

DAOLU YU QIAOLIANG GONGCHENG

Shiyan Jiance Jishu

道路与桥梁工程 试验检测技术

吴书君 徐怀利 李兰震 等 主编

中国矿业大学出版社

道路与桥梁工程试验检测技术

主 编 吴书君 徐怀利 李兰震

(以下按姓氏笔画排序)

王 力 王红岩 王洪燕

王振广 王景才 李春才

宋绍申 张 磊 张 寒

张海静 高海贵 徐学生

桑兆锋 崔永升 魏庆利

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了道路桥梁试验检测的内容与方法。本书以现行的国家和行业标准、规范为依据,从我国的公路工程建设项目试验检测现状出发,注重实用,全面地介绍了相关的试验检测方法。全书分材料、道路工程和桥梁工程三篇。第一篇介绍了土、水泥、沥青等原材料的质量检测内容与方法;第二篇介绍了道路几何线形、路基路面的试验检测内容与方法;第三篇介绍了桥梁的基础、上部结构及荷载试验检测内容与方法。

本书可供从事公路建设、施工、监理、检测以及质量监督工作的技术人员使用,也可供参加试验检测工程师考试的备考人员以及高校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

道路与桥梁工程试验检测技术 / 吴书君等主编.

徐州:中国矿业大学出版社,2012.12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1721 - 9

I. ①道… II. ①吴… III. ①道路试验—检测 ②桥梁
试验—检测 IV. ①U416.03 ②U466.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第275702号

书 名 道路与桥梁工程试验检测技术
主 编 吴书君等
责任编辑 吴学兵
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州市今日彩色印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 13.5 字数 386 千字
版次印次 2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷
定 价 40.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

随着时代的发展,公路工程检测技术也在不断发展和完善中,尤其是进入21世纪后,随着新技术、新材料、新工艺的不断涌现,公路工程检测技术也与时俱进,日臻完善。为了保证工程一线技术人员能及时掌握公路工程检测技术,更好地保证和提高公路工程质量,我们组织了一些试验检测理论知识扎实、施工经验丰富的人员编写了本书。在编写本书过程中,力求贴近我国公路工程实际,侧重于公路工程检测技术的具体操作,目的就是让我们的公路工程建设者能熟练掌握公路工程检测技术,并能成功地运用到工程实践中去。需要指出的是,本书编写的内容是针对具有一定公路工程工作经验、并有一定公路工程试验检测基础的工程技术人员。

大量的工程实践证明,工程质量控制最有效的手段是运用工程试验检测技术。公路工程试验检测技术主要是研究道路与桥梁、隧道等的试验检测原理、方法和应用。它融试验检测理论知识、操作技能及相关基础知识于一体,涉及的知识面较广,包含的内容和项目多,内容更新也快。通过试验、检测,能用定量的方法评价各种原料和现场工程实体的质量,能迅速推广应用新材料、新工艺,能合理地进行施工质量控制和科学地评定工程质量。这一工作是公路工程质量管理工作中的一个重要组成部分,也是施工现场的一个独立工作岗位。随着我国公路基础设施建设投资规模的加大,公路工程试验检测工作将更加繁重。我们要努力开拓,使公路工程试验检测工作走上更加规范、健康的发展道路。广大公路工作者、特别是从事公路工程试验检测工作的人员,要不断加强业务学习,努力提高自身素质,进一步增强责任感,切实提高试验检测工作质量和水平,提供真实可靠的试验检测数据,为正确指导、准确控制和客观评定公路工程质量提供科学的依据,促进公路工程质量提高到新的水平。

本书结合公路工程实际,参考国家最新规范和规程,介绍了材料、道路、桥梁等的试验检测原理、方法和应用,具有较强的工程应用性;在介绍基本原理和应用的过程中力求反映国内外的检测技术和我国有关的新标准、新规范,用以

指导工程实践。

本书由山东省菏泽市和聊城市公路系统的多位同志担任主编,其中第一章由王洪燕、王景才、张寒、桑兆锋负责编写,第二章由王振广、李春才、徐怀利、徐学生、魏庆利负责编写,第三章由王红岩、吴书君、李兰震、张亮、高海贵负责编写,第四章由王力、崔永升、张海静、宋绍申负责编写。本书在编写过程中参考了有关教材、论著和资料,在此向有关作者表示感谢。

限于编者的学术水平和实践经验,书中难免有考虑不周甚至是缺陷和遗漏之处,敬请广大专家、学者及同仁及时提出宝贵意见和建议,以便我们在以后的修订中进一步完善和提高。

编 者

2012年8月

目 录

第一篇 材 料

第一章 材料的试验检测	3
第一节 土工试验检测方法	3
第二节 集料试验检测技术	11
第三节 水泥试验检测	18
第四节 水泥混凝土试验检测	27
第五节 沥青材料试验检测	38
第六节 沥青混合料的技术性质和技术指标	47

第二篇 道 路 工 程

第二章 公路几何线形检测技术与方法	61
第一节 公路线形组成及检测内容	61
第二节 几何线形检测内容	73
第三节 平面位置的检测	77
第四节 纵断面高程的检测	81
第五节 横断面的检测	86
第六节 检测仪器介绍	91
第三章 路基路面试验检测技术	103
第一节 路基工程试验检测技术	103
第二节 路面基层的试验检测	115

第三篇 桥 梁 工 程

第四章 桥涵结构工程试验检测技术	135
第一节 桥涵工程试验检测的内容和依据	135
第二节 桥涵工程原材料试验检测	137

第三节	桥涵工程基础检测	155
第四节	桥梁上部结构检测	171
第五节	桥梁荷载试验	188
参考文献		209



第一篇 材 料

第一章 材料的试验检测

第一节 土工试验检测方法

土可以用作建筑材料,如作为土坝、路基、路面的构筑物;土也可作为建筑物周围的介质或环境,如隧道、涵洞及地下建筑等;土还可以作为建筑物地基,用以承受建筑物传来的荷载,如在土层上修建房屋、桥梁、道路等。然而,由于土是土粒、空气和水所组成的三相松散体,三相成分的比例不同,所运用的环境不同,使其物理和力学特性变得十分复杂。所以,对土进行试验和检测是土木工程设计、施工和科研必不可少的工作。

一、概述

(一) 土的三相组成

土是由地壳表面的岩石经过物理风化、化学风化和生物风化作用之后的产物。

在工程建设中,土往往是作为不同功能的研究对象。如在土层上修建桥梁、道路、堤坝时,土是用来支撑建筑物传来的荷载,这时土被用作地基;对路堤、土坝等土工构筑物,土则被用作建筑材料;对于隧道、涵洞及地下建筑物,这时土成为建筑物周围的介质或环境。对于土的不同用途,在测试的内容上亦有所不同。

土是由固体颗粒(固相)、水(液相)及气体(气相)三种物质组成的集合体。

(1) 固相:土的固相物质分为无机矿物颗粒和有机质,是土体的骨架。矿物颗粒由原生矿物和次生矿物组成。

(2) 液相:土的液相是指土孔隙中存在的水。水在土中以三种状态存在:固态、液态和气态。

(3) 气相:土中气相主要指土孔隙中充填的空气。土的含气量与含水量有密切关系。土孔隙中占优势的是气体还是水,土的性质就会有很大的不同。路基的压实就是土颗粒重新排列,土中气体被挤出的过程。

(二) 土的物理性质指标

土是固体颗粒、水和气体三相组成的集合体,这三种物质在体积上和质量上的比例关系不同,则会反映出土的物理状态上的变化,土中孔隙体积大,土就松;土中水分多,则土就软。所以研究土的状态,首先要分析土的三相比例关系,并利用土的三相在体积上和重量(质量)上的相对比值,作为衡量土的基本物理性质的指标。

为了便于理解,把土中交错分布的土颗粒、水和气分别集中起来,按体积划分为固相、液相、气相三部分,称为三相图(见图 1-1)。

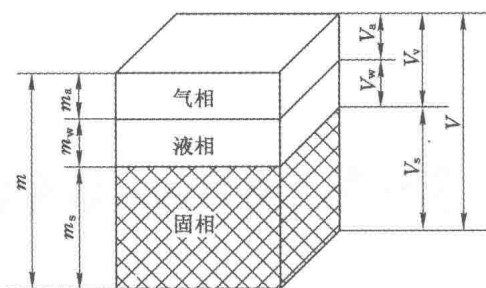


图 1-1

水的单位体积的质量 ($\rho_w = \frac{m_w}{V_w}$), 一般采用 1 g/cm^3 已足够准确, 因此在数值上 $m_w = V_w$ 。

土样的体积

$$V = V_s + V_w + V_a$$

土样的质量

$$m = m_s + m_w + m_a$$

因为

$$m_a \approx 0$$

所以

$$m = m_s + m_w$$

以下表述土的物理性质指标。

(1) 土的密度 ρ : 是指土体单位体积的质量, 从三相图中可知:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1-1)$$

土的密度变化范围一般在 $1.6 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ 之间。

(2) 土颗粒的比重(或土粒密度) G_s : 是指土的固体颗粒的单位体积的质量与水在 4°C 时单位体积的质量之比。

$$G_s = \frac{m_s/V_s}{m_w/V_{w4^\circ\text{C}}}$$

土粒密度:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-2)$$

土粒比重取决于土的矿物成分, 其变化范围一般在 $2.60 \sim 2.75$ 之间。

(3) 土的含水量 w : 是指土中水的质量与固体颗粒质量之比, 通常以百分数表示。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-3)$$

含水量是表示土湿度的指标。土的天然含水量变化范围很大, 从干砂接近于零, 一直到饱和黏土的百分之几百。

上述三项指标是通过试验直接测定的指标, 称之为基本物理性质指标。

(4) 干密度 ρ_d : 是指土的固体颗粒质量与土的总体积之比。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1-4)$$

土的干密度越大, 土越密实。所以干密度常用作填土压实的控制指标。

(5) 饱和密度 ρ_{sat} : 是指土孔隙中全部被水充满时土的密度。

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \cdot \rho_w}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-5)$$

(6) 浮密度(或称浸水密度) ρ' :是指土浸在水中受到水的浮力作用时的单位体积的质量。

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \cdot \rho_w}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-6)$$

或 $\rho' = \rho_{\text{sat}} - \rho_w \quad (\text{g/cm}^3)$

(7) 孔隙比 e :是土中孔隙的体积与固体颗粒体积之比。

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-7)$$

孔隙比是一个应用十分广泛的指标,可用来评价土的紧密程度。

(8) 孔隙率 n :是指土中孔隙体积与总体积之比。

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-8)$$

孔隙比与孔隙率之间存在下述换算关系:

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (1-9)$$

(9) 饱和度 S_r :是指孔隙中水的体积与孔隙体积之比。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-10)$$

饱和度用来描述土中水充满孔隙的程度, $S_r=0$ 时,土是完全干燥的; $S_r=1$ 时,则土为完全饱和的。按饱和度可以把砂土划分为三种状态:

$0 < S_r \leq 0.5$ 稍湿的

$0.5 < S_r \leq 0.8$ 潮湿的

$0.8 < S_r \leq 1.0$ 饱和的

上述(4)到(9)这六项物理指标,可以通过前三项试验测定指标由三相图换算求出,见表 1-1。

表 1-1 三相指标的换算关系

指标	符号	物理表达式	换算关系式
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{G_s(1+w)}{\rho} - 1$
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = 1 - \frac{\rho}{G_s(1+w)}$
干密度	ρ_d	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	$\rho_d = \frac{\rho}{1+w}$
饱和密度	ρ_{sat}	$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \cdot \rho_w}{V}$	$\rho_{\text{sat}} = \frac{\rho(G_s - \rho_w)}{G_s(1+w)} + \rho_w$
浮密度	ρ'	$\rho' = \frac{m_s - V_s \cdot \rho_w}{V}$	$\rho' = \frac{\rho(G_s - \rho_w)}{G_s(1+w)}$
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$	$S_r = \frac{\rho G_s \cdot w}{\rho_w [G_s(1+w) - \rho]}$

(三) 利用三相草图换算示例

已知三个试验指标 ρ 、 ρ_s 、 w ，可假定土的总体积 $V=1$ ，则由定义可知：土的质量为 ρ ；土粒的质量为 $\frac{\rho}{1+w}$ ；土粒的体积为 $\frac{\rho}{\rho_s(1+w)}$ ；孔隙体积为 $1 - \frac{\rho}{\rho_s(1+w)}$ ；水的体积则为 $\frac{w\rho}{\rho_w(1+w)}$ 。至此便可按物理定义写出各换算公式。

如已知的指标是 ρ_s 、 w 和 e ，则假定 $V_s=1$ 更为方便。根据定义求得孔隙体积 $V_v=e$ ；土粒质量为 ρ_s ；水的质量为 $\rho_s \cdot w$ ，水的体积为 $\frac{\rho_s \cdot w}{\rho_w}$ ，至此即可换算各有关指标：

$$\rho = \frac{\rho_s(1+w)}{1+e} \quad (1-11)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1+e} \quad (1-12)$$

$$S_r = \frac{w\rho_s}{e\rho_w} \quad (1-13)$$

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{\rho_s + e\rho_w}{1+e} \quad (1-14)$$

$$\rho' = \frac{\rho_s - \rho_w}{1+e} \quad (1-15)$$

(四) 土工试验项目

在公路工程中，为适应公路不同工程的需要，而要测定土的基本工程性质，可将土工试验项目分为四个方面：

- (1) 物理性质试验：含水量、密度、比重、颗粒分析和相对密实度。
- (2) 水理性质试验：界限含水量、稠度、膨胀、收缩和毛细上升高度。
- (3) 力学性质试验：渗透性、击实性、压缩性、黄土湿陷性、直接剪切、三轴剪切、无侧限抗剪、土基承载比及回弹模量。

(五) 化学性质试验

酸碱度、烧失量、有机质含量、可溶盐含量、阳离子交换量和矿物成分等。

上述各项试验项目根据不同的研究对象而选择有所侧重，如表 1-2 所示。

表 1-2 土的物理力学试验项目选择参考表

工程类别 项目 选择 试验项目	桥涵		隧道		挡墙			路基				黄土 及黄 土状 土	
	黏性土	黏性土	黏性土	黄土	黏性土	黏性土	黄土 状土	深挖	松软 基底	高填方	沼泽		
天然含水量		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
天然密度		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
比重		+	+	+		+	+	+					+
天然孔隙比		+	+	+		+	+	+					+

续表 1-2

工程类别 项目 选择 试验项目	桥涵		隧道		挡墙			路基				黄土 及黄 土状 土
	黏性土	黏性土	黏性土	黄土	黏性土	黏性土	黄土 状土	深挖	松软 基底	高填方	沼泽	
								黏性土	黏性土	黏性土	黏性土	
孔隙率		*	*	*		*	*					
饱和度												
界限含水量		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
稠度								+		+		
相对密实度	+				+							
颗粒分析	+	*			+							+
毛管水上升高度								*		+		
渗透系数		*			+				+			
膨胀试验			*					+				
击实试验								+	+			+
回弹模量								+	+			+
压缩试验		+		+					+		+	
相对湿陷系数				+			+					+
剪切试验	固结排水剪								*		+	+
	不固结不排水剪			+	+							
	固结不排水剪							+	*	+		
十字板剪切试验								+			*	
无侧限抗压强度								+				
天然坡角	干燥				+							
	水下				+							

注:表中“+”者,表示初步设计、施工设计试验项目;“*”者为视需要而做的试验项目。

二、土的物理性质试验

交通部《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)对土的含水量试验、密度试验、比重试验、颗粒分析试验、相对密度试验、界限含水量试验等物理性质试验的目的和适用范围、所需仪器设备、试验步骤、试验结果整理及试验报告作了整体要求,相关试验项目的注意事项要求如下。

(一) 含水量试验

1. 烘干法

烘干法是测定含水量的标准方法,适用于黏质土、粉质土、砂类土和有机质土类。

2. 微波加热法

微波加热法测定含水量时,应与标准烘干法进行比对,确定两者之间的关系,便于修正。

3. 含石膏土和有机质土的含水量测试法

含石膏土和有机质土的烘干温度在 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,对含石膏土会失去结晶水,对含有机质土其有机成分会燃烧,测试结果将与含水量定义不符。这种试样的干燥宜用真空干燥箱在近乎 1 个大气压力作用下将土干燥,或将烘箱温度控制在 $60\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,干燥 8 h 以上为好。

4. 无机结合料稳定土的含水量测试法

无机结合料在国外常称为水硬性结合料。它主要指水泥、石灰、粉煤灰和石灰或水泥粉煤灰,所用术语水泥稳定土、石灰稳定土、石灰粉煤灰稳定土等的总称为无机结合料稳定土。

如水泥与水拌和就要发生水化作用,在较高温度下水化作用发生较快。因此,如将水泥混合料放在原为室温的烘箱内,再启动烘箱升温,则在升温过程中水泥与水的水化作用发生放热反应,往往使得出的含水量偏小,所以应提前将烘箱升温到 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$,使放入的水泥混合料一开始就能在 $105\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境下烘干。另外,烘干后冷却时应用硅胶做干燥剂。

(二) 密度试验

密度试验常用的方法有环刀法、灌砂法、蜡封法、核子仪法,其中灌砂法是公路工程密度测试的最基本方法,核子仪法则需要比对后才能使用。

(三) 液塑限试验

液塑限试验是测试土的界限含水量的方法,含水量对黏性土的工程性质(如强度、压缩性等)有极大的影响。当土从很湿逐渐变干时,会表现出几个不同的物理状态,土也就有不同的工程性质。

当黏性土含水量极高时,土成泥浆,呈黏滞流动的液体。当施加剪力时,泥浆将连续地变形,土的抗剪强度极低。当含水量逐渐降低到某一值,土会显示出一定的抗剪强度,并且在外力作用下,可以塑成任何形状,且不发生裂缝,解除外力后,土仍保持已有的变形而不恢复原状。这些特征与液体完全不同,它表现为塑性体的特征。土从液体状态向塑性体状态过渡的界限含水量称为液限 w_l 。

当含水量继续降低时,土能承受较大的剪切应力,在外力作用下不再具有塑性体特征,而呈现具有脆性的固体特征。土由塑性体状态向脆性固体状态过渡的界限含水量称为塑限 w_p 。

液限和塑限,在国际上称为阿太堡界限,它们是黏性土的重要物理性质指标。

黏性土的塑性大小,可用土处于塑性状态的含水量变化范围来衡量。此范围即液限与塑限之差值,称为塑性指数 I_p 。

$$I_p = w_l - w_p$$

塑性指数一般在习惯上用不带百分数符号的数值表示。塑性指数越大,表示土越具有高塑性。

三、土的工程分类

(一) 土的工程分类的依据

为了能大致地判断土的基本性质,合理地选择研究内容及方法,有必要对土进行科学的分类。在工程实践中需要的是适合于工程用途的土的工程分类,即按土的主要工程特性进行分类。在分类中最常用的指标是粒度成分和反映塑性的指标。

(二) 《公路土工试验规程》中土的工程分类

(1) 土的工程分类(简称“分类”)适用于公路工程用土的鉴别、定义和描述,以便于对土的性质作定性评价。

(2) 应以土的下列特征作为土分类依据:

- ① 土颗粒组成特征。
- ② 土的塑性指标:液限(w_L)、塑限(w_p)和塑性指数(I_p)。
- ③ 土中有机质存在情况。

(3) 本“分类”应按筛分法(T 0115—93)确定各粒组的含量;按液限塑限联合测定法(T 0118—93)确定液限和塑限;按规程中的 2.4.8 判别有机质存在情况。

(4) 本分类将土分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土,分类总体系见图 1-2。

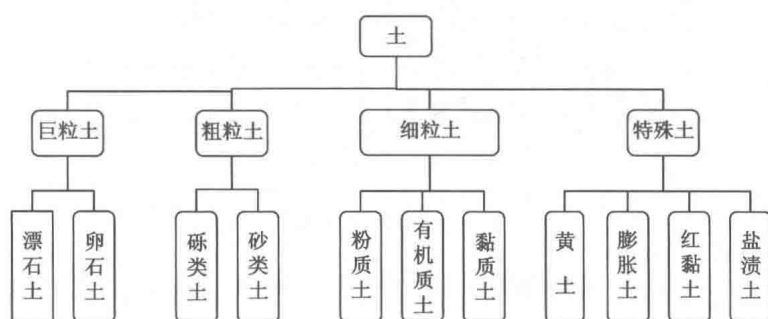


图 1-2 土的分类总体系

(5) 土颗粒组成特征应以土的级配指标的不均匀系数(C_u)和曲率系数(C_c)表示:

不均匀系数 C_u 反映粒径分布曲线上的土粒分布范围,按下式计算:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-16)$$

曲率系数(C_c)反映粒径分布曲线上的土粒分布形状,按下式计算:

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (1-17)$$

式中 d_{10}, d_{30}, d_{60} ——分别为土的粒径分布曲线上对应通过率 10%、30%、60% 的粒径,mm。

(6) 细粒土应根据塑性图分类。土的塑性图是以液限(w_L)为横坐标、塑性指数(I_p)为纵坐标构成的。

(7) 土的成分代号详见《公路土工试验规程》。

四、土的击实试验

(一) 击实试验的原理

击实是指采用人工或机械对土施加夯压能量(如打夯、碾压、振动碾压等方式),使土颗粒重新排列紧密,对于粗粒土因颗粒的紧密排列,增强了颗粒表面摩擦力和颗粒之间嵌挤形成的咬合力。对细粒土则因为颗粒间的靠紧而增强粒间的分子引力,从而使土在短时间内得到新的结构强度。

击实试验方法详见《公路土工试验规程》。

(二) 土的击实特性

由击实试验结果可以得到土的含水量与干密度关系曲线,如图 1-3 所示。从图中可看出:

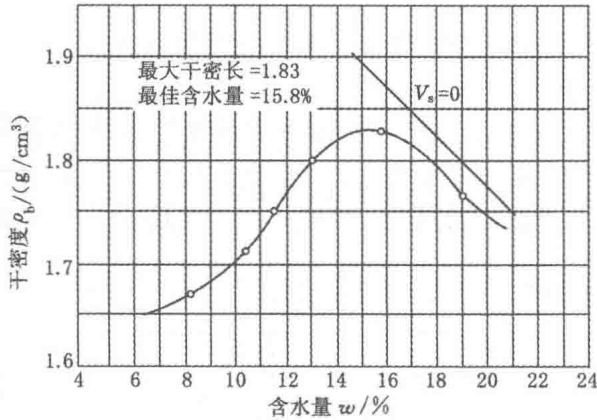


图 1-3 土的击实曲线

(1) 击实曲线有个峰点,这说明在一定击实功作用下,只有当土的含水量为某一定值(称为最佳含水量)时,土才能被击实至最大干密度。若土含水量小于或大于最佳含水量时,则所得的干密度都小于最大值。

(2) 当土含水量偏干时,含水量的变动对于干密度的影响要比含水量偏湿时的影响更为明显,由图上可看出曲线的左段较右段陡。

(3) 图右上侧的一根曲线称为饱和曲线,它表示当土在饱和状态时的含水量与干密度之间的关系。

事实上,当土的含水量接近和大于最佳值时,土内孔隙中的空气越来越多地处于与大气隔离的封闭状态,击实作用已不能将这些气体排出,亦即击实土不可能达到完全饱和的状态。因此,击实曲线必然位于饱和曲线左下侧。当土的含水量偏干时,即 $w < w_0$,土处于疏松状态,此时土中的孔隙大都与大气连通的气体充满,土中含水较少。压实时,锤击或碾压的功能需要克服粒间气体的排除及内摩阻力和黏结力,才能使颗粒产生相互的位移和靠近。含水量偏干时,气体易于被挤出,故土体的密度容易被击实增大,当含水量增多并接近最佳含水量时,土中所含的水量有利于在击实功作用下,克服摩阻力和黏结力而发生相互位移使土密实。故只有在最佳含水量时,土才能被击实至最大干密度。

(三) 影响压实的因素

(1) 含水量对整个压实过程的影响。由击实曲线可知,严格的控制最佳含水量是关键。但是,不同的土类其最佳含水量和最大干密度也是不同的。一般粉粒和黏粒含量多,土的塑性指数愈大,土的最佳含水量也愈大,同时其最大干密度愈小。因此,一般砂性土的最佳含水量小于黏性土,而砂性土的最大干密度也大于黏性土。

(2) 击实功对最佳含水量和最大干密度的影响。对同一种土用不同的击实功进行击实试验后表明:击实功愈大,土的最大干密度也愈大,而土的最佳含水量则愈小。但是这种增大击实功是有一定限度的,超过这一限度,即使增加击实功,土的干密度的增加也不明显。