

一、概述:

颗粒分布的测量在实际应用中非常重要。自然界中发现的物质的最终使用, 一般的情况下都需进行工业加工, 将这些物质经物理或化学的方法转变为确定的产品, 这些过程包括对物质的碾磨、分解、雾化或别的方法, 颗粒的尺寸分布对这些过程起着重要的作用。例如: 化学反应中催化剂的粒度起了关键的作用; 水泥工业中, 水泥的凝结时间及最终的强度; 印刷油墨中墨粉的质量; 粘土的强度; 炼焦的结块比率; 润滑油的添加剂; 颜料和涂料的颜色及光泽; 采矿、采油、过虑, 食物、药物的口感和疗效等等, 都与颗粒分布有关。在液滴颗粒尺寸测量方面, 包括液体燃料的雾化, 杀虫剂, 油水乳浊体, 汽溶胶等等。在上述所有工作中控制颗粒分布, 都对提高产品质量, 控制能源消耗, 减少环境污染, 保护人类的健康具有重要意义。

CLY-2003 型激光粒径分析仪是基于激光散射的粒径分析仪, 该系统包括光学测定装置(主要有: 激光器、空间滤波器、准直和扩束光路、傅氏透镜和光电传感器等)和计算机软件。光学测定装置用以获得颗粒粒径的光散射信号, 计算机软件处理这些信号并完成颗粒粒径分布的分析结果。

激光光散射是一种通用的粒径测量技术。在理论上, 可以测定任何一种物料, 只要该物料满足以下条件: 该物料必须均匀分布于一种介质中; 该物料不能同所用介质发生物理的或化学的任何反应。

激光光散射原理将在以后的章节进行详细讨论, 在此仅列出几点选择这种技术的益处:

快速, 通常测量和分析少于 3 分钟。

精确, 给出高分辨率(74 级)粒径分级。

易操作, WINDOWS 下操作软件。

1、基本指标与性能

测定范围: 0.18—570 μm 。 (0.78—1240 μm)

重复性误差: $\lt \pm 3\%$ (测标样时 X50 的偏差)。

测定时间: 1—3 分钟/次。

悬浮液浓度: 0.5%—3% (粗细程度)。

测试结果: 累积粒度分布(数据和曲线); 频率粒度分布(数据和直方图); 中位径(X50); 重量平均径; 比表面积等有关信息。

功耗: 40W。

光源: 半导体激光器。

计算机: 各式系列微机, 使用中文 WINDOWS 95/98 操作系统。

打印机: 可挂接于 WINDOWS 下的各种针式、喷墨、激光打印机。

电源: AC220V 50Hz 5A。

2、基本特点:

采用单傅氏透镜、74 道光电阵列接受器, 提高了颗粒级配间的分辨率。

测定时间短: 单次测量时间仅两分钟左右。

输出项目丰富: 除粒度分布数据和图形外, 还可给出多种统计直径和比表面积等。

用户界面友好: WINDOWS 下操作, 纯中文界面, 操作简便易学。

电脑实时监测测量过程, 可直观察测量过程中的变化情况。

注意事项:

激光器输出光束的亮度很高。在使用中严禁将具有反射作用的物体置于光路中, 使激光束的反射到仪器外面而伤害眼睛!

由于激光输出功率很小, 激光对直接接触的人体的其他部位没有伤害作用。

如果计算机、打印机、激光粒度仪有故障, 请找相关的专业人员检查, 不得随意自行拆卸。

镜头和接收器如果有污物和粉尘, 请用脱脂棉球沾无水乙醇顺一个方向轻轻擦拭, 然后换新的脱脂棉球, 直到擦干净为止。擦拭时不得来回擦拭, 不得用手接触透镜或接收器。

3、测试对象

适合本系统测试的粉体举例:

各种非金属粉: 如碳酸钙、滑石粉、高岭土、锆英砂、硅灰石、石墨、粉石英等。

各种金属粉: 如铝粉、铁粉、镁粉、钨粉、铜粉、锌粉以及其它有色金属粉。

其它: 如氧化铝、碳化硅、荧光粉、水泥、钛白粉、河流泥沙以及各种催化剂等。

二、系统安装与调试

1、工作环境与安装位置:

CLY-2003 激光粒度分布仪放置地点应具备以下条件:

温度在 5℃—40℃ 之间, 相对湿度小于 85%。

温度变化率小于 1℃/小时。

环境整洁无烟尘；

具有给、排水设施。

周围没有机械振动源或电磁干扰源。

避免阳光直射。

工作台的长、宽、高尺寸一般不小于 1800mm × 700mm × 700mm 且必须牢固、水平。

2、拆箱:

拆箱步骤及注意事项如下:

拆箱时要注意不要损坏仪器及箱内其它物品。

小心地取出包装填充物和附件等。

主机部分取出后,小心地放到事先准备好的工作台上。

除去仪器表面的杂物、灰尘。

打开粒度仪前盖,查看内部有无填充物等,看有无阻碍等异常现象。

查看仪器外观及键、钮、插座等,检查它们是否正常、完好。

将所有的附件、备品、资料等一一清点并收存好。

拆箱完毕后,在处理包装材料时注意不要将小部件遗留在里面。

3、安装人员:

厂家派出的技术人员。

经培训并得到厂家认可的用户方面人员。

仔细阅读本说明书的从事仪器或计算机工作的专业技术人员

注意: 插拔任何电源线、电缆线或接口卡都必须在断电的情况下进行,切勿带电进行操作,以免对仪器造成损坏。

4、安装设备:

将粒度仪放到工作台的适当位置。

观察粒度仪的水平状况并尽可能使仪器处于水平状态。

按从左到右为交流稳压电源,粒度仪、计算机、打印机的顺序(或其它合理的顺序)放置好这些设备。

将显示器、打印机、键盘、鼠标与计算机主机连好(如果是用户自备的计算机,事先应插好粒度仪的接口电路)。

将粒度仪与计算机连好。测量电源电压是否正常。

通电试验:按交流稳压电源(稍候)一粒度仪一打印机一计算机(包括显示器)的顺序开机,并且观察系统是否正常启动。

注意: 打印机插口与粒度仪插口外形相同,在连接电缆时千万不可混淆。

5、安装软件:

通常情况下,系统在出厂前厂家已将软件安装好。只有在用户自备计算机或计算机软件遭到意外损坏(例如误删除、计算机病毒、硬件损坏等)时,才需要对软件进行安装。

Cly-2000 软件系统的安装盘为一张 3.5" 光盘。安装过程如下:

(1) 启动计算机后,将 3.5" 光盘(测试系统盘)插入光盘驱动器中。

(2) 若 Windows 已事先安装好,则先启动 Windows。选定程序管理器“文件”菜单中的“运行”命令,键入 x:\setup, (x 代表光驱盘符)确认后开始安装。

(3) 安装过程中,安装程序将提示用户键入源盘,目标盘等信息。待全部文件都装入硬盘后,安装程序将在 Windows 的程序管理器中建立“粒度测试”程序组,并在该组中建立“CLY-2000 系统”程序项。(注:pci 接口不需要驱动,电击取消)

二、ODBC 驱动

(1) 在 windows98 窗口,点击开始\设置\控制面板,双击 ODBC 数据源(32),选择用户 DNS 项,点击添加选项,Install Drivers 对话框中选定 Microsoft Access Data (*.mdb)并单击完成 OK 按钮,之后弹出数据源对话框,检查列表框中是否有 clysys Data,若有则 Close 对话框,否则,在数据源名后面的文本框中输入 clysys Data,然后单击数据库选择...按钮,在弹出的文件对话框中选择上面安装的数据库文件(c:\cly2003\clysys.mdb),确定后回到 ODBC Microsoft Access Setup,此时单击 OK 回到 Data Sources,再单击确定关闭对话框,结束数据源添加过程。

注意: 重新安装时,若将系统安装到原来的目录中,系统将覆盖已有的数据库、模板、系统初始化信息等文件,因此,需将原来的数据库、模板等文件拷贝出来,待安装完成后,重新拷贝回去,

以免造成数据丢失。

数据库文件的扩展名为 MDB，模板文件的扩展名为 TEM

三、测试准备

1、仪器及用品准备

仔细检查粒度仪、计算机、打印机等，看它们是否连接好，放置仪器的工作台是否牢固，并将仪器周围的杂物清理干净。

向超声波分散器槽中加水（加水至槽深 1/3 左右）。

装好打印纸。

清洗样品槽等实验用品。

2、样品池清洗方法

清洗时水的温度应与室温大体相当。除非样品池附着物难于清除，一般不用超声波清洗清洗。使用超声清洗时应控制超声时间与强度，以免损坏样品槽。洗净后把样品池表面要用纸巾擦干。

3、取样：

Cly-2000 型激光分布测定仪是通过对少量样品进行粒度分布测定来表征大量粉体粒度分布的。因此，要求所测的样品具有充分的代表性。取样一般分三个步骤：大量粉体（10ⁿ 千克）→实验室样品（10ⁿ 克）→测试样品（克）。

4、从大堆粉体中取实验室样品应遵循的原则：

尽量从粉体包装之前的料流中多点取样；

在容器中取样，应使用取样器，选择多点并在每点的不同深度取样。

注意：每次取完样后都应把取样器具清洗干净，以备下次取样；每次取样前都应检查取样器上是否还粘有粉体并将其清洗干净。禁止用不洁净的取样器具取样。

5、实验室样品的缩分

圆锥四分法：将试样堆成圆锥体，用薄板将其垂直切成相等的四份，将对角的两份混合再堆成圆锥体，也按上法缩分，直到其中一份的量符合需要（一般每份 1 克左右）为止。

勺取法：用小勺多点（至少四点）取样。勺取时应将进入小勺中的样品全部留用，不得抖出一部分，保留一部分。

分样器法：将实验室样全部倒入分样器中，经过分样器均分后取出其中一份，如这一份量还多，应再到入分样器中缩分，直到其中一份（或几份）的量满足要求为止。

6、介质

在进行粒度测量前要先将样品与某液体混合配制成悬浮液，用于配制悬浮液的液体叫做介质。可选作介质的液体很多，最常用的有纯净水、酒精、纯净水+甘油、酒精+甘油等。其中的甘油为增粘剂，它能使较粗的颗粒具有适当的悬浮作用，使测试正常进行。介质是根据样品的物理、化学特性等因素确定的。总的要求是介质与样品不发生物理或化学变化；对样品的表面应具有良好的润湿作用；介质必须纯净无杂质等。

7、分散剂

分散剂是指加入到介质中的少量的能使介质表面张力显著降低，从而使颗粒表面得到良好润湿作用的物质。常用的分散剂有六偏磷酸钠、焦磷酸钠等。分散剂的作用有二，其一可以加快“团粒”的分解，使颗粒处于单个颗粒状态；其二可延长单个颗粒重新团聚成“团粒”的时间。在测量过程中应根据样品的不同，选用相应的分散剂。分散剂的用量不宜太多，一般为介质重量的千分之二至千分之五，使用时将分散剂按上述比例加到介质中，待分散剂充分溶解后即可使用。

说明：用有机系列介质（如酒精）时，不用加分散剂。因为有机溶剂本身具有分散剂作用。此外还因为一些有机溶剂不能溶解另一些用作分散剂的物质。

8、配制悬浮液

将加有分散剂的介质约 80ml 倒入烧杯中，然后加入缩分得到的实验样品，并进行充分搅拌，同时放到超声波分散器上进行超声分散处理。

配制悬浮液的关键是要掌握好样品的浓度。由于样品粗细程度，比重、光学特性等各不相同，所以对不同样品来说悬浮液的浓度也各不相同。一般说来，样品越细，用量越少；样品越粗，用量就越多。悬浮液的浓度最终要满足测量时吸光度的范围要求。

说明：悬浮液的浓度太大或太小对测试都是不利的。浓度过大，颗粒间的相互作用加剧，从而影响正常的颗粒状态；浓度过小，样品代表性差。这些都将对测试结果产生不利影响。

9、分散

将盛有悬浮液的容器放到超声波分散器中，打开电源开关，即开始进行超声波分散处理。超声波分

散时间一般 3-15 分钟。

注意:

- 在进行超声分散之前, 应保证超声波分散器的槽中有占其容积三分之一的水;
- 随着超声分散时间的延长, 悬浮液的温度将有所上升;
- 对于个别样品, 超声震动的过程反而会促使其颗粒团聚, 这时应改用其它手段分散;
- 对超声分散过程中有可能造成颗粒破碎的样品, 就避免用这种方法分散。

10、检查分散效果

显微镜法: 搅拌均匀后, 取少量分散过的悬浮液, 滴在显微镜载物片上, 观察有无颗粒粘结现象。

测量法: 搅拌均匀后, 取少量 (约 5-7ml) 加入到样品槽中, 观测它的浓度。这样取几段时间的悬浮液反复测量。如果浓度基本没有变化, 说明前几次的分散效果已经很好了; 如果浓度变化逐渐变小, 说明随着分散时间和强度的增加, 分散效果逐渐达到理想状态 (如果不是颗粒破碎的话)。

11、制正式样品

将分散好的悬浮液充分搅拌 (搅拌时间一般大于 30 秒) 用注射器取出一部分注入到样品槽中, 同时打开仪器上的搅拌器, 对样品槽中的液体进行搅拌, 同时启动电脑系统进行浓度测量, 一般样品浓度应控制在 10%-30% 之间。当浓度小于 10% 时, 要继续加样; 当浓度大于 30% 时, 要继续加介质进行稀释。

12、标样及一般样品的制备操作规程

本规程适用于标样 GW(E)120009, SB2005, 铝粉等金属粉末, CaCO₃、SiO₂ 等非金属粉末 (不包括滑石粉、高岭土、石墨) 以及荧光粉等化工产品 (不包括水溶性物质) 等用蒸馏水做沉降介质的粉体。

本规程供仪器安装调试人员及用户操作人员使用。

所需物品: 样品、蒸馏水、分散剂 (六偏磷酸钠、聚磷酸钠等)、超声波分散器、电动搅拌器、烧杯 (50 - 200ml)、小勺、量筒 (100ml)、洗瓶等。

操作步骤:

取适量 (如 100 毫克) 的分散剂, 加到盛有适量 (如 50 毫升) 蒸馏水的容器 (如洗瓶、烧杯) 中, 制成浓度为 0.2% - 0.5% 的溶液做沉降介质待用。

取适量 (如 15 毫克) 的样品加到盛有一定量 (如 50 毫升) 沉降介质的容器 (如烧杯) 中, 用电动搅拌器 (或其它工具) 搅拌均匀后放到超声波分散器中进行分散。

超声分散时间通常不少于 3 分钟。

超声分散结束后, 将悬浮液充分搅拌均匀, 从液面与底部的中间移动抽取约 14--15ml, 注入样品池中。

擦干样品池表面的水珠、水迹。

将样品池放置仪器中, 装好搅拌器, 启动搅拌装置并进行测试。

四、测试步骤

1、开机:

开机顺序: 交流稳压电源 — 粒度仪 — 打印机 — 计算机 (包括显示器)。

2、进入测试系统:

在 WINDOWS 桌面上, 单击 “CLY-2000” 图标, 即可进入测试系统。

3、一般测试流程

在准备工作已经做好的前提下, 先进入 “测量” 菜单中的 “测试” 项, 将有关样品的信息输入进去以后, 接着将装有纯净介质的样品池放入仪器中, 进入 “背景” 项, 测量背景数据。接着将制备好的样品放入样品池, 进入 “浓度” 项, 测量样品的浓度数据。如果样品的浓度适中, 可进入 “下一步” 项, 测量样品并计算数据, 然后进入显示结果。如果需要打印结果报告, 可进入 “文件” 菜单中的 “打印” 项进行打印。

4、退出测试系统:

单击测试系统右上角的 “关闭” 按钮, 或者进入 “文件” 菜单, 选择 “退出” 项。

5、关机:

关机顺序: 计算机 (包括显示器) — 打印机 — 粒度仪 — 交流稳压电源。

五、命令参考:

测试系统的界面如图 1 所示:

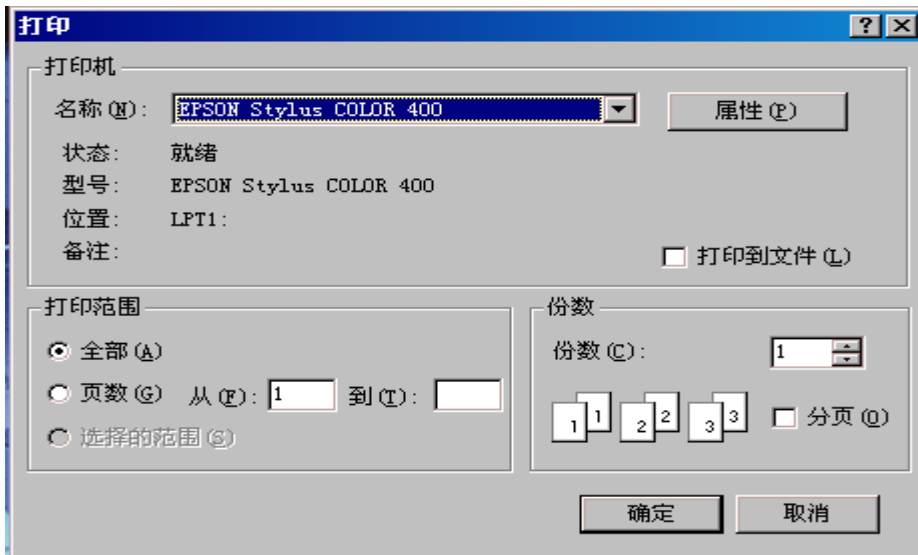


(图 1)

下面将详细说明各菜单命令。

文件菜单

文件 - 打印



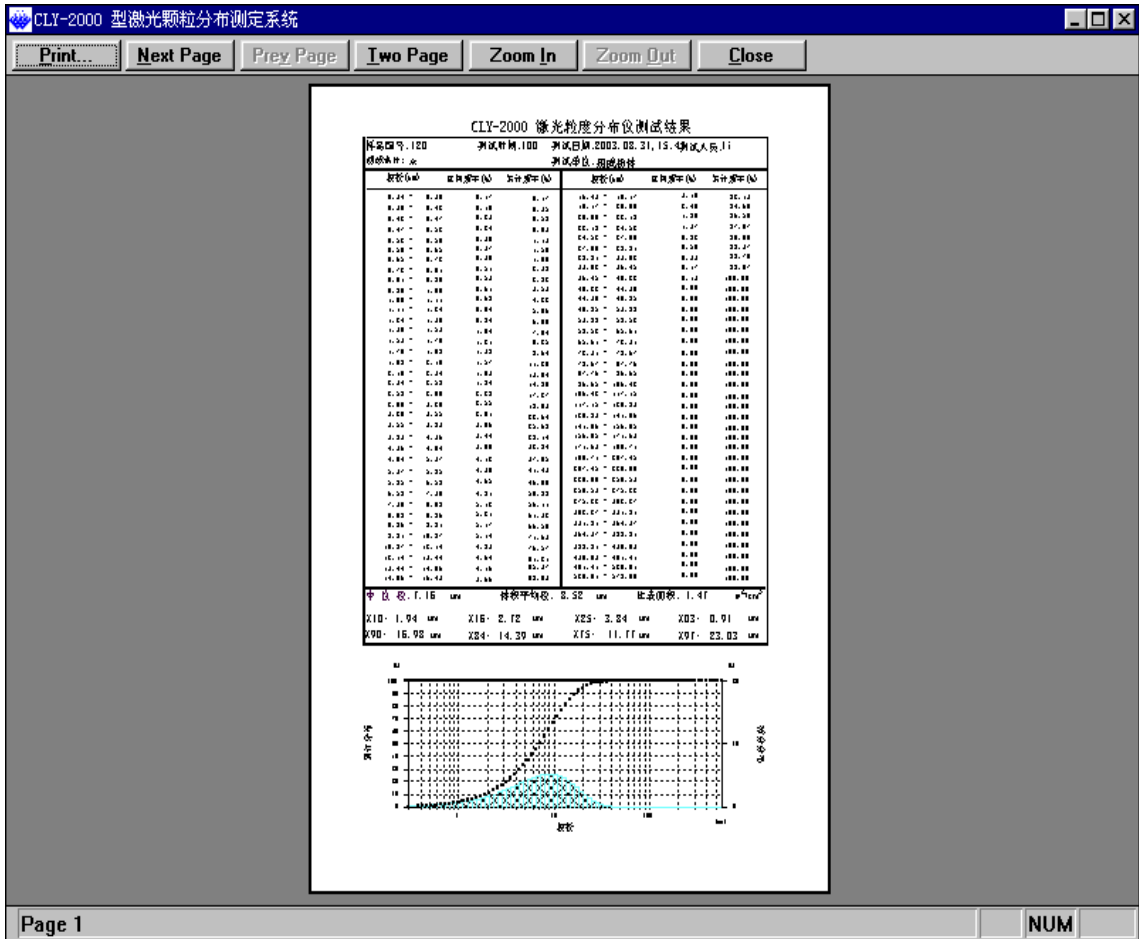
打印对话框如图 2 所示:

(图 2)

按“确定”按钮后，打印机将打印结果报告单。

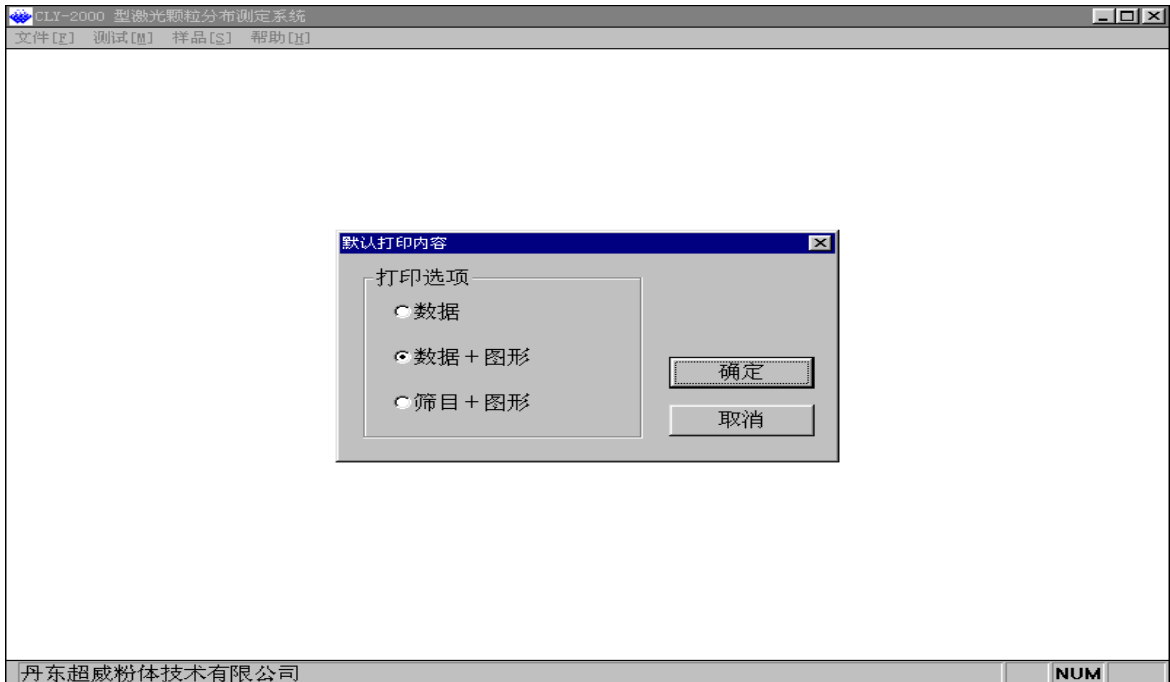
文件 - 打印预览

打印预览对话框如图 3 所示:



(图 3)

该命令将预览测试结果的打印报告单。
文件 - 打印数据选项
打印数据选项对话框如图 4 所示:



(图 4)

点击“数据”则只打印数据表格；点击“数据+图形”则打印数据表格和图形。选择好后点击“确定”返回图 1。

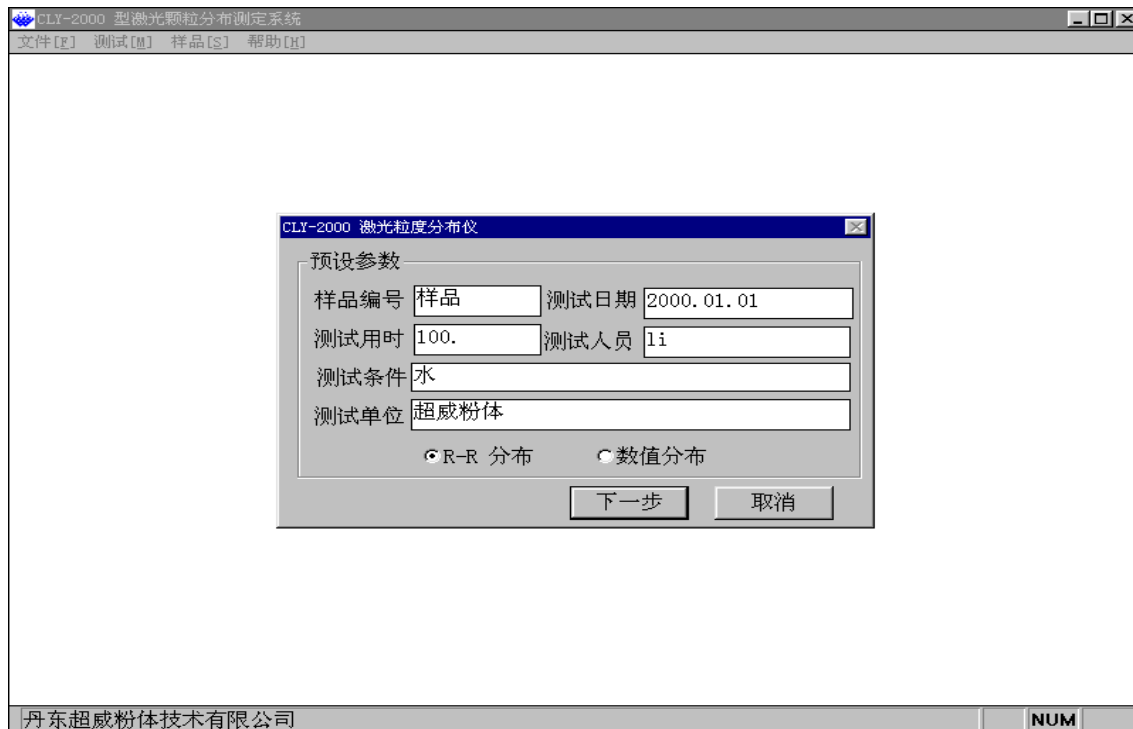
文件 - 退出

选择该命令后，将退出测试系统。

测量菜单

测量 - 开始测量

测量 - 文档对话框如图 5 所示：



(图 5)

该命令用于输入测试的相关信息。

输入原始参数：

1、**样品编号**：样品编号可以是字符(包括汉字)、数字等，但其中不能有空格。样品编号除反映样品本身的名称、批号等信息外，还用来作存储测试结果的名称。所以设定样品编号时要具有唯一性。如果输入样品编号与数据库中已存在的有效的测试结果编号重名，则应在测试结束后用“重命名”功能来修改它。否则在保存测试结果时，系统将以新的数据覆盖已有的数据，使原来的测试结果丢失。

说明：对同一样品进行多次测试时，可以采取“样品编号-序号”的方式命名，如“A-1”、“A-2”、“A-A”。

2、**测试日期**：一般无需用户输入，取系统时钟的日期，其形式为####年.##月.##日。

3、**测试用时**：指样品采集的时间，数值在 60-300 之间。

4、**测试人员**：操作人员的名字，可以是字符(包括汉字)、数字等，但其中不能有空格。

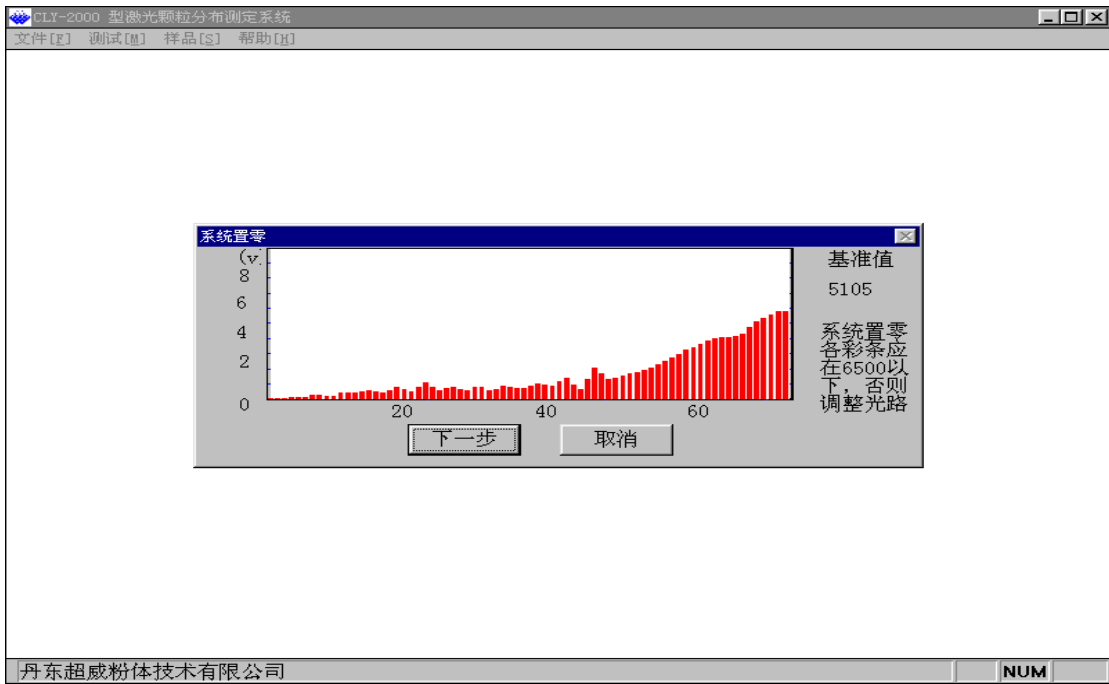
5、**测试单位**：测试单位是指实际使用单位。

6、用户可根据各自的情况选择单选钮，既多峰分布、单峰分布两种选择。

若上述参数输入正确，按“下一步”按钮，则进入系统置零，否则提示错误之处，用户重新输入。点击下一步将出现基准值窗口，如图 6：

测量 - 背景

测量 - 背景对话框如图 6 所示：

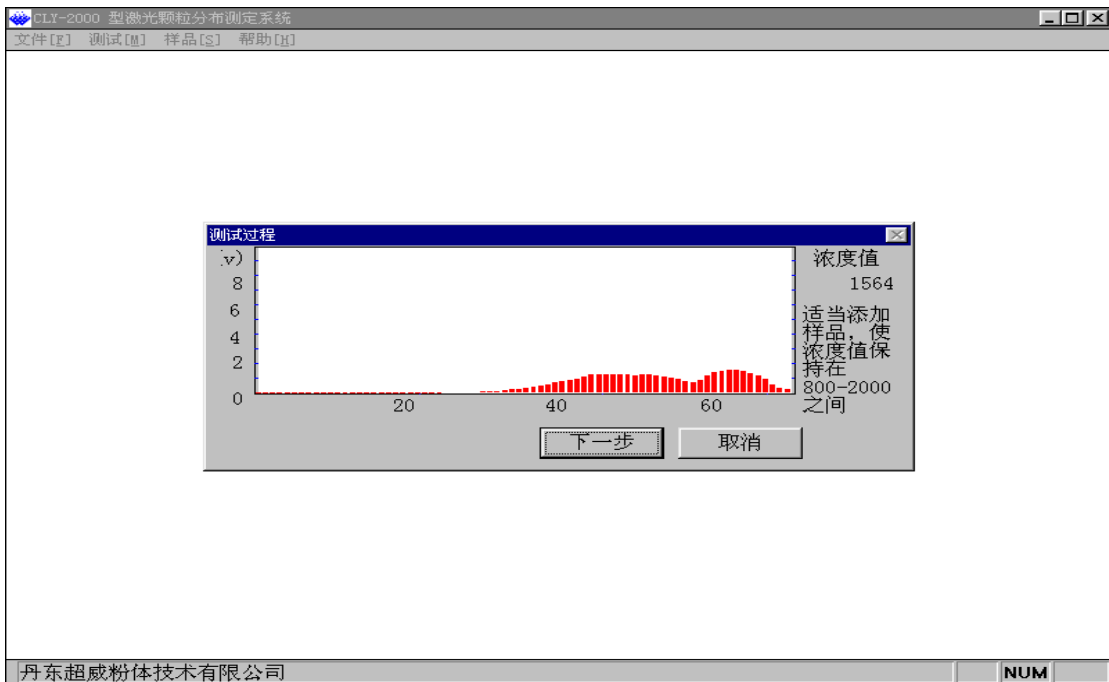


(图 6)

该命令要求用户将装有纯净介质的样品池放入仪器中, 按“开始”按钮测试背景数据。

测量 - 浓度

测量 - 浓度对话框如图 7 所示:



(图 7)

该命令要求用户将装有样品的样品池放入仪器中, 按“开始”按钮测试浓度数据。

测试浓度会提示用户浓度状态如何, 如果浓度状态太差, 须采取适当措施, 按下一步。

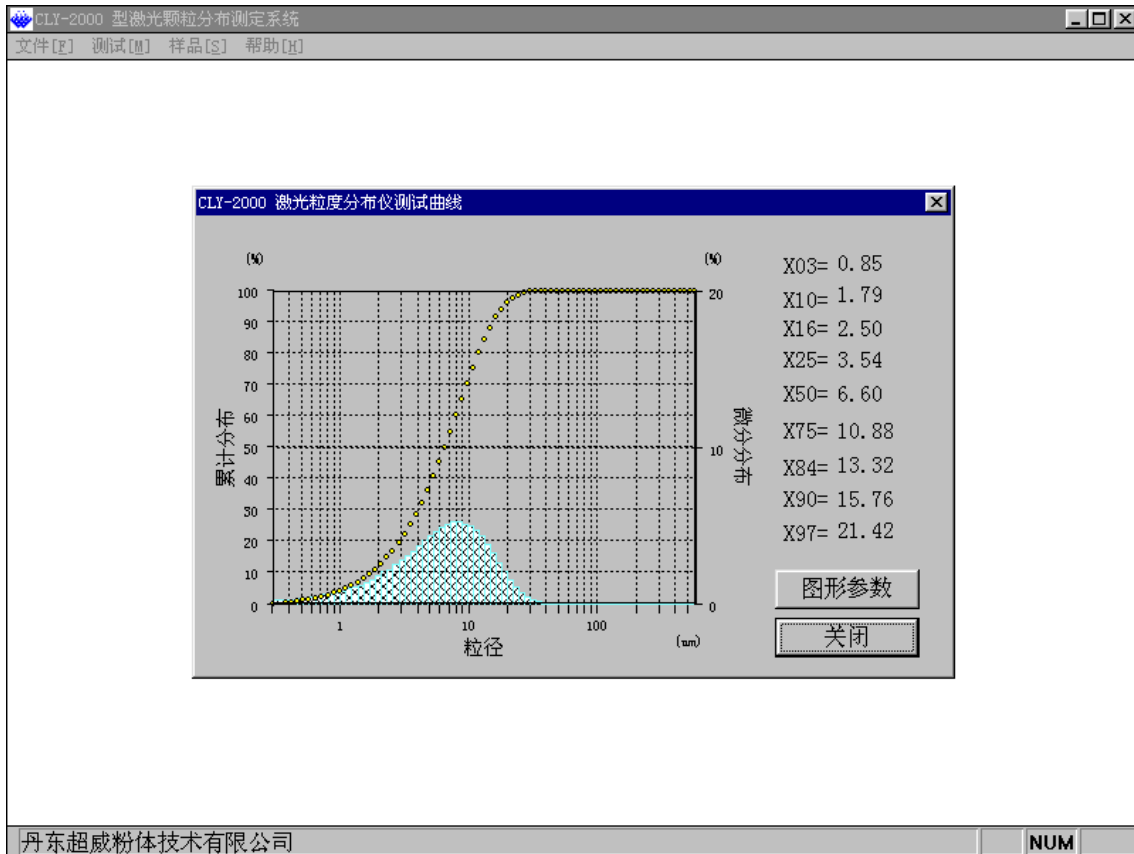
测量 - 计算

测量 - 结果对话框如图 8, 图 9 所示:

该页显示测试结果的表格形式。:



(图 8)

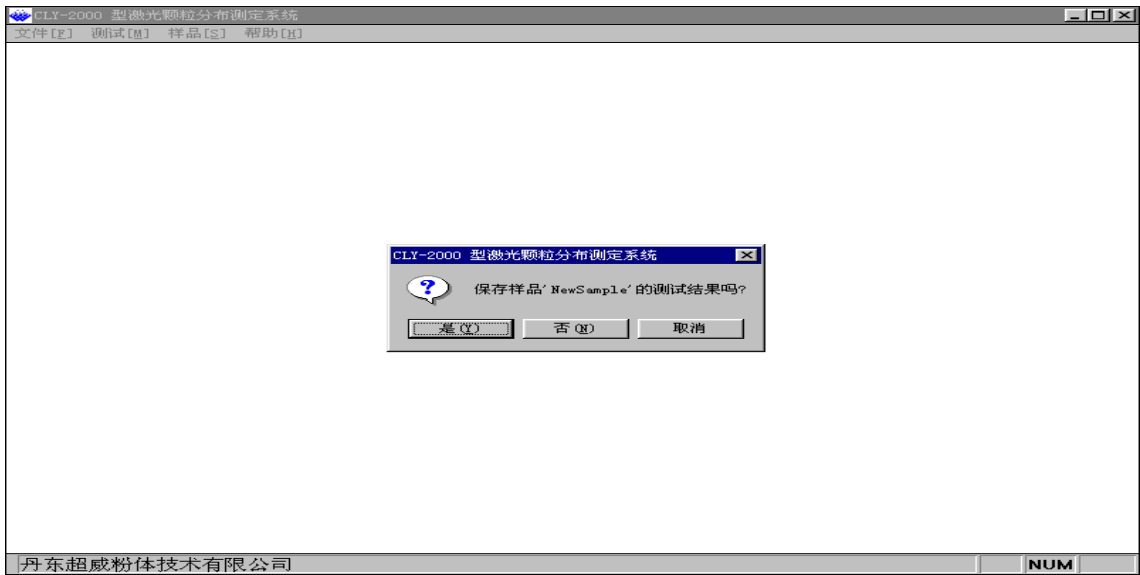


(图 9)

样品菜单

样品 - 保存

样品-保存对话框如图 10 所示:

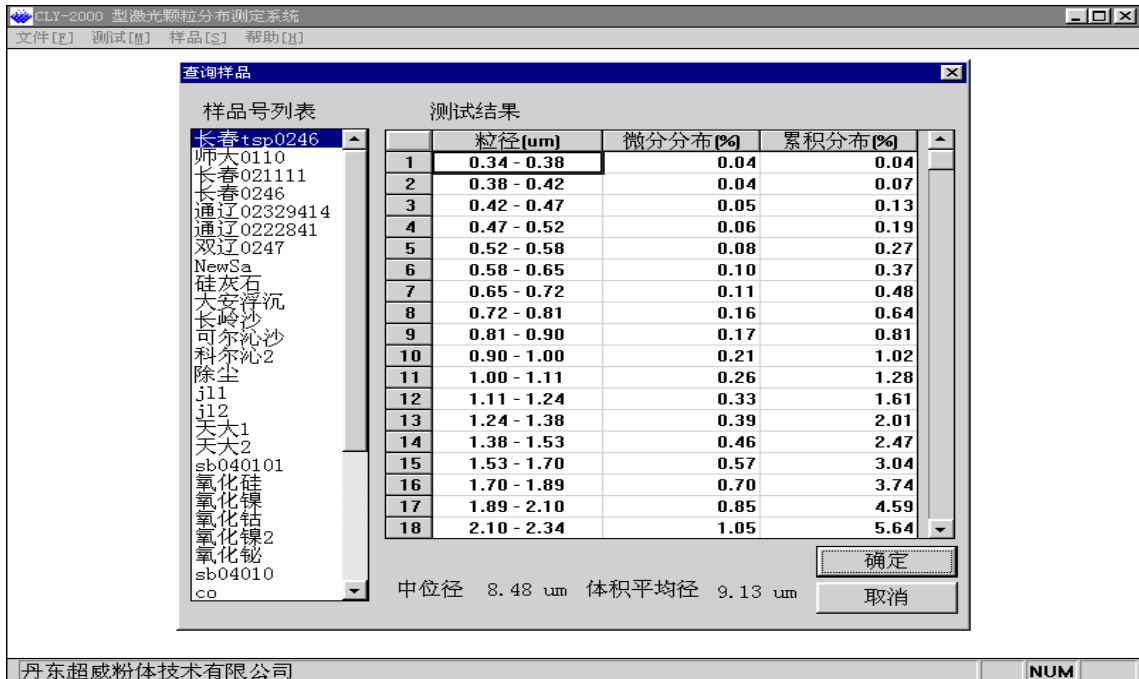


(图 10)

该命令用于将测试结果保存于数据库中。

样品 - 查询

样品 - 查询对话框如图 11 所示:



(图 11)

该命令用于选择一个保存于数据库中的样品，按“查询”按钮，将显示结果。

样品 - 删除

样品 - 删除对话框如图 12 所示:

该命令用于删除数据库中的样品结果，应先选择要删除的样品名。

按“删除”按钮后，为防止误删除，系统会显示一提示对话框，询问用户是否真的要删除该样品，按“是(Y)按钮后，将删除该样品结果。



(图 12)

样品 - 比较

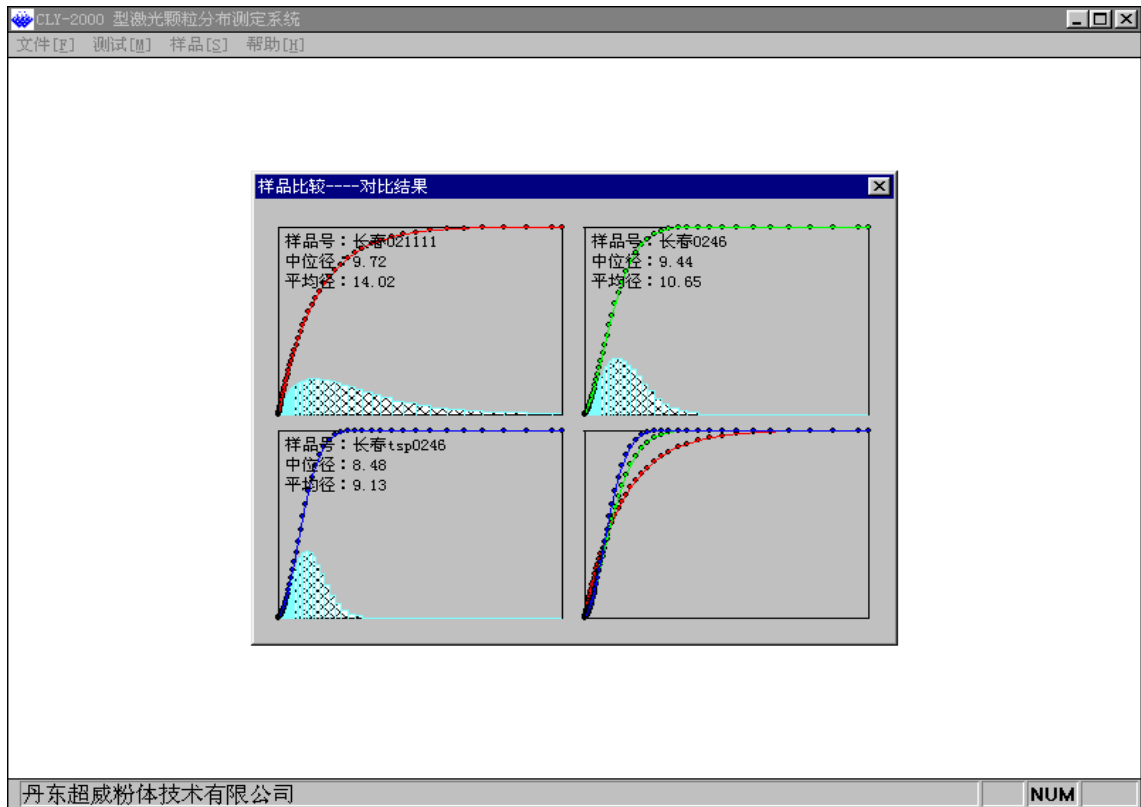
样品 - 比较对话框如图 13, 图 14 所示:

该命令用于比较几个样品结果, 应先选择要比较的样品。

样品选择好后, 按“确认”按钮, 将显示这几个样品的各自图形和比较图形, 以及这几个样品的三个典型数据, 以供比较。



图 13



(图 14)

样品 - 合并

样品 - 合并对话框如图 15、图 16 所示:



图 15

该命令用于把几个样品的结果合并成一个结果，应先看几个要合并的样品。

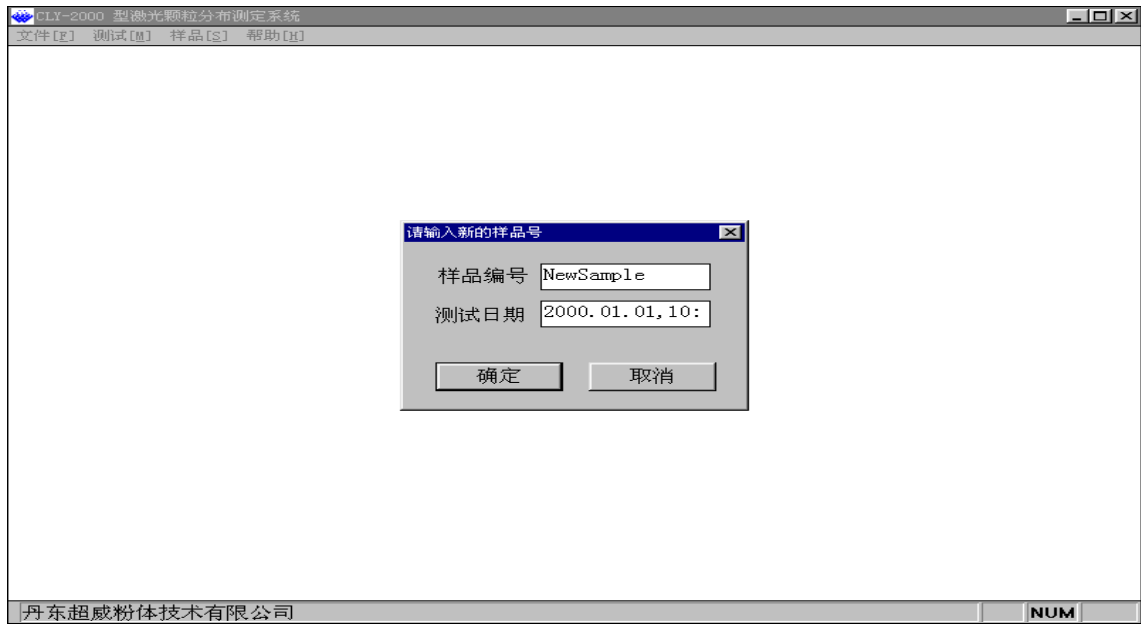


图 16

选好样品后,按“确认”按钮,将显示如图 16,合并后的样品命名,按“确认”按钮可将合并后的数据保存于数据库中。

设置菜单设置 - 图形

设置 - 图形对话框如图 17 所示:

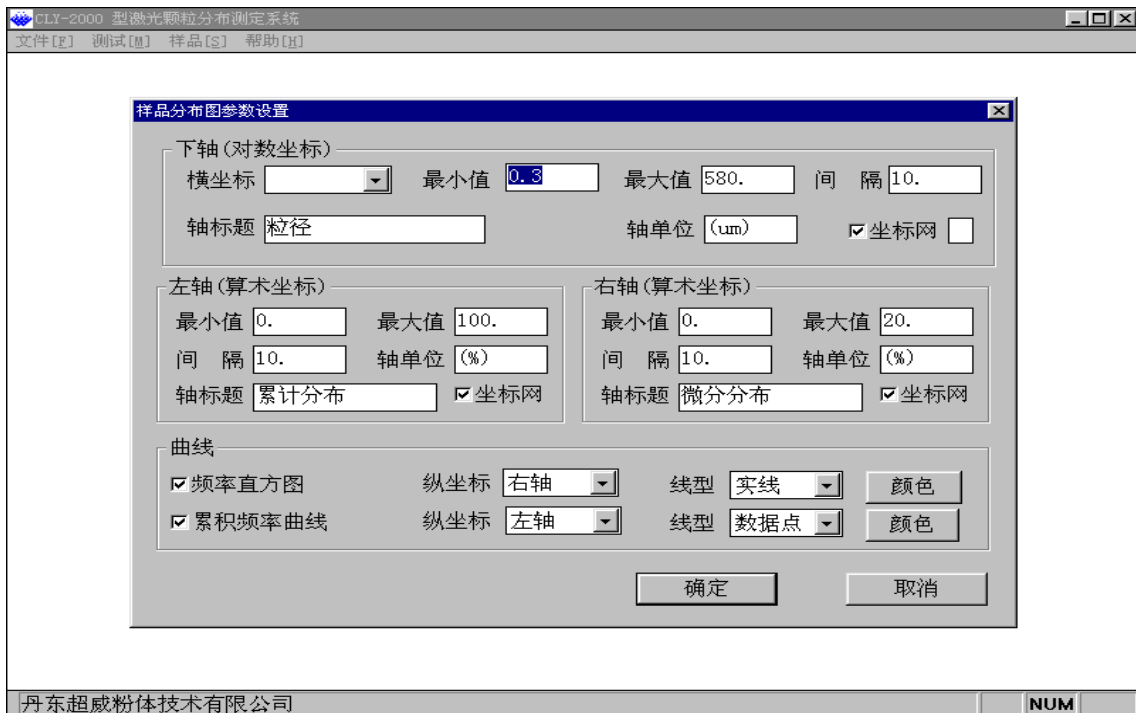


图 17

该命令用于设置结果图形的显示格式。

粒度设定

为适应不同样品的测试需要,本系统提供了固定间隔、任意间隔两种粒度设定模式。

在“粒度设定”对话框中,选择不同的粒度间隔按钮,弹出相应的粒度输入对话框,再进一步确定粒度序列值。

系统自动保存最后一次粒级设定值，对于同类样品可直接利用，无需每次设置粒级序列值，因此，对于这种情况，可直接按“粒级设定”对话框中的“确定”按钮，进入下一步。

选中“粒级设定”对话框中的“取消”按钮取消当前测试过程。

①固定间隔

在“固定间隔”对话框中，系统设置了一种固定的粒级序列。用户可用鼠标按照对话框中的提示和要求选择所需的序列，然后确定即可。“取消”按钮用于取消当前操作。

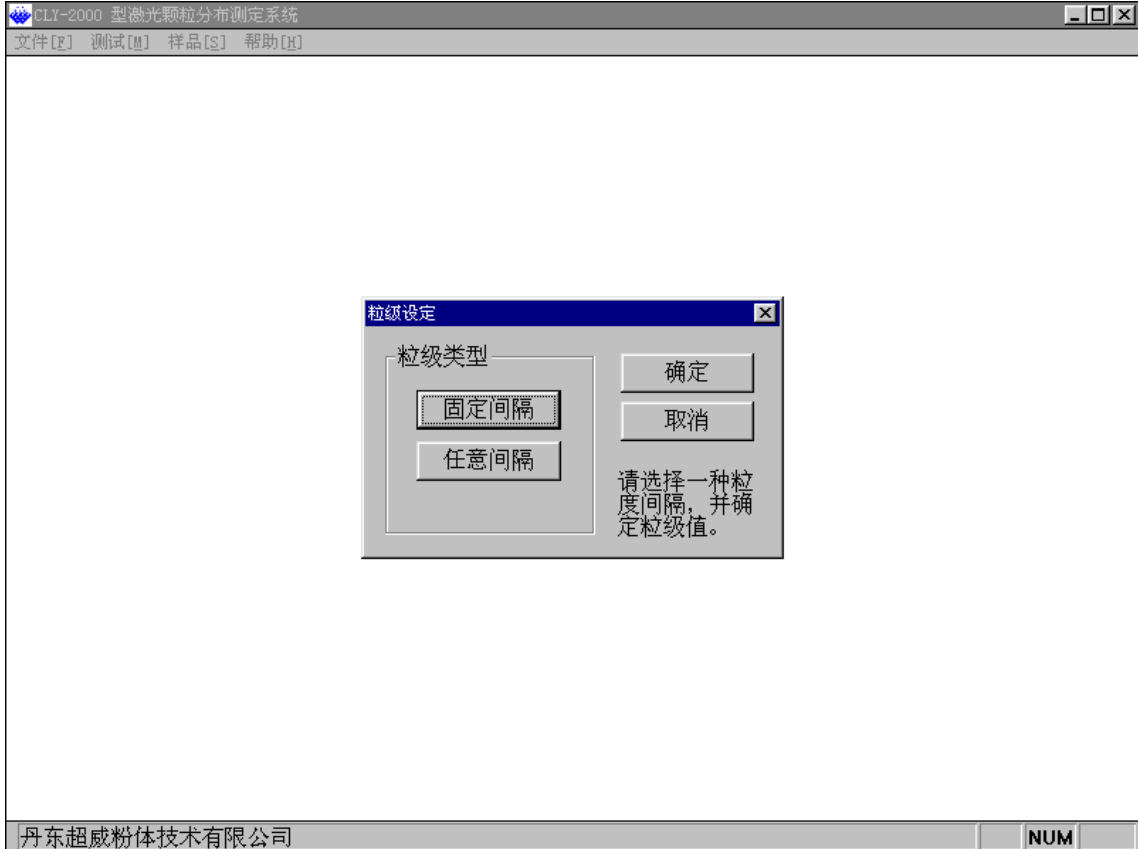


图 18 粒级设定

②任意间隔

在“任意间隔”对话框的电子表格中，用户可按由大到小的顺序，直接设定各个粒级粒级值，该方式最多可设 80 个粒级，从第一行开始，中间不能有空行。

电子表格的编辑操作如下：

①选中单元格

选中一个单元格：直接用鼠标选中要选的单元格；

选中多个单元格：选中要选范围的第一个单元格，然后按下 SHIFT 键，再通过下箭头键可选中向后的多个单元格；或选中要选范围的最后一个单元格，然后按下 SHIFT 键，再通过上箭头键可选中向前的多个单元格。

②删除多余的粒级：选中多余的单元格，按 CTRL-X 键删除多余的单元格。CTRL-X 表示按下 CTRL 键不放手再按下 X 键。

③复制单元格：选中要复制的单元格，按 CTRL-C 键将所选单元格的内容复制到剪贴板上。

④粘贴单元格：选中要放置剪贴板内容的第一个单元格，按 CTRL-V 键将剪贴板上的内容复制到所选单元格及其后面的单元格。

当选择好粒级类型后，如《固定间隔》后，点击确定，将出现固定间隔窗口，如图 19:

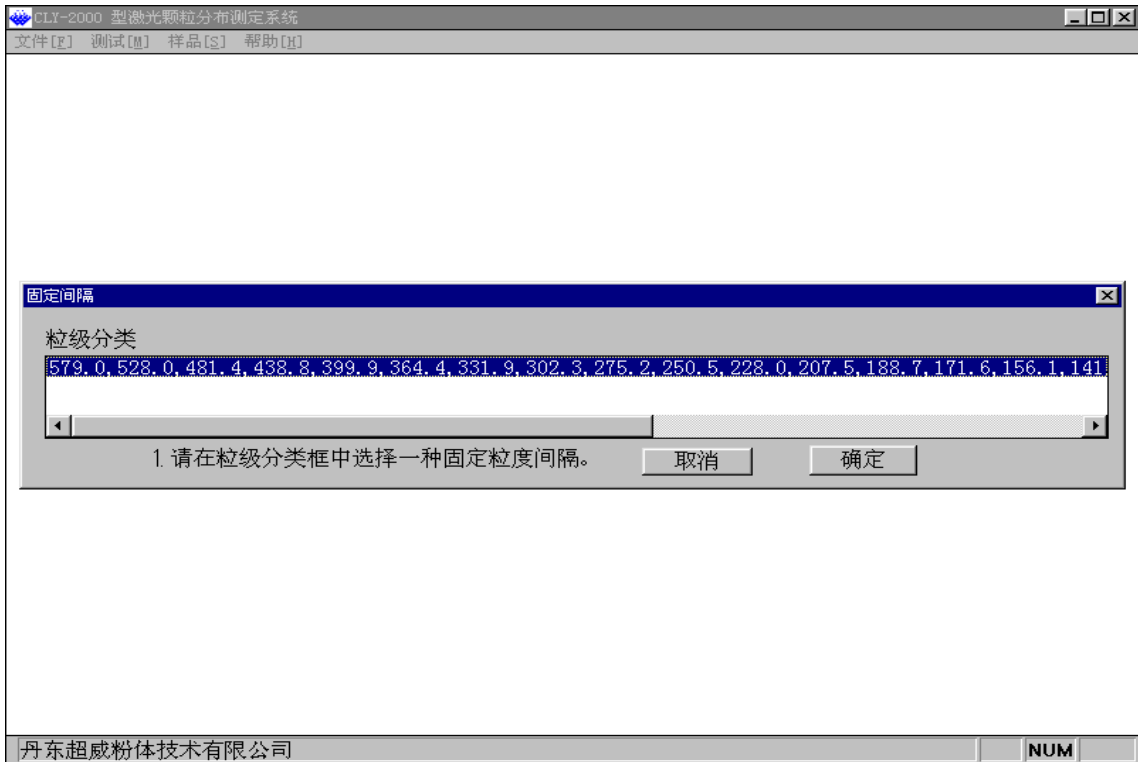


图 19 固定间隔

六、激光粒度仪原理：

仪器采用夫朗和费衍射和米氏散射原理：当一束平行的单色光照射圆形颗粒（或雾滴）时，则在付氏透镜的后焦平面上形成颗粒的衍射图谱，这一衍射图形不随颗粒运动而改变，分析衍射图形可得出颗粒的尺寸分布。假设颗粒为球形且粒径相同，则衍射光能按同心圆分布，即在透镜的焦平面形成一中心圆斑，围绕圆斑是一系列同心圆环，圆环的直径与产生衍射的颗粒直径相关，粒径越小，衍射角越大，圆环直径就越大。

根据夫朗和费衍射原理，当测量区中有一直径为 d 的球形颗粒时，任意角度下它的衍射光强分布为：

$$I(\theta) = I_0 \frac{\pi^2 d^4}{16 f^2 \lambda^2} \left[2 \frac{J_1(X)}{X} \right]^2 \quad \text{L L L L L L L L L L (1)}$$

式中：

- f : 是接收透镜的焦距
- λ : 是入射光的波长
- J_1 : 是一阶贝塞尔函数
- θ : 是散射角

$$X = \pi d \sin \theta / \lambda$$

激光衍射光强分布落在光电探测器第 n 环（环半径从 S_n 到 S_{n+1} ，对应的散射角从 θ_n 到 θ_{n+1} ）上的光能量为：

$$e_n = \int_{S_n}^{S_{n+1}} I(\theta) 2\pi S dS \quad (n = 1, 2, 3L) \quad \text{L L L L (2)}$$

将（1）式中的 $I(\theta)$ 代入后可得：

$$e_n = \frac{\pi d^2}{4} I_0 [J_0^2(X_n) + J_1^2(X_n) - J_0^2(X_{n+1}) - J_1^2(X_{n+1})] \quad \text{L L L L L L L L L (3)}$$

式中: J_0 : 是零阶贝塞尔函数

如果测量中同时有 N 个直径为 d 的颗粒存在, 则在第 n 个光环上所接收到的光能量将是一个颗粒时的 N 倍 ($N \cdot e_n$)。以此类推, 当颗粒群中直径为 d_i 的颗粒共有 N_i 个, 则颗粒群总的衍射光能将是所有各个颗粒衍射光能之和, 即

$$e_n = \frac{\pi I_0}{4} \sum N_i d_i^2 [J_0^2(X_{i,n}) + J_1^2(X_{i,n}) - J_0^2(X_{i,n+1}) - J_1^2(X_{i,n+1})] \text{L L L L L} \quad (4)$$

如果尺寸分布用重量 W 表示, W 和 N 之间的关系为:

$$N_i = \frac{6W_i}{\pi \rho d_i^3} \text{L L L L L L L L L L L L} \quad (5)$$

式中: ρ 为颗粒物质的密度, 将上式代入式 (4) 可得:

$$e_n = \frac{3I_0}{2\rho} \sum \frac{W_i}{d_i} [J_0^2(X_{i,n}) + J_1^2(X_{i,n}) - J_0^2(X_{i,n+1}) - J_1^2(X_{i,n+1})] \text{L L L L} \quad (6)$$

式 (6) 建立了光电探测器各环的衍射光信号与被测颗粒粒径及分布之间的对应关系, 将上式写成矩阵形式则为:

$$E = TW$$

矩阵 T 称为系数矩阵, 它与光电探测器的几何尺寸和颗粒的直径分档有关。

这样一来, 由式 (6) 即可算得系数矩阵, 一旦测出 74 个有效环上的光能分布 E , 通过对式 (6) 所列线性方程组的求解, 就能得到颗粒尺寸的重量分布 W 。但是, 直接求解该线性方程组很繁琐, 且经常有可能得到非物理解。为方便起见, 在数据处理时常采用最小二乘法原理。假定重量分布 W 符合某一分布规律 (称分布函数限制法), 或初始值任意假定 (称自由分布法), 计算光电探测器上 74 个环的衍射光能量, 并一一与实际值比较, 直到二者之间的误差减至最小。

实际应用中, 衍射理论一般适用于 5μ 以上的大颗粒, 一种比较简单的粒径与波长的关系可供我们选择:

$$\begin{aligned} d \ll \lambda & \quad \text{Ragleigh 散射} \\ d \approx \lambda & \quad \text{Mie 理论} \\ d \gg \lambda & \quad \text{Fronhofer 理论} \end{aligned}$$

当粒径 d 与应用光的波长相接近时, 衍射理论的结果会带来很大的误差, 这时应用 Mie 理论来进行修正计算。(有关 Mie 理论请参看有关光散射的专著)

七、颗粒粒度概述

颗粒

颗粒其实就是微小的物体。究竟微小到什么程度? 以球体为例: 一般来说, 直径在几个毫米以下的均可称作颗粒。再大的, 就应称作“块”了。

颗粒是组成粉体的能独立存在的基本单元。从宏观上看, 极其微小; 但从微观上看, 它仍包含有大量的分子原子。

广义上说, 空气中的雾滴, 水中的气泡, 乳浊液中的油滴也可看作是颗粒。

形状

颗粒的形状乃是颗粒存在的表现状态。它可能是规则的, 如球体, 园柱体, 正方体等。但更常见的则是不规则的。

规则的颗粒可用一个或几个量来描述。而不规则的颗粒则需用很多个量来描述。特别是在大堆粉体物料中, 颗粒的形状各异, 要想描述它是件很困难的事。

为了能简洁地描述颗粒, 下面将引入粒度和粒径的概念。

粒度与粒径

颗粒的大小称作粒度。颗粒的直径称作粒径。衡量颗粒的大小（即粒度）通常是以颗粒的直径（即粒径）为依据的。

正如您所知道的，仅有一种形状的颗粒，可以用单一的数来描述，那就是球体。如果说有一个 50 微米的球体，这已准确地描述了它。而即使一个立方体的一个棱或一条对角线是 50 微米，也不能如球体那样去描述它。

实际中的颗粒，由于其形状通常很复杂，难以用一个尺度来描述，所以，不得不采用等效粒径。

等效粒径

所谓等效粒径，即是指：若一个颗粒与一个同物质的球在某一方面具有相同（确切地说，应是相似或相近）的物理特性，那么就把这个球的直径称作为该颗粒在该方面下的等效粒径。

由上述定义可以看出：实际上，粒径乃是一个虚拟的量。一个形状不为球的颗粒根本不可能存在直径。之所以定义这个粒径，只不过是为了讨论问题的方便。

由于等效的方法不同，一个颗粒便可能有多个令人感到困惑的粒径。

多个等效粒径

由于粒度测试原理的不同，便有了不同的测定方法，开发了不同的粒度仪。这些粒度仪在测量同样粉体时，会得到各自的等效粒度结果，这个现象经过以上所述也就不难解释了。

下面列有几种常见的等效粒径：

体积（重量）粒径：即是与此颗粒具有相同体积（重量）的同物质的球体的直径。

表面积粒径：即是与此颗粒具有相同表面积的同物质的球体的直径。

沉降速度粒径：即是与此颗粒在相同环境下具有相同沉降速度的同物质的球体的直径。

筛分粒径：即是与此颗粒通过相同筛孔的同物质的球体的直径。

等效的方法很多，这里就不一一列出了。仅从上面所列，就可以明显看出：各种等效粒径的值是不一样的。

既然各种粒度仪所测结果不同，你能说哪一种仪器更准呢？

其实，每种方法都不错，即它们都是对的。只不过是它们测量的是颗粒的不同性质。

这意味着，对于颗粒测量，粒度仪的测试的粒径的准确性也是很模糊的。

粒度分析结果的表示

Cly 系列粒度仪数据表示全部按照 ISO TC-24、GB/T19077.1 标准方案进行。

1. 什么叫“比表面积”：比表面积是指单位体积物体的表面积。对于表面致密的球形颗粒，比表面积越大，意味颗粒的粒度越小。
2. 什么叫“粒度分布”：
“粒度分布”是指组成颗粒群的所有颗粒尺寸大小的规律。
3. 什么叫“频率分布”（或频度分布）：
是指落在某个尺寸范围内的颗粒体积或颗粒重量占总量的百分率。
4. 什么叫“累积分布”：
是指小于或大于某一尺的颗粒体积或颗粒重量占总量的百分率。
6. 颗粒的直径由大写“X”表示。
7. X50：颗粒的中位径，是指大于或小于该直径的颗粒的体积（重量）各占颗粒总体积（重量）的 50%。
8. X10、X90：表示在累计粒度分布曲线中，10%、90%体积（重量）的颗粒直径比此值小。
9. 什么叫“体积平均径 X(4.3)”：

是指与该颗粒群的颗粒形状相同，总体积（重量）相同，颗粒相同，但粒度均匀的一个假想颗粒群的粒度。

什么叫“索太尔平均径 X(3.2)”：

是指与该颗粒群的颗粒形状相同，总体积（重量）相同，总表面积相同，且粒度均匀的一个假想颗粒群的粒度。也就是与该粒度群的粒形相同，比表面积相同的医德颗粒的粒度。

9. 什么叫“目数”：

是指每英寸长度内筛网编织丝的根数，也就是每英寸长度上的筛孔数。

美国 TYLER（泰勒）标准筛以 200 目为基准（丝的直径是 53 μ m，筛孔的尺寸宽度是 75 μ m），其他筛子的筛孔尺寸以 $4\sqrt{2}$ 为等比系数递增或递减。例 170 目是 $75 \times 4\sqrt{2} \approx 88\mu\text{m}$ ，250 目是 $75 \div 4\sqrt{2} \approx 61\mu\text{m}$ 。

ISO 国际标准编织筛系列与美国 TYLER 系列基本相同，但不是采用目，而是直接标出筛子的筛孔尺寸，且以 $2\sqrt{2}$ 为等比系数递增或递减其他各个筛子的筛孔宽度。

八、系统保养：

粒度仪是本系统的主体，使用时应注意以下几点：①、应将其放置在平稳，牢固的工作台上；②、

及时将撒、漏在它上面的沉降介质擦拭干净；③、连续开机时间不得超过 10 小时。

CLY-2000 的必备用品有样品槽、软磁盘、多功能电源插座、各种容器等；必备消耗品有打印纸、打印机色带、纸巾、纯净水、分散剂、甘油、酒精等；选用品包括稳压电源、粘度计、超声波分散器、磁力搅拌器、研钵等。这些备用品是系统正常运行的前提和保证。因备品种类繁多，维护的方法除按各自的不同要求进行操作外，还要求操作人员有一丝不苟的工作态度和严肃认真的工作作风。

整个系统

开机顺序：交流稳压电源→粒度仪→打印机→计算机（包括显示器）。

关机顺序：计算机（包括显示器）→打印机→粒度仪→交流稳压电源。

搬运或移动前，应标记清楚各电按插位置，以便正确恢复连接。

插拔电缆或安装、拆卸接口电路时，一定要先断电后操作。

系统各部分的电源不要瞬间开启或关闭。每次开、关时间间隔应大于 10 秒。

要经常检查保护地线、确保连接良好。

计算机

不要用力敲击键盘。

不要频繁开、关机。

来历不明的软件要慎用，以免染上病毒。

删除文件时应慎重，以免将有用的文件误删。

软盘应妥善保管，防尘、折、压、磁化、水浸及挪作他用。

软驱动器工作（指示灯亮）时，不要取出或插入软盘。

附录一：常用材料所适用的分散介质及分散剂

| 材料 | 分散介质 | 分散剂 | 材料 | 分散介质 | 分散剂 |
|-------|--------|-------|------|---------|-----|
| 铝氧粉刚玉 | G、K、L | | 立德粉 | A | g |
| 铝粉 | A、D、M | a、d、e | 碳化硅 | A | a |
| 碱盐 | D | | 三氧化铋 | A | a、c |
| 氧化铝 | A | c | 硫酸钡 | A | a |
| 无烟煤 | A | f | 重晶石 | A | a、c |
| 褐煤 | D+10%E | | 氧化铬 | A | b |
| 青铜粉 | D | | 铬颜料 | D+10%E | |
| 砷盐 | A | c | 铬粉 | D | c |
| 硫化镉 | A、C | c | 瓷土 | A | c |
| 砷化镉 | A+50%B | | 玻璃粉 | A | c、i |
| 碳酸钙 | A、N | c | 高岭土 | A | a |
| 钙化合物 | A | a | 硅藻土 | A | c |
| 氧化钙 | C | | 铅粉 | P | a |
| 磷酸钙 | A | c | 铁粉 | P | |
| 甘汞 | D | | 铜粉 | D+50%B | c |
| 碳黑 | A | f、g | 钨粉 | B、P、A+J | |
| 颜料 | A、H | c | 镁粉 | C | f、g |
| 熟石膏 | A、B、J | h | 型沙 | A | j |
| 聚氯乙烯 | A | g | 水泥 | B、E、C、F | c、h |
| 纸浆 | A | i | 陶瓷熟料 | A | a |
| 石英 | A | | 氧化锆 | A | i |
| 硫化物 | C | | 木炭粉 | A | c |
| 石灰石 | A | a | 焦炭粉 | C | |
| 磷酸三钙 | A | | 纤维素粉 | Q | a |
| 碳化钨 | C | c | 有机粉 | R | |
| 氧化铀 | A+J、H | | 糖 | H | |
| 高炉矿渣 | A | a | 氢氧化铝 | A | a |
| 灰粉 | A | c | 氧化铅 | A | c |

| | | | | | |
|------|-------|-----|-------|-----|---|
| 磷酸二钙 | A | | 石灰 | B、I | |
| 二氧化锰 | A | c | 赤铁矿 | A | |
| 白铅矿 | A | a | 钛铁矿 | A | |
| 绿柱石 | A | a、i | 磷矿粉 | A | a |
| 石墨粉 | A | g | 滑石粉 | A | a |
| 一氧化铅 | N | | 红磷粉 | A | i |
| 硅酸盐 | A | c | 铅颜料 | A | c |
| 磁铁矿 | A、B、E | | 土壤、粘土 | A | e |
| 浮石 | A | a、c | 氧化砷 | A | |
| 锆粉 | H | | 镍粉 | A+J | |
| 钨粉 | A+J | | 淀粉 | H、S | |
| 锡粉 | F | a、c | 煤 | A、B | c |

分散介质代号:

A: 水 B: 乙醇 C: 乙二醇 D: 环乙醇 E: 甲醇 F: 丁醇 G: 正丁醇 H: 异丁醇 I: 异丙醇 J: 丙三醇
K: 正丁氨 L: 蓖麻油 M: 四氯化碳 N: 二甲苯 O: 氨水 P: 丙酮 Q: 苯 R: 辛醇 S: 酞酸二乙酯

分散剂代号:

a: 六偏磷酸钠 b: 焦磷酸钠 c: 聚磷酸钠 d: 酒石酸钠 e: 草酸钠
f: 三硝酸钠 g: 鞣酸 h: 柠檬酸钾 i: 硅酸钠 j: 氢氧化钠

样品参数

常见测试粉体的密度值如下, 单位: 克/厘米³。

1. 非金属

| 粉体名称 | 密度 | 粉体名称 | 密度 |
|------|------|------|------|
| 滑石粉 | 2.7 | 锆英砂 | 4.63 |
| 硅灰石 | 2.85 | 沸石 | 2.3 |
| 碳酸钙 | 2.7 | 碳化硅 | 3.2 |
| 二氧化硅 | 2.65 | 高岭土 | 2.7 |
| 石墨 | 2.2 | 金刚石 | 3.29 |

2. 金属

| 粉体名称 | 密度 | 粉体名称 | 密度 |
|------|------|------|-------|
| 铝粉 | 2.7 | 钨粉 | 19.3 |
| 铜粉 | 8.96 | 锌粉 | 7.14 |
| 铁粉 | 7.87 | 银粉 | 10.49 |
| 钨粉 | 10.2 | 镍粉 | 8.9 |

3. 荧光粉

| 粉体名称 | 密度 | 粉体名称 | 密度 |
|------------------------|-----|--|------|
| CaWO ₄ (青色) | 6.1 | ZnCaS:Ag(绿色) | 4.8 |
| ZnS:Ag(青色) | 3.9 | (Zn,Ca)S:Cu,Al(绿色) | 4.46 |
| ZnS:Cu:Al(绿色) | 3.9 | Y ₂ O ₃ :En(赤色) | 4.9 |
| ZnS:Cu(绿色) | 3.9 | Y ₂ O ₃ S:En(赤色) | 4.8 |

4. 金属氧化物

| 粉体名称 | 密度 | 粉体名称 | 密度 |
|--------------------------------|------|--------------------------------|------|
| Al ₂ O ₃ | 3.98 | Fe ₂ O ₃ | 5.24 |
| TiO ₂ | 4.0 | Fe ₃ O ₄ | 5.18 |
| CrO ₃ | 5.12 | | |