



公路工程标准规范理解与应用丛书

JTG E40-2007

《公路土工试验规程》释义手册

Application Handbook of
Test Methods of Soils for Highway Engineering

王 园 编著
《公路土工试验规程》编写组

人民交通出版社

公路工程标准规范理解与应用丛书

《公路土工试验规程》释义手册

王 园

编著

《公路土工试验规程》编写组

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)(以下简称《规程》)宣贯读本,由《规程》编写组编著。本书对《规程》条文的编制理由、定量技术指标的出处进行了解释,介绍了在执行《规程》条文时应注意的事项,试验的基本理论、技术细节及以往的经验教训,还包括为方便使用《规程》而补充的有关技术资料或重要的论文、报告等。

本书可作为《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)培训用书。亦可供从事土工试验,路基及边坡建设、施工、监理和质检的工程技术人员、管理人员学习参考。

阅读说明:本书内容体系与《规程》完全一致,《规程》条文以楷体字示出,《规程》条文释义以宋体字示出。

图书在版编目(CIP)数据

《公路土工试验规程》释义手册/《公路土工试验规程》编写组编著. —北京:人民交通出版社, 2007.9
ISBN 978-7-114-06836-2

I. 公... II. 公... III. 道路工程-试验-规程-中国-手册 IV. U41-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 144801 号

公路工程标准规范理解与应用丛书

书 名:《公路土工试验规程》释义手册

著 者:王 园 《公路土工试验规程》编写组

责任编辑:刘 涛

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:35

字 数:649千

版 次:2007年9月 第1版

印 次:2007年9月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-06836-2

印 数:0001—5000册

定 价:66.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

中华人民共和国交通行业标准《公路土工试验规程》(JTJ E40—2007)(简称《规程》)于2007年10月1日施行。为配合《规程》的宣贯和实施,交通部公路科学研究院研究员王国博士(《规程》主编)编写了这部《〈公路土工试验规程〉释义手册》。该手册可供从事土工试验、路基及边坡建设、施工、监理和质检的工程技术人员、管理人员学习参考。

《公路土工试验规程》(JTJ 051—1993)(简称《93规程》)发布实施恰逢我国大规模建设低等级公路后期。由于当时人们在公路工程建设中,对公路岩土工程问题认识不足,以及低等级公路对公路线性、坡度等技术指标要求较低,使公路岩土工程问题并未引起足够的重视。与我国各相邻领域横向比较,《93规程》的综合水平,已滞后于水利、工业与民用建筑、地质、冶金、铁路等各工程建设领域相关规程的技术水平。

自20世纪90年代以来,公路建设以前所未有的速度迅速发展。高速公路向西部、山区、高寒地区的建设投入逐步加大。公路建设频繁触及黄土、冻土、盐渍土、膨胀土等特殊土。高等级公路的高技术指标要求,使过去可以避让的许多公路岩土工程问题无法回避。《93规程》的许多内容和规定已不能够适应和满足我国新时期公路工程建设发展的需要。因此,对《93规程》进行了重新修订。

为方便工程技术人员学习《规程》,同步出版了《〈公路土工试验规程〉释义手册》。本书系统全面地讲解了土工试验的主要原理、技术理解和应当注意的问题等,为公路路基和边坡建设者提供更详细、具体的理论和试验细则指导,促进公路岩土工程技术进步。克服管理粗放、劳动

强度较大、依赖经验和人海战术等缺点,建立集材料科学、散体结构学、试验科学、自动化系统科学以及工程经济学等多学科交叉融合的科学体系,打好基础,逐步实现我国公路建设的可持续发展。《〈公路土工试验规程〉释义手册》的出版不仅对《规程》条文的理解十分必要,而且有助于提高试验检测人员的理论技术水平和应对试验中突发技术问题的能力。

编制本书的目的之一是为了拓展我国广大土工试验检测人员的思路,便于大家在执行《规程》的工作中,逐步掌握《规程》中涉及的新试验和新方法的各个实施细节;在此基础上,深入钻研试验技能,有所发展、有所提高,并不断地取得更大的技术进步和技术创新。期待通过对《规程》的执行和本书的学习,不仅能够满足我国公路建设发展的实际需要,而且使我国新建公路路基和边坡的施工质量真正迈上一个新台阶,为公路运输车辆运行提供更加优质的服务。

本书全面系统地总结了我国十多年来,在土工试验技术方面所使用的新设备、新技术和新经验。全书分为31章,为了便于使用,各章与《规程》的各章完全对应,此外,增加了两个常用数据附件表,主要是为了满足不同环境下的试验需要。

本书主要内容有:规程条文的编制理由,定量技术指标的研究与解释,在执行《规程》条文时应注意的事项,试验的基本理论、技术细节及以往的经验教训,为方便使用《规程》补充的有关技术资料或重要的论文、报告等。

《规程》主要起草人:王园、谭春海、梁向前、李辉等。

本书的主编为王园。《规程》的主要编写和起草人员为本手册的编写组成员。

本书在编写过程中参考了部分文献资料,编者对文献作者的研究业绩和学术成就表示钦佩,在此向他们表示感谢!

在本书出版之际,编著者对交通部、人民交通出版社各级领导的支

持与关心表示衷心感谢！由于此书的编写依据为《93 规程》，特对这部规程的所有参编者和参与审定的各位专家表示敬意和感谢！对全国实践《规程》并为之努力工作和作出贡献的专家、学者、工程技术人员和同行们表示真诚的谢意！

由于编著者的水平有限，加之岩土工程新技术、新设备发展很快，本书对国内外成功经验的总结亦不尽全面，疏漏和错误在所难免，敬请批评指正！

编著者

2007 年 8 月 28 日

目录 MULU

1 总则	1
2 术语、符号	4
2.1 术语	4
2.2 符号	9
3 土的工程分类	14
3.1 一般规定	14
3.2 巨粒土分类	18
3.3 粗粒土分类	20
3.4 细粒土分类	22
3.5 特殊土分类	26
3.6 土的简易鉴别、分类和描述	34
4 土样采集和试样制备	38
T 0101—2007 土样的采集、运输和保管	38
T 0102—2007 土样和试样制备	40
5 土的含水率试验	47
T 0103—1993 烘干法	48
T 0104—1993 酒精燃烧法	50
T 0105—1993 比重法	52
6 土的密度试验	56
T 0107—1993 环刀法	58
T 0108—1993 电动取土器法	61
T 0109—1993 蜡封法	63
T 0110—1993 灌水法	66
T 0111—1993 灌砂法	69
7 土的比重试验	77
T 0112—1993 比重瓶法	77
T 0169—2007 浮力法	80

《公路土工试验规程》
释义手册

T 0113—1993	浮称法	83
T 0114—1993	虹吸筒法	85
8	颗粒分析试验	88
T 0115—1993	筛分法	88
T 0116—2007	密度计法	94
T 0117—1993	移液管法	107
9	界限含水率试验	112
T 0118—2007	液限和塑限联合测定法	112
T 0170—2007	液限碟式仪法	122
T 0119—1993	塑限滚搓法	125
T 0120—1993	缩限试验	128
10	土的收缩试验	132
T 0121—1993	收缩试验	132
11	土的天然稠度试验	137
T 0122—2007	天然稠度试验	137
12	砂的相对密度试验	141
T 0123—1993	砂的相对密度试验	141
13	土的湿化试验	150
T 0171—2007	湿化试验	150
14	土中毛细管水上升高度试验	153
T 0128—1993	毛细管水上升高度试验	153
15	渗透试验	164
T 0129—1993	常水头渗透试验	164
T 0130—2007	变水头渗透试验	168
16	土的击实试验	183
T 0131—2007	击实试验	183
17	土的承载比(CBR)试验	192
T 0134—1993	承载比(CBR)试验	192
18	土的回弹模量试验	202
T 0135—1993	承载板法	202
T 0136—1993	强度仪法	205
19	土体固结试验	210
T 0137—1993	单轴固结仪法	210

T 0138—1993	快速试验法	219
20	土的标准吸湿含水率试验	230
T 0172—2007	标准吸湿含水率试验	230
21	黄土湿陷试验	233
T 0139—2007	相对下沉系数试验	241
T 0173—2007	自重湿陷系数试验	246
T 0174—2007	溶滤变形系数试验	250
T 0175—2007	湿陷起始压力试验	253
22	土的直接剪切试验	259
T 0140—1993	黏质土的慢剪试验	262
T 0141—1993	黏质土的固结快剪试验	268
T 0142—1993	黏质土的快剪试验	273
T 0143—1993	砂类土的直剪试验	278
T 0176—2007	排水反复直接剪切试验	284
23	土的三轴压缩试验	292
T 0144—1993	不固结不排水试验	294
T 0145—1993	固结不排水试验	306
T 0146—1993	固结排水试验	321
T 0177—2007	一个试样多级加荷试验	334
24	土的无侧限抗压强度试验	350
T 0148—1993	细粒土无侧限抗压强度试验	350
25	粗粒土和巨粒土的最大干密度试验	358
T 0133—1993	表面振动压实仪法	359
T 0132—1993	振动台法	366
26	粗粒土的直接剪切试验	379
T 0178—2007	粗粒土直接剪切试验	379
27	粗粒土的三轴压缩试验	393
T 0147—1993	粗粒土三轴压缩试验	393
28	土的膨胀性试验	404
T 0124—1993	自由膨胀率试验	413
T 0125—1993	无荷载膨胀率试验	416
T 0126—1993	有荷载膨胀率试验	420
T 0127—1993	膨胀力试验	424

29 冻土试验	429
T 0179—2007 冻土密度浮称法试验.....	433
T 0180—2007 冻土密度浮力法试验.....	435
T 0181—2007 冻土密度联合测定法试验.....	437
T 0182—2007 冻土密度环刀法试验.....	440
T 0183—2007 冻土密度充砂法试验.....	442
T 0184—2007 冻结温度试验.....	444
T 0185—2007 冻土导热系数试验.....	447
T 0186—2007 未冻含水率试验.....	449
T 0187—2007 冻胀率试验.....	452
T 0188—2007 冻土融化压缩试验.....	456
30 土中化学成分试验	461
T 0149—1993 酸碱度试验.....	461
T 0150—1993 烧失量试验.....	462
T 0151—1993 有机质含量试验.....	464
T 0152—1993 易溶盐试验待测液的制备.....	468
T 0153—1993 易溶盐总量的测定——质量法.....	470
T 0154—1993 易溶盐碳酸根及碳酸氢根的测定.....	471
T 0155—1993 易溶盐氯根的测定——硝酸银滴定法.....	474
T 0156—1993 易溶盐氯根的测定——硝酸汞滴定法.....	477
T 0157—1993 易溶盐钙和镁离子的测定——EDTA 配位滴定法.....	479
T 0158—1993 易溶盐硫酸根的测定——质量法.....	482
T 0159—1993 易溶盐硫酸根的测定——EDTA 间接配位滴定法.....	485
T 0160—1993 易溶盐钠和钾离子的测定——火焰光度法.....	488
T 0161—1993 中溶盐石膏测定——盐酸浸提硫酸钡质量法.....	491
T 0162—1993 难溶盐碳酸钙测定——气量法.....	493
T 0163—1993 阳离子交换量试验——EDTA—铵盐快速法.....	496
T 0164—1993 阳离子交换量试验——草酸铵—氯化铵法.....	499
31 土中矿物成分试验	503
T 0165—1993 硅的测定.....	509
T 0166—1993 倍半氧化物(R_2O_3)总量的测定.....	511
T 0167—1993 铁和铝的测定.....	514
T 0168—1993 钙和镁的测定.....	517

附录 A 试验成果的分析整理方法	521
附录 B 二氧化碳密度表	525
附录 C 水的动力黏滞系数表	526
附录 D 洁净水在不同温度下的密度 ρ_w	536
参考文献	538

1 总 则

《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)(简称本规程)包括 87 个测定土的基本工程性质的试验项目和一个土的工程分类方法标准。修订本规程的目的是使公路系统的试验室在进行土工试验时有一个统一的试验准则,使所有的试验及试验结果具有一致性和可比性。

共性技术要求系指土的物理、水理、力学和化学性质试验中带共性的要求或标准,内容涉及土性指标的选择、成果整理、指标换算和试验报告等,系参考其他部门经验并结合公路工程特点制定。

1.0.1 为测定土的基本工程性质,统一试验方法,并为公路工程设计和施工提供可靠的计算指标和参数,制定本规程。

《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)(简称《93 规程》)自 1993 年实施以来,已有 14 年的时间。在此期间,公路建设所涉及的岩土工程问题发生了巨大的变化,在低等级公路建设中可以避让的岩土工程问题,在高等级公路建设中由于线形、坡度等技术要求变得无法回避。随着公路建设穿越山区以及黄土、冻土等特殊土地地区,要求《公路土工试验规程》提供更多、更可靠的计算参数和判定指标,同时测试技术也有了进一步的发展,因此有必要对原规程进行重新修订,使《公路土工试验规程》能够满足现时和未来一段时期的公路建设发展需要,规范公路土工测试标准,并使土工试验及试验结果具有一致性和可比性。

1.0.2 本规程适用于各类公路工程的地基土、路基土及其他路用土的基本工程性质试验。

我国建筑、水利、铁路、冶金等系统均有相应的土工试验规程或标准,基本内容与本规程基本相同。本规程在修订的过程中,特别注意到与国家标准的统一和合理衔接。但是由于公路建设的特点,有些试验方法的条件和评判指标不同,在某些具体的参数和规定上有一定的特殊要求,因此与其他行业的规定略有不同。在实际使用中应予以注意。

1.0.3 各项工程应编制合理的试验方案,采集代表性的试样,测算准确的数据和进行正确的资料分析整理,为设计和施工提供反映实际情况的各种土性指标。

土的工程分类是土工试验规程对土进行粒组和土的工程性质划分、试验规模和仪器划分的重要依据。本规程中土的工程分类系以国家标准《土的分类标准》

(GBJ 145—90)最新修订报批稿为基础并依照公路建设特性要求进行编制。各项基本试验遵照《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999),对《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)进行了修订。

1.0.4 土工试验资料的分析整理按附录 A 进行,通过对样本(试验测得的数据)的研究,来估计总体(土体单元)的特征及其变化的规律性。

土工试验资料的分析整理,是提供真实有效、准确可靠的土性指标的重要环节。内容涉及数据记录的准确和客观性、成果整理、土性指标的选择、计算统计方法、误差分析、精度评价等。根据误差分析,对不合理的数据进行研究,分析其原因;在有条件的情况下,应进行一定的补充试验,以便决定对有疑问数据的取舍和更正。为便于使用,本规程仍保留了《93 规程》的附录 A 部分。

1.0.5 土工试验检测报告,对不同类型和级配特征的土,应提供土的基本颗粒级配、液限和塑限指标;对于特殊土,还应提供描述特殊土基本特征的试验测试指标。

土工试验检测报告,均应包含土的最基本特性参数的描述。对于粗粒土和巨粒土必须进行颗粒分析试验,提供土样的颗粒级配粒组数据和级配特征曲线。对于细粒土除应进行颗粒分析试验,提供土样的颗粒级配粒组数据和级配特征曲线外,还应进行界限含水率试验,提供土样的液限、塑限和塑性指数等。这是可重复再现土工试验结果的基本条件,也是科学实验的基本要求。对于特殊土还应提供描述特殊土基本特征的试验测试指标。

1.0.6 公路土工试验除应符合本规程要求外,尚应符合国家和行业现行相关标准的规定。

在进行土工试验检测前,应对土工试验检测设备进行检查,仪器设备应符合《土工仪器的基本参数及通用技术条件》(GB/T 15406)的规定。根据国家计量法的要求,土工试验所用的仪器、设备应定期检定和校验。对通用仪器设备应按有关检定规程进行检定,对一些专用仪器设备应按相应的校验方法进行校验。

在执行本规程的过程中,对有些内容要求其符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 25)、《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112)、《土的分类标准》(GBJ 145)、《岩土工程基本术语标准》(GB/T 50279)等,以及交通行业指南《盐渍土地区公路设计与施工指南》、《公路工程抗冻设计与施工技术指南》等的规定。

对于《公路土工试验规程》,应主要从试验目的和适用范围、使用的主要仪器设备、主要试验步骤和试验控制标准、试验成果整理方法、试验中应注意的问题,这五个方面进行总结、实践和认识。

土工试验主要解决的问题,是当土作为建筑物或建筑物的一部分时,对可能出现的变形、稳定和渗透等问题,在进行危害性验算、分析、评价时,对所需要的土的物理、力学、化学等特性指标进行合理规范地确定。因此,土工试验工作就是对于由特定各种颗粒粒径的松散集合体,当其作为建筑材料、建筑物或建筑物的一部分时,为了建筑物的运行安全和工程的设计、施工参数需要,采用规范统一的方法,获得这种具有特定级配特征和工程特点土体的物理、力学以及化学特性等指标。

与本规程有关的标准如下:

- (1)国家标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999);
- (2)铁道部标准《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102—1996);
- (3)水利部标准《土工试验规程》(SL 237—1999);
- (4)国家标准《土的分类标准》(GBJ 145—1990);
- (5)原冶金部标准《土工试验规程》(YBJ 42—1992);
- (6)原地质矿产部标准《土工试验规程》(DT—1992);
- (7)交通部标准《公路土工试验规程》(JTJ 051—1993)。

2 术语、符号

本章内容为新增内容。术语解释参考了《岩土工程基本术语标准》(GB/T 50279—1998)和《公路工程名词术语》(JTJ 002—1987)进行编写。

2.1 术 语

2.1.1 含水率 water content

土中水的质量与土颗粒质量的比值,以百分率表示。

在《93规程》中该名词称为“含水量”。近年来国内各行业和高等院校的教科书均将“含水量”改称为“含水率”。因此,修订后的规程也称“含水率”。该指标是土的物理性质试验指标之一。

2.1.2 密度 density

单位体积土的质量。

在土的工程性质中,密度表达的是湿密度、干密度、饱和密度以及浮密度这四种密度概念的泛指含义。该指标是土的物理性质试验指标之一。

2.1.3 孔隙率 porosity

土的孔隙体积与土总体积的比值,以百分率表示。

土的孔隙率和孔隙比虽然反映的都是孔隙体积在土体中的比率,但是它们反映的比率含义不同。这两个指标可以互相换算。它们都可以根据土的三大物理性质试验指标(含水率、湿密度和比重)换算得出,通常称该类指标为土的物理性质计算指标。土的物理性质计算指标共有六个(干密度、饱和密度、浮密度、孔隙率、孔隙比和饱和度)。

2.1.4 孔隙比 void ratio

土的孔隙体积与固体颗粒体积的比值。

土的体积包含孔隙体积和土粒体积,孔隙体积是孔隙气体积和孔隙水体积的总和。因此,土在通常情况下表现为三相体,即固相(土颗粒)、液相(土孔隙中的水分)和气相(土孔隙中的气体)。通常称这种土为湿土。当土中的孔隙被水充满(即

土孔隙中无气体)时,该土即为两相体(固相和液相),该土称为饱和土。当土中的孔隙被气体充满(即土孔隙中无水分)时,该土也为两相体(固相和气相),但是称这种土为干土。

2.1.5 土粒比重 specific gravity of soil particle

土颗粒的质量与 4℃ 蒸馏水的质量的比值。

土的比重也是土粒的密度与水在 4℃ 时的密度比值,因此它在数值上与土粒的密度相同,但其物理含义不同。土的比重通常也称为土粒的比重,是一个无量纲量,而土粒的密度是一个有量纲量。它是土的三大物理性质试验指标(含水率、湿密度和比重)之一。

2.1.6 级配 gradation

土料按颗粒粗细的不同,将粒径相似、工程性质相近的颗粒划分为若干个粒组,土中各粒组的相对含量,即为土颗粒的级配。它是以不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 来评价构成土的颗粒粒径分布曲线形态的一种概念。

级配是反映土颗粒几何组成特征的重要指标,它是描述土的最基本组成的指标,是土的工程分类、定名的主要依据之一。

2.1.7 稠度界限 consistency limit

黏性土随含水率的变化从一种状态变为另一种状态时的界限含水率。

稠度通常表现出的感观认识是黏性土的软、硬程度,基于土体的天然结构被破坏后的概念基础之上,土的不同稠度反映的是土所具有的不同状态。通常土的稠度状态分为固态、半固态、可塑态和液态(或流态),土的稠度状态常用五个稠度状态指标(缩限、塑限、液限、塑性指数和液性指数)来描述。缩限描述的是固态与半固态的界限含水率,塑限描述的是半固态与可塑态的界限含水率,液限描述的是可塑态与液态(或流态)的界限含水率,这三个指标也称为土的稠度界限指标。塑性指数反映了黏性土具有可塑性的含水率变化范围,间接表明土的强度随含水率改变而变化,综合表明了黏性土的粒度组成和矿物成分与水之间相互作用的特征。塑性指数的大小反映了土中黏粒含量的多少。液性指数反映了天然土体(地基土)的软硬程度。根据液性指数,可将天然地基土体的坚硬程度划分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑。

应当注意的是,因为液、塑限是用天然结构破坏后扰动土样来测定的,所以不能将土的结构性对强度的影响反映出来。多年来有许多业内研究者正在寻找直接使用天然状态的土测定稠度界限的量测新技术,并探讨土的力学性质与稠度之间的直接关系。

2.1.8 固结 consolidation

饱和土体在外荷载作用下,土体孔隙中水分逐渐排出,使土体体积减小、密度增长的过程。

土的固结过程是饱和土中孔隙水压力逐渐消散,有效应力逐渐增长的转换过程。《公路土工试验规程》中的固结是指饱和土体在侧限情况下的单向固结压缩变形。

饱和土体根据历史受力情况的不同,常分为正常固结土、超固结土和欠固结土。土体在自重作用下已压缩稳定,而后作用了上覆压力,现覆压力就是历史上所受到的最大固结压力,该土体就称为正常固结土,该土体的超固结比OCR(现覆压力与先期固结压力的比值)等于1;土体在自重作用下已压缩稳定,而后作用了上覆压力,现覆压力小于历史上所受到的最大固结压力,该土体就称为超固结土,该土体的超固结比OCR小于1;土体在自重作用下还未压缩稳定,而后又作用了现覆压力,该土体称为欠固结土,该土体的超固结比OCR等于1。

2.1.9 压缩系数 coefficient of compressibility

在 K_0 固结试验中,土试样的孔隙比减小量与有效压力增加量的比值。即 $e-p$ 压缩曲线上某压力段的割线斜率,以绝对值表示。

压缩系数是土体在侧限情况下由单向压缩试验得出的土体压缩性试验指标。由于 $e-p$ 压缩曲线不是一条直线,所以压缩系数不是一个常数,它随 $e-p$ 压缩曲线与割线两交点的位置不同而改变。压缩系数适用于土在低压力(100~200kPa)工况下计算土体的压缩变形,通常用“正值”表示。

2.1.10 压缩指数 compression index

压缩试验所得土孔隙比与有效压力对数值关系曲线上直线段的斜率。即 $e-\lg p$ 压缩曲线上大于先期固结压力后的直线段斜率。

压缩指数是土体在侧限情况下由单向压缩试验得出的土体在高压(大于土的先期固结压力)情况下的压缩性试验指标。由于 $e-\lg p$ 压缩曲线在高压工况下是一条直线,所以压缩指数是一个常数。压缩指数适用于土在高压(大于土的先期固结压力)工况下计算土体的压缩变形。(注:先期固结压力就是土体在历史上所受到的最大固结压力。)

2.1.11 压缩模量 constrained modulus

土体在侧限条件下受压时,竖向有效压力与竖向应变的比值。

压缩模量是根据土体在受力压缩前的孔隙比和土的压缩系数计算求出的压缩