均匀、污染物成分变化不大时，样品量的大小对采样误差影响不大；反

表 1-1 批量大小与最少样品数/(固体: t; 液体: 1000L)

批量大小	最少样品数	批量大小	最少样品数
<1	5	≥100	30
≥1	10	≥500	40
≥5	15	≥1000	50
≥30	20	≥5000	60
≥50	25	≥10000	80

注: 摘自《工业固体废物采样制样技术规范》(HJ/T 20—1998)。

表 1-2 贮存容器数量与最小份样数

容器数量	最少份样个数	容器数量	最少份样个数
1~3	所有	344~517	7~8
4~64	4~5	730~1000	8~9
65~125	5~6	1001~1331	9~10
217~343	6~7		

注: 摘自德国环境保护局编《生活垃圾特性分析指南》(1989年)。

表 1-3 人口数量与生活垃圾分析用最小份样数

人口数量/万人	<50	50~100	100~200	>200
最少份样个数	8	16	20	30

之, 则样品量的大小将明显影响采样的精密度。随着样品量的增加, 采样误差也随之降低。

与样品数相同, 样品量的增加也不是无限度的, 否则将给下一步的制样造成负担。样品量的大小主要取决于废物颗粒的粒径上限, 废物颗粒越大, 均匀性越差, 要求样品量也应越大。在采样计划的设计过程中, 可根据切乔特公式(1-2) 计算求得最小样品量。

$$Q = Kd^{\alpha} \quad (1-2)$$

式中 Q ——应采取的最小样品量, kg;

d ——废物最大颗粒直径, mm;

K ——缩分系数, 废物越不均匀, K 值越大, 一般取 $K=0.06$;

α ——经验常数, 随废物均匀程度和易破碎程度定, 一般取 $\alpha=1$ 。

对于液态废物的份样量以不小于 100mL 的采样瓶 (或采样器) 所盛量为准。

除计算法外, 实际工作时也可参考表 1-4 和表 1-5 选取最小份样量。

4. 采样方法

(1) 简单随机采样法 这是一种最常用、最基本的采样方法。基本原理是: 总体中的所有个体成为样品的概率 (机会) 都是均等的和独立的。在对固体废物中污染物含量分布状况一无所知, 或废物的特性不存在明显非随机不均匀性时, 简单随机采样法是最为有效的方法。如从

表 1-4 根据固体废物最大颗粒直径选取的最小份样量

最大颗粒直径/mm	最小份样量/kg	最大颗粒直径/mm	最小份样量/kg
>150	15	30~40	2.5
100~150	10	20~30	2
50~100	5	5~20	1
40~50	3	<5	0.5

表 1-5 根据生活垃圾最大颗粒直径采取最小样品量

废物量大颗粒 直径/mm	最小样品量/kg		废物量大颗粒 直径/mm	最小样品量/kg	
	相当均匀的废物	很不均匀的废物		相当均匀的废物	很不均匀的废物
120	50	200	10	1	1.5
30	10	30	3	0.15	0.15

注：摘自德国环境保护局编《生活垃圾特性分析指南》(1989年)。

沉淀池、贮池和大量件装容器的固体废物中抽取有限单元采取废物样品时等。

(2) 系统随机采样法 这种方法是利用随机数表或其他目标技术从总体中随机抽取某一个体作为第一个采样单元，然后从第一个采样单元起按一定的顺序和间隔确定其他采样单元采取样品。对连续产生或排放的废物、较大数量件装容器存放的废物等常采用此法，有时也用于散状堆积的废物或渣山采样。这种方法与简单随机采样法相比，具有简便、迅速、经济的优点，但当废物中某种待测组分有未被认识的趋势或周期性变化时，将影响采样的准确度和精密度。

系统随机采样法的采样间隔，可根据份样数和实际批量按式(1-3)计算：

$$T \leq \frac{Q}{n} \text{ 或 } T' \leq \frac{t}{n} \text{ 或 } T'' \leq \frac{N}{n} \quad (1-3)$$

式中 T ——采样单元的质量或体积间隔；

Q ——废物产生质量或体积；

n ——按份样数计算公式计算出的份样数或表 1-1~表 1-3 规定的份样数；

T' ——采样单元的时间间隔，min；

t ——设定的采样时间段；

T'' ——采样单元的件数间隔；

N ——盛装废物容器的件数。

采第一个份样时，不可在第一间隔的起点开始，可在第一间隔内随即确定。

在运送带上或落口处采份样，须截取废物流的全截面。

所采份样的粒度比例应符合采样间隔或采样部位的粒度比例，所得大样的粒度比例应与整批废物流的粒度分布大致相符。

(3) 分层随机采样法 这种方法是将总体划分为若干个组成单元或将采样过程分为若干个阶段（均称之为“层”），然后从每一层中随机采取样品。与简单随机采样法相比，该法的优点是：当已知各层间物理化学特性存在差异，且层内的均匀性比总体要好时，通过分层采样，降低了层内的变异，使得在样品数和样品量相同的条件下，误差小于简单随机采样法。这种方法常用于批量产生的废物和当废物具有非随机不均匀性并且可明显加以区分时。

最少样品数在各层中的分配，可按式(1-4)计算获得：

$$n_i = \frac{nQ_i}{Q} \quad (1-4)$$

式中 n_i ——第 i 层的样品数；

n ——按份样数计算公式计算出的份样数或表 1-1~表 1-3 规定的份样数；

Q_i ——第 i 层的废物质量；

Q ——废物总体质量。

层可以是体积、质量，也可以是容器个数或产生批次等。

分层随机采样法也常用于生活垃圾的分类采样，如不同炊事燃料结构生活垃圾的组成、灰分、热值、渗滤液性质分析等。

(4) 多段式采样法 所谓多段式采样法,就是将采样的过程分为两个或多个阶段来进行,先抽取大的采样单位,再从大的采样单位中抽取采样单元,而不是像前三种采样方法那样直接从总体中抽取采样单元的方法。需要注意的是,多段式采样法与分层采样法是不一样的。分层采样法中的“层”的概念,一般是按照一定属性和特征将总体划分为若干性质较为接近的类型、组、群等,再从其中抽取采样单元,因此,分层的意义在于缩小各采样单元之间的差异程度。而多段式采样则是由于总体范围太大,难以直接抽取采样单元,从而借助中间阶段作为过渡,即除了最后一个阶段是抽取采样单元外,其余阶段都是为了得到采样单元而抽取的中间单位。

多段式采样法常用于对区域生活垃圾产生量、垃圾分类和垃圾组分分析时的采样。

每一阶段抽取中间单位的个数,根据采样目的来确定。也可以用式(1-5)计算:

$$n_1 \geq 3 \cdot \sqrt[3]{N_0} \quad (\text{小数进整数}) \quad (1-5)$$

式中 n_1 ——第二阶段抽取的中间单位个数;

N_0 ——总体的个数。

(5) 权威采样法 这是一种依赖采样者对检测对象的认识(如特性结构、抽样结构)和判断,以及积累的工作经验来确定采样位置的方法,该方法所采取样品为非随机样品。尽管该法有时也能采取到有效的样品,但在对大多数废物的化学性质鉴别来说,建议不采用这种方法。

综上所述,如果对废物的化学污染物性质和分布一无所知,则简单随机采样法是最适用的采样方法,随着对废物性质资料的积累,则可更多地考虑选用(按所需资料多少的顺序)分层随机采样法、系统随机采样法,有时还有权威采样法。各种采样方法既可以单独使用,在一定情况下也可以结合起来使用,如多段式采样法与权威采样法的结合使用等。

5. 采样点和采样操作方法

(1) 生活垃圾采样 如果在市内设立垃圾采样点,应首先考虑垃圾的产生范围。如果在垃圾堆放场采样,则应注意所采样品的真实性和代表性。

进行垃圾采样作业时,主要采取下列方法:

① 大于 3m^3 的垃圾池(坑、箱) 采用立体对角线布点法(见图 1-1),在等距离(不少于 3 个)点处采取垃圾样品,然后制备成混合样,共 $100\sim 200\text{kg}$ 。

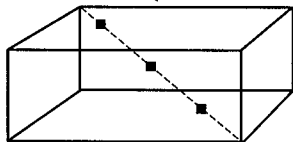


图 1-1 立体对角线布点采样法

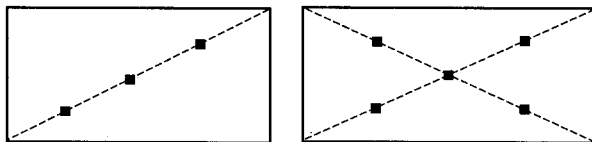


图 1-2 桶(箱)装废物采样点位置

② 小于 3m^3 的垃圾箱(桶) 采用垂直分层的采样方法,层的数量和高度依照盛装垃圾量的多少确定(见表 1-6),然后将各层样品等体积混合为一个混合样,每个混合样质量不少于 20kg 。

③ 垃圾车 采取当天收运到垃圾堆放场(焚烧厂、填埋场)的垃圾车内的垃圾,在间隔的每辆车内或在其卸下的垃圾堆中采用立体对角线法在 3 个等距离点采取份样,每份样不少于 20kg ,然后等量混合制备成混合样,混合样为 $100\sim 200\text{kg}$,每次采样不少于 5 车。

④ 垃圾流 在垃圾焚烧厂、堆肥厂的垃圾输送过程中,利用系统随机采样法等时间间隔采取垃圾样品,采样工具的宽度应与输送带宽度相同,并能够接到垃圾流整个横截面的垃圾,每一次间隔内采取的份样品不少于 20kg ,混合样为 $100\sim 200\text{kg}$ 。

表 1-6 小于 3m³ 的垃圾箱（桶）的采样位置

按容器直径计算所装垃圾的高度/%	按容器直径计算采取垃圾样品的间隔高度/%			按混合样品的总体积计算各层份样的体积/%		
	上层	中层	下层	上层	中层	下层
100	80	50	20	30	40	30
90	75	50	20	30	40	30
80	70	50	20	20	50	30
70		50	20		60	40
60		50	20		50	50
50		40	20		40	60
40			20			100
30			15			100
20			10			100
10			5			100

(2) 工业固体废物采样

① 件装容器采样

a. 袋装块、粒状废物 将盛装废物的袋子倾斜 45°角并打开袋口，用长铲式采样器从袋中心处插入至袋底后抽出，所采取的废物样品作为 1 个样品。

b. 袋装污泥状废物 打开袋口，将探针从袋的中心处垂直插入至袋底，旋转 90°后抽出，用木片将探针槽内的泥状物刮入预先准备好的样品容器内，然后再在第一个采样位置半径 10~15cm 处按照相同的方法采取样品，直至采取到所需样品量。

c. 袋装干粉状废物 将盛装废物的袋子倾斜 30°角，打开袋口，将套筒式采样器开口向下从袋中心处插入至袋底，旋转并轻轻晃动几下后抽出，将套筒式采样器内的样品倒入预先铺好的塑料布上，然后转移到样品容器中。

d. 桶（箱）装废物 打开桶（箱）盖子，根据废物颗粒直径大小选择采样器，按图 1-2 所示位置分层采取废物样品。分层的方法和每层采取的份样品量可参照表 1-6。

② 输送带（或连续产生、排放时）采样

a. 停机采样 在所选取的采样时间段内按照简单随机采样法抽取采样时间或按照系统随机采样法等时间间隔停止输送带传送废物，在输送带的某一指定位置处采取样品。采样时，用挡板挡住输送带的一边以防止采样时废物从带上滚落，在输送带的另一边用采样铲或锹紧贴皮带并横穿皮带宽度至挡板，采取输送带横截面上的所有废物颗粒作为样品。

b. 不停机采样 在所选取的采样时间段内按照简单随机采样法抽取采样时间或按照系统随机采样法等时间间隔从出料口采样，采样时，用勺式采样器从料口的一端匀速拉向另一端接取完整废物流，每接取一次作为一个样品。

③ 贮罐（仓）采样 对贮罐（仓）废物的采样，应尽可能在装卸废物过程中按②或①中的“d. 桶（箱）装废物”采样方法进行操作。当只能在卸料口采样时，应预先将卸料口灰尘等杂物清除干净，并根据卸料口的直径和长度放空适当量废物后再采取样品。采样时，用布袋或桶接住料口，按设定的样品数逐次放出废物，每次放料时间相等，然后将袋或桶中废物混合，按①方法采取样品。每接取一次废物，作为一个采样单元，采取 1 个样品。

④ 池（坑、塘）采样 将池（坑、塘）划分为设定样品数的 5 倍数若干面积相等的网格，顺序编号后用随机数表抽取与样品数相等的网格作为采样单元采取样品。采样时，在网格的中心位置处用土壤采样器或长铲式采样器垂直插入到废物的指定深度并旋转 90°后抽出，作为 1 个样品。当池（坑、塘）内废物较厚时，应分上、中、下层采取份样品，等量（体积或质量）混合后再作为 1 个样品。

当废物从池（坑、塘）一端进入时，也可采用分层随机采样法采取样品。采样时，将池（坑、塘）按长度或面积单位分为上、中、下三个区，根据各区大小分配设定的样品数采样。

⑤ 车内采样 可按照桶（箱）装废物采样方法进行采样。一车废物既可以作为一个采样单元采取样品，也可以在车内采取多个样品。

⑥ 脱水机上采样

a. 带式压滤机采样 可按照②方法进行采样。

b. 离心机采样 可按照下面⑦中有关方法进行采样。

c. 板框压滤机采样 将压滤机各板框顺序编号，用抽签的方法抽取不少于 30% 的板框数作为采样单元，在完成压滤脱水后取下，用小铲将废物刮下，每个板框采取的废物等量（体积或质量）混合后作为 1 个样品。

⑦ 散状堆积废物采样

a. 堆积高度小于 0.5m 独立散状堆积废物 将废物堆摊平成 10cm 左右厚度的矩形后，等面积划分出设定样品数 5 倍数的网格，顺序编号，用随机数表抽取设定样品数的网格作为采样单元，在网格中心位置处用采样铲或锹垂直采取全层厚度的废物，一个网格采取的废物作为 1 个样品。

b. 数个连在一起的散状堆积废物 首先选择最新堆积的废物堆，用系统随机采样法采样。当无法判断堆积时间时，用抽签方法抽取若干废物堆，对各堆用系统随机采样法采样，每堆各点采取的份样品等量（体积或质量）混合后组成 1 个样品。当堆积高度在 0.5~1.5m 时，在废物堆距地面的 1/3 和 2/3 高度处垂直于中轴各设一个横截面，以上下截面份样品数之比为 3:5 的比例分配份样品数，每堆采取的份样品数不少于 8 个；当堆积高度在 1.5m 以上时，在废物堆距地面 1/3、1/2 和 2/3 高度处垂直于中轴各设一个横截面，以上下截面份样品数之比为 3:5:7 的比例分配份样品数，每堆采取的份样品数不少于 15 个。采样时，量出各横截面的周长，以单位长度作为一个采样单元，随机抽取第一个采样单元后等长度间隔确定其他采样单元，用适宜的采样器垂直于中轴插入，采取距表面 10cm 深度的废物作为样品。

⑧ 渣山采样

a. 在堆积过程中采样 当废物用输送带连续输送时，按②方法进行采样；当废物用运输车辆装卸时，用⑤方法进行采样，无法在车内采样时，可用⑦方法采取样品。

b. 在填埋作业面边缘采样 首先用皮尺丈量填埋作业面的边缘长度，按设定样品数 5 倍数进行等分后顺序编号，并确定采样的长度间隔；在第一个等分长度内，用抽签的方法确定具体采样位置采取第一个样品，然后等长度间隔采取其他样品。采样时，在随机确定的采样位置处用土壤采样器或铁锹垂直插入到废物中采取样品。

（二）制样技术

1. 制样工具

包括：颚式破碎机、圆盘破碎机、玛瑙研磨机、药碾、玛瑙研钵或玻璃研钵、标准套筛、十字分样板、分样铲、挡板、分样器、干燥箱及盛样容器。

2. 制样方法

（1）生活垃圾样品制备

① 分拣 将采取的生活垃圾样品摊铺在水泥地面上，按表 1-7 的分类方法手工分拣垃圾样品，并记录下各类成分的比例或质量。

② 粉碎 分别对各类废物进行粉碎。对灰土、砖瓦陶瓷类废物，先用手锤将大块敲碎，然后用粉碎机或其他粉碎工具进行粉碎；对动植物、纸类、纺织物、塑料等废物，用剪刀剪

碎。粉碎后样品的大小，根据分析测定项目确定。

表 1-7 垃圾成分分类

有机物		无机物		可回收物						
动物	植物	灰土	砖瓦 陶瓷	纸类	塑料 橡胶	纺织物	玻璃	金属	木竹	其他

③ 混合缩分 根据分拣得到的各类垃圾成分比例或质量，将粉碎后的样品混合缩分。混合缩分采用圆锥四分法，即将样品置于洁净、平整、不吸水的板面（玻璃板、聚乙烯板、木板等）上，堆成圆锥形，每铲由圆锥顶尖落下，使颗粒均匀沿锥尖散落，不要使圆锥中心错位，反复转堆至少三次，达到充分混合。将圆锥尖顶压平，用十字分样板自上压下，分成四等分，然后任取两个对角的等分，重复上述操作至所需分析试样的质量，见图 1-3。

(2) 工业固体废物样品制备

① 干燥 使样品能够较容易制备。

将采取的样品均匀平铺在洁净、干燥的搪瓷盘中，置于清洁、阴凉、干燥、通风的房间内自然干燥。当房间内晾晒有多个样品时，可用大张干净滤纸盖在搪瓷盘表面遮挡灰尘，以避免样品受外界环境污染和交叉污染。对颗粒较细的样品（如污泥），在干燥过程中应经常用玛瑙锤或木棒等物翻搅和敲打，以防止干燥后结块。

当样品中的待测组分不具备挥发或半挥发性时，也可以采用控温箱低温干燥的方法，干燥温度保持在 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。

② 粉碎 经破碎和研磨以减小样品的粒度。

粉碎可用机械或手工完成。将干燥后的样品根据其硬度和粒径的大小，采用适宜的破碎机、粉碎机、研磨机和乳钵等分段粉碎至所要求的粒度。样品粉碎可一次完成，也可以分段完成。在每粉碎一个样品前，应将粉碎机械或工具清扫擦拭干净。

③ 筛分 使样品保证 95% 以上处于某一粒度范围。

根据样品的最大颗粒直径选择相应的筛号，分阶段筛出全部粉碎后样品。在筛分过程中，筛上部分应全部返回粉碎工序重新粉碎，不得随意丢弃。

④ 混合 使样品达到均匀。

可以利用转堆方法对样品进行手工混合；当样品数量较大时，应采用双锥混合器或 V 型混合器进行机械混合，以保证样品均匀。对粒径大于 25mm 的样品，未经粉碎不能混合。

⑤ 缩分 将样品缩分成两份或多份，以减少样品的质量。

a. 圆锥四分法 见前面叙述。

b. 份样缩分法 当样品数量较大时，应采用份样缩分法，此时，要求样品的粒径小于 10mm。样品混合后，将其平摊成厚度均匀的矩形平堆，并划分出若干面积相等的网格，然后用分样铲在每个网

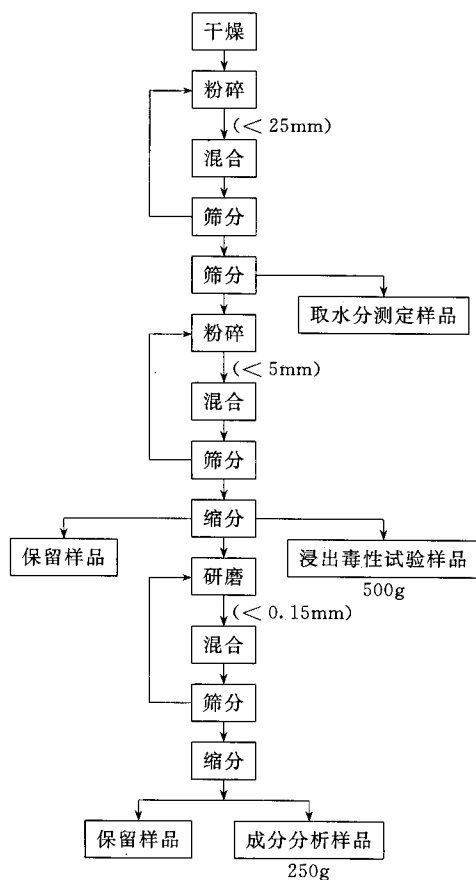


图 1-3 工业固体废物样品制备

格中等量取出一份，收集并混合后即为经过一次缩分的样品。如需进一步缩分，应再次粉碎、混合后，按上述方法重复操作至所要求的最小缩分留量。

c. 二分器缩分法 将样品通过二分器三次混合后置入给料斗中，轻轻晃动料斗，使样品沿二分器全部格槽均匀散落，然后随机选取一个或数个格槽作为保留样品。

三、实验步骤

(1) 采样前准备 为了使采集的样品具有代表性，在采集之前要调查研究生产工艺过程、废物类型、排放数量、堆积历史、危害程度和综合利用情况。如采集有害废物则应根据其有害特性采取相应的安全措施。

(2) 根据固体废物的特性确定采样份样数和份样量。安排采样方法及布设采样点。

(3) 采样，同时认真填写采样记录表（表 1-8）。

(4) 根据需要制样，并填写制样记录表（表 1-9）。

表 1-8 固体废物采样记录表

采样时间：_____年_____月_____日

采样地点：_____

样品名称		废物来源	
份样数		采样法	
份样量		采样人	
采样现场简述			
废物产生过程简述			
采样过程简述			
样品可能含有的主要有害成分			
样品保存方式及注意事项			

表 1-9 固体废物制样记录表

制样时间：_____年_____月_____日

制样地点：_____

样品名称		送样人	
样品量		制样人	
制样目的			
样品性状简述			
制样过程简述			
样品保存方式及注意事项			

四、思考题

- (1) 固体废物的采样和制样方法有哪些？
- (2) 如何确定固体废物的份样数和份样量？

实验二 生活垃圾的特性分析

一、实验目的

生活垃圾来自城市生活的各个方面，涉及面非常广泛，性质很不稳定。由于各地气候、季节、生活水平、生活习惯、能源结构及垃圾收集方式的差异，造成城市生活垃圾成分和产量更加多种多样，而且变化幅度也很大。为了有效地进行生活垃圾的技术管理，必须掌握好生活垃圾的特性，在此基础上选择适合的处理方法。

本实验的目的在于：

- (1) 了解表征生活垃圾特性的指标参数；
- (2) 掌握生活垃圾特性的分析方法。

二、实验原理

城市生活垃圾的性质主要包括物理、化学、生物化学及感官性能。

感官性能是指垃圾的颜色、臭味、新鲜或者腐败的程度等，往往可通过感官直接判断。城市垃圾的物理性质与城市垃圾的组成密切相关，组成不同，物理性质也不同。一般用组分、含水率和容重三个物理量来表示城市垃圾的物理性质。城市垃圾的化学性质对选择加工处理和回收利用工艺十分重要，表示城市垃圾化学性质的特征参数有挥发分、灰分、灰分熔点、元素组成、固定碳及发热值。

三、实验器材

0.5t 小型手推货车；100kg 磅秤；铁锹；竹夹；橡皮手套；剪刀；小铁锤；马弗炉；标准筛；坩埚；容积 100L 的硬质塑料圆桶；干燥箱；锥形瓶等。

四、实验步骤和方法

1. 组成

垃圾组成的分析步骤如下：

- (1) 取垃圾试样 25~50kg，按照表 2-1 的分类进行粗分拣。

表 2-1 生活垃圾分拣

有机物		无机物		可回收物						其他	混合
动物	植物	灰土	砖瓦 陶瓷	纸类	塑料 橡胶	纺织品	玻璃	金属	木竹		

- (2) 将粗分拣后的剩余物过 10mm 筛，筛上物细分拣各成分，筛下物按其主要成分分类，无法分类的为混合类。

- (3) 分类称量计算各成分组成。

$$C_{i(\text{湿})} = \frac{M_i}{M} \times 100\% \quad (2-1)$$

$$C_{i(\text{干})} = C_{i(\text{湿})} \times \frac{1 - C_{i(\text{水})}}{1 - C_{(\text{水})}} \quad (2-2)$$

式中 $C_{i(\text{湿})}$ ——湿基某成分含量, %;
 M_i ——某成分质量, kg;
 M ——样品总质量, kg;
 $C_{i(\text{干})}$ ——干基某成分含量, %;
 $C_{i(\text{水})}$ ——某成分含水率, %;
 $C_{(\text{水})}$ ——样品含水率, %。

2. 含水率

垃圾含水率的分析步骤如下:

(1) 将各垃圾成分试样破碎至粒径小于 15mm 后, 置入干燥箱中, 在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 条件下烘 4~8h, 取下冷却后称量。

(2) 重复烘 1~2h, 再称量, 直至质量恒定。

(3) 计算含水率

$$C_{i(\text{水})} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{M_{j(\text{湿})} - M_{j(\text{干})}}{M_{j(\text{湿})}} \times 100\% \quad (2-3)$$

$$C_{(\text{水})} = \sum_{i=1}^n C_{i(\text{水})} \times C_{i(\text{湿})} \quad (2-4)$$

式中 $M_{j(\text{湿})}$ ——每次某成分湿重, g;
 $M_{j(\text{干})}$ ——每次某成分干重, g;
 n ——各成分数;
 m ——测定次数;
 其余符号意义同前。

3. 容重

垃圾容重的分析步骤为: 将采取的垃圾试样不加处理装满有效高度 1m、容积 100L 的硬质塑料圆桶内, 稍加振动但不压实, 称取并记录质量, 重复 2~4 次后, 结果按下式计算:

$$\text{垃圾容量}(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{1000}{\text{称量次数}} \sum \frac{\text{每次称量质量}(\text{kg})}{\text{样品体积}(\text{L})} \quad (2-5)$$

4. 灰分和可燃物含量

垃圾灰分是指垃圾试样在 815°C 下灼烧而产生的灰渣量。在 815°C 下, 垃圾试样中的有机物质均被氧化, 金属也成为氧化物, 这样损失的质量也就是垃圾试样中的可燃物质量。其分析步骤如下。

(1) 称取并记录一系列坩埚质量。

(2) 将粉碎后的各垃圾成分样品按物理组成的比例充分混合后, 在每个坩埚中加入适当的量, 称取并记录质量。

(3) 将盛放有试样的坩埚放入到马弗炉 (或燃烧炉), 在 $(815 \pm 10)^\circ\text{C}$ 下灼烧 1h, 然后取下冷却。

(4) 分别称量并计算含灰量, 最后结果取平均值。

$$A = \frac{R - C}{S - C} \times 100\% \quad (2-6)$$

式中 A ——垃圾试样的含灰量, %;
 R ——在 815°C 下灼烧后坩埚和试样质量, kg;
 S ——灼烧前坩埚和试样质量;
 C ——坩埚的质量。

(5) 垃圾的可燃物质量 = $100 - A$ 。

5. 粒度

垃圾粒度分析步骤为：

- (1) 将一系列不同筛目的筛子分别称量并记录后，按筛目规格序列由小到大排放；
- (2) 称取并记录需筛分的试样质量；
- (3) 在最上面的筛子上放入需筛分的试样后，连续摇动 15min；
- (4) 将每个带有试样的筛子称量后，计算各个筛子上的微粒分数。

$$\text{微粒分数} = \frac{(\text{微粒质量} + \text{筛子质量}) - \text{筛子质量}}{\text{总试样质量}} \times 100\% \quad (2-7)$$

6. 热值

垃圾的热值分为高位热值和低位热值。所谓高位热值，是指包括产生水蒸气的能量在内的燃烧热量；所谓低位热值则是比高位热值低的可用热量。其分析步骤为：

- (1) 将垃圾试样粉碎至粒径小于 0.5mm 的微粒；
- (2) 在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下烘干至质量恒定；
- (3) 用氧弹式热量计测定高位热值（具体见本书实验三）；
- (4) 用公式计算混合试样的高位热值和低位热值 (kJ/kg)。

$$\text{混合样高位热值}_{(\text{干基})} = \sum_{i=1}^n (i \text{ 成分高位热值} \times i \text{ 成分质量百分比}) \quad (2-8)$$

$$\text{混合样高位热值}_{(\text{湿基})} = \text{混合样高位热值}_{(\text{干基})} \times (1 - \text{含水率}) \quad (2-9)$$

$$\text{混合样低位热值}_{(\text{湿基})} = \text{混合样高位热值}_{(\text{湿基})} - 24.4[\text{含水率} + 9H_{(\text{干})} \times (1 - \text{含水率})] \quad (2-10)$$

式中 24.4——水的汽化热常数，kJ/kg；

$H_{(\text{干})}$ ——干基氢元素含量，%，见表 2-2。

表 2-2 生活垃圾各成分的干基高位热值和干基氢元素含量

城市生活垃圾成分	干基高位热值 / (kJ/kg)	干基氢元素含量 / %	城市生活垃圾成分	干基高位热值 / (kJ/kg)	干基氢元素含量 / %
塑料	32570	7.2	灰土、陶瓷	6980	3.0
橡胶	23260	10.0	厨房有机物	4650	6.4
木、竹	18610	6.0	铁金属	700	
纺织物	17450	6.6	玻璃	140	
纸类	16600	6.0			

7. 淀粉的测定

垃圾在堆肥处理过程中，需借助淀粉量分析来鉴定堆肥的腐熟程度。这一分析化验的基础是在堆肥过程中形成了淀粉碘化络合物。这种络合物颜色的变化取决于堆肥的降解度，当堆肥降解尚未结束时，呈蓝色，降解结束时即呈黄色。堆肥颜色的变化过程是深蓝-浅蓝-灰-绿-黄。这种试样分析实验的步骤是：

- (1) 将 1g 堆肥置于 100mL 烧杯中，滴入几滴酒精使其湿润，再加 20mL 36% 的高氯酸。
- (2) 用纹网滤纸 (90 号纸) 过滤。
- (3) 加入 20mL 碘反应剂到滤液中并搅动。
- (4) 将几滴滤液滴到白色板上，观察其颜色变化。试剂是碘反应剂，将 2g 反应剂溶解到 500mL 水中，再加入 0.08g 碘；36% 的高氯酸；酒精。

该实验需用的试剂有：

- ① 碘试剂 将 2g 碘化钾溶解到 500mL 水中，再加入 0.08g 的碘；
- ② 36% 的高氯酸；
- ③ 纯酒精少量。