

土的三相图的应用

贾 良 王庆国

(陕西铁路工程职业技术学院 陕西渭南 714000)

摘要：在土的物理性质指标、物理状态指标的学习中，学生面临的最大困难是换算公式多，理解困难，为提高教学质量和教学效率，本文着重简述如何利用三相图直接写出土的物理性质指标的换算公式，并说明各指标的物理意义及有关性质。

关键词：三相图 物理性质指标

中图分类号 :P642.1

文献标识码 :A

文章编号 :1673-1816(2008)04-0034-04

1 概述

土的物理性质指标，用以反映土的各相组分体积之间、重量（或质量）之间以及重量和体积之间相互比例或数量关系。它直接反映的是土的松密程度、干湿程度、轻重程度，也可以间接表示土的物理状态如粗粒土的松密程度，粘性土的软硬程度，直接影响土的力学特性。其中共涉及到九个物理量，可分为两类，一类是必须通过试验测定的，如含水率 w 、土的密度 ρ 和土粒比重 G_s ，称为直接指标；另一类是根据直接指标换算的，如孔隙比 e 、孔隙率 n 、饱和度 S_r 、饱和密度 ρ_{sat} 、浮密度 ρ' 、干密度 ρ_d ，称为间接指标。正因为土的物理性质指标反映土中三相物质的相对含量的比例关系，如若现已知或直接测定了土的一个或若干个指标，便可通过三相物质之间的关系，求出其它的指标。

2 三相草图的变化

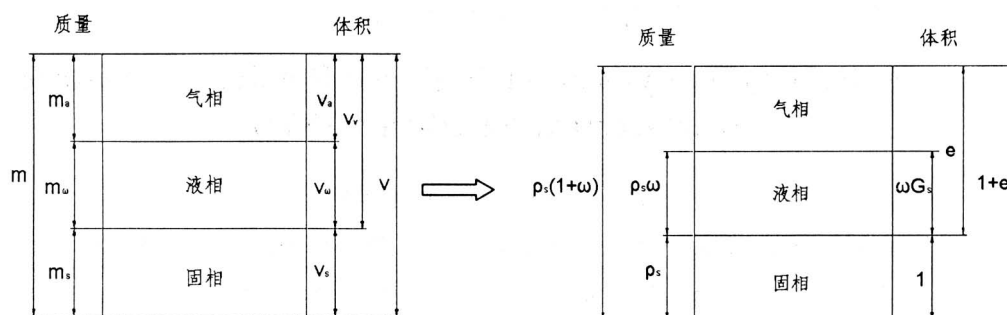


图1 三相简化图

由于土的物理性质指标是比例关系，所以在指标计算以及公式推导中可假设任一参数为1，在实际中常可假设土颗粒质量为1 ($m_s=1$) 或土颗粒体积为1 ($V_s=1$)，将三相草图加以变化（变化后

收稿日期：2008-08-25

作者简介：贾良（1982-），男，汉，山西朔州人，学士，研究方向岩土。

称之为三相简化图)进而可结合三相简化图由概念可直接写出换算公式。如图1所示。

3 导出指标的换算

根据上述方法,现假设所研究土体土颗粒的体积 $V_s=1$,三个基本指标可通过实验测得,这就相当于已知了土的密度,土的含水率,土粒比重 G_s ,土颗粒的体积 $V_s=1$ 。

导出指标的推导:

(1) 孔隙比 e

概念:土中孔隙的体积与土粒的体积之比,即: $e = \frac{V_v}{V_s}$

由图1可见: $r(1+e) = r_s + r_s w$, 其中 r_s , w , r 为直接指标,可推导出 $e = \frac{r_s(1+w)}{r} - 1$ 。

(2) 孔隙率 n

概念:土中孔隙的体积与土的总体积之比,由三相计算草图很容易得到换算公式 $n = \frac{e}{1+e}$ 。

孔隙比 e , 孔隙率 n 是表示土中孔隙含量的指标可表示同一种土的松密。孔隙比和孔隙度同是说明土中孔隙体积的相对数量。孔隙比 e 和孔隙度 n 值越大,说明土中孔隙越多,土越疏松;反之,土越密实,在工程计算中,常用孔隙比表示土的密实程度,孔隙比还广泛用于渗透变形和地基变形计算,在土的物理性质指标的计算中是核心,其它所有导出指标的换算公式都与孔隙比有关系。

(3) 饱和度 S_r

概念:土中孔隙水的体积与孔隙体积之比,由三相计算草图得换算公式 $S_r = \frac{wG_s}{e}$ 。

饱和度反映土的饱水程度,亦即土中孔隙充水的程度。可以反映土的潮湿程度。土处于干燥状态时, $S_r=0$;土处于饱和状态时 $S_r=100\%$ 。

(4) 干密度 r_d

概念:单位体积土中土粒的质量,由三相计算草图得换算公式 $r_d = \frac{r_s}{1+e}$ 。

对同一种土而言,干密度越大,说明土中孔隙越少,土越密实。

(5) 饱和密度 r_{sat}

概念:土中孔隙完全被水充满土处于饱和状态时单位体积土的质量。由三相计算草图得换算公式 $r_{sat} = \frac{r_s + e r_w}{1+e}$ 。

(6) 浮密度 r'

概念:在水下的透水土体,受到浮力作用时单位体积的质量即土的浮密度是单位体积内的土粒质量与同体积水质量之差。

由三相计算草图得换算公式 $r' = \frac{r_s - r_w}{1+e}$ 。

与密度相关的指标就是重度,各个重度都是在原公式的基础上乘以重力加速度 g 。所涉及到的重度指标一共有五个,根据概念结合三相图不难得出他们之间的关系:

$$g_s > g_{sat} > g > g_d > g'$$

4 物理性质指标与物理状态指标的联系

在由三相图得出的土的物理性质指标中,有两个重要指标可说明土的物理状态,即孔隙比 e 和含水率 w 。

(1) 砂土的密实度的判定

孔隙比越小,表示砂土愈密实。但值得注意的是,如均匀的密砂孔隙比较大,而不均匀的松散砂土压密后,由于小颗粒填到大颗粒孔隙中,孔隙比 e 反而小。这就是说砂土的密实程度不仅与它的孔隙比的大小有关,而且更重要的是与其颗粒级配、形状、结构类型以及不均匀系数关系密切。两种天然孔隙比完全相同的砂土,可能具有完全不同的密实度。这样完全采用孔隙比来划分砂土的密实程度是不确切的,孔隙比只能衡量同种土的密实程度。因此,在工程上可以将天然状态的孔隙比 e 与最松状态的孔隙比 e_{\max} 和最密状态的孔隙比 e_{\min} 对比,这样可以更好地反映砂土的密实度,通常用砂土的相对密度 D_r 来表示。

相对密度是砂土密实程度的指标,它对建筑物和地基的稳定性,特别是在抗震稳定性方面具有重要的意义。密实的砂,具有较高的抗剪强度及低的压缩性,在震动情况下液化的可能性小。松散的砂,稳定性差,压缩性大,对饱和的砂土,在震动的情况下,容易产生流砂或液化。

(2) 粘性土软硬程度的判定。对于同一种粘性土,当其含水率小于某一限度时,粘结水膜很薄,土颗粒靠得很近,因而土粒间粘结力很强,这时土就是坚硬的固态或半固态,强度很大。随着含水率的增加,水膜加厚,土粒间距离加大,薄膜水会变形,于是土就成为“可塑”状态(指土在外力作用下可以塑成任何形状而不产生裂缝,当外力取消后还能保持所得形状的状态)。如果含水率继续增加,超过结合水量而出现非结合水(毛细水或重力水)时,土粒距离超过了土粒相互作用的范围,就失去联结能力而易移动,土开始呈流态,这时土不再具有塑性而能够流动,力学强度急剧下降。以上说明,随着土中含水量的增加,土的状态发生变化。依次呈现出固态——半固态——可塑态——流塑态(如图 2)。因此,从塑性着眼,有两个标志土的状态发生变化的含水率,即土工试验中测得的塑限 w_p 和液限 w_l 。

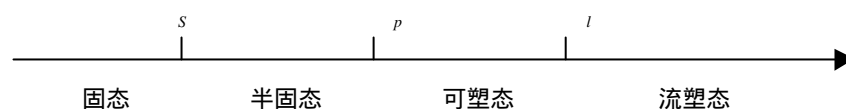


图 2 土的状态变化图

工程中,用液性指数 I_L 来表示粘性土软硬程度,表达式为 $I_L = \frac{w - w_p}{w_l - w_p}$,在《铁路桥涵地基和

基础设计规范》中规定 $I_L < 0$ 粘性土为半干硬, $0 < I_L < 1$ 粘性土为可塑, $I_L \geq 1$ 粘性土为流塑。由图 2 不难看出当 $I_L \geq 1$ 时,即 $w \geq w_l$,土体为流塑态;当 $I_L < 0$ 时,即 $w < w_p$,土体为固态(固态与半固态可都看为固态);当 $0 < I_L < 1$ 时,即 $w_p < w < w_l$,土体为可塑态。

5 结论

(1) 在上述公式推导中,每个换算公式都与孔隙比 e 有关系,所以在土的物理性质指标的计算中,求孔隙比是核心,在九个物理性质指标中,其中孔隙比 e 和孔隙率 n 是表示土中孔隙含量的指

标,可反映同一种土的松密。含水率、饱和度 S_r 表示土中含水程度的指标,其余的都是表示土体密度和重度的指标。

(2)在学习过程中要从物理意义上理解各指标间的关系,不需要死记硬背公式,必要时可利用三相计算草图推导,但是要把握两个要点:一是牢牢把握各指标的概念,二是要用好土的三相草图,它是解决土的物理性质指标计算的一种简单而实用的方法。

(3)相对密实度是砂土密实程度的指标,液性指数是粘性土软硬程度的指标,可结合图示进一步加深理解。

(责任编辑 田明山)

参考文献:

- [1]铁道部.铁路桥涵地基和基础设计规范 TB10002.5-2005J464-2005[S].北京:中国铁道出版社,2005
[2]刘成宇.土力学(第二版)[M].北京:中国铁道出版社,2000

Application of the three-phase Diagram of Soil

Jia Liang Wang Qingguo

(Shaanxi Railway Institute Weinan Shaanxi 714000 China)

Abstract: In the learning of the soil physical property and physical state index, the greatest difficulty that students face is the conversion formula and understanding. In order to improve the teaching quality and efficiency, this paper focuses on how to write out the conversion formula of the physical property directly by using the three triphasic figure, and explain the physical meaning and related properties of each index.

Key words: three-phase diagram physical property