

# 含砂低液限粉土的击实试验与研究

刘肇生

(北京建筑工程学院)

**[摘要]** 根据对粉质路基土在六种不同击实功作用下所得击实试验数据的分析,论述了“经济击实功”的存在,并对指导路基压实有现实意义。通过计算,分析击实功的提高引起土体有关物理指标的变化规律,强调饱和度在击实及压实中的重要意义。

**关键词** 最大干密度 最佳含水量 经济击实功 饱和度

## 1 前言

在公路工程中,为使路基具有足够的强度与稳定性,必须以压实来提高其密实程度。土是三相体,土粒为骨架,土粒之间的空隙为水和空气所占据。压实的目的在于使土粒重新排列、减小空隙,提高土的单位质量,形成密实的整体。土的干密度 $\rho_d$ 是衡量路基土密实程度的重要指标,干密度提高,路基土强度及水稳性会得到综合提高。

在河南省延津——丰庄公路(简称“延丰公路”)路基路面综合治理的科研工作中,为分析影响路基压实效果的诸因素,寻找经济合理的压实功,并明确压实施工中一系列控制环节,我们取延丰公路的路基土进行了室内击实试验。

根据土的粒度成分及液限等指标的测试结果,延丰公路路基土为细粒土,即公路土工试验规程(JTJ051-93)中的含砂低液限粉土。

## 2 试验及结果

为比较该土在不同击实功作用下各种性能的变化规律,并寻找技术和经济上均合理的击实功及相应指标,我们使用轻型标准击实仪和重型标准击实仪对该土样在六种不同击实功下分别进行击实试验,结果如表1及图1、图2。

由表1可以看到,对同样的路基土(含水量

表1 试验方法及结果

编号	锤底直径 (cm)		落高 (cm)	试筒尺寸			层数	每层击数	击实功 (kJ·m <sup>2</sup> )	最大干密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最佳含水量 (%)
				内径 (cm)	高度 (cm)	容积 (cm <sup>3</sup> )					
轻1	2.5	5	30	10	12.7	997	3	25	564.2	1.73	15.4
轻2	2.5	5	30	10	12.7	997	3	40	902.7	1.77	15.0
轻3	2.5	5	30	10	12.7	997	3	55	1241.2	1.79	13.7
重1	4.5	5	45	10	12.7	997	3	25	2538.9	1.89	12.8
重2	4.5	5	45	10	12.7	997	3	40	4062.2	1.91	12.1
重3	4.5	5	45	10	12.7	997	3	55	5585.5	1.92	12.0

在一定限度内)施加不同的击实功 $W$ , $W$ 值越大土的最大干密度 $\rho_{dmax}$ 越大。从理论上讲,这一过程可以进行到土中空隙全部被水充满,即饱和度 $S_r$ (土的空隙中水的体积与空隙总体积之比)达到100%。但对于实际施工而言,这样做既不经济也不必要,而且事实上难以达到。从图1和图2中的击实曲线与饱和度曲线的关系可以看到: $W$ 增加,只能使击实曲线在含水量 $\omega$ 大于最佳含水量 $\omega_{op}$ 以后的右半段趋近饱和曲线。

图中的 $S_r=100\%$ 曲线,是将空气体积 $V_a=0$ 代入式
$$I_d = \frac{(1 - V_a/V)}{(1/G_s + \omega)}$$
中求得的 $\rho_d$ 与 $\omega$ 的函数关系曲线,表现为一次双曲线的一部分

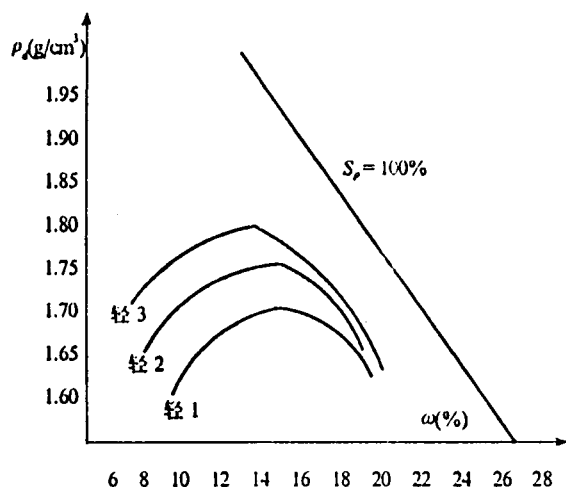


图1 轻型击实曲线

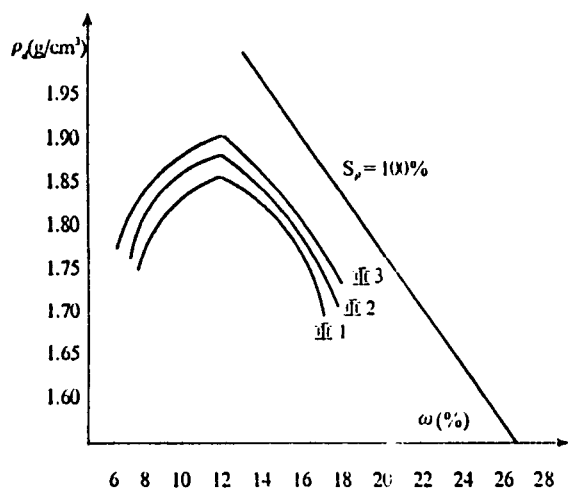


图2 重型击实曲线

式中  $V$  为土样总体积,  $G_s$  为土颗粒密度,  $\omega$  为含水量。

### 3 分析与研究

#### (1) “经济击实功”的存在

将试验中不同的击实功  $W(\text{kJ/m}^3)$  与相应的最大干密度  $\rho_{d\max}$  在  $W-\rho_{d\max}$  坐标中联成曲线如图3, 可以看到所得曲线在  $W > 2500$  以后变得比较平缓, 尤其在  $W > 4000$  以后, 近似与横坐标轴  $W$  相平行。这说明  $\rho_{d\max}$  随着  $W$  的增加而增加, 但增长的速率或者说二者的关系呈非线性关系, 当达到一定值后,  $\rho_{d\max}$  的增长非常缓慢。由于试验中的击实功与施工时的压实功具有对应关系, 应当说图3中曲线的变化显示出

“经济击实功”或“经济压实功”的存在, 因而选择适宜的击实功作用下得到的最大干密度和最佳含水量用以指导和控制施工, 是涉及经济效益的大问题。我们确定以试验中击实功  $W = 2538.9 \text{ kJ/m}^3$  时得到的最大干密度  $\rho_{d\max} = 1.89 \text{ g/cm}^3$  和相应最佳含水量  $\omega_{op} = 12.8\%$ , 结合适宜的压实度作为施工的控制参量, 在延丰公路施工中实现了压实施工的优质、省工和快速, 保证了路基、路面的强度和稳定性。

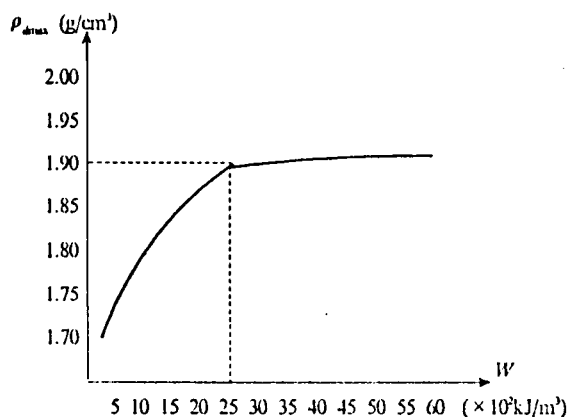


图3  $W$  与  $\rho_{d\max}$  关系曲线

#### (2) 击实功与几个相关指标的关系

在相同击实功作用下土的含水量与干密度的关系 (在最佳含水量时可得最大干密度) 早已为前人无数试验与工程实践所证实。为进一步探讨击实机理, 现将本试验中不同击实功所得  $\rho_{d\max}$  与  $\omega_{op}$  分别代入下式:

$$\rho = \rho_d(1 + \omega)$$

$$e = \frac{G_s \rho_\omega(1 + \omega)}{\rho} - 1$$

$$S_r = \frac{\omega G_s}{e} \times 100\%$$

式中:

$e$  —— 孔隙比;

$\rho$  —— 湿密度;

$\rho_\omega$  —— 在  $4^\circ\text{C}$  时水的密度。

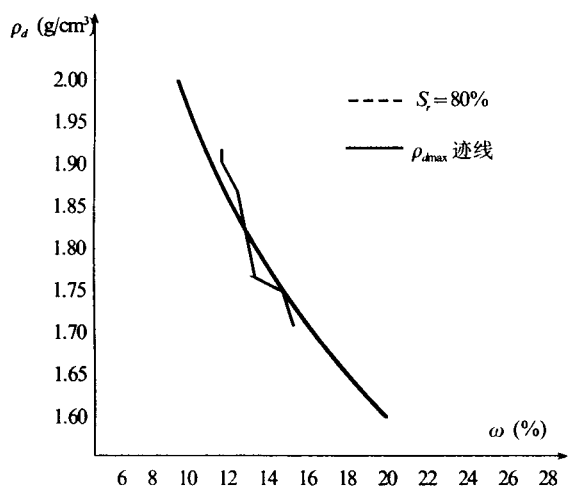
计算得到不同的湿密度  $\rho$ 、孔隙比  $e$ 、饱和度  $S_r$  如表2。

从表2可以看出: 随着击实功  $W$  的增加, 实测  $\rho_{d\max}$  递增, 相应  $\omega_{op}$  递减; 相应计算指标  $\rho$  递

表 2

试 验 结 果			计 算 结 果		
$E$ (kJ/m <sup>3</sup> )	$\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega_{wp}$ (%)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e$	$S_r$ (%)
564.2	1.73	15.4	2.00	0.53	77.3
902.7	1.77	15.0	2.04	0.50	79.8
1241.2	1.79	13.7	2.04	0.48	75.9
2538.9	1.89	12.8	2.13	0.41	83.0
4062.2	1.91	12.1	2.14	0.39	82.5
5585.5	1.92	12.0	2.15	0.39	81.8

增、 $e$  递减,唯有  $S_r$  呈现有规律的曲线变化,且恰好在  $W$  达到“经济击实功”时取得饱和度的最大值:  $S_{rmax}=83.0\%$ ; 而且  $S_r$  的变化幅度很小,平均值为  $80.05\%$ 。将  $W$  不同时所得  $\rho_{dmax}$  的迹线与  $S_r=80\%$  曲线(一次双曲线的一部分)同绘于  $\omega-\rho_d$  坐标如图 4,可见两条曲线十分接近。

图 4  $S_r=80\%$  曲线与  $\rho_{dmax}$  迹线

### (3) 对击实机理的思考

击实(压实)对土的作用在于减少土粒间空隙的体积,提高土的密实度,击实会使土的一系列物理指标发生变化,其中对土的强度与稳定性最具直接意义的物理指标是干密度  $\rho_d$ 。而从孔隙比  $e$  和饱和度  $S_r$  两物理指标的定义式  $e=V_v/V_s$  ( $V_v$ ——孔隙体积;  $V_s$ ——土粒体积) 和  $S_r=V_w/V_v$  ( $V_w$ ——土中水的体积) 可知,二者均与孔隙体积  $V_v$  有关,故它也可以反

映击实效果。

现对表 2 中的数值进行数理统计分析,若用标准差  $S$  与算术平均值  $\bar{x}$  的比值——变异系数  $C_v$  ( $C_v=S/\bar{x} \times 100\%$ ) 的大小比较  $e$  和  $S_r$  的变化幅度,  $e$  为  $13.6\%$ ,  $S_r$  仅为  $3.6\%$ , 后者远小于前者,即随着击实功  $W$  的增加,  $e$  递减,  $S_r$  却基本徘徊在  $80\%$  左右。这个事实说明,对于该粉质土来说,增加击实功,只要含水量适宜,孔隙体积会逐渐缩小,主要是由于空隙中空气的排出;但是当饱和度达到  $80\%$  左右时,孔隙体积要继续缩小就不但需要排出空气,而且需要排出水分,而在粉质土这样的细粒土内,水的体积达到空隙体积的  $80\%$  时,击实功以瞬时荷载的形式作用于土体,水的排出会受到密实而细小的土粒的制约,空气的排出又会受到接近完全饱和的水的制约,水和空气的排出都非常困难。这就是无论击实功大小,当取得不同的最大干密度时,该粉质土的饱和度基本为  $80\%$  左右的内在原因。

## 《广西交通志·公路篇》(初稿)评审会召开

经 10 载搜集资料、费时一年编纂的《广西交通志·公路篇》于 1994 年 2 月完成 30 余万字的初稿。广西公路局于 1994 年 3 月 18~25 日在南宁分别邀请了自治区内、外专家、学者及交通厅直属单位代表座谈评审。

与会同志认为,《广西交通志·公路篇》(初稿)材料比较丰富,记述较详,不失为广西交通的一部难得的历史资料。但作为志书,在体例、篇目、结构、文字表述等方面有待进一步完善,并提出了许多建设性意见。

现广西交通厅史志办公室、广西公路局史志办公室正综合各方面的意见,对《广西交通志·公路篇》(初稿)积极进行修改,以便早日出书。

(陈定环)