

# Excel 软件在界限含水率试验中的应用

周 波

上海苏科建筑科技发展有限公司 上海 201399

**【摘要】**：随着 Excel 软件的广泛普及，Excel 软件在工程试验中经常被用来分析试验数据和制作图表。本文介绍应用 Excel 软件设计表格及制作界限含水率试验对数曲线图的方法，证明 Excel 软件制作的图表优于手工绘制的图表，提高工作效率的同时减少人为误差。

**【关键词】**：界限含水率试验；液塑限联合测定法；对数曲线；数值修约

## 引言

土工试验工作中经常会用到绘制图表来求得试验结果，其中包括界限含水率的圆锥下沉深度与含水率关系图曲线。当采用手绘图表的方法处理界限含水率试验数据时，不仅工作效率慢，而且手绘过程中误差偏大，数值估读不确定性使试验结果的精确度难以保证。随着 Excel 软件的广泛应用，试验人员在工作中常用 Excel 软件对数据进行分析处理，软件中的内置函数编辑功能及图表制作功能使试验结果的计算及图表制作变的更加快捷与精确，不仅能提高整理数据的工作效率，而且使计算结果更加准确。

本文参照《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019<sup>[1]</sup>界限含水率液塑限联合测定法为例，应用 Excel 软件绘制界限含水率双对数关系图，遵循试验数值修约规则用软件内置函数编辑功能计算并判断结果的符合性。

## 1 界限含水率试验绘图要点

在双对数坐标纸上以含水率为横坐标，圆锥下沉深度为纵坐标，点绘接近液限含水率“A”点、中间含水率“B”点、接近塑限含水率“C”点的3点坐标，并连成一直线。当3点不在一直线上时，分别绘制 AB、AC 两条直线，在圆锥沉入深度为 2mm 处分别查得 2 点相应的含水率，当 2 点含水率的差值小于 2% 时，以 2 点的含水率平均值“D”点链接高含水率“A”点成一直线，当 2 点含水率的差值不小于 2% 时，应重做或补做试验。通过圆锥下沉深度与含水率关系图曲线，查得下沉深度 17mm 处对应的含水率为液限，查得圆锥下沉深度为 2mm 处对应的含水率为塑限，准确至 0.1%。

## 2 主要内置函数及修约函数

### 2.1 TREND 函数

TREND 函数<sup>[2]</sup>适用于返回线性回归拟合线的值，即找到已知数组 known\_y's 和 known\_x's 的直线，并返回数组 new\_x's 在直线上对应 y 的值。TREND 函数语法为

“TREND(known\_y's, known\_x's, new\_x's, const)”。

参数解释：known\_y's 表示已知关系  $y=mx+b$  中的 y 值集合；known\_x's 表示已知关系  $y=mx+b$  中可选的 x 值集合；new\_x's 表示需要函数 TREND 返回对应 y 值的新 x 值。const 表示逻辑值，指明是否将常量 b 强制为 0。

### 2.2 LOG10 函数

LOG10 函数用于返回以 10 为底的常用对数。LOG10 函数语法为“LOG10(number)”。

参数解释：number 表示要计算其常用对数的正实数。

### 2.3 数值修约公式设计

按标准要求含水率计算至 0.1%，圆锥下沉深度读数至 0.1mm，所以将修约函数设计保留至 1 位小数。由于篇幅问题不再展开修约规则及函数解释，详见函数公式设计：

“=ROUND(TEXT((计算模型),“0.000000000”),1)-IF(AND(OR(MID(TEXT((计算模型),“0.000000000”),LEN(“00.0”),1)={“0”,“2”,

“4”,“6”,“8”}),MID(TEXT((计算模型),“0.000000000”),

LEN(“00.0”)+1,LEN(“10.000000000”)-LEN(“00.0”))=“50000000”),0.1,0)”。此函数是模拟数学计算器保留十位小数的情况，可增减“0”的数量来调整位数。

## 3 Excel 计算表及内置函数应用

### 3.1 计算表设计

试验所得的三点坐标需在双对数图表中绘制，所以先对各点坐标换算成对数值，再运用 TREND 函数进行线性回归拟合。还可用截距函数 INTERCEPT 与斜率函数 SLOPE 计算 a、b 常数，用线性公式  $Y=a+bX$  计算。本文数据来自上海市浦东新区常见细粒土试验所得，以 TREND 函数计算为例，先对 Excel 计算表内容进行设计，计算表直接以 AB、AC、AD 直线

进行计算，如三线结果合一，证明 A、B、C 三点坐标在同一直线上。工作表 Sheet1 中计算内容见“表 1：界限含水率计算表”。

表 1：界限含水率计算表

	A	B	C	D	E
1	点号	锥下沉深度 h(mm)	含水率 ω (%)	锥下沉深度对数值	含水率对数值
2	“A”点	17.2	33.9	=LOG10()	=LOG10()
3	“B”点	8.9	30.3	=LOG10()	=LOG10()
4	“A”点	17.2	33.9	=LOG10()	=LOG10()
5	“C”点	2.4	23.1	=LOG10()	=LOG10()
6	“A”点	17.2	33.9	=LOG10()	=LOG10()
7	“D”点	2	22.9, =B13	=LOG10()	=LOG10()
8	指定返回对应 Y 值的 X 值→	液限锥下沉深度(mm)	液限锥下沉深度对数值	塑限锥下沉深度(mm)	塑限锥下沉深度对数值
9		17	=LOG10()	2	=LOG10()
10		AB 线塑限	AC 线塑限	AD 线液限	
11	对数值→	=TREND()	=TREND()	=TREND()	
12	真数(%)→	=10 <sup>-()</sup>	=10 <sup>-()</sup>	=10 <sup>-()</sup>	
13	平均值(%)→	=(B12+C12)/2		塑性指数→	=D12-B13
14	判定是否需要补做	=IF(ABS(B12-C12)<2, “符合”, IF(ABS(B12-C12)>=2, “补做”))			

### 3.2 计算表及内置函数应用

由于一条直线是两点的连线，每点坐标有 x、y 两个数据，所以在 B2:C7 区域输入三条直线的十二个数据。在计算表 B2:B6 单元格区域输入各点的圆锥下沉深度，C2:C6 单元格区域输入各点的含水率百分数。“D”点的 B7 单元格输入方法标准要求的塑限对应的深度 2mm，“D”点的 C7 单元格输入 AB 线与 AC 线塑限含水率的平均值或者输入公式“=B13”，在 D2:E7 单元格区域将 B2:C7 单元格的数值应用 LOG10 函数计算对数值，圆锥下沉深度对数值作为作为 TREND 函数语法“TREND(known\_y's, known\_x's, new\_x's, const)”中的 known\_x's 参数，含水率对数值作为 TREND 函数语法中的 known\_y's 参数。将液限含水率对应的圆锥下沉深度 17mm 与塑限含水率对应的圆锥下沉深度 2mm 分别在 C9、E9 单元格中应用 LOG10 函数计算对数值，作为 TREND 函数语法中的 new\_x's 参数，是函数 TREND 返回对应 y 值的新 x 值。

用 TREND 函数分别在 B11、C11 单元格求 AB 线、AC 线的塑限含水率对数值，AB 线塑限对数值是在 B11 单元格编辑数组函数

“=TREND({LOG10(ω<sub>A</sub>);LOG10(ω<sub>B</sub>)},{LOG10(h<sub>A</sub>);LOG10(h<sub>B</sub>)},{LOG10(2)})”或编辑引用区域函数“=TREND(E2:E3,D2:D3,E9)”求得 AB 直线在圆锥下沉深度 2mm 处对应的塑限含水率对数值。AC 线引用区域函数是“=TREND(E4:E5,D4:D5,E9)”。

根据对数公式  $a^x=N(a>0, \text{且 } a \neq 1)$ ，x 是以 a 为底 N 的对

数，记  $x=\log_a(N)$ ，a 是对数的底，N 是真数，分别在 B12、C12 单元格编辑公式“=10^(B11)、=10^(C11)”求出 AB、AC 线的塑限含水率真数，在 B13 单元格求出塑限含水率平均值。AB、AC 两线的塑限含水率对数值是由 TREND 函数线性回归拟合线求得，用该值计算的含水率真数并不是精确至 0.1，依据试验数值修约规则，在计算塑限含水率真数及平均值时需要在相应单元格嵌入数值修约函数公式，例如在 B13 单元格中编辑函数公式

“=ROUND(TEXT((B12+C12)/2,"0.0000000000"),1)-IF(AND(OR(MID(TEXT((B12+C12)/2,"0.0000000000"),LEN("10.0"),1)={"0","2","4","6","8"}),MID(TEXT((B12+C12)/2,"0.0000000000"),LEN("10.0")+1,LEN("10.0000000000")-LEN("10.0"))="500000000"),0.1,0)”计算两直线的塑限含水率平均值，该平均值作为 AD 直线的塑限含水率“D”点。已知“A”、“D”点坐标，在 D11 单元格编辑函数

“=TREND({LOG10(ω<sub>A</sub>);LOG10(ω<sub>B</sub>)},{LOG10(h<sub>A</sub>);LOG10(h<sub>B</sub>)},{LOG10(17)})”（引用区域为 D6:E7）求得 AD 直线 17mm 对应的液限含水率对数值，在 D12 单元格用修约公式计算液限含水率真数。在 E13 单元格用液限及塑限含水率计算塑性指数。在 B14 单元格编辑函数公式“=IF(ABS(B12-C12)<2,“符合”,IF(ABS(B12-C12)>=2,“补做”))”，依据 AB、AC 两线塑限含水率差值判定“符合”或“补做”。

## 4 Excel 制图应用实例

### 4.1 图表区设置

在工作表 Sheet1 中插入图表“XY(散点图)<sup>[3]</sup>”，右击绘图区“选择数据”，在选择数据源对话框中添加空白系列。

对插入图表的 X 轴、Y 轴的坐标轴格式进行设置，在坐标轴选项中设置最小值（固定 1.0）、最大值（固定 100.0）、主次要刻度单位（固定 10.0），勾选对数刻度（基：10），主次要刻度线类型选择“无”，纵横坐标交叉选择“自动”或者输入坐标轴值，线条颜色选择“无线条”，数字选择“常规”，添加主次要网格线，设置主要网格线格式的线条颜色为黑色，次要网格线格式的线条颜色选择“自动”或灰色，线型宽度选 0.75 磅。右击图表区设置图表区域格式，边框颜色选择实线黑色，边框样式宽度选 0.75 磅。绘图区设置在图表区中间，图表上方设置标题为“圆锥下沉深度与含水率关系图曲线”，横坐标轴下方设置标题为“含水率 ω(%)”，纵坐标轴设置旋转过的标题为“圆锥下沉深度 h(mm)”。右击绘图区设置绘图区格式，边框颜色选择实线黑色，边框样式宽度选 1.5 磅。

## 4.2 绘图区设置

当试验结果塑限含水率大于 10% 时，可设置 X 轴最小值为固定值 10。在绘图区选择数据源对话框中为 Y 轴添加系列名称“液、塑限刻度”，X 轴系列值数组表达式为“={10,10}”，Y 轴系列值为“={2,17}”。设置数据标记选项，选择内置类型短横，大小 5。添加数据标签，选择标签包括“Y 值”，标签位置选择“靠左”。在 X 轴 10 至 100 之间添加一个 50 的刻度，添加系列名称为“50”，X 轴系列值为“={50}”，Y 轴系列值为“={1}”，数据标记选项“无”，添加数据标签，选择标签包括“系列名称”，标签位置选择“靠下”。

在选择数据源对话框中添加试验数据关系图，分别添加系列名“AB 线”、“AC 线”、“AD 线”。添加线型以含水率为 X 轴，圆锥下沉深度为 Y 轴。AB 线 X 轴系列值可输入数组表达式，或引用区域为“=Sheet1!\$C\$2:\$C\$3”，Y 轴系列值为“=Sheet1!\$B\$2:\$B\$3”。AC 线 X 轴系列值为“=Sheet1!\$C\$4:\$C\$5”，Y 轴系列值为“=Sheet1!\$B\$4:\$B\$5”。AD 线 X 轴系列值为“=Sheet1!\$C\$6:\$C\$7”，Y 轴系列值为“=Sheet1!\$B\$6:\$B\$7”。AB、AC 线设置数据标记类型为内置圆形大小 3，无线条，AD 线设置数据标记类型为无，无线条。同时 AB、AC、AD 线添加趋势线，回归类型选择为“幂”，AB、AC 线设置趋势线格式线条颜色选择灰色，AB、AC 线趋势预测倒推 5.0，AD 线设置趋势线格式线条颜色选择黑色，AD 线趋势预测倒推 5.0、前推 2.0。

在“选择数据源”中添加关系图的主要数据显示，分别添加系列名“AB 塑限”、“AC 塑限”、“AD 塑限与 X 轴垂直线”、“AD 液限与 X 轴垂直线”。“AB 塑限”X 轴系列值为“=Sheet1!\$B\$12”，Y 轴系列值为“={2}”。“AC 塑限”X 轴系列值为“=Sheet1!\$C\$12”，Y 轴系列值为“={2}”。“AD

塑限与 X 轴垂直线”X 轴系列值为“={h<sub>p</sub>,h<sub>p}</sub>”，Y 轴系列值为“={1,2}”。“AD 液限与 X 轴垂直线”X 轴系列值为“={ω<sub>p</sub>,ω<sub>p}</sub>”，Y 轴系列值为“={1,17}”。添加系列的数据标签，设置标签包括的值及标签的位置。见“图 1：界限含水率双对数图”。

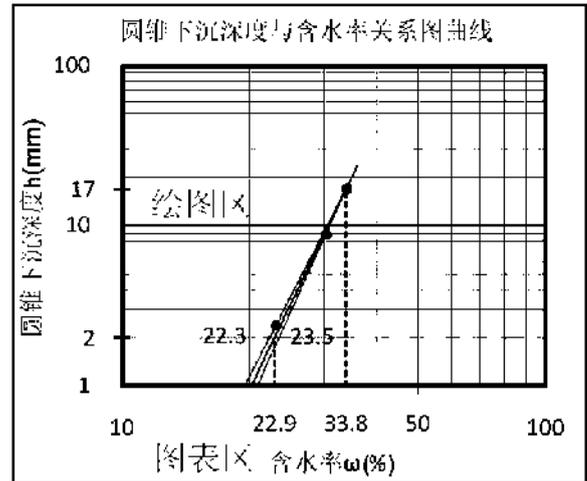


图 1 界限含水率双对数图

## 5 结论

通过实例讲解，介绍了 Excel 计算工作表的设计思路以及双对数关系图曲线的制作步骤，应用 Excel 软件内置函数公式编辑功能对试验数据进行准确的分析，快速地判断试验数据是否符合标准要求，软件中插入图表功能制作的圆锥下沉深度与含水率关系图曲线具有精确、直观、方便及美化等特点。

证明 Excel 软件制作的界限含水率试验双对数曲线图优于手绘图表，有效减少了依图查数造成的人为误差。将计算图表制作成工作模板，可以提高试验工作效率，而且更适用于计算机知识较为薄弱的试验人员。

## 参考文献：

- [1] 中华人民共和国国家标准.土工试验方法标准(GB/T 50123-2019)[S].北京:中国计划出版社,2019:44-46.
- [2] 赵秀绍,莫林利,刘巍,艾成钢.Excel 内部函数求解界限含水率试验解析法研究[J].实验技术与管理,2013(6):13-16.
- [3] 张延林.Microsoft Excel 在水工界限含水率试验中的应用[J].山西建筑,2010(23):367-368.