

# 关于土的液限问题的讨论

张其昌

(中航勘察设计研究院 北京 100086)

**【提要】**本文从锥式仪测量液限的力学原理入手,分析了76g锥式液限仪测量液限的不合理性,并以卡氏碟式仪液限时剪力标准为基础,通过对试验数据的回归分析,提出对瓦氏液限仪的改进意见。

**【Abstract】** This paper discusses the unreasonable properties of the cone penetrometer for liquid limit based on the principle of the mechanics. It forwards an improved method of the test through the regression analysis on the base of the laboratory soil test.

## 0 引言

液限是土力学研究中的一个重要物理量。自1911年瑞典农学家阿德伯提出以液限、塑限及塑性指数表征土的可塑性开始,后经太沙基与卡萨格兰德的改进与研究,这一方法被广泛地应用于土木工程。液限、塑限、塑性指数不仅表征了土的稠度状态,而且反映了土质的差异,尤其是根据这些简单的物理指标可以分析、判断土的物理力学特性,因此,正确测定土的液限具有重要的实际意义。

测定液限的经典方法为摇碟法,其物理意义明确,但由于仪器制造和操作要求十分严格,对某些土例如砂性土,因震动作用会出现“液化”现象等问题,所以各国趋向于用锥式仪来测定液限,从力学角度来讲,测定土的液限是以土的液限剪力标准为基础的。卡萨格兰德用胶木基座碟式仪通过大量试验研究得到液限时土的剪力标准为2.6kPa,这是国际上相对普遍认可的标准。但各国在具体标准的数据选取上却又存在一定的差异,从而导致锥式液限仪在锥的重

长期动态观测,预先查找热应力最大的部位,并综合评价各种参数,从而才能有效地调控地下热场中热量的增量、防止热应力的产生,控制不良地质现象的产生与发展。

## 6 结语

本文根据E. A. Яховлев提供的有关观测资料对工艺成因地下热场进行了初步探索。

(1) 确定了工艺成因地下热场水热转移各参数与地下水流场的渗透系数之间的相似性;

(2) 阐明了“核电站地质环境”系统地下热场的分区结构及展布规律;

(3) 提出了“核电站地质环境”中工艺成因地下热场水温增值的计算方法,从而

可以初步预测核电站对地质环境热均衡影响的主要趋向;

(4) 指出在核电站工业场地中位于温度不均匀的地段有可能形成热应力,从而发生地下热机械过程,造成环境生态影响。

我国核电事业正在发展,由于已建成的核电站,刚投入运行,尚不可能取得长期观测资料。笔者真诚盼望提出的课题能得到有关部门领导及地质科技人员的重视。为了核电事业安全发展,为了保护地质环境,从而保护人类赖以生存的生态环境,应力争在核电站运行初期即开展对工艺成因地下热场的长期观测工作,及时开展科研及实验工作,以便预测地下热场的动态发展及由此而引发的侵蚀过程,从而有效地控制其发展。

量、形状及入土深度等方面也存在不同程度的差别。

目前,我国普遍采用76g瓦氏锥式液限仪入土10mm来测定土的液限,大量试验结果表明,这种方法测得的液限与卡氏方法测得的液限相比有很大的差别。事实上,每种土应该只有一个真实的液限,那么,锥式液限仪究竟存在什么问题呢?

## 1 锥式液限仪的测量原理及瓦氏液限仪的不合理性

### 2.1 锥式液限仪的力学原理

根据苏联列别捷夫的多次试验研究证明:当粘滞塑性体具有一定的液性指数时,不论作用力大小,其剪应力不变。如图1所示,若有 $P$ 表示圆锥重量, $\alpha$ 表示圆锥角, $h$ 表示圆锥入土深度, $F$ 表示锥体与土的接触面积,则沿接触面积上的剪应力 $\tau$ 应为<sup>[1]</sup>:

$$\tau = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{F} \quad (1)$$

而接触面上所能达到的极限剪应力为:

$$\tau_{\max} = \frac{P \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\pi h^2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (2)$$

由式(2),则列别捷夫的结论又可叙述为:

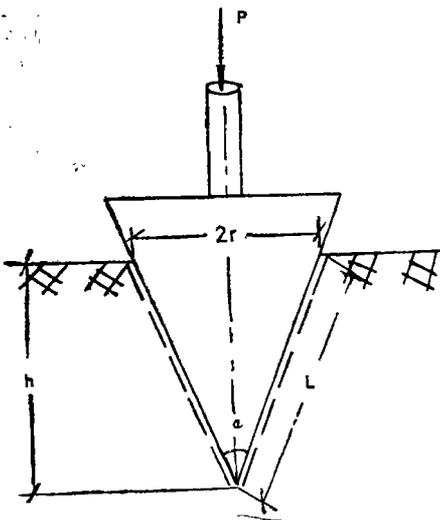


图1 圆锥仪入土示意图

当土的液性指数一定时,锥体重量的比值与锥自由沉入土中深度的比值的平方成正比。这就是锥式液限测定液限的力学原理。根据这一原理,只要选定一定的剪力强度标准,即可用一定重量的锥体下沉某一深度来测量土的液限。

### 2.2 瓦氏液限仪的不合理性

瓦氏采用锥角 $30^\circ$ ,重76g的锥入土10mm来测定土的液限。将 $P=76\text{g}$ , $h=10\text{mm}$ , $\alpha=30^\circ$ 代入式(2),得到瓦氏液限仪所采用的剪力标准为 $\tau=8.4\text{kPa}$ 。显然这一标准比卡氏碟式仪所确定的剪力标准 $\tau=2.6\text{kPa}$ 高出许多。从瓦氏锥本身来讲,影响其剪力标准的因素无非有三方面:锥的重量、入土深度和圆锥角度。由于圆锥重量不宜过重,否则锥重会对土体产生过度压密,使土体产生凸起、沉陷等现象,同时锥重也不可过轻,否则入土深度过小,精度不够;同样,圆锥角角度也不宜过大或过小。由此可见,改变瓦氏液限仪剪力标准只能从入土深度着手。

将卡氏剪力标准 $\tau=2.6\text{kPa}$ , $P=76\text{g}$ 代入式(2),换算后得到相应的入土深度 $h$ 约为18mm。由此可见,瓦氏液限仪本身的不合理性只在于规定的圆锥入土深度过于偏小,只要相应地调整锥体的入土深度,瓦氏液限仪即可达到与卡式碟式仪等效的剪力标准。

《公路土工试验规程》(JTJ051-93)等规定使用重100g,圆锥角 $30^\circ$ 的圆锥入土20mm来测定土的液限。实际上,根据式(2),不同锥重 $P_1$ 、 $P_2$ 所对应的入土深度可用下式换算:

$$h_2 = h_1 \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \quad (3)$$

将 $P_1=100\text{g}$ 、 $h_1=20\text{mm}$ 、 $P_2=76\text{g}$ 代入式(3)得到76g锥与100g锥等效剪力标准时的入土深度为 $h_2=17.44\text{mm}$ 。这一结果,再一次说明瓦氏液限仪的不合理性之所在。

## 2 瓦氏液限仪不同入土深度时所测得结果之间的内在联系

根据上述分析可知,瓦氏液限仪测定液限入土深度不同时,所测得试验结果间相差较大,但不论锥体重量如何变化,只要适当确定入土深度,即可达到与碟式液限仪等效的剪力标准。笔者选取57个样本土样,利用76g锥式液限仪分别进行入土10mm和入土17mm试验,测得的液限分别为 $\overline{\omega}_L$ 和 $\omega_L$ 。以 $\overline{\omega}_L$ 为横坐标,以 $\omega_L$ 为纵坐标,将各对

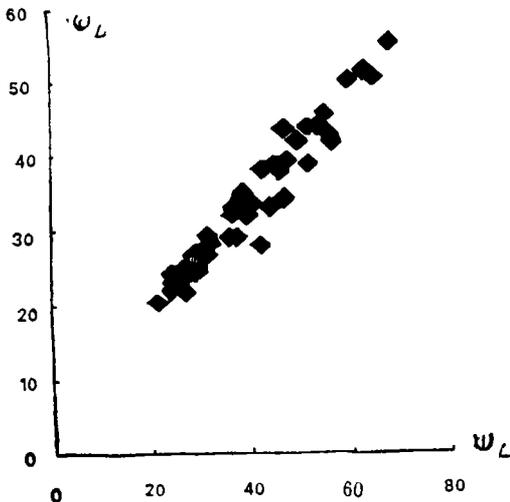


图2  $\overline{\omega}_L$ 与 $\omega_L$ 散点图

$\overline{\omega}_L$ 为76g锥入土17mm所测得液限

$\omega_L$ 为76g锥入土10mm所测得液限

数据点在直角坐标系中描出,得到图2所示散点图。显然, $\omega_L$ 与 $\overline{\omega}_L$ 之间大致存在线性关系,利用最小二乘法得到二者之间的回归关系式为:

$$\omega_L = 4.96 + 0.706\overline{\omega}_L \quad (4)$$

其相关系数为: $r = 0.973$ ,可以认为,回归分析的效果是显著的<sup>[3]</sup>。

## 3 结论

通过上述分析,可得到下述结论:

①76g瓦氏液限仪存在明显的不合理性,即其规定的入土深度明显偏小,从而导致其测得的土的液限与真实值间存在较大误差;

②不同重量的锥式液限仪,只要适当确定其入土深度,均可达到与碟式液限仪等效的剪力标准。76g锥式液限仪入土18mm时所测得的液限与碟式液限仪结果等效;

③76g瓦氏液限仪入土10mm所测得结果与入土18mm所测得结果间近似成线性关系。

## 参 考 文 献

- 1 公路土工试验规程, JTJ051-93
- 2 应用概率统计, (上册). 高等教育出版社, 1989, 10

(上接第60页)

一些有关数据为例,来进一步说明该算法的可行性。

表1中两指标的图解法结果引自本院1995年6月提出的《铜川市第二中学图书实验楼工程地质勘察报告》,试验数据蒙本院土工试验室提供。

## 6 总结及问题的引伸

拉格朗日插值法求解湿陷起始压力和自重湿陷系数只是将离散的实验数据抽象一个近似的数学模型并通过计算机计算其中一点的一个例子。数值逼近法对一些离散点抽象构造一个有效函数非常有用,诸如压缩曲

线、级配曲线等都可以用具有相应特征的函数进行构造、拟合,来精确、有效地求出我们所需要的参数值。

愿与各位同仁深入探讨计算数学方法在岩土工程中的更多应用。

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国国家标准. 土工试验方法标准 (GBJ123-88). 中国建筑工业出版社, 1988
- 2 李岳生、黄友谦. 数值逼近. 人民教育出版社, 1978
- 3 胡祖焯、林源渠. 数值分近. 高教教育出版社, 1986
- 4 刘启海. 数值代数. 西北大学出版社, 1989