

概述

随着工业生产科学技术的不断进步，对粉体产品进行粒度监控与测定是保证产品质量，提高生产效率，降低能源消耗的有效手段。Cly-8010 型盘式离心超微粒度分布测定仪是采用液相离心沉降法的一种无接触方式的粒度分布测定装置。它以Stokes定律和Lamber-Beer定律为基础，以离心沉降为手段，用计算机控制整个测试过程，具有快速宽域、重复性好、操作简便等特点。

基本指标与性能

(1) 测定范围：0.01 μ m—30 μ m（测定上限与下限是随着粉末密度、介质密度、介质粘度等参数的不同而有所变化）；

(2) 重复性误差： $\leq \pm 5\%$ （测标样时X50的偏差）；

(3) 旋转液体积可选 20ml，30ml，40ml，测定时间：5—30分钟；

(4) 样品浓度：0.5%—1%（受试样品比重和粗细程度影响）；

(5) 测试结果包含的内容：①累积形粒度分布（数据和曲线）；②微分形粒度分布（数据和直方图）；③吸光度；④原始参数；⑤中位径（X50）；⑥重量平均径（个数平均径）；⑦任意百分数对应的粒径；⑧任意粒径对应的百分数；⑨比表面积等。

(6) 离心机转速：1000,2000,3000,4000,5000,6000,8000,10000转/分；

(7) 功耗：40W；AC220V 50Hz 2A。

(8) 重量：33kg；

(9) 体积：400×320×330；

(10) 光源：HLED

基本特点

(1) 采用高速离心机铺层技术，用于纳米颗粒测试。

(2) 测定时间较短。

(3) 输出项目丰富：可给出X03、X10、X16、X25、X50、X75、X84、X90、X97等任意百分数对应的粒径和任意粒径对应的百分数。

(4) windows 用户界面友好，操作简便易学。

(5) 能对测试过程进行实时监测：将测试过程以曲线的形式实时地显示在屏幕上，可直观地观察测试过程正常与否。

(6) 粒径间隔设定方便灵活，有固定间隔模式和任意间隔模式等。

(7) 具有存贮测试全过程和测定结果的功能，以数据库的形式管理测试结果，查寻、检索更新数据方便。

测试对象

本系统适合测试下列粉体：

(1) 各种超微非金属粉：如碳酸钙、滑石粉、高岭土、石墨、锆英砂等；

(2) 各种超微金属粉：如铝粉、铁粉、镁粉、钨粉、铜粉、锌粉以及其它有色金属粉；

(3) 典型应用：颜料，涂料，药物，化妆品，杀虫剂，打印墨水，高分子聚合乳液。

系统安装与调试

安装位置

cly-8010 粒度测试仪放置地点应具备以下条件:

- (1) 温度在5℃—40℃之间, 相对湿度小于85%;
- (2) 温度变化率小于1℃/小时;
- (3) 环境整洁无烟尘;
- (4) 具有给、排水设施;
- (5) 周围没有机械振动源或电磁干扰源;
- (6) 避免阳光直射;
- (7) 工作台必须牢固、水平, 其长X宽X高不小于1800X700X700。

拆箱

拆箱时, 应注意以下事项:

- (1) 拆箱时要注意不要损坏仪器及箱内其它物品;
- (2) 小心地取出包装填充物和附件等;
- (3) 主机部分要由两人用手从装置底部抬起, 小心地放到事先准备好的工作台上;
- (4) 除去仪器表面的杂物、灰尘;
- (5) 打开粒度仪盖, 检查内部有无杂物, 并用手轻轻转动离心圆盘, 看有无阻碍等异常现象;
- (6) 查看仪器外观及其键、钮、插座等, 看它们是否正常、完好;
- (7) 将所有的附件、备品、资料等一一清点并收存好;
- (8) 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。

安装设备

安装人员:

- (1) 厂家技术人员;
- (2) 经培训并得到厂家认可的用户方面人员;
- (3) 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, 以免对仪器造成永久性损坏。

安装步骤:

- (1) 将粒度仪放到工作台的适当位置;
- (2) 目测(或实测)粒度仪的水平状况并调整;
- (3) 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;
- (4) 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)；

(5) 将粒度仪与计算机连好；

(6) 用万用表测量电源电压是否正常，有交流稳压电源时，应测量其输出电压是否稳定、正常；

(7) 检查电源的地线是否良好接地，如果没有地线应立即安装，本系统必须具有保护地线才能正常工作；

(8) 再仔细检查一遍各部分电缆的连接是否正确、牢固；

(9) 通电试验：按交流稳压电源（稍候）—粒度仪—打印机—计算机（包括显示器）的顺序开机，检查系统是否能正常启动。

安装软件

通常情况下，仪器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时，才需要对软件进行安装。

Cly-8010 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-8010系统”程序项。

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OK按钮,之后弹出Data Sources对话框,检查列表框中是否有clysys Data,若有则Close对话框,否则,在Data Source Name后面的文本框中输入clysys Data,然后单击Select Database...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:\cly8010\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

系统调试

(1) 打开“cly8010 粒度仪”程序组,在“cly8010”图标上双击鼠标键左键,启动cly-8010 粒度测定系统;

(2) 选定“测试----开始测试”菜单命令,弹出基准测试对话框;

(3) 调整基准调节器旋钮,使采样值保持在1000-3000 左右;

(4) 单击“确定”按钮,进入测试状态,系统检测注样开门信号,按一下注样按钮,进

入测试状态，测试曲线应平直。

至此，您的这套cly-8010型盘式离心超微粒度分布测定系统可以正常工作了。希望您好好保养它，维护它，使它更好地为您服务。

准备仪器及用品

(1) 仔细检查粒度仪、计算机、打印机等，看它们是否连接好，并将其周围的杂物清理干净。

(2) 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。

(3) 准备好其它物品，如温度计、餐巾纸、烧杯、量筒、滴瓶、分散剂、蒸馏水、甘油等。

圆盘的清洗方法

(1) 向圆盘注入适量清水，转动圆盘，将圆形滤纸折叠起来，把圆盘内部擦干净。

(2) 把圆盘内的水抽干净，用餐巾纸将洗净后的圆盘外表面擦干。

准备试样

cly-8010型盘式离心超微颗粒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。

配制悬浮液

(1) 沉降介质

可选作沉降介质的液体很多。最常用的有蒸馏水，蒸馏水+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沉降速度，从而保证测试得以正常进行。介质是根据样品的粗细程度，比重大小等因素确定的。原则上，沉降液的比重应小于颗粒的比重。此外要求介质与样品不发生物理、化学变化，介质对样品的表面具有良好的润湿作用，介质必须纯净无杂质等。

说明：①配制甘油溶液时，应先将水倒入量具中，调整好体积，再往里慢慢倒甘油，这样比较容易控制浓度。②配制好的甘油溶液，应待其混合均匀和气泡全部溢出（一般在充分搅拌后放置24小时或超声振动并搅拌15分钟）后才能使用。

(2) 分散剂

分散剂是指加入到沉降介质中的少量的，能使沉降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。有时还应根据样品的不同，选用相应的分散剂。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。分散剂的用量不宜太多，一般为沉降介质重量的千分之二至千分之五。使用时应将分散剂按一定比例加到沉降介质中，待分散剂充分溶解后即可使用。

说明：用有机系列介质，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。

(3) 配制悬浮液

将加有分散剂的沉降介质约50ml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；反之，就越多。悬浮液的浓度最终要满足测试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；浓度过小代表性差。这些都将对测试结果产生不利影响。

(4) 分散

将盛有配好的悬浮液的容器放到超声波分散器中，打开开关，即开始进超声波分散处理。超声波分散时间一般3—15分钟。不同细度粉体的分散时间大致如下：

样 品 X50	分 散 时 间
> 30um	3 分钟
30 - 10um	3-5 分钟
10 - 4um	5-7 分钟
4 - 1um	7-12 分钟
1 - 0.3um	12-15 分钟
< 0.3um	15-20 分钟

注意：①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；②随着超声分散时间的延长，悬浮液的温度将有所上升，所以结束后应做降温处理。降温方法是将盛悬浮液的容器放到盛有与室温温度相同的水中，同时搅拌；③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。④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。

(5) 缓冲液的选择

测试时需加入一毫升缓冲液，目的是使沉降液产生适当的密度梯度，减少射流的发生。缓冲液要具备一下条件。

可以与沉降液混合，其比重要小于沉降液。

(6) 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），稍静置（约2—3秒）后从悬浮液的中汲取一毫升待测样品，供测试用。

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）。

2、进入测试系统:

在WINDOWS桌面上，单击“CLY-8010”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“基准”项，测量基准背景数据。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。

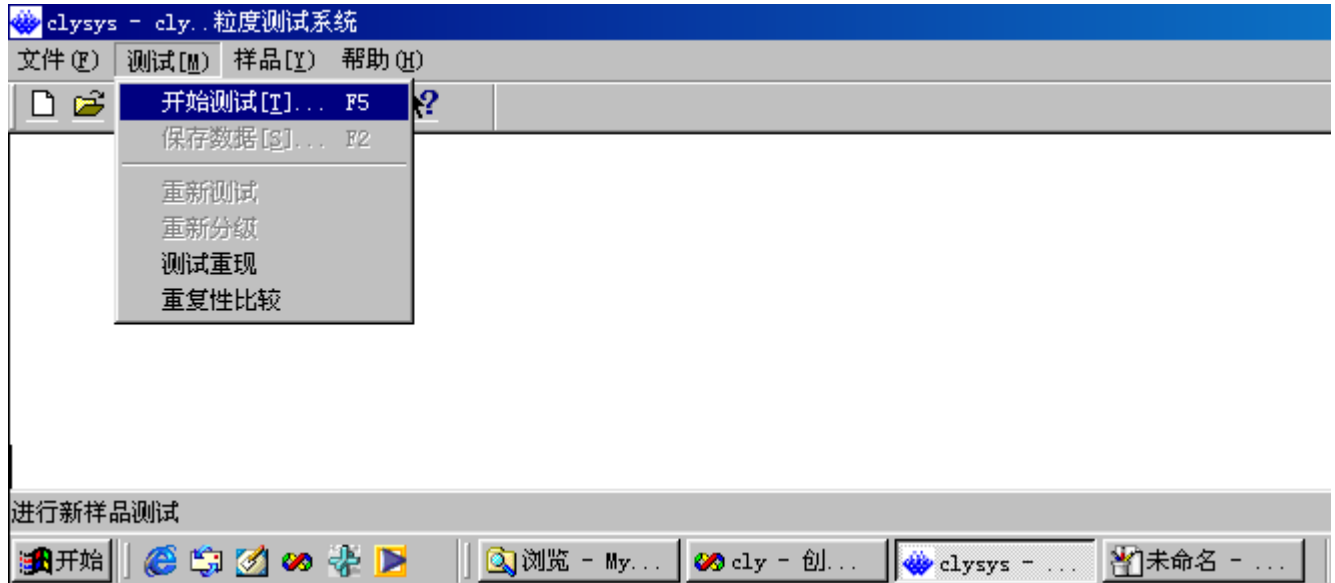
4、退出测试系统:

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。

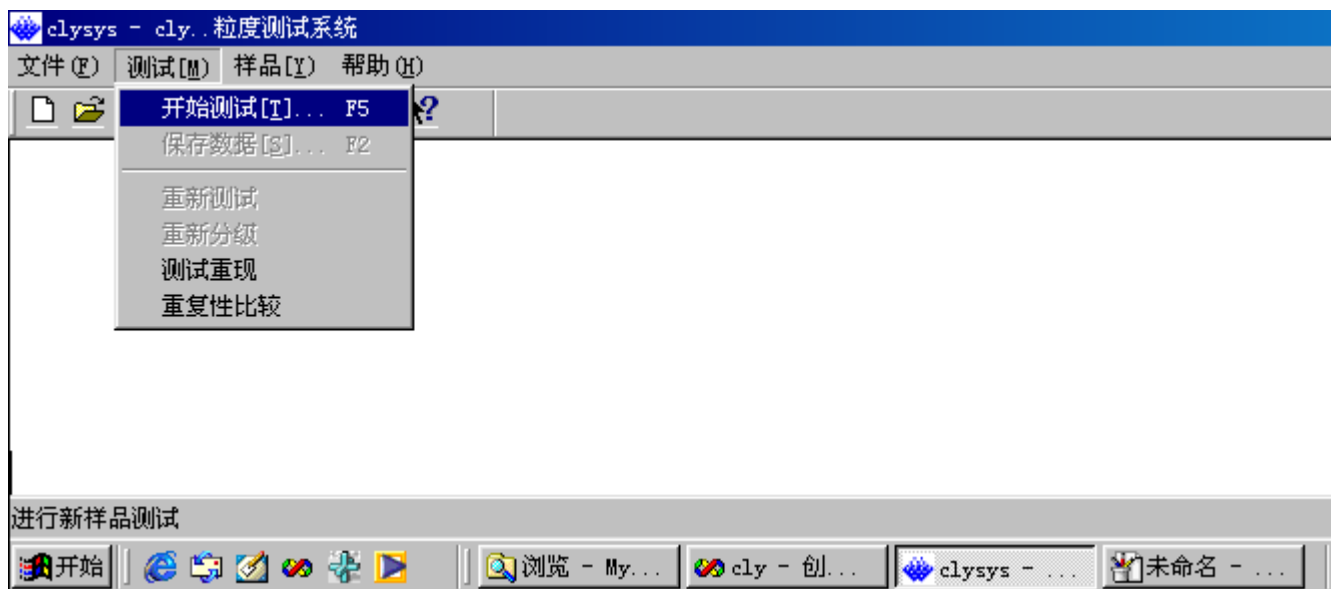
5、关机:

关机顺序：计算机（包括显示器）— 打印机 — 粒度仪 — 交流稳压电源。

系统启动后，选择“测试--开始”命令，



进入测试状态。整个测试过程可分为以下几个步骤



输入原始参数

选择“测试—开始测试”命令进入测试过程，系统首先弹出“原始参数”对话框，让用

户输入样品的原始信息，其中包括：

样品编号

指样品的名称、编号，可以是字符(包括汉字)、数字等，但其中不能有空格。样品编号是检索数据库的依据，所以起名要具有代表性。当输入的样品编号在数据库中已存在时，若保存数据，系统将以新的数据覆盖已有的数据，因此，在进行样品编号时要谨慎。

指南：对同一样品进行多次测试时，可以采取“样品名-序号”的方式命名，如“A100-1”、“A100-2”等。

样品比重

参数设定			
样品编号	NewSample	介质温度	23
样品比重	2.7	介质名称	超威粉体
测试下限	0.1	介质比重	0.98
测试日期	2003.12.16,15:08	介质粘度	1.5
测试人员	李方虹	介质体积	30
送样单位	贵州铝厂	形状系数	1
附加信息	超声5分		

指粉体的密度，单位为 g/cm^3 。

测试下限

指被测试样品的最小粒径值，单位是微米。该值是根据样品的粗细程度而设定的，太大或太小都会对测试及测试结果产生不利影响。

介质温度

一般地，介质温度应与室温一致，保证悬浮液在整个测试过程中保持温度恒定不变。它的范围在 $5-40^{\circ}\text{C}$ 之间，超出该范围仪器将无法工作。

介质名称

指沉降介质(包括分散剂)的名称，可以是字符(包括汉字)、数字等，但其中不能有空格。

介质比重

指沉降介质在特定温度下的密度，单位为 g/cm^3 。

介质粘度

指沉降介质在特定温度下的运动；粘滞系数，单位是C.P。

测试日期

无需用户输入，系统取系统时钟的日期，其形式为年.月.日。

沉降体积

指圆盘悬浮液的体积，单位为毫升。据测试的样品选20、30、40毫升。

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。

若上述参数输入正确，按“下一步”按钮，则进入**选择测试方式**；否则提示错误之处，用户重新输入。

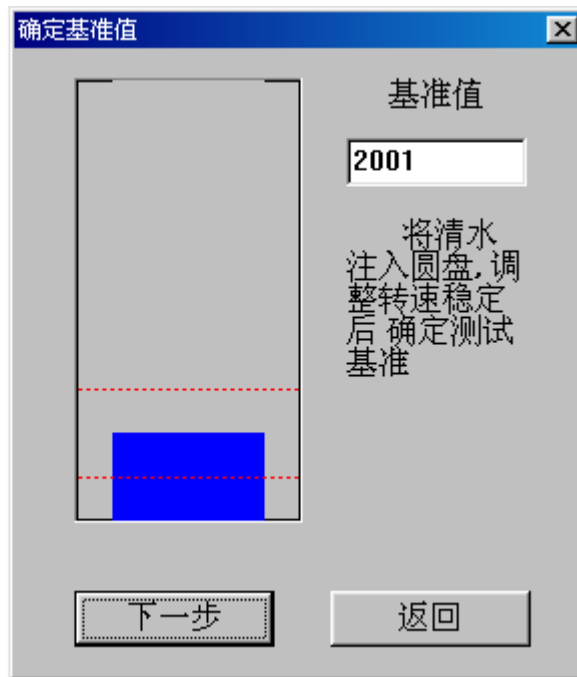
测试步骤的各个对话框中，按“取消”按钮，则取消当前测试操作。

测试步骤：选择测试方式



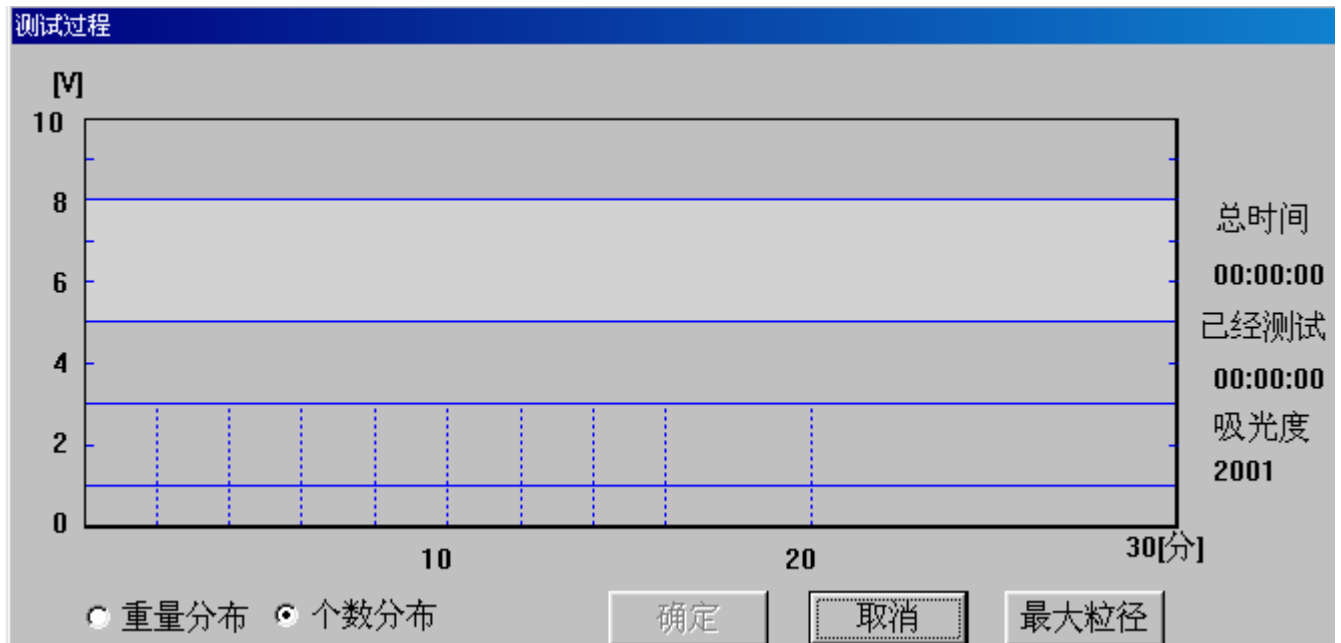
系统根据输入的原始参数，计算出不同测试方式下对应的测试时间，用户可根据具体情况选择一种测试方式进行测试，（列如5000方式）按“下一步”按钮，则进入下一步。

测试步骤：设定基准值



将转速设定调到5000，注入设定的介质（30ml），调整微调钮，使转速显示在5000左右。待基准稳定后，点击下一步。

测试步骤：测试过程



向圆盘中心注入1毫升缓冲液，按下主机面板缓冲钮一秒钟，式圆盘产生瞬时的减速运动，使缓冲液与沉降液充分的混合，产生适当的密度梯度。待转速恢复后，抽取一毫升试样注入圆盘，注射式样的同时按下注样器顶端的启动开关（注射试样时要迅速）。

测试曲线框中，横轴为时间轴，长为30分钟，纵轴为吸光度轴，高为10V，以1V为单位，共分10份。系统将整个曲线框坐标平面分为两个区，分别为初始区、过渡区。

(1) 初始区

测试开始时，曲线必须在此区域内，即保证初始吸光度在1000-3000之间。

(2) 过渡区

灰色区域，测试过程中测试曲线必须经过的区域。如果测试峰值曲线未超过该区域，说明试样浓度低。

应重新操作。

要注意采样曲线的变化，如果试样注入圆盘后，采样曲线突然变化很大，则有可能是粒经过大，或是有射流产生，对测试结果都会带来大的误差，应重新操作。

测试结果通过单选钮可选择重量分布或个数分布。

测试过程中，可随时用“取消”按钮取消当前测试操作。

测试步骤：粒级分级

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**和**等差间隔**、**等比间隔**四种粒级设定模式。

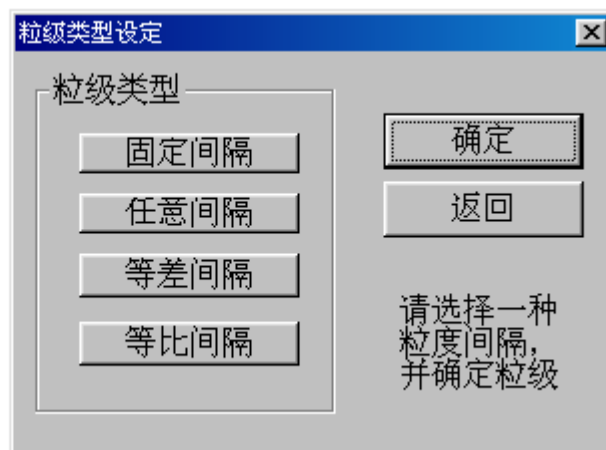
在“粒级设定”对话框中，选择不同的粒级间隔按钮，弹出相应的粒级输入对话框，再进一步确定粒级序列值。系统自动保存最后一次粒级设定值。

选中“粒级设定”对话框中的“取消”按钮取消当前测试过程。

粒级分级：固定间隔

在“固定间隔”对话框中，系统设置了五种固定的粒级序列，每种有10个粒级。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。

选定的粒级序列的最小值不能小于最小粒径。



粒级分级：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

粒度值，该方式最多可设50个粒度，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删除多余的粒度

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。

“取消”按钮用于取消当前操作。

粒度分级：等差间隔

输入粒度公差，系统自动按公差计算粒度值。公差的值不能大于最大粒径于最小测试粒径的差，且不能小于最大粒径于最小测试粒径差的九十九分之一。

粒度分级：等比间隔

输入粒度公差，系统自动按公差计算粒度值。公差的值不能大于最大粒径于最小测试粒径的差，且不能小于最大粒径于最小测试粒径差的九十九分之一。

测试步骤：显示测试结果

测试结果

样品编号: **New** 样品比重: **2.70 g/cm³** 测试日期: **2003.11.17,09:07**
 介质温度: **23** 介质比重: **1.00 g/cm³** 介质名称: **水+甘油**
 介质粘度: **1.50 mPa*s** 沉降距离: **30.0 ml** 形状系数: **0.00**

	粒 经	区间分布	累积分布
1	0.00- 0.50	0.56	0.56
2	0.50- 0.80	1.97	2.53
3	0.80- 1.10	3.73	6.26
4	1.10- 1.40	5.47	11.73
5	1.40- 1.70	7.07	18.80
6	1.70- 2.00	8.46	27.26
7	2.00- 2.30	9.72	36.98
8	2.30- 2.60	10.66	47.64
9	2.60- 2.90	11.14	58.78
10	2.90- 3.20	11.27	70.05

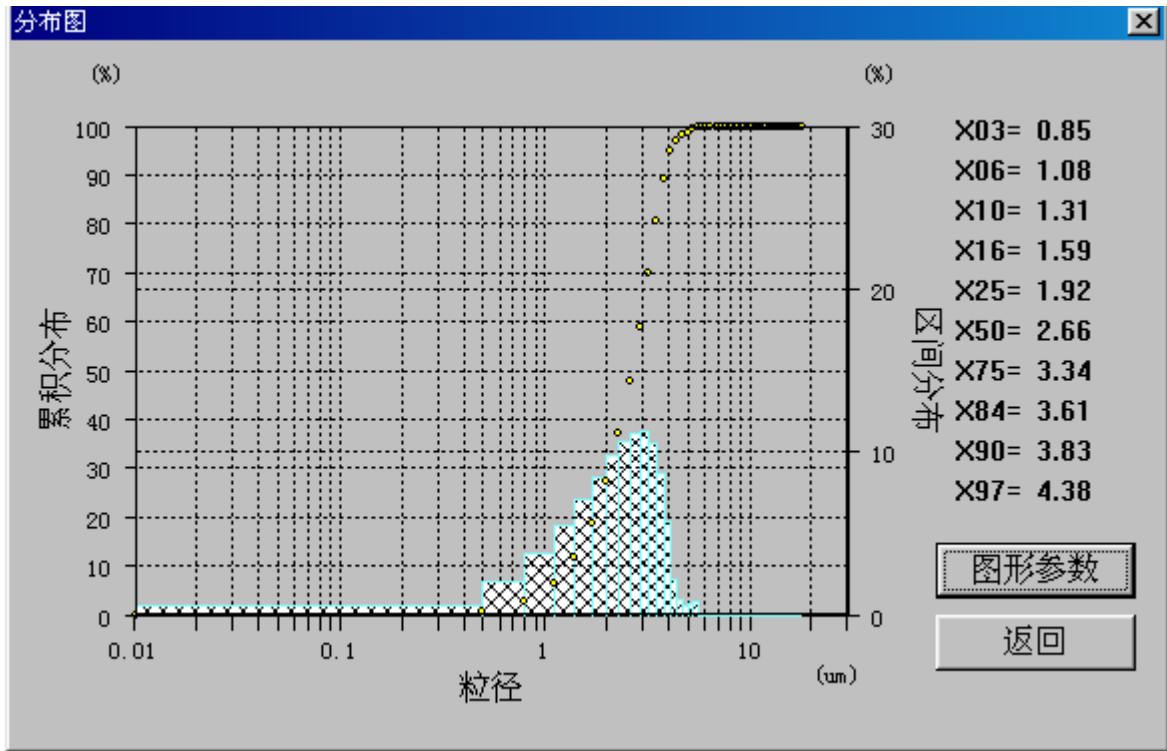
中位径X50: **2.66 μm** 测试下限: **0.50 μm** 比表面积: **1040 m²/Kg**
 重量平均经 **2.17 μm** 测试用时: **00:21:21** 最大粒径: **5.66 μm**

显示图形 返回

设定好粒级后，系统计算测试结果并显示按在测试结果对话框中。其中“显示图形”按钮显示测试结果分布图和X50等值。

关闭该对话框后，在执行“样品”菜单下命令、重新测试、重新分级和开始测试等命令之前，当前样品的值保存在内存中，可用来显示和输出。

系统在重新测试样品之前，系统提示保存数据，可按系统提示覆盖原样品名，或重新命名。



请输入新的样品号

样品名称

测试日期

确定 返回

其它操作:

设置打印模板

选择模板

数据图表
 粒度数据
 分布图
 其他图表
 英文图表

确定 返回

1、“文件”操作:

单击“默认数据库”项，cly.mdb是用来保存测试结果的系统默认数据库。单击cly.mdb，再单击“确定”，cly.mdb就被确定为默认状态了。

单击“打印内容设置”，系统设置五个打印报告形式。

单击“退出”后，在中心的任何位置上单击左键，系统将返回到windows95桌面状态。

2、“测试”操作:

单击“保存数据”，这时单击“是”为保存；单击“否”为不保存；单击“取消”则有取消当前操作。

如果要对同一个样品重新进行测试，单击“重新测试”，进入“浓度测试”窗口。此项功能是为简化对同一个样品反复测试时的操作设置的，这时可以免除输入“原始参数”等操作。

显示测试结果后，如果认为粒级的数值、间隔大小等不合适，可以单击“重新分级”菜单到重新选择合适的分级间隔模式，设定合适的粒度值及其区间间隔（此后的操作与正常测试时的相同）。

3、“样品”操作:

单击“样品”则显示样品窗口。单击“查询”，则开始查询存储的测试结果。在左边的白框中选择（单击）文件名，再单击“确定”即将要查询的样品的测试结果显示在屏幕上。

单击“删除”，则开始删除存储的测试结果，选中要删除的样品名称，单击“删除”，再在小窗口中选择“是”或“否”以最后确定是否要删除这个测试结果。

单击“合并”将对同一个样品的三次（或两次）测结果进行合并（算数平均）处理，得到一个平均结果。

“合并”时，在“样品列表”中选中一个文件名，单击“T”，将这个文件移到下面的小窗口中。重复上述操作，直到将要合并的样品（最多不超过三个）都移到小窗口中，再单击“合并”、“确定”适当的样品编号即完成了合并操作。之后按“取消”回到存盘、打印等操作。如果误将其它文件名移到下面的小窗口中，则在小窗口中单击该文件名，再单击“Y”按钮将其送回到上面的“样品列表”窗口中。

单击“比较”，选中要比较的测试结果后，单击“确定”。显示测试结果比较窗口，从图中可以很直观地看出诸如同一个样品的重复性、不同样品粒度分布的差异等。

“重命名”是一个修改“样品编号”的功能，它可以将错误的或与以前重复的或不合适的样品编号重新改为合适的编号。在输入合适的样品编号后按“确定”即完成了“重命名”。

单击“显示测试结果”则将当前的测试结果显示在屏幕上，

单击“图形参数”则显示“图形参数”实际上是对图项中的坐标参数进行修改使直方图的形状能更形象地反映粒度分布状况的一个辅助功能。在仪器出厂时这些参数一般都调整到比较合适的状态。用户也可以根据需要进行调整，调整前最好记下原来的数值或状态，以便恢复初始状态。

上部的四个小单元分别用来定义坐标的粒径坐标上轴（算数坐标）、下轴（对数坐标）以及累计曲线百分数坐标左轴和直方图百分数坐标右轴。每个小单元中的小白框内的数

据和文字均可以

根据需要进行修改。其中的“最大值”一定要大于测试的“最大粒径值”。下部是定义直方图和累计曲线的横坐标、纵坐标、线型以及它们的颜色等。上述数据等修改结束后单击“确定”即完成修改并返回。修改后的信息将一直保存在计算机中，直到下次修改为止。

以上解释除测试过程之外的操作步骤。参照CLY-8010程序图形,认真阅读这些说明,结合实际操作,您将很快掌握这套系统的使用方法与技巧。

原理

1、斯托克斯定律:

沉降式粒度仪是通过颗粒在液体中的沉降速度来测量粒度分布的。颗粒在液体中沉降时,作用在颗粒上的力有三种:向下的重力 W ,向上的浮力 V ,向上的阻力 F_D 。根据牛顿运动定律,它的运动方程为:

$$Mg - M'g - F_D = M \frac{du}{dt} \text{-----(1)}$$

式中的 M 是颗粒的质量, M' 是与颗粒等体积的液体的质量, u 是颗粒的速度, g 是重力加速度, t 是时间, F_D 是颗粒的粘滞阻力。

当重力、浮力、粘滞阻力达到平衡时,颗粒的沉降速度恒定,处于匀速沉降状态,这时,

$$\frac{du}{dt} = 0, \text{根据式 (1) 则 } F_D = (M - M')g = \frac{\pi}{6}(\rho_s - \rho_f)gD^3 \text{-----(2)}$$

式中 D 为粒径, ρ_s 为样品密度, ρ_f 为介质密度。

在流体力学中,为了研究和表达方便,使用一种称为雷诺数的特征无量纲数,其定义如下:

$$R_e = \frac{\rho_f u D}{\eta} \text{-----(3)}$$

雷诺数 Re 表示流体在流动时惯性力与粘滞力之比。当 Re 很小时,惯性力与粘滞力相比可以忽略不计,这时颗粒所受到的阻力完全由液体的粘滞阻力所致,Stokes 阻力公式可用下式表示:

$$F_D = 3\pi D \eta u \text{-----(4)}$$

式中 u 是颗粒的沉降速度, η 介质的粘度系数。

由式（4）可知，颗粒沉降时所受的阻力是随速度的增加而增加的。当速度增加到一定程度时，重力与阻力达到平衡，这时将式（4）代入式（2）可得：

$$u = \frac{(\rho_s - \rho_f)gD^2}{18\eta} \text{-----} (5)$$

Stokes定律表达了在层流条件沉降速度与粒径的关系，是沉降法测量粒度的理论基础

离心沉降

对于较细的颗粒来说，重力沉降法需要较长的沉降时间，且在沉降过程中受对流、扩散，布朗运动等因素的影响较大，致使测量误差变大。为克服这些问题通常用离心沉降法

$$\frac{\pi}{6}(\rho_s - \rho_f)D^3 \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\pi}{6}(\rho_s - \rho_f)D^3 \omega^2 x - 3\pi D\eta \frac{dx}{dt} \text{-----} (6)$$

来加快细颗粒的沉降速度，从而达到缩短测量时间，提高测量精度的目的。

在离心状态下，颗粒受到两个方向相反的力的作用，一个是离心力，一个是阻力。在层流区中可得到下列公式：

其中，x：从轴心到颗粒的距离，

dx/dt：颗粒的沉降速度，

ω ：离心机转速（以每秒弧度）；

当离心力和阻力平衡，颗粒呈匀速运动状态时，式（6）可改为：

$$\frac{dx}{dt} = u_c = \frac{\rho_s - \rho_f}{18\eta} D^2 \omega^2 x \text{-----} (7)$$

这就是Stokes定律在离心状态下的表达形式。它表明在离心沉降过程中，颗粒的沉降速度除与粒径有关外，还与离心机的转速和颗粒到轴的距离有关。

将重力沉降时的Stokes公式与式（5）相比较，得：

$$\frac{u_c}{u} = \frac{\omega^2 x}{g} \text{-----} (8)$$

一般地，离心沉降时的离心机的转速都在每分钟数百转到数千转之间，所以式（8）中的 $\omega^2 x$ 远远大于g，表明式离心沉降速度 u_c 远远大于重力沉降速度u，所以采用离心法将增大颗粒的沉降速度，缩短测量时间。

圆盘离心光透沉降法

圆盘离心式粒度仪。它的工作过程是将配制好的样品，注入优悬浮液的圆盘中，所有颗粒以液面为共同起点作离心沉降。这时用一束平行光在一定深度处照射悬浮液，采集透过光信号随时间的变化、转换并输入到电脑中，同时显示该信号的变化曲线。测量结束。通过电脑对测量过程光信号进行处理，就会得到粒度分布数据。

透过悬浮液的光信号变化率与粒径之间的关系符合比尔定律，透过悬浮液的光强 I_i 、

$$\log(I_i) = \log(I_0) - K \int_0^{\infty} n(D) D^2 dD \text{-----} (9)$$

入射光强 I_0 与粒径 D 的关系如下：

I_0 ：入射光强。

I_i ：透过悬浮液光强。

比尔定律给出了光强与颗粒之间的关系。在整个测量过程中，系统根据Stokes定律计算样品中每种粒径的颗粒到达测量区的时间。

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观状态。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。

准确性

定义：准确性 = $(X - A) / A * 100\%$

式中：X为多次测量的平均值，A为真值。

由前述可知，粒径本是虚拟值，不存在真值，故准确性也是不存在的。

粒度分析结果的表示

Cly 系列粒度仪器数据表示全部按照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本数,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53um,筛孔的尺寸宽度是75um),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 $75 \times 4\sqrt{2} \approx 88\text{um}$,250目是 $75 \div 4\sqrt{2} \approx 61\text{um}$ 。

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。

保养系统保养

整个系统

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

(3) 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。

(4) 插拔电缆或安装、拆卸接口电路时,一定要先断电后操作。

(5) 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。

(6) 要经常检查保护地线、确保连接良好。

粒度仪

(1) 应及时将撒、漏到测试室内、外的液体擦干。

(2) 不得在离心圆盘非平衡时启动离心机。

(3) 每次连续开机时间不得超过12小时。

(4) 测试开始后应把盖关好,保证测试正常进行外,还可避免离心机突然启动与旋转时发生危险。

(5) 清洁仪器表面时应先将毛巾沾湿、拧干,再滴上少许洗涤剂擦拭。

(6) 仪器上的开关、键钮、插座等,操作时不要用力过大,以免造成损坏。

(7) 不得轴向(前后)推、拉离心圆盘,以免其变形损坏。

(8) 离心圆盘上的样品盒松动时应及时拧紧。

(9) 发现离心圆盘外观有异常或旋转时噪音明显增大时,应停止使用,直到故障排除为止。

计算机

- (1) 不要用力敲击键盘。
- (2) 不要频繁开、关机。
- (3) 来历不明的软件要慎用，以免染上病毒。
- (4) 删除文件时应慎重，以免将有用的文件误删。
- (5) 软盘应妥善保管，防尘、折、压、磁化、水浸及挪作他用。
- (6) 软驱动器工作（指示灯亮）时，不要取出或插入软盘。

系统调整

经过维修更换某些器件后，就需要对仪器相应的部分进行调整，以便使系统恢复到最佳状态。调整一般分电路调整，机械调整和光路调整等三个方面。前两项请参见[故障排除](#)，这里主要介绍光路调整的步骤与方法。

光路调整的步骤如下：

- (1) 更换LED：打开测试拿下盖，拆下损坏的LED，取来备用LED照原样安装好。
- (2) 取下离心圆盘：旋下离心圆盘中间的圆帽，拧下其周围的四个螺丝，轻轻卸下圆盘，放到安全地方。
- (3) 调整主光束：打开电源开关光束是否覆盖到后面的夹缝上，如果有偏移，可松开LED座的两个固定螺丝或LED顶丝，上下调整使光束的高度与狭缝一致。同时兼顾水平方向，使平行光束正好覆盖到狭缝上。

样品沉降介质和分散剂

分散剂表

代号	名称	代号	名称
A	亚油酸钠	M	三硝酸钠
B	硅酸钾	O	草酸钠
C	六偏磷酸钠	P	聚磷酸钠
E	柠檬酸钾	R	亚油酸
F	氯化钙	S	柠檬酸钠
G	磷酸三钠	T	鞣酸
H	气溶胶OT1%	U	碳酸钠
I	复合鞣酸	V	氯化钾
J	酒石酸钠	W	氢氧化钠
L	硅酸钠	X	二甲苯

介质参数：水

温度(°C)	密度(g/cm ³)	粘度(厘泊)
15	0.99910	1.113
16	0.99894	1.111
17	0.99877	1.075
18	0.99859	1.050
19	0.99840	1.025
20	0.99820	1.000
21	0.99799	0.980
22	0.99777	0.963
23	0.99754	0.933
24	0.99729	0.918
25	0.99704	0.890
26	0.99678	0.875
27	0.99651	0.855
28	0.99623	0.838
29	0.99594	0.818
30	0.99565	0.800

介质参数: 水+10%甘油

温度(°C)	密度(g/cm ³)	粘度(厘泊)
15	1.01680	2.070
16	1.01674	2.030
17	1.01665	1.980
18	1.01657	1.930
19	1.01648	1.890
20	1.01640	1.840
21	1.01630	1.800
22	1.01623	1.757
23	1.01615	1.715
24	1.01610	1.670
25	1.01598	1.630
26	1.01590	1.590
27	1.01580	1.550
28	1.01570	1.510
29	1.01560	1.465

30	1.01550	1.420
----	---------	-------

介质参数: 水+15%甘油

温度(°C)	密度(g/cm ³)	粘度(厘泊)
15	1.03640	2.596
16	1.03625	2.526
17	1.03610	2.458
18	1.03598	2.390
19	1.03580	2.320
20	1.03570	2.250
21	1.03556	2.200
22	1.03540	2.150
23	1.03530	2.100
24	1.03510	2.050
25	1.03500	2.000
26	1.03486	1.950
27	1.03470	1.900
28	1.03460	1.850
29	1.03445	1.800
30	1.03430	1.750

介质参数: 水+20%甘油

温度(°C)	密度(g/cm ³)	粘度(厘泊)
15	1.0549	3.140
16	1.0547	2.950
17	1.0545	2.850
18	1.0544	2.755
19	1.0542	2.660
20	1.0540	2.600
21	1.0538	2.540
22	1.0536	2.490
23	1.0534	2.430
24	1.0532	2.370
25	1.0530	2.300
26	1.0528	2.250
27	1.0526	2.200

28	1.0524	2.130
29	1.0522	2.080
30	1.0520	2.020

介质参数: 水+25%甘油

温度(°C)	密度(g/cm ³)	粘度(厘泊)
15	1.07253	3.697
16	1.07228	3.572
17	1.07204	4.446
18	1.07180	3.320
19	1.07150	3.195
20	1.07130	3.070
21	1.07118	3.000
22	1.07106	2.937
23	1.07094	2.870
24	1.07082	2.800
25	1.07070	2.740
26	1.07058	2.670
27	1.07046	2.610
28	1.07034	2.540
29	1.07022	2.470
30	1.07010	2.410

介质参数: 水+30%甘油

温度(°C)	密度(g/cm ³)	粘度(厘泊)
15	1.08910	4.280
16	1.08880	4.110
17	1.08850	3.960
18	1.08820	3.800
19	1.08790	3.640
20	1.08760	3.480
21	1.08736	3.410
22	1.08712	3.330
23	1.08688	3.260
24	1.08664	3.180
25	1.08640	3.110

26	1.08616	3.030
27	1.08592	2.960
28	1.08568	2.840
29	1.08544	2.810
30	1.08520	2.740

介质参数: 水+35%甘油

温度(°C)	密度(g/cm ³)	粘度(厘泊)
15	1.1046	4.54
16	1.1043	4.37
17	1.1039	4.23
18	1.1036	4.15
19	1.1032	3.99
20	1.1029	3.89
21	1.1025	3.79
22	1.1021	3.69
23	1.1018	3.59
24	1.1014	3.50
25	1.1011	3.41
26	1.1007	3.33
27	1.1004	3.25
28	1.1000	3.17
29	1.0996	3.09
30	1.0993	3.01

介质参数: 水+40%甘油

温度(°C)	密度(g/cm ³)	粘度(厘泊)
15	1.1192	5.95
16	1.1188	5.72
17	1.1184	5.51
18	1.1180	5.31
19	1.1176	5.12
20	1.1172	4.95
21	1.1168	4.78
22	1.1163	3.63
23	1.1159	4.48

Cly-8010 圆盘离心粒度分布仪

24	1.1155	4.34
25	1.1151	4.20
26	1.1147	4.07
27	1.1143	3.94
28	1.1139	3.81
29	1.1135	3.68
30	1.1131	3.56

介质参数: 异丁醇、乙醇、乙二醇、环乙醇

	异丁醇	乙醇	乙二醇	环乙醇
温度(℃)	密度: 0.805	密度: 0.789	密度: 1.1132	密度: 0.9668
15.0	4.74	1.319	25.7	
15.5	4.65	1.305	25.1	
16.0	4.56	1.292	24.7	
16.5	4.48	1.281	24.2	
17.0	4.40	1.270	23.6	
17.5	4.32	1.257	23.1	
18.0	4.25	1.245	22.7	
18.5	4.18	1.232	22.2	
19.0	4.10	1.221	21.8	
19.5	4.02	1.210	21.3	
20.0	3.96	1.199	21.0	68.7
20.5	3.90	1.188	20.6	66.5
21.0	3.83	1.178	20.1	64.1
21.5	3.77	1.168	19.8	61.8
22.0	3.71	1.156	19.4	59.9
22.5	3.65	1.145	18.9	58.0
23.0	3.59	1.135	18.5	56.0
23.5	3.53	1.125	18.1	54.3
24.0	3.49	1.115	17.8	52.5
24.5	3.43	1.105	17.5	51.0
25.0	3.38	1.095	17.0	49.5
25.5	3.33	1.085	16.7	48.0
26.0	3.29	1.075	16.4	46.6
26.5	3.23	1.065	16.1	45.2

27.0	3.19	1.055	15.8	43.9
27.5	3.14	1.045	15.5	42.6
28.0	3.09	1.035	15.2	41.3
28.5	3.04	1.025	14.9	40.1
29.0	3.00	1.015	14.7	39.0
29.5	2.95	1.006	14.5	37.9
30.0	2.90	0.997	14.2	36.7

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

CrO₃

5.12