

关于起始冻胀含水量的讨论

陈金桩

(水利电力部松辽水利委员会科学研究所)

一、关于起始冻胀含水量的定义

对于决定土冻胀初始条件的临界含水量国内外许多研究者都有过论述。苏联学者B·O·奥尔洛夫等在《土的冻胀及其对建筑物的影响》一书中对此作过详细介绍。认为决定冻胀临界含水量 W_{kp} 值的结合水数量 q_c 对某一土类应该是一个常数,它决定于单位体积里矿物颗粒(或它的团粒)的数目:

$$W_{kp} = q_c (\gamma_{kp}).$$

奥尔洛夫还利用所谓“比较水层厚度法”给出了 W_{kp} 的计算公式:

$$W_{kp} = \frac{1}{2\gamma_y} \left(\sqrt{1 + 3\gamma_y W_{\tau}(1 + \gamma_y W_{\tau}) \exp(-2.8W_{\pi})} - 1 \right),$$

式中: W_{kp} ——冻胀临界含水量(%);

γ_y ——土的比重;

W_{τ} ——流限(%);

W_{π} ——塑性指数(%).

奥尔洛夫指出, W_{kp} 为一与土的比表面积有关的常数,但是没有给出一个确切定义来说明它的存在条件。我们认为只给出一个与土的比表面积有关的水分液相迁移条件作为冻胀条件是不充分的,单用水膜厚度作为水分液相迁移的条件也是不充分的。吴紫汪等通过实验建立的起始冻胀含水量的表达式为:

$$W_{kp} = 0.84W_p,$$

式中: W_{kp} ——起始冻胀含水量(%);

W_p ——塑限含水量(%).

他们对冻结温度以外的各影响因素,没有具体说明。我们认为,应该对起始冻胀含水量给出一个确切定义和与其相应的确定方法。某一冻胀性土体,在封闭体系条件下冻结时,其总冻胀量或平均冻胀强度与土的密度、构造、含水量、上部荷重以及土体冻结时的温度条件等因素有关。这些因素都存在着一个利于冻胀的最佳值并假定维持不变,则冻胀量仅受含水量的控制,当含水量增大至某值时,其冻胀量最大;当含水量减小至某一临界值时,因水分迁移停止,不再产生冻胀量。我们把此临界值定义为“起始冻胀含水量”。由此可见起始冻胀含水量是一与土的级配、矿物成分等有关的特征指标。

用计算公式所得到的 W_{kp} 的准确性和实用性,应看其计算值与按最利于冻胀的组

合的试验确定的 W_{kp} 值的吻合程度。用奥尔洛夫等的公式计算得的 W_{kp} 值和他们的实验值都略高于 W_p 。吴紫汪等的实验值 W_{kp} ，都略低于 W_p 值。我们在冻胀因素的不同组合下的试验得到的使冻胀量为零的含水量值，则是互不相等的（表1），但在冻胀因素较接近最佳值的组合下所得到的临界含水量值，都等于塑限 W_p 。因此，作者认为用奥尔洛夫等的公式确定的 W_{kp} 值有些偏高。由于我们做的试验很有限，所以难于得出较准确的结论。

表1 两种代表性土的起始冻胀含水量试验结果

Table 1 Test results of critical water content of two types of representative soil

| 土 名 | 塑 限 (%) | 流 限 (%) | 干容重 (g/cm ³) | 试样表面覆盖情况 | 冻结温度 (°C) | 起始冻胀含水量 (%) |
|--------|------------|------------|-----------------------------|------------------|--------------|----------------|
| 向阳粉质粘土 | 18.6 | 34.0 | 1.50 | 3 mm厚铁板 | - 8 — + 10 | 18.2 |
| | | | 1.55 | 0.3mm厚麻口铁板 | - 8 — + 10 | 19.2 |
| | | | 1.60 | 粘贴打字蜡纸 | - 8 — + 10 | 18.5 |
| | | | | 盖钻孔有玻璃板,板下粘贴誊写蜡纸 | - 5 — - 7 | 18.6 |
| | | | | | - 5 — - 7 | 17.2 |
| | | | | 盖钻孔有机玻璃板 | - 5 — - 7 | 17.6 |
| 新立城重壤土 | 16.0 | 27.0 | 1.60 | 未加覆盖 | - 8 — - 10 | 15.7 |
| | | | 1.65 | | - 8 — - 10 | 16.2 |
| | | | 1.60 | 粘贴打字蜡纸 | - 5 — - 7 | 13.0 |
| | | | 1.60 | 盖钻孔有机玻璃板 | - 5 — - 7 | 12.6 |

在实际工程中，可以根据基土的起始冻胀含水量和实际含水量来估计基土的冻胀性。奥尔洛夫等在上述著作中，曾采用冻胀性综合指标 R 进行土的冻胀性分类。其表达式为：

$$R = 0.15(W - 10) + \frac{(W - W_{kp})^2}{W_p \sqrt{t_0}}$$

式中： W ——土含水量（%）；
 W_p ——土塑限含水量（%）；
 W_{kp} ——起始冻胀含水量（%）；
 t_0 ——冬季气温（°C）。

二、关于起始冻胀含水量确定方法

起始冻胀含水量，一般应通过室内试验确定。

当试样密度、上部荷重及冻结温度等均固定不变时，土体的冻胀量 Δh 将仅是含水量 W 的单值函数：

$$\Delta h = \phi(W)$$

由此可见，必须通过多个不同含水量的试样（控制其他条件不变）进行试验，才能寻出当冻胀量 $\Delta h = 0$ 时的试件含水量数值，此即该土的起始冻胀含水量值。显然，从理论上讲，这是一个确定的唯一值。但从实际出发，考虑到试验条件都只能控制在一定精度范围内，因此，宜将使冻胀量等于零和接近于零的一个含水量区间数值定为该土的起始冻胀含水量。

在拟定起始冻胀含水量试验的实验条件时，必需使含水量以外的有关各因素（土样密度上部荷载和冻结温度）固定不变，并尽可能控制在最有利于发育冻胀的条件下进行试验，为此对试验条件规定一个统一标准。

根据定义，起始冻胀含水量试验的试样，应是一个有特定意义的独立体系，是一个人为冻胀因素的组合物，为此应采取相应的措施，如选择合适的试样尺寸，选用合适的试样容器并进行边壁处理；切断外界水分补给来源，同时不使水分损失；使试样表面荷重尽可能小；造成利于冻胀的温度条件等等。

表1和图1分别给出了向阳水库粉质粘土和新立城水库重壤土的物理指标及其起始冻胀含水量 W_{kp} 的试验结果，从表图可见，粉质粘土 $W_{kp} = 16.5 - 17.5\%$ ，重壤土 $W_{kp} = 12 - 13\%$ ，试验装置示于图2。有关试验方法、步骤等问题简介如下。

试验尺寸 在确定试样尺寸时，既要考虑在冻胀过程中能够测到一定大的总冻胀量以保证试验精度，同时还应考虑不增加试验工作量。试验尺寸太大时，会增加试验工作量并使冻胀过程复杂化。而土体的高度大小时，其总冻胀量也小，量测的相对误差也会加大。

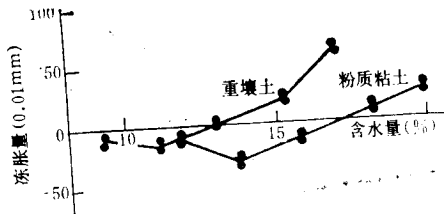


图1 不同土壤的冻胀量与含水量曲线

Fig.1 Frost heave vs water content in various soils A-silt-clay B-clayey loam

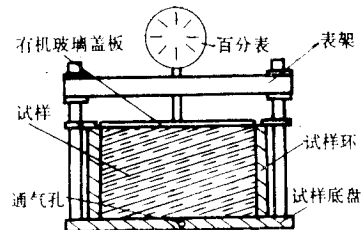


图2 起始冻胀含水量试验装置

Fig.2 Test apparatus for critical water content

试样含水量范围 应事先确定其取值范围，这对减少试验工作量，取得较好的试验曲线都十分必要。前述可知，以 W_p 附近的含水量配制若干不同含水量的试样，一般

可满足试验要求。

试样密度 宜采用该种土的“利于冻胀的最佳密度值”进行，并建议用奥尔洛夫的如下经验公式计算：

$$\gamma_{\text{CK}}^r = (0.8-0.9)\gamma_{\text{OЛT}}.$$

式中： $\gamma_{\text{OЛT}}$ ——标准压实时最大密度。

试样表面覆盖 在理想情况下，试样的上部荷重应等于零，但在实际试验中，为保持各试样含水总量固定不变，试样表面需加覆盖，覆盖材料要求导热性好，重量轻。

试验温度条件 试验温度条件，包括单向冻结条件，试样初始温度、试样冻结温度。我们采用的冻结温度 -7 — -9 °C；试样及保温材料在 10 °C 的温度下稳定 12 小时后进行试验；采取了较好的单向冻结措施。

其他 容器边壁的约束作用对试验结果有明显影响，通过在容器内壁用凡士林粘贴一层塑料薄膜的方法加以消除。在试验中还发现，试样容器底部有无通气孔时冻胀量是不相同的。当容器底部无通气孔时，冻胀量一般偏小，这可能是由于试样底部产生一个负气压所致。因此要在试样容器底部开一个通气孔。风对冻结速度的影响较为显著，因此在试验时规定不对试样进行直接吹风。考虑土的过冷因素，所以试验应延续到试样底部温度低于 0 °C，冻胀量不再发展为止。

A Discussion on Critical Water Content of Frost Heave

Chen Jinzhuang

(*Institute of Water Conservancy Committee of Songliao River,
Water Conservancy and Power Ministry*)

Abstract

The author reviewed some information about critical water content of frost heave, and designed test apparatus. Experimental results show that the critical water content of frost heave depends on type structure density, overburden pressure and freezing point of soils.