

Kuangwu Jiagong Shiyan Jishu

矿物加工

Kuangwu Jiagong
Shiyan Jishu

实验技术

主 编 李延锋
副主编 张文军 孙永锋

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

矿物加工实验技术

主 编 李延锋
副主编 张文军 孙永锋

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书主要根据《选矿学》的相关内容,设计了能够强化学生对专业知识理解的各种实验。全书共 43 个实验,主要内容涉及样品的采制、磨矿、筛分、分级、重选、浮选、粗煤泥分选、磁选、电选、泥化、尾矿水沉降、煤炭分选以及有色金属选矿、黑色金属选矿、非金属矿选矿、基础理论实验、分选或分级设备性能评价等。每个实验包括实验目的、基本原理、仪器设备及材料、实验步骤与操作、数据处理与报告要求、思考题和教学指导。

本书可作为高校矿物加工工程专业(选煤和选矿)的教学用书,也可作为从事矿物加工技术研究人员、生产技术与管理人、煤质化验等相关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

矿物加工实验技术/李延锋主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2010.5

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0664 - 0

I. ①矿… II. ①李… III. ①选矿—实验 IV.

①TD9—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 078211 号

书 名 矿物加工实验技术

主 编 李延锋

责任编辑 杨传良 周 红

责任校对 何晓惠

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 印张 10.25 字数 193 千字

版次印次 2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷

定 价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

矿物加工工程专业是矿业工程的二级学科,全国有 30 多所高校设置了该专业,每年毕业生超过 2 000 人。因各学校学生培养所面向的行业(如煤炭、有色金属、黑色金属、非金属、黄金等)不同,所以教学内容和课程设置的侧重点也有所不同,但矿物加工所采用的方法与原理相通,矿物加工许多实验在各类矿物加工中的应用也基本相同,因而其教学内容和体系具有较大的通用性。同时随着矿物加工专业毕业生在不同行业间的流动,矿物加工工程学科内涵和外延都有了很大变化,矿物加工工程人才知识面和服务领域也大大拓宽。这就需要建立一个涉及各种选矿方法的“矿物加工实验技术”课程平台,资源共享。近年来,随着课程设置的调整,“矿物加工实验技术”已从《选矿学》中分离出来单独设课,但缺乏针对性的教材,编者从教以来所做的科研项目涉及煤炭分选、有色金属矿选矿、非金属矿选矿、黄金分选和黑色金属矿选矿,因此编写了这本覆盖不同行业的《矿物加工实验技术》。

“矿物加工实验技术”单独设课,不再作为《选矿学》的辅助实验,同时本教材实验的数量、所涉及的面大大拓宽,共包含 43 个实验,主要内容涉及样品的采制化、磨矿、筛分、分级、重选、浮选、粗煤泥分选、磁选、电选、泥化、尾矿水沉降、煤炭分选、有色金属选矿、黑色金属选矿、非金属矿选矿、基础理论实验、分选或分级设备性能评价等实验。同时在本书的编写过程中增加了当前该领域的新技术,如 TBS 分选实验、浮选柱分选实验、高梯度磁选实验、摩擦电选实验、FALCON 分选实验等,对于拓展教学内容和使实验教学与矿物加工技术发展同步起到了较大的促进作用。“矿物加工实验技术”课时设置为 32 学时,各高校指导教师按照自己的行业特点和学校现有的实验仪器设备可从中选择部分实验,建议指导教师对同一类开设 1~2 个实验,避免过

目 录

实验一	样品的缩分与制备实验	1
实验二	细粒物料粒度组成筛分实验	5
实验三	水析实验	9
实验四	旋流器分级(选)实验	13
实验五	磨矿细度测定实验	17
实验六	容积可磨度测定实验	20
实验七	磨矿浓度实验	23
实验八	粒群密度组成与重选可选性分析实验	25
实验九	矿粒真密度的测定实验	31
实验十	异类粒群悬浮分层的规律研究实验	34
实验十一	静止介质中的矿粒沉降末速 v_0 及形状系数测定实验	37
实验十二	跳汰选煤实验	41
实验十三	螺旋分选实验	45
实验十四	细粒物料摇床分选实验	48
实验十五	强磁性矿石的湿式弱磁选实验	52
实验十六	强磁性物料的分选实验	55
实验十七	高梯度磁选实验	57
实验十八	散体物料磁性物含量测定实验	62
实验十九	高压静电分选实验	65
实验二十	微细物料的摩擦电选实验	69
实验二十一	涡电流分选实验	72
实验二十二	Teeter-Bed Separator 干扰床分选实验	77
实验二十三	Falcon 离心重力分选实验	81
实验二十四	接触角测定实验	84
实验二十五	单泡浮选实验	88
实验二十六	真空浮选实验	92
实验二十七	小浮选实验	95
实验二十八	煤泥浮选分步释放实验	98

实验二十九	硫化铜矿浮选实验	103
实验三十	磁铁矿反浮选提铁降硅实验	105
实验三十一	赤铁矿(红矿)浮选实验	108
实验三十二	辉钼矿浮选实验	110
实验三十三	萤石浮选实验	112
实验三十四	铝土矿浮选实验	115
实验三十五	浮选柱(旋流—微泡)浮选实验	117
实验三十六	微细矿物油团聚分选实验	121
实验三十七	悬浮液絮凝沉降特性实验	124
实验三十八	悬浮液的过滤脱水实验	129
实验三十九	转筒法煤炭泥化实验	133
实验四十	安氏法煤炭泥化实验	136
实验四十一	显微镜下矿物含量的测定实验	140
实验四十二	矿物嵌布粒度测定实验	145
实验四十三	单体解离度测定实验	150
附录一	实验报告编写提纲	154
附录二	实验守则	155
参考文献		156

实验一 样品的缩分与制备实验

一、实验目的

- (1) 了解样品缩制过程的重要性；
- (2) 学习样品缩制的过程 and 基本要求。

二、基本原理

样品制备的目的是将采集的原始试样经过破碎、混匀、缩分、制样等加工过程，制备出供具体分析、鉴定和实验项目使用的单份试样。这些单份试样不仅要满足各项具体实验对试样粒度和质量的要求，而且要在物质组成和理化性质方面仍能代表整个原始试样。样品的制备和缩分是各种实验的基础和前提，若所缩制出的单份样品不能代表整个样品，则所有的实验工作均无效。

样品缩制前应了解该样品将要进行几类和几个实验，以及每个实验对样品的粒度、质量的要求，然后根据要求编制实验流程。样品缩制一般包括破碎—混匀—缩分—制样等过程。

首先需要确定试样最小质量要求。试样的最小质量要求与试样中最大块的粒度有关，一般的经验公式为：

$$Q = K \cdot D^\alpha \quad (1-1)$$

式中 Q ——试样最小质量，kg；

D ——试样中最大块的粒度，mm；

K ——与矿石性质有关的经验系数；

α ——与矿石性质和采样方法有关的指数，对于矿石样品一般取 2。

影响 K 值的因素包括：

- ① 有用矿物的分布均匀程度，分布越不均匀， K 值越大。
- ② 有用矿物的嵌布粒度，嵌布粒度越粗， K 值越大。
- ③ 有用矿物密度越大， K 值越大。
- ④ 有用组分（如贵金属）的含量越低， K 值越大。

一般情况下，铁锰矿石的 K 值为 0.1~0.2；钨、锡、铜、铅、锌、钼等矿石的 K 值为 0.1~0.5；金矿石的 K 值为 0.2~1；煤炭的 K 值为 0.5。

三、仪器设备及材料

- (1) 缩分板 2 个/组, 取样铲 1 个/组, 小型砸样锤 1 个/组。
- (2) 标准套筛: 直径 200 mm, 孔径分别为 3 mm, 0.25 mm, 0.075 mm (200 网目) 的筛子各 1 个/组, 筛底、筛盖 1 套/组。
- (3) 托盘天平一台, 称量范围 200~500 g, 二分器 1 个/组。
- (4) 中号搪瓷盘 1 个/组, 小号搪瓷盆 3 个/组; 大号搪瓷盆 1 个/组。
- (5) 6~0.5 mm 散体矿样若干(煤、石英砂、磁铁粉均可, 约 1 kg/组)。
- (6) 制样毛刷, 试样袋。
- (7) 制样机, 共 4 台。

四、实验步骤与操作

- (1) 首先计算试样最大粒度为 3 mm 时所需要的最小质量(为减少实验工作量, 取 $K=0.1$)。
 - (2) 每组从总样中均匀取出大于步骤 1 所计算出的最小质量要求的样品, 一般应取整数(注意要对总样进行混匀后再取)。
 - (3) 将样品在试样台上用锤子砸均匀, 利用 3 mm 筛子进行筛分, 筛上试样返回到实验台再砸, 直至所有样品均过 3 mm 筛子。
 - (4) 将样品混匀至少三遍, 然后按照堆锥四分法、方格法和二分器法取各自样品 100 g 左右。
 - (5) 将每种样品采用 0.25 mm, 0.075 mm(200 网目) 的筛子筛分, 可采用振筛仪进行。
 - (6) 筛完后, 逐级称重、记录, 将各粒级产物缩分, 用制样机制成化验样, 装入试样袋进行化验分析。
 - (7) 关闭电源, 整理仪器及实验场所。
- 样品制备与缩分实验流程, 如图 1-1 所示。

五、数据处理与报告要求

- (1) 将实验数据和计算结果按规定记录于实验结果记录表(表 1-1)中。
- (2) 误差分析: 筛分前试样质量与筛分后各粒级产物质量之和的差值, 不得超过筛分前试样质量的 2.5%, 否则实验应重新进行。
- (3) 计算各粒级产物的产率, 对比各缩分样的总灰分, 比较误差大小, 并找出可能的原因。
- (4) 编写实验报告。

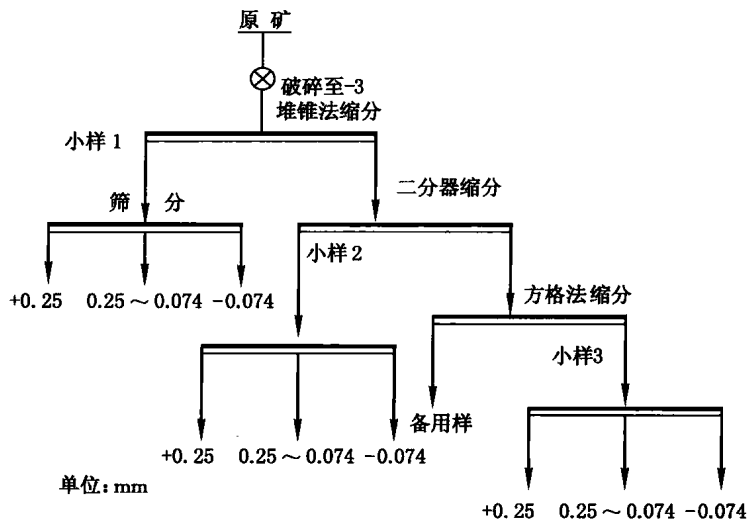


图 1-1 样品制备与缩分实验流程

表 1-1 样品制备实验结果记录表

试样名称 _____ 试样粒度 _____ mm 实验日期 _____

粒 度		总样筛分		堆锥四分法		方格法		二分器法	
mm	网目	质量/g	产率/%	质量/g	产率/%	质量/g	产率/%	质量/g	产率/%
+0.25	+								
0.250~0.074	~								
-0.074	-								
合计									
误差分析									

说明:通过查阅相关资料将网目这一列数据补充完整。

实验人员: _____ 日期: _____ 指导教师: _____

六、思考题

- (1) 影响样品缩分代表性的因素有哪些? 实验过程中如何减小这些因素的影响?
- (2) 简述堆锥法、二分器法和方格法各自的优缺点以及分别在何种情况下使用。
- (3) 查阅文献,简述矿浆是如何缩分的以及怎样保证缩分样品的代表性。

【教学指导】

1. 引导学生重视样品的缩分制样的代表性问题。
2. 让学生讨论先缩分后破碎和先破碎后缩分这两种制样过程对样品的代表性会产生什么影响。
3. 堆锥时若堆的锥不是圆锥而是偏锥会对样品的代表性产生什么影响？

实验二 细粒物料粒度组成筛分实验

一、实验目的

- (1) 学习使用振筛机和振筛仪对松散细粒物料进行干法筛分；
- (2) 学习筛分数据的处理及分析方法，分析物料的粒度分布特性；
- (3) 学习利用筛分实验结果进行数学分析及粒度特性曲线分析。

二、基本原理

松散物料的筛分过程主要包括两个阶段：① 易于穿过筛孔的颗粒穿过，不能穿过筛孔的颗粒所组成的物料层到达筛面；② 到达筛面的颗粒透过筛孔。

要实现上述这两个阶段，物料在筛面上应具有适当的相对运动，一方面使筛面上的物料层处于松散状态，物料层将按粒度分层，大颗粒位于上层，小颗粒位于下层且易于到达筛面，并透过筛孔；另一方面，物料和筛子的运动都促使堵在筛孔上的颗粒脱离筛面，有利于其他颗粒透过筛孔。

松散物料中粒度比筛孔尺寸小得多的颗粒在筛分开始后，很快透过筛孔成为筛下产物；粒度与筛孔尺寸愈接近的颗粒（难筛粒），透过筛孔所需的时间愈长。对于 0.5 mm 的细粒物料筛分，需要借助于振筛机进行。振筛机的形状如图 2-1 所示。

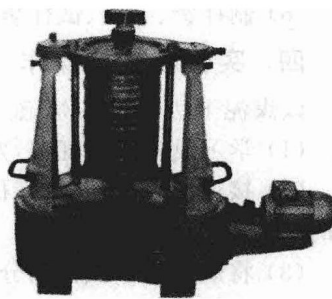


图 2-1 SPB200 拍击式振筛机

一般情况下，筛孔尺寸与筛下产物最大粒度具有如下关系：

$$d_m = K \cdot D \quad (2-1)$$

式中 d_m ——筛下产物最大粒度，mm；

D ——筛孔尺寸，mm；

K ——形状系数，见表 2-1。

表 2-1

K 值表

孔形	圆形	方形	长方形
K 值	0.7	0.9	1.2~1.7

通常用筛分效率 E 来衡量筛分效果,其表达式如下:

$$E = \frac{\beta(\alpha - \theta)}{\alpha(\beta - \theta)} \quad (2-2)$$

式中 E ——筛分效率, %;

α ——入料中小于规定粒度的细粒含量, %;

β ——筛下产物中小于规定粒度的细粒含量, %;

θ ——筛上产物中小于规定粒度的细粒含量, %。

三、仪器设备及材料

(1) SPB200 振筛机(图 2-1)1 台/组,摇动频率 221 Hz/min,振动频率 147 Hz/min;振筛仪 1 台。

(2) 标准套筛,直径 200 mm,孔径 0.5 mm,0.25 mm,0.125 mm,0.075 mm(200 网目),0.045 mm(320 网目)的筛子各 1 个/组,筛底、筛盖 1 套/组。

(3) 托盘天平 1 台,量程为 200~500 g。

(4) 中号搪瓷盘 6 个,中号搪瓷盆 6 个,大号搪瓷盆 2 个。

(5) -0.5 mm 散体矿样若干(煤泥、石英砂、磁铁粉均可,300 g/组)。

(6) 制样铲、毛刷、试样袋若干。

四、实验步骤与操作

以煤泥干法筛分为例,湿法筛分可由指导教师进行演示。

(1) 学习设备操作规程,熟悉实验系统。

(2) 接通电源,打开振筛机电源开关,检查设备运行是否正常,确保实验过程的顺利进行及人机安全。

(3) 将烘干散体试样缩分并称取 100 g。

(4) 将所需筛孔的套筛按顺序(从上到下筛孔依次减小)组装好,将试样倒入套筛。

(5) 把套筛置于振筛机上,固定好;启动机器,每隔 5 min 停下机器,用手筛检查一次。检查时,依次由上至下取下筛子放在搪瓷盆上用手筛,手筛 1 min,筛下物的质量不超过筛上物质量的 1%,即为筛净。筛下物倒入下一粒级中,各粒级都依次进行检查。

(6) 筛完后,逐级称重、记录,将各粒级产物缩制成化验样,装入试样袋进行化验分析。

(7) 关闭总电源,整理仪器及实验场所。

(8) 指导教师进行湿法筛分过程演示及注意事项讲解。

五、数据处理与报告要求

(1) 将实验数据和计算结果按规定记录于松散物料筛分实验结果记录表

(表 2-2)中。

(2) 误差分析:筛分前试样质量与筛分后各粒级产物质量之和的差值,不得超过筛分前试样质量的 2.5%,否则实验应重新进行。

(3) 计算各粒级产物的产率。

(4) 绘制三种累计粒度特性曲线:直角坐标(累计产率为纵坐标,粒度为横坐标)、半对数坐标(累计产率为纵坐标,粒度的对数为横坐标)、全对数法坐标(累计产率的对数为纵坐标,粒度的对数为横坐标)。

(5) 分析试样的粒度分布特性。

(6) 编写实验报告。

表 2-2 松散物料筛分实验结果记录表

试样名称 _____ 试样粒度 —0.5 mm 试样原质量 _____ g

试样来源 _____ 实验日期 _____

粒度		质量/g	产率/%	正累计/%	负累计/%
mm	·网目				
+0.500	+				
0.500~0.250	~				
0.250~0.125	~				
0.125~0.074	~				
0.074~0.045	~				
-0.045	-				
合计					
误差分析					

说明:通过查阅相关资料将网目这一列数据补充完整。

实验人员: _____

日期: _____

指导教师: _____

六、思考题

- (1) 影响筛分效果的因素有哪些?湿法筛分与干法筛分的效率有何区别?
- (2) 如何根据累计粒度特性曲线的几何形状对粒度组成特性进行大致的判断?从三种累计粒度特性曲线上查出累计产率为 75%时对应的粒度。
- (3) 举出几种其他的微细物料粒度分析方法,并说明其基本原理和优缺点。
- (4) 查阅文献,举出几种常用的超细粉体分级设备,简述其原理及特点。

【教学指导】

1. 引导学生理解筛分效率公式中各指标的意义,介绍限上率和限下率的

概念。

2. 让学生讨论实验过程中是否可以只进行细粒级的检查筛分。此问题的讨论主要让学生进一步理解难筛粒的概念。

3. 引导学生结合数理统计及高等数学知识分析粒度曲线和累计粒度特性曲线的数学关系与正负累计的数学关系。

4. 简要介绍常用的粒度分布方程并分析其各自的特点。

实验三 水析实验

一、实验目的

- (1) 掌握水力分析实验的原理及操作方法；
- (2) 用水析法测定微细矿粒的粒度特性；
- (3) 学习利用水析实验结果绘制粒度特性曲线及分析物料粒度特性。

二、基本原理

水力分析(简称水析,也称淘析)是借测定颗粒的沉降速度间接测量颗粒粒度组成的方法。其常被用来代替筛分法测定微细矿物的粒度组成及颗粒粒度。

矿粒在水中的沉降速度,不仅取决于它的粒度,也与其密度和形状有关。故用该法所求得的粒度与按筛分法测得的粒度具有完全不同的物理概念。前者可统称为几何粒度,后者称为重力粒度或水力粒度。

其基本原理是:在重力沉降条件下通过对被测样品的悬浮液进行不连续的多次分级,得到多个不同粒级的产品来测定粒度分布。在均匀的悬浮液中,对于具有 Stokes 沉降直径 d_{st} 的颗粒(沉降末速为 u),在给定沉降高度 H 后,可计算出它的沉降时间 t 为 H/u ,因此从悬浮液静止开始,经沉降时间 t 后,利用虹吸法将液面开始往下计算高度为 H 的液柱全部吸出,则吸出部分的颗粒均为粒度小于 d_{st} 的颗粒。

其装置如图 3-1 所示。在一个容积为 1 000~2 000 mL 的玻璃杯 1 的外面,距上口不远处向下标注刻度。虹吸管 2 的短管部分插入玻璃杯内,管口距固体物料应留有 5 mm 的距离。虹吸管的另一端带有管夹 3,插入另一接收槽 4 内。

准确地称量 50~100 g 待测原料,将原料和水配成液固比为 6:1~10:1 的矿浆倒入玻璃杯 1 内,补加水到规定的刻度零处(补加水后最大容积浓度不得超过

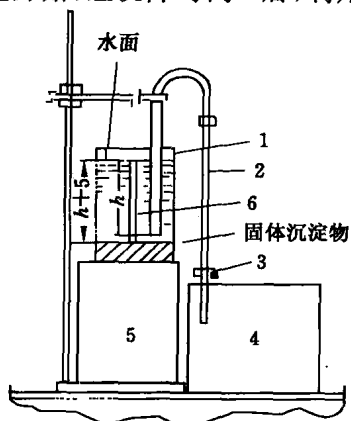


图 3-1 淘洗法水析装置

- 1——玻璃杯;2——虹吸管;3——夹子;
4——溢流接收槽;5——玻璃底座;6——标尺

3%)。由该刻度到虹吸管口的距离 h 即是矿粒的沉降距离。设预定的分级粒度为 d , 在水中的自由沉降高度为 h , 则该沉降距离所需时间 t 为:

$$t = \frac{h}{v_0} = \frac{h\mu}{54.5d^2(\delta - \rho)} \quad (3-1)$$

式中 v_0 ——自由沉降末速, cm/s;
 d ——临界颗粒直径, cm;
 δ ——石英密度, 2.65 g/cm³;
 μ ——水的黏性系数, 常温取 $\mu=0.01$ P;
 h ——直径为 d 的颗粒沉降距离, cm。

三、仪器设备及材料

- (1) 水析装置(图 3-1)1 套。
- (2) 标准套筛: 直径 200 mm, 孔径 0.075 mm, 0.043 mm, 0.038 mm, 0.025 mm 的筛子各 1 个, 筛底、筛盖 1 套。
- (3) 托盘天平 1 台, 量程为 200~500 g。
- (4) 中号搪瓷盆 4 个, 秒表 1 个。
- (5) -0.074 mm 散体矿样若干(石英)。
- (6) 制样铲、毛刷、试样袋若干。

四、实验步骤与操作

- (1) 学习设备操作规程, 熟悉实验系统。
- (2) 按图 3-1 将水析设备安装好, 并将虹吸管内装满水, 胶管处用夹子夹住, 将其自由端插入玻璃杯内并距离料层 5 mm。
- (3) 将烘干散体试样缩分并称取 50 g, 将称取的试样放在玻璃杯中以适量水润湿。
- (4) 计算临界颗粒直径[粒度分别为 0.043 mm(320 网目)、0.038 mm(400 网目)、0.025 mm(500 网目), 相对密度为 2.65 g/cm³]以及沉降高度 h 所需的时间 t 。
- (5) 用玻璃棒充分搅拌矿浆使物料完全悬浮后停止搅拌, 立即用秒表记下时间, 待达到 t 秒时, 迅速打开管夹将虹吸管口以上 h 高度内的矿浆吸入搪瓷盆, 此时随矿浆吸出的即是小于临界粒度的颗粒。此时玻璃杯内仍有部分粒度小于 d 的颗粒, 因悬浮在中间及靠近底部较早地沉降下来而未能被吸出, 故上述操作(再把玻璃杯充满水至标志处, 重复实验)应重复进行, 直到吸出的液体不再含有矿粒为止, 将每次吸出的矿浆合并。最后留在玻璃杯内的是粒度大于 d 的产物。

- (6) 此时将搪瓷盆内吸出之物料合并沉淀、烘干、称重并装入试样袋。
- (7) 如需分出多个粒级产物,整个虹吸过程需从最细粒级开始,则需按预定的分级粒度分别计算出 t 值,由细到粗依次重复上述(5)和(6)的操作步骤。
- (8) 整理仪器及实验场所。

五、数据处理与报告要求

- (1) 将实验数据和计算结果按规定记录于散体物料水析实验结果记录表(表 3-1)中。
- (2) 误差分析:水析试样质量与水析后各粒级产物质量之和的差值,不得超过水析实验前试样质量的 2.5%,否则实验应重新进行。
- (3) 计算各粒级产物的产率及累计产率。
- (4) 绘制三种累计粒度特性曲线:直角坐标(累计产率或各粒级产率为纵坐标,粒度为横坐标)、半对数坐标(累计产率为纵坐标,粒度的对数为横坐标)、全对数法坐标(累计产率的对数为纵坐标,粒度的对数为横坐标)。
- (5) 分析试样的粒度分布特性。
- (6) 编写实验报告。

表 3-1

松散物料水析实验结果记录表

试样名称 _____ 试样粒度 _____ mm 试样质量 _____ g
 试样来源 _____ 实验日期 _____

粒度		质量/g	产率/%	正累计/%	负累计/%
mm	网目				
+0.074	+				
0.074~0.043	~				
0.043~0.038	~				
0.038~0.025	~				
-0.025	-				
合计					
误差分析					

说明:通过查阅相关资料将网目这一列补充完整。

实验人员: _____ 日期: _____ 指导教师: _____

六、思考题

- (1) 为保证实验的精确性,在水析实验操作过程中应注意哪些方面?
- (2) 如何根据累计粒度特性曲线的几何形状对粒度组成特性进行大致的分