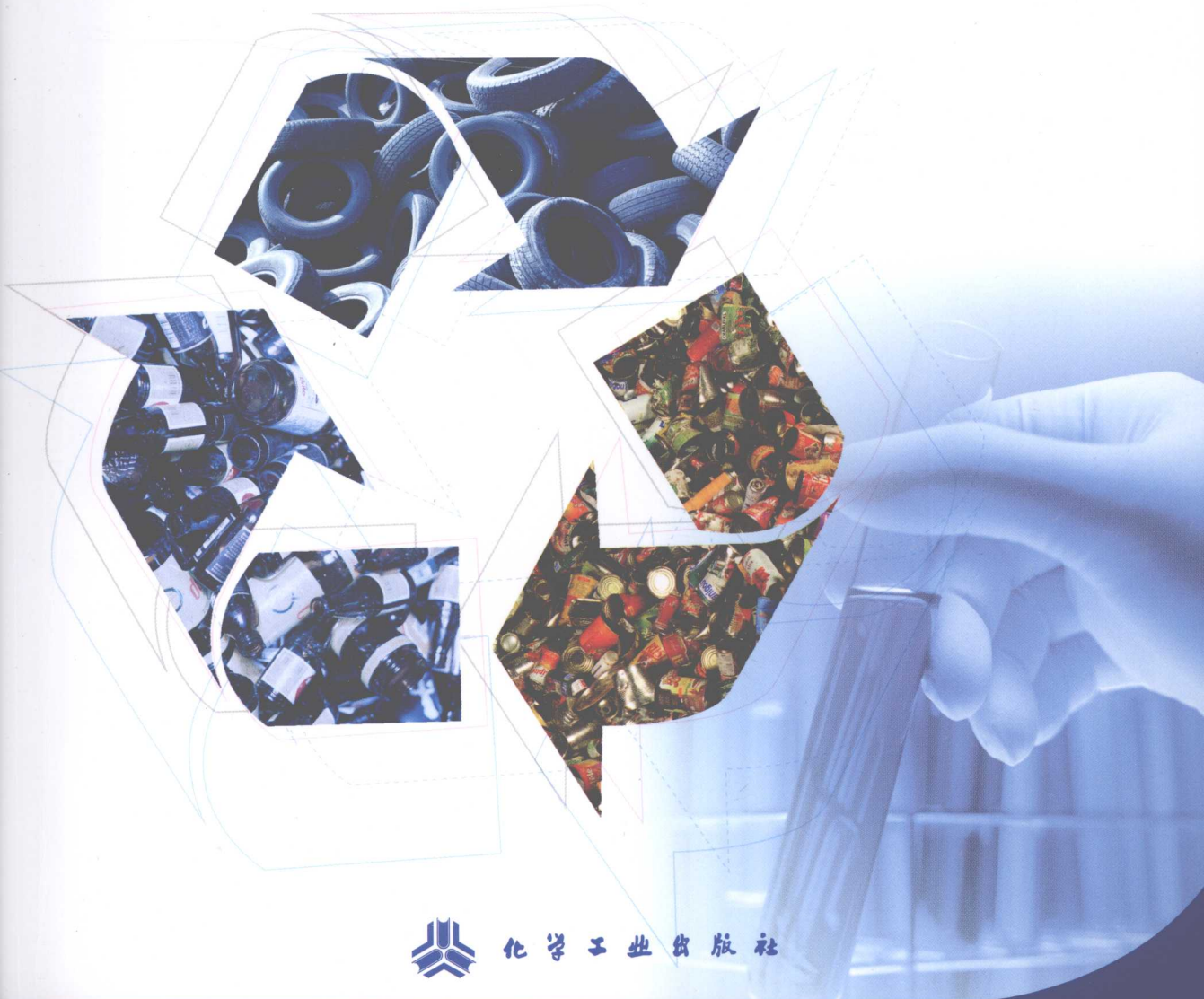


高等学校教材

固体废物工程实验

GUTI FEIWU GONGCHENG SHIYAN

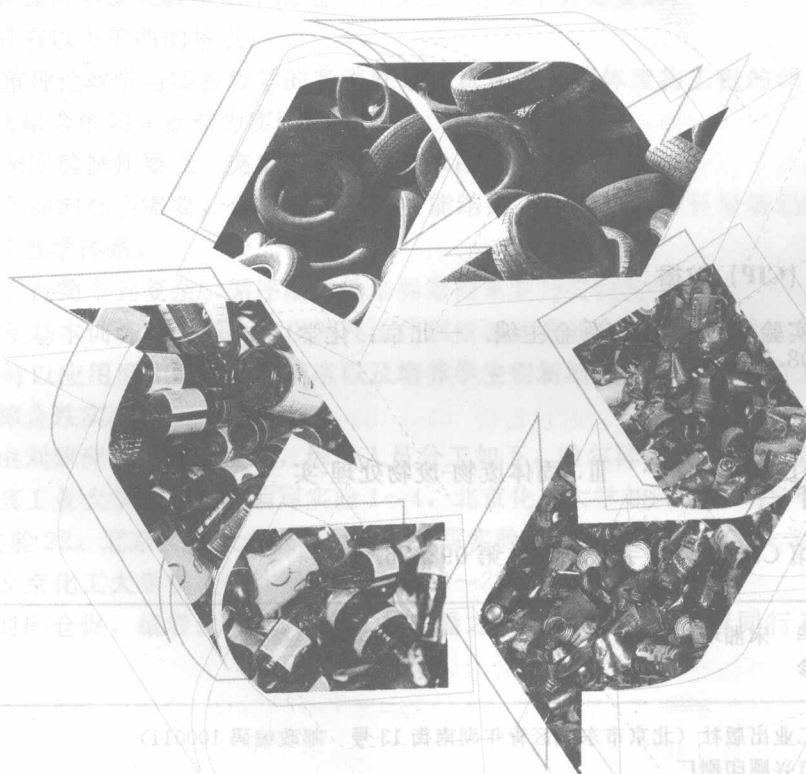
■ 刘研萍 李秀金 主编 ■



化学工业出版社

固体废物工程实验

刘研萍 李秀金 主编



168mm×103mm 1/16 印张 108 字 2008 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

图书咨询: 010-84218888 (传真: 010-84219488) 邮购联系: 010-64218289

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购本书, 如言城购书数量问题, 本社销售中心人员负责。



化学工业出版社

北京 100011

· 北京 ·

定价: 10.00 元

本书是高等院校专业课程固体废物工程的实验教材。本书分为绪论、基础型实验和研究型实验三大部分,包括固体废物的物理、化学和生物特性的测定与分析,危险废物特性鉴别,污泥特性分析,垃圾渗滤液测定分析与固体废物的主要处理实验等内容,共有基础型分析监测实验 20 个,研究型实验 8 个。本书旨在通过实验培养学生理论与实际相结合的操作技能,加深对理论知识的理解,提高实验操作能力。

本书可作为高等院校环境工程、市政工程、环境科学及相关专业的实验教材,也可供从事固体废物处理与资源化研究的工作者、实际工程的管理人员和操作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

固体废物工程实验/刘研萍,李秀金主编. —北京:化学工业出版社,2008.7
高等学校教材
ISBN 978-7-122-03273-7

I. 固… II. ①刘…②李… III. 固体废物-废物处理-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 098026 号

责任编辑:唐旭华 宋湘玲
责任校对:徐贞珍

文字编辑:糜家铃
装帧设计:关 飞

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 装:北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 4½ 字数 108 千字 2008 年 9 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:10.00 元

版权所有 违者必究

前言

实验教学的宗旨是培养学生理论与实际相结合的操作技能,实事求是、精益求精的科学态度,以及分析问题和解决问题的实践能力。固体废物工程是环境类专业的必修课程,实验教学是固体废物工程教学的重要组成部分。通过实验可以加深学生对固体废物工程基本原理的理解;培养学生进行固体废物工程实验的一般技能及使用实验仪器、设备的基本能力;培养学生分析实验数据与处理数据的基本能力;培养学生设计和组织固体废物工程实验方案的初步能力。

目前我国固体废物工程本科教学存在的主要问题是:与理论教学相比,实践性环节教学相对较薄弱,比较突出的是缺乏系统完善的实验教材,实验教学方式比较落后,这是当前制约培养学生具有创新精神和实践能力的主要障碍。因此编写一本系统、完善的固体废物工程实验教材是提高本课程教学水平的重要因素之一,是十分必要的。

本书具有以下鲜明的特点:

1. 注重理论教学与实验教学的紧密联系,认真遴选固体废物工程的课程知识点和有利于学科交叉融合的切入点作为实验教学内容;
2. 强调实验操作要点,突出关键实验技术;
3. 注重面向社会需要,合理安排知识技能结构,以反映本学科发展趋势的新成果来补充完善实验教学体系;
4. 注意按简单到复杂、循序渐进的培养原则来安排实验教学;
5. 注重基本训练型、综合应用型及设计创新型实验的合理结构比例;
6. 坚持以应用型和面向社会需求以及培养学生创新精神的实践能力为主,增加思考性、设计性和综合性实验。

本书由刘研萍、李秀金主编,编写人员分工如下:哈尔滨工商大学左金龙教授编写第一章,哈尔滨工业大学刘硕老师编写实验1~4,北京化工大学刘研萍老师编写实验5~11、实验21和实验22,北京科技大学汪群慧教授编写实验12~17,北京化工大学刘广青编写实验18~20,北京化工大学李秀金教授编写实验23~28。

由于时间仓促,编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请同行和广大读者批评指正。

编者

2008年5月

目 录

第一章 绪论	1
第二章 分析监测实验	5
实验 1 固体废物的采样和制样	5
实验 2 固体废物化学性质测定实验	9
实验 3 固体废物无机性质测定实验	11
实验 4 有机固体废物热值测定	14
实验 5 危险废物浸出液的制备方法	18
实验 6 危险废物腐蚀性鉴别实验	21
实验 7 危险废物毒性鉴别实验	23
实验 8 危险废物的易燃性鉴别实验	24
实验 9 危险废物反应性鉴别实验	26
实验 10 危险废物浸出毒性有机分析	30
实验 11 危险废物浸出毒性无机分析	32
实验 12 生物降解度的测定实验	34
实验 13 堆肥腐熟度测定实验	35
实验 14 污泥比阻实验	35
实验 15 污泥活性的测定实验	39
实验 16 污泥中氨氮的测定	41
实验 17 污泥中挥发性脂肪酸 (VFA) 的测定	43
实验 18 渗滤液中 TS、DS 和 SS 的测定	44
实验 19 渗滤液中碱度的测定	47
实验 20 垃圾堆蝇类滋生密度的测定	49
第三章 研究型实验	51
实验 21 生活垃圾的风力分选	51
实验 22 危险废物的固化处理实验	54
实验 23 厨房垃圾好氧堆肥化处理实验	56
实验 24 有机垃圾厌氧消化实验	59
实验 25 废塑料的热分解	61
实验 26 生活垃圾渗滤处理实验	63
实验 27 工业废渣渗滤模拟实验	64
实验 28 电子废弃物资源化实验	65
参考文献	68

第一章 绪 论

1. 实验教学目的

实验教学的实施在于培养学生理论联系实际的能力,是培养学生观察问题、分析问题和解决问题能力的一个重要方面。本课程的教学目的如下:

- (1) 加深学生对基本概念的理解,巩固新的指示;
- (2) 使学生了解如何进行实验方案的设计,并逐步掌握固体废物实验研究方法和基本测试技术;
- (3) 通过实验数据的整理使学生初步掌握数据分析处理技术,包括如何收集实验数据、如何正确地分析和归纳实验数据、运用实验成果验证已有的概念和理论等。

2. 实验教学程序

为了更好地实现教学目的,使学生学好本门课程,下面简单介绍实验研究工作的一般程序。

(1) 提出问题

根据已掌握的知识,提出打算验证的基本概念或探索研究的问题。

(2) 设计实验方案

确定实验目标后要根据人力、设备、药品和技术能力等方面的具体情况进行实验方案的设计。实验方案应包括实验目的、装置、步骤、计划、测试项目和测试方法等内容。

(3) 实验研究

根据设计好的实验方案进行实验,按时进行测试。

(4) 收集实验数据

定期整理分析实验数据。实验数据的可靠性和定期整理分析是实验工作的重要环节。实验者必须经常用已掌握的基本概念分析实验数据,通过实验数据分析加深对基本概念的理解,并发现实验设备、操作运行、测试方法和实验方向等方面的问题,以便及时解决,使实验工作能较顺利地进行。

(5) 实验小结

通过实验数据的具体分析,对实验结果进行评价。小结的内容包括以下几个方面:

- ① 通过实验掌握了哪些新的知识;
- ② 是否解决了提出的问题;
- ③ 是否证明了文献中的某些优点;
- ④ 实验结果是否可用以改进已有的工艺设备和操作运行条件,或设计新的处理设备;
- ⑤ 当实验数据不合理时,应分析原因,提出新的实验方案。

3. 实验教学要求

(1) 课前预习

为完成好每个实验,学生在课前必须认真阅读实验教材,清楚地了解实验目的和要求、

实验原理和实验内容,写出简明的预习提纲。预习提纲包括:

- ① 实验目的和主要内容;
- ② 需测试项目的测试方法;
- ③ 实验中应注意的事项;
- ④ 准备好实验记录表格。

(2) 实验设计

实验设计是实验研究的重要环节,是获得满足要求的实验结果的基本保障。在实验教学中,宜将此环节的训练放在部分实验项目完成后进行,已达到使学生掌握实验设计方法的目的。

(3) 实验操作

学生实验前应仔细检查实验设备、仪器仪表是否完整齐全。实验时应严格按照操作规程认真操作,仔细观察实验现象,精心测定实验数据并详细填写实验记录。实验结束后,要将实验设备和仪器仪表恢复原状,将周围环境整理干净。学生应注意培养自己严谨的科学态度,养成良好的工作学习习惯。

(4) 实验数据处理

通过实验取得大量数据以后,必须对数据做科学的整理分析,去伪存真、去粗取精,以得到正确可靠的结论。

(5) 编写实验报告

将实验结果整理编写成一份实验报告,是实验教学必不可少的组成部分。这一环节的训练可为今后写好科学论文和科研报告打下基础。实验报告包括下述内容:

- ① 实验目的;
- ② 实验原理;
- ③ 实验装置和方法;
- ④ 实验数据和数据整理结果;
- ⑤ 实验结果讨论。

对于科研论文,最后还要列出参考文献。对于实验教学的实验报告,参考文献一项可省略。实验报告的重点放在实验数据处理和实验结果的讨论。

4. 实验数据处理

固体废物工程实验,常需要做一系列的测定,并取得大量数据。实践表明,每项实验都有误差,同一项的多次重复测量,总有差异。即实验值与真实值之间的差异,这是由于实验环境不理想、实验人员技术水平不高、实验设备或实验方法不完善等因素引起的。随着研究人员对研究课题认识的提高,仪器设备的不断完善,实验中的误差可以逐渐减少,但是不可能做到没有误差。因此取得了实验数据以后,一方面,必须对所测对象进行研究分析,估计测试结果的可靠程度,并对取得的数据给予合理的解释;另一方面,还必须将所得的数据进行整理归纳,用一定的方式表示出各数据之间的关系。前者即误差分析,后者即数据处理。

对实验结果进行误差分析与数据处理的目的如下:

- ① 可以根据实验的目的,合理地选择实验装置、仪器、条件和方法;
- ② 能正确处理实验数据,以便在一定条件下得到接近真实值的最佳结果;
- ③ 合理选定实验结果的误差,避免由于误差选取不当造成人力物力的浪费;

④ 总结测定的结果, 得出正确的实验结论, 并通过必要的整理归纳 (如绘成实验曲线或得出经验公式) 为验证理论分析提供条件。

误差与数据处理内容很多, 在此介绍一些基本知识。在对实验数据进行误差分析, 剔除错误数据后, 还要将实验所提供的数据进行归纳处理, 用图形、表格或经验公式加以表示, 以找出影响研究事物的各因素之间互相影响的规律, 为得到正确的结论提供可靠的信息。

常用的实验数据表示方法有列表表示法、图形表示法和方程表示法三种。表示方法的选择主要是依靠经验, 可以用其中的一种方法, 也可两种或三种方法同时使用。

(1) 列表表示法

列表表示法是将一组实验数据中的自变量、因变量的各个数值依一定的形式和顺序一一对应列出来, 借以反映各个变量之间的关系。

列表法具有简单易作、形式紧凑、数据容易参考比较等优点, 但对各规律的反映不如图形表示法和方程表示法明确, 在理论分析方面使用不方便。

完整的表格应包括表的序号、表题、表头中各项目的名称及单位、说明以及数据来源等。

实验测得的数据, 其自变量和因变量的变化, 有时是不规则的, 使用起来很不方便。此时可以通过数据分度, 使表中所列数据成为有规则的排列, 即当自变量作等间距顺序变化时, 因变量也随着顺序变化。这样的表格查阅起来较方便。数据分度的方法有多种, 较为简便的方法是先用原始数据 (即未分度的数据) 画图, 做出一光滑曲线, 然后在曲线上一一读出所需的数据 (自变量作等间距顺序变化), 并列表。

(2) 图形表示法

图形表示法的优点在于形式简明直观, 便于比较, 易显出数据中的最高点或最低点、转折点、周期性以及其他特性等。当图形作得足够准确时, 可以不必知道变量之间的数学关系, 对变量求微分或积分后得到需要的结果。

图形表示法可以用于两种场合: ① 已知变量间的依赖关系图形, 通过实验, 将所得数据作图, 然后求得相应的一些参数; ② 两个变量间的关系不清, 将实验数据点绘于坐标纸上, 用以分析、反映变量间的关系和规律。

(3) 方程表示法

实验数据用列表或图形表示后, 使用时虽然较直观简便, 但不便于理论分析研究, 故常常需要用数学表达式来反映自变量与因变量的关系。方程表示法通常包括下面两个步骤。

① 选择经验公式。表示一组实验数据的经验公式应该形式紧凑, 式中系数不宜太多。一般没有一个简单方法可以直接获得一个较理想的经验公式, 通常是先将实验数据在直角坐标纸上描点, 再根据经验和解析几何推测经验公式的形式。若经验表明此形式不够理想, 则另立新式, 再进行实验, 直至得到满意的结果为止。表达式中容易直接用实验验证的是直线方程, 因此应尽量使所得函数呈直线式。若得到的函数不是直线式, 可以通过变量变换, 将所得图形变换为直线。

② 确定经验公式的系数。确定经验公式中系数的方法有多种, 在此仅介绍直线图解法和回归分析中的一元线性回归、一元非线性回归以及回归线的相关系数与精度。

a. 直线图解法。凡实验数据可直接绘成一条直线或经过变量变换后能改为直线的, 都可以用此法。具体方法如下: 将自变量与因变量一一对应的点绘在坐标纸上作直线, 使直线

量变的点差不多相等，并使每一点尽量靠近直线。所得直线的斜率就是直线方程 $y=a+bx$ 中的系数 b ， y 轴上的截距就是直线方程中的 a 值。直线的斜率可用直角三角形的 $\Delta y/\Delta x$ 比值求得。

直线图解法的优点是简便，但由于个人用直尺凭视觉画出的直线可能不同，因此，精度较差。当问题比较简单，或者精度要求低于 $0.2\% \sim 0.5\%$ 时可以用此法。

b. 一元线性回归。一元线性回归就是工程上和科研中常常遇到的配直线的问题，即两个变量 x 和 y 存在一定的线性相关关系，通过实验取得数据后，用最小二乘法求出系数 a 和 b ，并建立起回归直线方程 $y=a+bx$ （该直线称为 y 对 x 的回归线）。

c. 一元非线性回归。有时两个变量之间的关系并不是线性关系，而是某种曲线关系。这时，需要解决选配适当类型的曲线，以及确定相关函数中的系数等问题。

(4) 实验数据处理

实验数据处理的目的是将实验数据整理成表格，以便进行分析和计算。数据处理的方法很多，如列表法、图解法、回归法等。列表法是将实验数据按一定的顺序排列在表格中，以便进行分析和计算。图解法是将实验数据画在坐标纸上，通过目视或量尺的方法，求出数据的平均值、标准差等。回归法是通过数学方法，求出数据的最佳拟合曲线，从而得到数据的函数关系。

① 列表法

列表法是将实验数据按一定的顺序排列在表格中，以便进行分析和计算。列表法的特点是简单、直观，适用于数据量不大、精度要求不高的情况。列表法的步骤如下：(1) 确定表格的格式，包括表头、表身和表尾。(2) 将实验数据按一定的顺序填入表格。(3) 对表格中的数据进行初步的分析和计算，如求平均值、标准差等。(4) 将表格中的数据整理成表格，以便进行进一步的分析和计算。

② 图解法

图解法是将实验数据画在坐标纸上，通过目视或量尺的方法，求出数据的平均值、标准差等。图解法的特点是直观、形象，适用于数据量不大、精度要求不高的情况。图解法的步骤如下：(1) 确定坐标纸的格式，包括横轴、纵轴和原点。(2) 将实验数据按一定的顺序画在坐标纸上。(3) 对坐标纸上的数据进行初步的分析和计算，如求平均值、标准差等。(4) 将坐标纸上的数据整理成表格，以便进行进一步的分析和计算。

③ 回归法

回归法是通过数学方法，求出数据的最佳拟合曲线，从而得到数据的函数关系。回归法的特点是精度高、适用范围广，适用于数据量大、精度要求高的情况。回归法的步骤如下：(1) 确定回归方程的形式，如一元线性回归、一元非线性回归等。(2) 将实验数据按一定的顺序填入表格。(3) 对表格中的数据进行初步的分析和计算，如求平均值、标准差等。(4) 将表格中的数据整理成表格，以便进行进一步的分析和计算。

第二章 分析监测实验

实验 1 固体废物的采样和制样

一、实验目的和意义

固体废物主要来源于人类的生产和生活，它可分为工业固体废物、城市垃圾（包括下水道污泥）、农业废物和危险废物等。由于经济的迅速发展和人口的急剧增长，固体废物的产量迅速增长，成分也日趋庞杂，其污染问题已经成为世界性环境公害之一。固体废物处理与资源化研究越来越受到重视。

进行固体废物的实验与分析，首先始于试样的采样和制样。由于固体废物量大、种类繁多且混合不均匀，因此与水质和大气实验分析相比，从废物如此不均匀的批量中采集有代表性的试样很难。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。通过本实验达到以下要求：

- (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) 根据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

固体废物是由多种物质组成的混合物，应根据固体废物的性质及实验分析要求进行采样和制样。

1. 份样数的确定

份样数是指由一批固体废物中的一个点或一个部位按规定量取出的样品个数。可由公式法或查表法确定。

当份样间的标准偏差和允许误差已知时，可按下列公式计算份样数：

$$n \geq \left(\frac{ts}{\Delta} \right)^2 \quad (1-1)$$

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。将对应于 n 初值的 t 值代入，不断迭代，直至算得的 n 值不变，此值即为必要的份样值。

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

2. 份样量的确定

表 1-1 批量大小与最少份样数 [单位：固体 (t)；液体 (kL)]

批量大小	最少份样数	批量大小	最少份样数
<1	5	≥100	30
≥1	10	≥500	40
≥5	15	≥1000	50
≥30	20	≥5000	60
≥50	25	≥10000	80

表 1-2 贮存容器数量与最少份样数

容器数量	最少份样数	容器数量	最少份样数
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		

表 1-3 人口数量与生活垃圾分析用最少份样数

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

按表 1-4 确定每个份样应采的最小质量。所采的每个份样量应大致相等。其相对误差不大于 20%。表中要求的采样铲容量为保证在一个地点或部分能够取到足够数量的份样量。

表 1-4 份样量和采样铲容量

最大粒度/mm	最少份样量/kg	采样铲容量/mL	最大粒度/mm	最少份样量/kg	采样铲容量/mL
>150	30		20~40	2	800
100~150	15	16000	10~20	1	300
50~100	5	7000	<10	0.5	125
40~50	3	1700			

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

3. 采样技术

(1) 简单随机采样

当对一批废物了解很少，且采样的份样比较分散也不影响分析结果时，对其不作任何处理，不进行分类也不进行排队，而是按照其原来的状况从中随机采取份样。

(2) 系统采样法

在一批废物以运输带、管道等形式连续排放移动的过程中，按一定的质量或时间间隔采份样，份样间的间隔按下式计算：

$$T \leq \frac{Q}{n} \text{ 或 } T' \leq \frac{60Q}{Gn} \tag{1-2}$$

式中 T——采样质量间隔，t；
T'——采样时间间隔，min；

Q ——批量, t ;

n ——份样数;

G ——每小时排出量, t/h 。

合 采第一份样时, 不准在第一间隔的起点开始, 可在第一间隔内任意确定。

(3) 分层采样法

一批废物分次排出或某生产工艺过程的废物间歇排出过程中, 可分 n 层采样, 根据每层的质量, 按比例采取份样。

第 i 层采样份数按下式计算:

$$n_i = \frac{nQ_i}{Q} \quad (1-3)$$

式中 n_i ——第 i 层采样份数;

n ——份样数;

Q_i ——第 i 层废物质量, t ;

Q ——批量, t 。

(4) 两段采样法

简单随机采样、系统采样、分层采样都是一次就直接从批废物中采取份样, 称为单阶段采样。当一批废物由许多车、桶、箱、袋等容器盛装时, 由于各容器件比较分散, 所以要分阶段采样。首先从批废物总容器件数 N_0 中随机抽取 n_1 件容器, 然后再从 n_1 件的每一个容器中采 n_2 个份样。

推荐当 $N_0 \leq 6$ 时, 取 $n_1 = N_0$; 当 $N_0 > 6$ 时, 按下式计算:

$$n_1 \geq 3N_0^{\frac{1}{3}} \text{ (小数进整数)} \quad (1-4)$$

推荐第二阶段的采样数 $n_2 \geq 3$, 即 n_1 件容器中的每个容器均随机采上中下最少 3 个份样。

(5) 采点法

对于堆存、运输中的固态固体废物和大池 (坑、塘) 中的液态固体废物, 可按对角线形、梅花形、棋盘形、蛇形等点分布确定采样点 (采样位置)。

对于粉末状、小颗粒的固体废物, 可按垂直方向、一定深度的部位确定采样点 (采样位置)。

对于容器内的固体废物, 可按上部 (表面下相当于总体积的 $1/6$ 深处)、中部 (表面下相当于总体积的 $1/2$ 深处)、下部 (表面下相当于总体积的 $5/6$ 深处) 确定采样点 (采样位置)。

根据采样方式 (简单随机采样、分层采样、系统采样、两段采样等) 确定采样点 (采样位置)。

4. 制样技术

制样的目的是从采取的小样或大样中获取最佳量、最有代表性、能满足实验和分析要求的样品。固体废物样品制备包括以下四个不同操作。

(1) 粉碎

经破碎或研磨以减小样品的粒度。用机械方法或人工方法破碎或研磨, 使样品分阶段达到相应排料的最大粒度。

(2) 筛分

使样品保证 95% 以上处于某一粒度范围。根据粉碎阶段排料的最大粒度，选择相应的筛号，分阶段筛出一定粒度的样品。

(3) 混合

使样品达到均匀。用机械设备或人工转堆法，使过筛的一定粒度范围的样品充分混合，以达均匀分布。

(4) 缩分

将样品缩分成两份或多份，以减少样品的质量。样品的缩分可以采用圆锥四分法，即将样品置于平整、洁净的台面（地板革）上，堆成圆锥形，每铲自圆锥的顶尖落下，使均匀地沿锥尖散落，注意勿使圆锥中心错位，反复转锥至少三次，使充分混匀，然后将圆锥顶端轻轻压平，摊开物料后，用十字分样板自上压下，分成四等份，任取对角的两等份，重复操作数次，直至不少于 1kg 试样为止。

液态废物制样主要为混匀、缩分。缩分采用二分法，每次减量一半直至实验分析用量的 10 倍为止。

三、实验工具

- (1) 尖头钢铲；
- (2) 尖头镐；
- (3) 采样铲（采样器）；
- (4) 具盖采样桶或内衬塑料的采样袋等。

四、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。

(4) 根据需要制样，并填写制样记录表。

固体废物采样和制样记录表如表 1-5 和表 1-6 所示。

表 1-5 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 1-6 固体废物制样记录表

采样时间： 年 月 日 采样地点：

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			

五、讨论

- 1. 固体废物的制样方法有哪些？
- 2. 环境中固体废物的来源有哪些？
- 3. 如何确定固体废物的份样数和份样量？为什么份样量与粒度有关？
- 4. 固体废物采集后应怎样处理才能保存？
- 5. 如何才能使采集的固体样品具有代表性？

实验 2 固体废物化学性质测定实验

一、实验目的和意义

固体废物基本性质参数包括物理性质参数（含水率、容重）、化学性质参数（挥发分、灰分、可燃分、发热值、元素组成等）和生物性质参数。这些参数是评定固体废物性质、选择处理处置方法、设计处理处置设备等的重要依据，也是科研、实际生产中经常需要测量的参数，因此，需要掌握它们的测定方法。本实验主要测定挥发分、灰分、可燃分三个基本参数，热值的测定见参考实验 4 内容。

二、实验原理

1. 灰分和挥发分

挥发分又称挥发性固体含量，是指固体废物在 600℃ 下的灼烧减量，常用 VS（%）表示。它是反映固体废物中有机物含量的一个指标参数。灰分是指固体废物中既不能燃烧，也不会挥发的物质，用 A（%）表示。它是反映固体废物中无机物含量的一个指标参数。挥发分和灰分一般同时测定。

2. 可燃分

把固体废物试样在 815℃ 的温度下灼烧，在此温度下，除了试样中有机物质均被氧化外，金属也成为氧化物，灼烧损失的质量就是试样中的可燃物含量，即可燃分。可燃分反映了固体废物中可燃烧成分的量，它既是反映固体废物中有机物含量的参数、也是反映固体废物可燃烧性能的指标参数，是选择焚烧设备的重要依据。

三、实验材料与仪器

(1) 实验材料：实验所用固体废物可根据实际情况选用人工配制的固体废物，也可以是实际产生的固体废物。

(2) 实验仪器

- ① 烘箱；
- ② 马弗炉；

- ③ 电子天平；
 ④ 带刻度的 1L 量杯；
 ⑤ 氧弹式热量计；
 ⑥ 坩埚。

四、实验步骤

1. 灰分和挥发分

测定步骤如下：

- (1) 准备 2 个坩埚，分别称取其质量，并记录下来；
- (2) 各取 50g 烘干好的试样（绝干），分别加入准备好的 2 个坩埚中（重复样）；
- (3) 将盛放有试样的坩埚放入马弗炉中，在 600℃ 下灼烧 2h，然后取出冷却；
- (4) 分别称量并计算含灰量，最后结果取平均值：

$$A = \frac{R - C}{S - C} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 A——试样灰分含量，%；

R——灼烧后坩埚和试样的总质量，g；

S——灼烧前坩埚和试样的总质量，g；

C——坩埚的质量，g。

- (5) 挥发分（VS 单位：%）计算：

$$VS = (1 - A) \times 100\% \quad (2-2)$$

2. 可燃分

其分析步骤基本同挥发分的测定步骤，所不同的是灼烧温度。

- (1) 准备 2 个坩埚，分别称取其质量，并记录下来；
- (2) 各取 50g 烘干好的试样（绝干），分别加入准备好的 2 个坩埚中（重复样）；
- (3) 将盛放有试样的坩埚放入马弗炉中，在 815℃ 下灼烧 1h，然后取出冷却；
- (4) 分别称量并计算含灰量，最后结果取平均值：

$$A' = \frac{R - C}{S - C} \times 100\% \quad (2-3)$$

式中 A'——试样灰分含量，%；

R——灼烧后坩埚和试样的总质量，g；

S——灼烧前坩埚和试样的总质量，g；

C——坩埚的质量，g。

- (5) 可燃分 CS（%）计算：

$$CS = (1 - A') \times 100\% \quad (2-4)$$

3. 根据上述实验，完成表 2-1。

表 2-1 固体废物基本性质参数测得结果

序号	测定参数	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值	备注
1	灰分/%					
2	挥发分/%					
3	可燃分/%					

五、讨论

1. 固体废物灰分、挥发分和可燃分之间的关系。
2. 固体废物灰分、挥发分和可燃分测定的意义。

实验 3 固体废物无机性质测定实验

一、实验目的和意义

材料的密度是材料最基本的属性之一，也是进行其他物性测定（如颗粒粒径测试）的基础数据。材料的孔隙率、吸水率是材料结构特征的标志。在材料研究中，孔隙率、吸水率的测定是对产品质量进行检定的最常用的方法之一。

材料的密度，可以分为体积密度、真密度等。体积密度是指不含游离水材料的质量与材料的总体积（包括材料的实体积和全部孔隙所占的体积）之比；材料质量与材料实体积（不包括存在于材料内部的封闭气孔）比值，则称为真密度。孔隙率是指材料中气孔体积与材料总体积之比。吸水率是指材料试样放在蒸馏水中，在规定的温度和时间内吸水质量和试样原质量之比。由于吸水率与开口孔隙率成正比，在科研和生产实际中往往采用吸水率来反映材料的显气孔率。

因此，无论是在陶瓷材料、耐火材料、塑料、复合材料以及废物复合材料等材料的研究和生产中，测定这三个指标对材料性能的控制有重要意义。通过本实验达到以下要求：

- (1) 了解体积密度、孔隙率、吸水率等概念的物理意义；
- (2) 了解测定材料体积密度、密度（真密度）的测定原理和测定方法；
- (3) 通过测定体积密度、密度（真密度），掌握计算材料孔隙率和吸水率的计算方法。

二、实验原理

材料的孔隙率、吸水率的计算都是基于密度的测定，而密度的测定则是基于阿基米德原理。由阿基米德原理可知，浸在液体中的任何物体都要受到浮力（即液体的静压力）的作用，浮力的大小等于该物体排开液体的重量。重量是一种重力的值，但在使用根据杠杆原理设计制造的天平进行衡量时，对物体重量的测定已归结为对其质量的测定。因此，阿基米德定律可用下式表示：

$$m_1 - m_2 = VD_L \quad (3-1)$$

式中 m_1 ——在空气中称量物体时所得的质量；

m_2 ——在液体中称量物体时所得的质量；

V ——物体的体积；

D_L ——液体的密度。

这样，物体的体积就可以通过将物体浸于已知密度的液体中，通过测定其质量的方法来求得。

在工程测量中，往往忽略空气浮力的影响。在此前提下进一步推导，可得用称量法测定物体密度时的原理公式：

$$D = m_1 \frac{D_L}{m_1 - m_2} \quad (3-2)$$

这样，只要测出有关量并代入上式，就可计算出待测物体在温度 $t(^{\circ}\text{C})$ 时的密度。

实验中的真密度测定是基于粉末密度瓶浸液法来测定的。其原理是：将样品制成粉末，并将粉末浸入对其润湿而不溶解的浸液中，用抽真空或加热煮沸排除气泡，求出粉末试样从已知容量的容器中排出已知密度的液体，从而得到所测粉末的真密度。

三、实验仪器和试剂

1. 实验仪器

- (1) 恒温干燥箱：由室温到 200°C ；
- (2) 天平：最大称量 1000g ，感量 10mg 1 个；最大称量 100g ，感量 1mg 1 个；
- (3) 游标卡尺 1 把；
- (4) 容积 $25\sim 30\text{mL}$ 容量瓶 1 个；
- (5) 240 目标标准筛 1 个；
- (6) 干燥器 1 个；
- (7) 研钵 1 个。

2. 实验试剂

蒸馏水。

四、实验步骤

1. 试样制备阶段

(1) 体积密度试样

试样尺寸为 50mm 立方体 5 块。

(2) 密度试样

选择 1000g 左右试样，将表面清扫干净，并粉碎到颗粒小于 5mm ，以四分法缩分到 150g ，再用瓷研钵研磨成粉末并通过 240 目标标准筛，将粉样装入称量瓶中，放入 $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 烘箱内干燥 4h 以上，取出稍冷后，放入干燥器内冷却到室温。

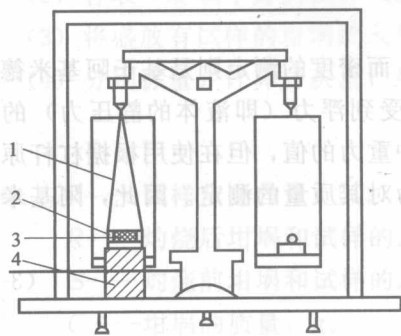


图 3-1 称量装置的示意图

- 1—稀疏的网篮；2—烧杯；
3—试样；4—支架

2. 体积密度测定

(1) 将试样用刷子清扫干净放入 $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 烘箱内干燥 2h ，取出，冷却到室温，称其质量 (m_0)，精确到 0.02g 。

(2) 将试样放入室温的蒸馏水中，浸泡 48h 后取出，用拧干的湿毛巾擦去表面水分，并立即称量质量 (m_1)，精确到 0.02g ；接着把试样挂在网篮中，将网篮和试样浸入室温的蒸馏水中，称量其在水中的质量 (m_2)，精确到 0.02g 。称量装置如图 3-1 所示。

3. 密度测定

称取试样三份，每份 10g (m'_0)，将试样分别装入洁净的密度瓶内，并倒入蒸馏水。倒入的蒸馏水不超过密度瓶体积的一半，将密度瓶放入蒸馏水中煮沸 $10\sim 15\text{min}$ ，使试样中气泡排除，或将密度瓶放在真空干燥器内排除气泡。气泡排除后，擦干密度瓶，冷却到室温，用蒸馏水装满到标记处，称量质量 (m'_2)。再将密度瓶冲洗干净，用蒸馏水装满到标记处，并称量质量 (m'_1)， m'_0 、 m'_1 、 m'_2 均精确到 0.02g 。李氏密度瓶示意如图 3-2 所示。