

用沉降法测定白土粒度和粒度分布

黄 健 榕

(化工与生化工程系)

摘 要

粒度和粒度分布对白土的质量有很大的影响,本文用沉降天平测定白土的粒度和粒度分布,并用 TI-58C 可编程计算器进行曲线拟合,得出数学表达式,运算速度快,误差小。

一、前 言

粒度和粒度分布对粉状物料的性质产生十分明显的影响,这是众所周知的。各种粉状物料在输送、混合、分级和除尘等方面都受到颗粒的粒度及其分布的影响。

粒度分析方法一般有筛法、显微镜法和沉降法等,筛法设备简单操作方便但误差大,如用微目筛分技术,设备和手续都至为繁琐复杂;显微镜法的优点在于能直观的了解颗粒的形状,但此法因样品少不具代表性;目前使用较普遍的是沉降技术,此种技术有两种分析方法:一种是增量分析方法,它要求确定沉降过程中悬浮液密度或颗粒浓度随时间或随沉降高度的变化;另一种是重量累积技术,它要求确定颗粒体从悬浮液析出的沉降速度。

本文使用重量累积技术的沉降天平法,并用 TI-58C 可编程计算器进行曲线拟合,运算速度较快,误差小。沉降天平系用国产自动记录,操作简便,速度快,仪器成本低。

二、原 理

球形颗粒在粘度为 η 的均相介质中受恒定外力的作用产生自由沉降,当沉降速度很小或颗粒的雷诺数 $Re \approx 0$ 时,颗粒的运动服从斯托克斯定律,并由此推导出颗粒的粒径:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(\rho_s - \rho_f)g}} \cdot \sqrt{\frac{H}{t}} \quad (1)$$

文[1]指出,当 $Re < 0.2$ 时,上式对球形颗粒和非球形颗粒均可适用,误差也较小。只不过对非球形颗粒的粒径称为斯托克斯直径。

我们所采用的自动沉降天平法是使所测颗粒均匀分散在各种液体介质中,一旦停止外加

本文1985年1月1日收到。

搅拌, 该天平即自动记录沉积在天平盘上的颗粒重量, 最终得一沉降曲线。在时间为 t , 沉降高度为 H , 天平盘上的颗粒重量 P 包括两部份。

(1) 一为颗粒直径 $D \geq D(t)$ 已全部沉降的部份, 此即颗粒直径大于由式(1)计算的直径 $D(t)$ 的所有粒子。

颗粒直径 $D \geq D(t)$ 的重量百分数 $W(t)$, 可由下式求得:

$$W(t) = \frac{1}{P_{\infty}} \left(p - t \frac{dp}{dt} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

根据自动记录的沉降曲线, 求出总的沉降量 P_{∞} , 并求出 $D \geq D(t)$ 的颗粒在总沉降量中所占的百分含量。自动记录沉降天平省时准确, 据此作出颗粒的积分分布曲线, 纵座标是各颗粒组的总共百分含量 W , 横座标是颗粒直径 D 。该曲线的物理意义即代表曲线上任意一点直径大于该值的颗粒百分含量。从积分分布曲线求出 $\frac{dW}{dD}$, 纵轴代表分布函数 $\frac{dW}{dD}$, 横轴代表颗粒直径 D 。微分布曲线表示各颗粒组的相对含量。见图 1、2。

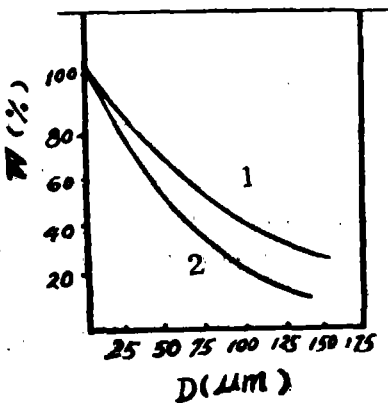


图 1 白土的积分分布曲线

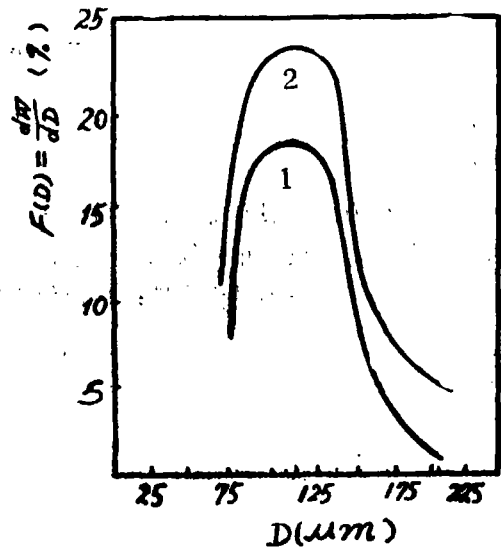


图 2 白土的微分布曲线

(2) 一为直径小于 $D(t)$ 的颗粒重量百分数为 $Y(t)$:

$$Y(t) = 1 - W(t) \quad (3)$$

三、实验及其结果

本实验使用上海分析仪器厂 TZC-2 型自动记录粒度测定仪。利用恒温水浴打入夹层杯中恒温水。

按照斯托克斯方程, 要获得准确的测试值需要分散介质较低的浓度, 在浓度高的悬浮液

中,颗粒之间的相互作用力增大,相互干扰发生短程碰撞,造成受阻沉降,文[1]提出当介质的浓度 $<1\%$ 时,颗粒间的干扰小,甚至可忽略不计,此时悬浮液的粘度也不需校正。

白土样品是多孔性的硅酸盐物质,沉降前必须除去孔隙中的残存空气,残存空气的存在使颗粒本身的密度产生不均匀的性质,使沉降的颗粒产生定向运动,这与斯托克斯定律相违背,由此可能产生较大的误差,在实验中我们用真空泵抽空残气再配好溶液。

本实验使用两种白土样品:一种是福建出产的,一种是浙江出产的。

福建白土密度 $\rho_{s1} = 2.06$ 克/厘米³ (样品1);

浙江白土密度 $\rho_{s2} = 2.05$ 克/厘米³ (样品2)。

沉降高度: ① $H = 7.10$ 厘米; ② $H = 9.10$ 厘米。

测定温度 $T = 20^\circ\text{C}$ 。

试样重: ① 4.9351 克 ② 4.2364 克。

量筒直径 $\phi 80$ 毫米; 称盘直径 $\phi 50$ 毫米。

沉降液浓度: ① 1.2%; ② 1.0%。

记录纸走纸速度 270 毫米/时。

水的粘度 20°C $\eta = 0.0101$ 泊。

样品①: 在自动记录纸上取数据如表1见图3。

表 1

时间(秒)	3412.5	1679.5	1079.7	733.1	573.1	413.2	333.2	253.3	213.2	173.3
$P_{\text{实}}$ (毫克)	29.0	28.0	27.0	26.0	25.0	24.0	23.0	22.0	21.0	20.0

时间(秒)	146.6	119.9	106.6	93.3	62.6	39.9	26.6	13.33	11.97	
$P_{\text{实}}$ (毫克)	19.2	18.3	17.2	16.3	15.2	12.2	10.2	8.1	7.0	

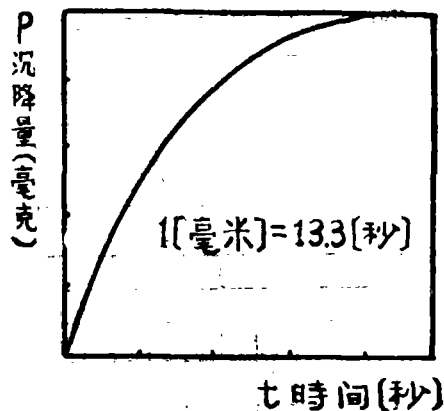


图 3 白土(样品1)的沉降曲线

样品(2)略。

设 $P-t$ 的关系符合下式

$$P = a + b \ln t + \frac{c}{t} \quad (4)$$

则由 $p-t$ 实验数据可求出 a, b, c 之值。编一程序输入 $TI-58c$ 可编程计算器, 得出样品(1)及样品(2)的数学表达式如下:

样品(1)

$$P = 0.6699 + 3.7302 \ln t - \frac{39.2158}{t} \quad (5)$$

样品(2)

$$P = -7.1934 + 5.5597 \ln t - \frac{24.0034}{t} \quad (6)$$

实验拟合情况见表2。

表 2

时间(秒)	3412.5	1679.5	1079.7	733.1	573.1	413.2	333.2	253.3	213.2	173.3
P _实 (毫克)	29.0	28.0	27.0	26.0	25.0	24.0	23.0	22.0	21.0	20.0
P _计 (毫克)	31.0	28.3	26.7	25.3	24.3	23.3	22.3	21.3	20.5	19.

时间(秒)	146.6	119.9	106.6	93.3	62.6	39.9	26.6	13.33	11.97	
P _实 (毫克)	19.2	18.3	17.2	16.3	15.2	12.2	10.2	8.1	7.0	
P _计 (毫克)	19.0	18.2	17.7	16.8	15.5	12.7	10.4	7.8	6.6	

颗粒尺寸和分布

表 3

t(秒)	P %	D(μm)	t(秒)	P %	D(μm)
5.722271389	0.1139197016	150	26.27573597	0.3018564785	70
6.568933992	0.1309327137	140	35.76419618	0.3398686284	60
7.618408654	0.1492070629	130	51.5004425	0.3848274593	50
8.941049045	0.1689418636	120	80.4694414	0.4398526212	40
10.64058729	0.1904010746	110	113.0567847	0.5107923931	30
12.87511062	0.2139036945	100	321.8777656	0.610776386	20
15.8951983	0.2398846355	90	1287.511062	0.7817001508	10
20.11736035	0.2689288565	80	2451.432471	0.8621448071	5

将白土的粒度分布实验数据,用正态概率纸标绘粒径与累计百分数之间的关系可得一直线,说明白土的粒度分布符合正态分布规律,并可由此图求出在累计百分数为50%处的对应的白土平均粒径。福建白土的平均粒径为67.0[μ]。经重复测试8次进行估算,则其误差均在3%左右。见图4。

四、结 论

1.利用曲线拟合方法,用TZC-2型沉降天平对白土的粒度及粒度分布的测定是可行的。

2.福建产白土样品的沉降表达式:

$$P = 0.6699 + 3.7302 \ln t - \frac{39.2158}{t}$$

浙江产白土样品的沉降表达式:

$$P = -7.1934 + 5.5597 \ln t - \frac{24.0034}{t}$$

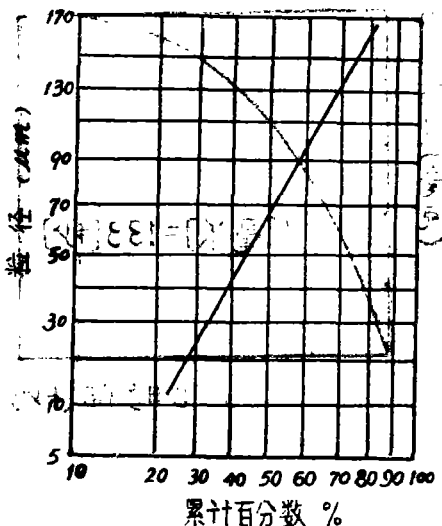


图 4 对数正态分布图

符号

 R_e —— 雷诺数 F —— 颗粒所受阻力 D —— 颗粒直径 P_s, P_f —— 颗粒密度和介质密度 g —— 重力加速度 t —— 颗粒沉降时间 η —— 介质的粘度 u_t —— 颗粒的沉降速度 H —— 颗粒沉降高度 P_∞ —— $t = \infty$ 时颗粒的沉降总量 P —— 时间为 t 时的沉降量 $P_{\text{实}}$ —— 时间为 t 时的沉降量实测值 $P_{\text{计}}$ —— 时间为 t 时的沉降量计算值 (式(5))

Tl-58 C 程序 (沉降分析)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
00	R/S	X	RCL	00.	$\frac{1}{x}$	STO	27	lnx	STO	28
01	sum	09	sum	11	X^2	sum	12	RCL	27	$1/x$
02	sum	10	sum	14	X^2	sum	16	RCL	28	+
03	RCL	27	=	sum	13	sum	15	R/S	STO	29
04	Sum	23	\times	RCL	28	=	Sum	24	RCL	29
05	+	RCL	27	=	sum	25	1	Sum	08	RST
06	2nd Lbl	A	3	2ndpgm	02	A	2ndpgm	02	C	1
07	2ndpgm	02	D	RCL	23	2ndpgm	02	SBR	3	55
08	RCL	24	2ndpgm	02	SBR	3	55	RCL	25	2ndpgm
09	02.	SBR	3	55	CLR	2ndpgm	02	E	2ndpgm	02
10	2nd A	RCL	20	R/S	RCL	21	R/S	RCL	22	R/S
11	2nd Lbl	B	2ndpgm	01	BSR	CLR	2ndLb1	C	1	0
12	0	0	+	R/S	STO	10	=	x, t	SBR	X^2
13	2ndz +	2nd Dsz	9	C	2ndop	12	STO	00	2ndLb1	D
14	R/S	\times^2	+	(	RCL	26	X^2	\times	RCL	27
15	\times	4	)	=	$1/x$	R/S	STO	10	SBR	X^2
16	-	(	RCL	10	$1/x$	\times	RCL	21	+	RCL
17	10	$1/X$	\times^2	\times	RCL	22	)	\times	RCL	10
18	=	+	RCL	00	=	D	2ndLb1	x^2	RCL	20
19	+	RCL	10	tnx	X	RCL	21	+	RCL	10
20	$1/X$	\times	RCL	22	=	INVSBR	2ndLb1	E	R/S	\times
21	RCL	00	=	STO	29	lnx	\times	RCL	21	+
22	RCL	20	+	RCL	22	+	RCL	29	=	E

参 考 文 献

- [1] T. Allen, Particle Size Measurement, Chapman and Hall (London), (1975), 68—75.
[2] 陈景工, 论气泡, 液滴和固体圆球在粘性流体中的运动, 中国科学, 04 (1975).
[3] 计其达等, 用沉降法分析态浮法聚氯乙烯的粒度, 南京化工学院学报, 1 (1981).
[4] R. P. King, Measurement of Particle Size Distribution by Image Analyser, Powder Technology, 2 (1984).
[5] 胡荣泽, 粉末颗粒和孔隙的测量, 冶金工业出版社, 2 (1982).
[6] 郭万祺、蔡民生, 可编程计算器在化学中的应用, 北京大学出版社, 3 (1982), 130—134.

Measurment of Clay Partiele Size Distribution by Stokes' Law in Precipitation Balance

Huang Jiangrong

Abstract

Particle analysis is a very useful method for the measurement of Size distribution of granular materials.

This Paper describes a technique developed for clay parlicle Size distribution by Stokes' law in automatic Precipitation balance. otherwise by, applying TI-58 Calculator for programming the least-squares method to fit a polynomial equation (Curve-fitting), it verified that the average error in the Particle Size distribution (at $\bar{D}_{s+} < 120 \mu$) is less than 3%