

土工试验规程

1 总则

《公路土工试验规程》(JTG E40—2021)(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,开为公路工程设计 and 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山于线形、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》

第 1 页

(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/T50123—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 I 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 I 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》(GnJ 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。

第 2 页 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 / T50279—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 watercontent

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（即第 4 页

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。它是用不均匀系数 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。

3 土的工程分类

土是岩石(母岩)风化(物理风化、化学风化和生物风化)的产物,是各种颗粒粒径的集合体。因此,广义地说土和岩石在尺度上没有明确的划分界限,但是在颗粒的胶结紧密散体性。

土的工程分类就是将颗粒粒径相近、工程性质相似的土划分为同一类型(称为粒组),并为“土”分类定名奠定基础。

3.1 一般规定

3.1.1 土的工程分类(简称“分类”)适用于公路 I 程用土的鉴别、定名和描述,以便对土的性状作定性评价。

本“分类”以《土的分类标准》(GBJ 145—90)的最新修订报批稿为基础,为公路岩土工程进行分类而编制,属专门分类标准。内容包括对土类进行鉴别,确定其名称和代号,并给以必要的描述。目的是统一公路工程用土的名称,并对土的工程性质加以定性。

3.1.2 应以土的下列特征作为土的分类依据:

- (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(IP)。
- (3) 土中有机质存在情况。

土的工程分类是土工试验方法的内容之一,故分类试验应遵照本规程有关试验项目中规定的方法和要求进行。

3.1.3 本“分类”应按筛分法(T0115—1993)确定各粒组的含量;按液限塑限联合测定法(T0118—2021)确定液限和

塑限；按本方法 3. 4. 8 判别有机质存在情况。

本“分类”将土分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土，可以满足一般的工程需要。由于土分类系按扰动试样进行，因此，土的天然状态如密度的疏、密，含水状态的干、湿，结构状态的成层或各向异性，历史应力为正常固结或超固结等，分类中均无法统筹考虑。为此，像软土等类型的土没有列入本标准。土的地质成因对土的

第 14 页

性质有一定影响，但目前还没有反映这种因素的定量指标，而且属于同一成因的土类，其性质也会千差万别，所以绝大多数分类都不按成因划分土类。填土实际上是一种无确定概念的材料，可以是本“分类”所包括的各种土类，也可以是建筑房渣或工业弃料。遇到这种情况，建议在试样描述中详细记录说明。盐渍土是我国西北地区分布较广的土类，本“分类”仍将其保留在特殊土中。随着高速公路在华北、西北和青藏高原的建设，冻土病害问题突显出来，本“分类”将冻土的相关内容写入特殊土中。

3. 1. 4 土的颗粒应根据图 3—1 所列粒组范围划分粒组。

粗粒土的性质主要取决于土颗粒的粒径分布和特征，而细粒土的性质却主要取决于土粒和水相互作用的状态，即土的塑性。土中有机质对土的工程性质也有影响。土颗粒的分布特征可用筛分法确定，土的塑性指标易于借常规试验测定。这

些特征和指标也可在现场凭目测和触感的经验方法估计。根据这些特征和指标判别土类，既能反映土的主要物理力学性质，操作也方便。

3. 1. 5 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 3—2。

粒组划分界限系反映土的某些性质改变的粒径值，如具有分子运动、毛细管水上升、亲水性、渗透性等。本“分类”采用的粒组范围主要是根据国外标准并结合国

T 0101—2021 土样的采集、运输和保管

土样的采集、运输和保管，是完成土工试验极其重要的环节，尤其是对特殊土的采集和运输应特别注意。如对原状冻土，在采集和运输的过程中应保持原土样温度和土样的结构以及含水率不变等。如果送到试验室的土样不符合要求，没有代表性，那么，任何精密的仪器和审慎的操作都将毫无意义。

1 土样要求

1. 1 采取原状土或扰动土视工程对象而定。凡属桥梁、涵洞、隧道、挡土墙、房屋建筑物的天然地基以及挖方边坡、渠道等，应采取原状土样；如为填土路基、堤坝、取土坑(场)或只要求土的分类试验者，可采取扰动土样。冻土采取原状土样时，应保持原土样温度，保持土样结构和含水率不变。

1. 2 土样可在试坑、平洞、竖井、天然地面及钻孔中采取。取原状土样时，必须保持土样的原状结构及天然含水率，并

使土样不受扰动。用钻机取土时，土样直径不得小于10cm，并使用专门的薄壁取土器；在试坑中或天然地面下挖取原状土时，可用有上、下盖的铁壁取土筒，打开下盖，扣在欲取的土层上，边挖筒周围土，边压土筒至筒内装满土样，然后挖断筒底土层(或左、右摆动即断)，取出土筒，翻转削干筒内土样。若周围有空隙，可用原土填满，盖好下盖，密封取土筒。采取扰动土时，应先清除表层土，然后分层用四分法取样。对于盐渍土，一般应分别在0—0.05m、0.05~0.25m、0.25~0.50m、0.50—0.75m、0.75—1.0m垂直深度处，分层取样。同时，应测记采样季节、时间和气温。

1.3 土样数量按相应试验项目规定采取。

1.4 取土记录和编号：无论采用什么方法取样，均应用“取样记录簿”记录并撕下其一半作为标签，贴在取土筒上(原状土)或折叠后放入取土袋内。“取样记录簿”宜用韧质纸并必须用铅笔填写各项记录。取样记录簿记录内容应包含工程名称、路线里程(或地点)、记录开始日期、记录完毕日期、取样单位、采取土样的特征、试坑号、取样深度、土样号、取土袋号、土样名、用途、要求试验项目或取样说明；取样者、取样日期等。对取样方法、扰动或原状、取样方向以及取土过程中出现的现象等，应记入取样说明栏内。

2 土样包装和运输

2.1 原状土或需要保持天然含水率的扰动土，在取样之后，应立即密封取土筒，即先用胶布贴封取土筒上的所有缝隙，在两端盖上用红油漆写明“上、下”字样，以示土样层位。在筒壁贴上“取样记录簿”中扯下的标签，然后用纱布包裹，再浇注融蜡，以防水分散失。原状土样应保持土样结构不变；对于冻土，原状土样还应保持温度不变。

2.2 密封后的原状土在装箱之前应放于阴凉处，冻土土样应保持温度不变。不需保持天然含水率的扰动土，最好风干稍加粉碎后装入袋中。

2.3 土样装箱时，应与“取样记录簿”对照清点，无误后再装入，并在记录簿存根上注明装入箱号。对原状土应按上、下部位将筒立放，木箱中筒间空隙宜以稻(麦)草或软物填满，以免在运输过程中受振、受冻。木箱上应编号并写明“小心轻放”、“切勿倒置”、“上”、“下”等字样。对已取好的扰动土样的土袋，在对照清点后可以装入麻袋内，扎紧袋口，麻袋上写明编号并拴上标签(如同行李签)，签上注明麻袋号数、袋内共装的土袋数和土袋号。

2.4 盐渍土的扰动土样宜用塑料袋装。为防止取样记录标签在袋内湿烂，可用另一小塑料袋装标签，再放入土袋中；或将标签折叠后放在盛土的塑料袋内，并将塑料袋折叠收口，用橡皮圈绕扎袋口标签以下，再将放杯签的袋口向下折叠，

然后再以未绕完的橡皮圈绕扎系紧。每一盐渍土剖面所取的5塑料袋土，可以合装于一个稍大的布袋内。同样在装入布袋前要与记录簿存根清点对照，并将布袋号补记在原始记录簿中。

本规程根据公路工程专业的特点和不同的工程性质，分别规定出采样的土体状态、取样方法、土样数量及“取样记录”。并对包装、运输与管理给出具体规定。每项试验所需土样的多少和土样的工程分类、土样状态及土的最大粒径有关，应参照相应试验项目采取。原则上扰动土按质量计，原状土按体积计。

本规程修订后增加了对冻土土样的采样、包装和运输要求。

3 土样的接受与管理

3.1 土样运到试验单位，应主动附送“试验委托书”，委托书内各栏根据“取样记录簿”的存根填写清楚，若还有其他试验要求，可在委托书内注明。土样试验委托书应包括试验室名称、委托日期、土样编号、试验室编号、土样编号(野外鉴别)、取样地点或里程桩号、孔(坑)号、取样深度、试验目的、试验项目等，以及责任人(如主管、主管工程师审核、委托单位及联系人等)。

3.2 试验单位在接到土样之后，即按照“试验委托书”清点土样，核对编号并

5 土的含水率试验

在《93规程》中该试验称为“含水量试验”。近年来，国家标准、铁道、水利等相邻行业以及高等院校教科书均将土的“含水量”改称为“含水率”，从统一名词、概念的角度考虑，本规程也改称为土的“含水率”。当然，也有解释为“含水量是土体中所含的水量，单位为克(g)。而含水率是试样在105~110℃温度下烘至恒量时所失去的水质量和恒量后干土质量的比值，以百分率表示。”在国际上也有一些国家用“含水比”一词。

土中的水分为结晶水、结合水和自由水。结晶水是存在于矿物晶体内部或参与矿物构造的水。这部分水只有在高温(150—240℃，甚至400℃)下才能从土颗粒矿物中析出。因此可以把它看作矿物本身的一部分。结合水是紧密附着在土颗粒表面的薄层水膜，它是依靠水化学静电引力(库仑力和范德华力)吸附在土粒表面，它对细粒土的工程性质有很大的影响。结合水可划分为强结合水和弱结合水。强结合水靠近土颗粒表面，密度为 $2.8 / \text{cm}^3$ ，能够抗剪切，体现出固体特征。弱结合水远离土颗粒表面，它是强结合水与自由水的过渡型水，因此它的密度为 $2—1.2 / \text{cm}^3$ 。土颗粒表面结合水的总量及其变化，取决于矿物的亲水性、土粒的分散程度和土粒的带电离子等。由于表面结合水的存在，使细小颗粒(特别是黏粒)被水膜隔开，而使土粒之间不能直接接触，有一定距离，于是两个土粒之间的结合水将受到两个土颗粒的共同引

力作用，在土粒间表现出一定的连接强
形成细小的不同通道时，由于水的表面张力作用，在土中引起了毛细现象，微管道中的水被称为毛细水。重力水是重力作用下在土中移动的自由水。它具有一般液态水的共性，重力水在土中的运动规律可用达西定律表述。影响土的物理、力学性质的主要是弱结合水和自由水。因此，测定土的含水率时主要是测定这两部分水的含量，而不包括结晶水和强结合水。试验研究表明，弱结合水和自由水在 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下就可强结合水则要在 $105\sim 150^{\circ}\text{C}$ 下才可以从土体中析出。

第 47 页

T 0103—1993 烘干法

含水率试验的烘干法应用广泛，是测定含水率的通用标准方法，精度高，试验简便，结果稳定。

1 目的和适用范围

本试验方法适用于测定黏质土、粉质土、砂类土、砂砾石、有机质土和冻土土类的含水率。

含水率是土的基本物理指标之一。它反映土的状态，它的变化将使土的一系列力学性质随之而异；它又是计算土的干密度、孔隙比、饱和度等项指标的依据，是检测土工构筑物施工质量的重要指标。

2 仪器设备

2.1 烘箱：可采用电热烘箱或温度能保持 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 的其他

能源烘箱。

2.2 天平：称量 2021，感量 0.018。称量 1000g，感量 0.1g。

2.3 其他：干燥器、称量盒[为简化计算手续，可将盒质量定期(3—6个月)调整为恒质量值]等。

烘干法一般采用能控制恒温的电热烘箱。

3 试验步骤

3.1 取具有代表性试样，细粒土 15~30g，砂类土、有机质土为 50S，砂砾石为 1—2kg，放入称量盒内，立即盖好盒盖，称质量。称量时，可在天平一端放上与该称量盒等质量的砝码，移动天平游码，平衡后称量结果减去称量盒质量即为湿土质量。

3.2 揭开盒盖，将试样和盒放入烘箱内，在温度 105—110℃ 恒温下烘干^①。烘干时间对细粒土不得少于 8h，对砂类土不得少于 6h。对含有机质超过 5% 的土或含石膏的土，应将温度控制在 60~70℃ 的恒温下，干燥 12—15h 为好；

3.3 将烘干后的试样和盒取出，放入干燥器内冷却(一般只需 0.5—1h 即可)。冷却后盖好盒盖，称质量，准确至 0.01g，

注^①：对于大多数土，通常烘干 16~24h 就足够。但是，某些土或试样数量过多或试样很潮湿，可能需要烘更长的时间。烘干的时间也与烘箱内试样的总质量、烘箱的尺寸及其通风

系统的效率有关。

注①：如铝盒的盖密闭，而且试样在称量前放置时间较短，可以不需要放在干燥器中冷却。

目前国内外一些主要土工试验标准以 105—110℃ 为标准，故试验规定烘干温度为 105~110℃。

6 土的密度试验

土的密度试验是土的三大物理性试验指标(比重、密度、含水率)之一。用它结合含水率和土的比重可以换算土的干密度、饱和密度、浮密度、孔隙比、孔隙率、饱和度等六个物理性计算指标。无论是室内试验还是野外勘察以及施工质量控制等均要测定土的密度指标。

1. 土的湿密度 P

通常在没有特殊说明的情况下，所说土的密度是指土的湿密度。因此，土的密度不是土粒的密度，土粒的密度也不是土粒的比重(土的比重)，土粒的密度在数值上与土粒的比重相同，但二者的物理含义不同。密度是有量纲的量，而比重是无量纲的量。

2. 土的干密度 P_d

3. 土的饱和密度 P_m 的定义

第 56 页

4. 土的浮密度 p'

5. 土的三相体中各相质量、体积之间的关系

7. 孔隙率 n

7 土的比重试验

土的比重是土的三大基本物理性试验指标(比重、密度、含水率)之一。它是换算土的六个基本物理性计算指标和评价土类的重要依据之一，是一无量纲量。

关于比重的定义，以往国内《土工试验规程》和常见教科书上一般将比重定义为：土粒在温度 $100\sim 105^{\circ}\text{C}$ ，烘至恒重时的重量与同体积 4°C 时蒸馏水重量的比值。近年来，国外某些书刊中给出这样的定义：给定体积材料的质量(或密度)与等体积水的质量(或密度)的比值。

各类科技词典中，多取物理学的定义来解释比重这个词，即物体的重量与其体积的比值。《现代科学技术词典》将材料的比重定义为：材料的密度和其一标准材料密度之比，这一定义更具有科学性和一般性。实际上，国外书刊上已直接用材料比重来定义土的比重了。鉴于以上情况，并考虑到我国法定计量单位中有关“比重”概念给土工试验一些基本公式和计算造成不便的现实，我们仍沿袭使用“比重”这个无量纲名词，作为土工试验中的专用名词来对待。但它有明确的定义：土粒比重是土粒在温度 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量时的质量与同体积 4°C 时纯水质量的比值。这样既照顾了习惯用法，又有明确的科学定义，符合法定计量的有关规定。

从而有如下土粒比重 G_s 的表达式

通常所说土的比重就是指土粒的比重。

T 0112—1993 比重瓶法

1 目的和适用范围

本试验法适用于粒径小于 5mm 的土。

颗粒小于 5mm 的土的比重用比重瓶法测定；根据土的分散程度、矿物成分、

第 77 页

水溶盐和有机质的含量又分别规定用纯水和中性液体测定。

排气方法也根据介质的不同分别采用煮沸法和真空抽气法。

2 仪器设备

2.1 比重瓶：容量 100(或 50)mL。

2.2 天平：称量 200g，感量 0.001g。

2.3 恒温水槽：灵敏度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

2.4 砂浴。

2.5 真空抽气设备。

2.6 温度计：刻度为 $0 - 50^\circ\text{C}$ ，分度值为 0.5°C 。

2.7 其他：如烘箱、蒸馏水、中性液体(如煤油)、孔径 2mm 及 5mm 筛、漏斗、滴管等。

目前各单位多用 100mL 的比重瓶，也有采用 50mL 的。比较试验表明，瓶的大小对比重结果影响不大，但因 100mL 的比重瓶可以多取些试样，使试样的代表性和试验的精度提高，

所以本规程建议采用 100mL 的比重瓶，但也允许采用 50mL 的比重瓶。

比重瓶校正一般有两种方法：称量校正法和计算校正法。前一种方法精度比较高，后一种方法引入了某些假设，但一般认为对相对密度影响不大。本试验以称量校正法为准。

2. 8. 1 将比重瓶洗净、烘干，称比重瓶质量，准确至 0. 001g。

2. 8. 2 将煮沸后冷却的纯水注入比重瓶。对长颈比重瓶注水至刻度处，对短颈比重瓶应注满纯水，塞紧瓶塞，多余水分自瓶塞毛细管中溢出。调节恒温水槽至 5℃或 10℃，然后将比重瓶放 2k 恒温水槽内，直至瓶内水温稳定。取出比重瓶，擦干外壁，称瓶、水总质量，准确至 0. 001g。

2. 8. 3 以 5℃级差，调节恒温水槽的水温，逐级测定不同温度下的比重瓶、水总质量，至达到本地区最高自然气温为止。每级温度均应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于 0. 002g，取两次测值的平均值。绘制温度与瓶、水总质量的关系曲线。

3 试验步骤

关于试样状态，规定用烘干土，但考虑到烘焙对土中胶粒有机质的影响尚无一致意见，所以这次规定一般应用烘干试样，也可用风干或天然湿度试样。有机质含量一般规定小于 5% 时，可以用纯水测定。

8 颗粒分析试验

土是各种颗粒粒径的集合体。它由固体、液体和气体三部分组成(称为三相系)。固体部分即为土颗粒,主要由矿物颗粒和有机质组成。土粒的矿物成分主要决定于母岩的成分及其所经受的风化(物理风化、化学风化和生物风化)作用。无黏性颗粒主要是由化学稳定的(如石英)或强度较小的原生矿物(如白云母、长石)所组成。黏粒主要是由次生矿物组成。较大的黏粒,主要成分为高岭石类矿物,较细的黏粒主要成分为蒙脱石、伊里石和高岭石等类矿物。

土中包含着各种大小和形状不同的颗粒,它们都属于土的颗粒组成部分。在工程上将各种几何尺寸相近、工程性质相似的土颗粒化分为若干组,称为粒组。所谓土的颗粒组成(或机械组成)就是土中各种粒组的相对含量,称为土的颗粒级配。通常用占总土质量的百分数(或小于某一粒径土质量占总土质量的百分数)表示。确定土的粒组的相对含量的方法,称为颗粒分析试验。

在工程实践中,最常用的颗粒分析试验有两大类:一是机械分析法,如筛析法;二是物理分析法,如密度计法、移液管法等等。前者适用于分析粒径大于 0.075mm 且不大于 60mm 的土颗粒,后者适用于分析粒径小于 0.075mm 的土颗粒。若土中粗细颗粒兼有,则联合采用筛析法及密度计法或移液管法。

土的颗粒大小与土的物理力学性质有着一定的关系。根据土的颗粒组成进行分类，可以概略地判定其透水性、可塑性、收缩、膨胀等物理力学性质。但是它还不能完全反映土的各种复杂性质，特别是对于黏性土，其矿物成分、颗粒形状以及胶体含量等都是影响土的物理力学性质的主要因素，同时颗粒分析结果本身在很大程度上取决于试样制备方法和试验方法等因素。所以对于黏性土来说，按塑性指数分类往往比按颗粒组成来分类更为恰当。

T 0115—1993 筛分法

砂土及砂性土，由于其颗粒大小不同，风干含水率也不同，因而在不同程度上影响了过筛效率。按道理，颗粒分析时应采用烘干试样，但考虑到烘干试样在分析过程中仍不免吸收空气中的水分，同时采用风干试样其含水率对各粒组的含量影响较小，而且可以省略求含水率及换算干土重之烦，因此对砂土而言，通常多采用

第 88 页

风干试样进行试验。

1 目的和适用范围

本试验法适用于分析粒径大于 0.075mm 的土颗粒组成。对于粒径大于 60mm 的土样，本试验方法不适用。

当大于 0.075mm 的颗粒超过试样总质量的 15% 时，应先进行筛分试验，然后经过洗筛，再用密度计法或移液管法进行

试验。

2 仪器设备

2.1 标准筛: 粗筛(圆孔)孔径为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm 细筛孔径为 2.0mm、1.0mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm。

在最新修订的公路工程水泥混凝土和沥青混凝土以及基层集料的相应规范中,已将试验使用的圆孔筛改为方孔筛。筛孔几何形式的改变将对粗颗粒土的级配有一定的影响,并会带来其他指标的相应变化。按照面积等效圆进行换算,圆孔筛直径的面积等效圆直径约是对应方孔筛边长的 1.128 倍。设方孔筛孔边长为 d ,另设该方孔筛的等效面积圆的直径为 D 。可知方孔筛的面积为 d^2 ,该方孔筛的等效面积圆的面积为 $\frac{1}{4}\pi D^2$ 。则有

$$d^2 = \frac{1}{4}\pi D^2$$

那么

$$d = 0.886226D$$

所以

$$D = 1.12838d$$

可见,若保证方孔筛的孔面积与圆孔筛的孔面积相同时,圆孔筛的最小尺寸 D (直径)比方孔筛的最小尺寸 d (边长)大 1.12838 倍。若保证方孔筛的孔边长 d 与对应圆孔筛的孔径 D 长度相同,则圆孔筛的面积仅仅是方孔筛面积的 0.886

226 倍(或方孔筛的面积是圆孔筛面积的 1.128 38 倍)。

2.2 天平:称量 5 000g,感量 5g;称量 1 000g,感量 1z;
称量 200g,感量 0.2z。

2.4 其他:烘箱、筛刷、烧杯、木碾、研钵及杆等。

分析筛的孔径,可根据试样颗粒的粗、细情况灵活选用。

3 试样

从风干、松散的土样中,用四分法按照下列规定取出具有代表性的试样:

9 界限含水率试验

当黏性土中含水率发生变化时,土的状态就随之而变。如土的含水率由少变多时,土体便从固态转变为半固态、塑态以致成为液态,土的体积随之变大。反之,当土的含水率由多变少,土的物理状态出现相反的变化,体积就会缩小。这种状态的变化,反映了土粒与水相互作用的结果,也表明含水率变化对于黏性土的物理力学性质的影响。1911 年瑞典科学家阿太堡(Atterberg)将土从液限过渡到固态的过程划分为五个阶段,规定了各个界限含水率,称为阿太堡限度。

一定状态的黏性土表现出一定的物理力学性质。表征黏性土在某一含水率下所具有的状态,就叫稠度状态。所谓土的稠度状态就是土的软硬状态,工程中常以坚硬、可塑或流塑等术语加以描述。描述这些稠度状态的界限的含水率称为稠度界限,简称为界限含水率。如液性界限、塑性界限和收缩界

限，分别简称为液限、塑限和缩限。

应当注意的是，界限含水率的概念是基于土体的结构已被破坏的含义基础之上。

T 0118—2021 液限和塑限联合测定法

1 目的和适用范围

1.1 本试验的目的是联合测定土的液限和塑限，用于划分土类、计算天然稠度和塑性指数，供公路 I 级设计和施工使用。

1.2 本试验适用于粒径不大于 0.5mm、有机质含量不大于试样总质量 5% 的土。

1950 年以来，我国一直采用瓦氏 76g 平衡锥来测定土的液限，相应的人土深度为 $AL=10\text{mm}$ 。用不同基座材料的碟式仪测得液限时土的抗剪强度如表 T 0118—A 所示。按 76g 锥标准测得土（从低塑性到高塑性）液限时的抗剪强度如表 T 0118—B 所示，显然高出表 T 0118—A 中数值许多。

第 112 页

根据 1 000 多个土样的液限试验，发现按 76g 锥和卡氏碟式仪测得的结果相差很大，两者之间的关系可表示如下：

中不同标准时的不排水抗剪强度如表 T 0118—C 所示。

从表 T 0118—C 的试验结果可以看出，76g 锥以入土深度 17mm 作为液限和 100g 锥以入土深度 20mm 作为液限时抗剪

强度与美国 ASTM D423 碟式仪液

10 土的收缩试验

土的收缩是湿土变干时由含水率减少所引起的。这时包围着土粒的薄膜水厚度变薄，土粒在分子吸引力的作用下，互相移近，土的体积因而减小。反映土的收缩性质的指标有：缩限和体积收缩。必须注意的是，在收缩过程中，可能因土体收缩不一致而产生不均匀应力，导致土体产生裂缝。有了裂缝的土体，其强度会显著降低，透水性会显著增大。因此用土修筑路堤时，应考虑到裂缝的不利影响和采取必要的防裂措施。

T 0121—1993 收缩试验

1 目的和适用范围

本试验方法适用于原状土和击实黏质土。

随着土体含水率的减少，土的收缩过程大致可分三个阶段（图 T 0121—A）：直线收缩阶段（I），其斜率为收缩系数；曲线过渡阶段（II），随土质不同，曲线各异；近水平直线阶段，此时土的体积基本上不再收缩。根据定义，缩限系指土在收缩过程中，体积不再变化时所对应的含水率，即图 T 0121—A 中 C 点所对应的含水率。但在实际过程中很难确定这一点，因此，通常以过渡阶段曲线的拐点 E（即 I、III 两阶段直线延长线的交点）所对应的含水率 w' 代替。根据试验和计算，含水率小于 w' 后，土体减少的收缩率仅为总收

缩的 5%—10%；Terzaghi 也曾测得这种附加的收缩率小于总收缩率的 5%，可见以正点代替 C 点的误差是不大的。

本试验的目的是测定原状土和击实土试样在自然风干条件下的线缩率、体缩率、缩限及收缩系数等收缩指标。

2 仪器设备

2.1 收缩仪：如图 T 0121—1 所示。多孔板直径约 70mm，厚约 4mm，孔的总面积应大于整个板面的 50%以上；测板直径 10mm，厚约 4mm。

第 132 页

2.2 环刀：直径 61.8mm，高 20mm。

2.3 卡尺；0.05mmX12.5mm；十分表，最小分度值 0.001mm。

2.4 其他：推土块、凡士林、干燥缸和蜡封工具等。

在仪器设备方面，目前国内多采用轻金属制成百分表架与托板连在一起的形式，以便整体称量，避免反复装卸试样。也有专用的干缩仪，设有电热干燥器，或放干燥剂，可以减轻气温变化的影响，并可随时称质量。有的单位提出用微波干燥的方法，在低温下快速干缩，大约 1—2h 即可完成收缩全过程。迄今还没有定型设备。

3 试样

3.1 压样法制备试样

3.1.1 按试件所要求的干质量、含水率，按本规程

T0102—2021 中 4.2 制备湿土样,并称制备好的湿土样质量,准确至 0.1s。

3.1.2 将湿土倒入压模内,拂平土样表面,以静压力将土压至一定高度,用推土器将土样推出。

3.1.3 将试验用的切土环刀内壁涂一薄层凡士林,刀,向下,放在试件上,用切土刀将试件削成略大于环刀直径的土柱。然后将环刀垂直向下压,边压边削,至土样伸出环刀上部为止,削平环刀两端,擦净环刀外壁,称环土合质量,准确至 0.1g,并测定环刀两端所削下土样的含水率。

3.1.4 试件制备应尽量迅速,以免水分蒸发。

3.1.5 试件制备的数量视试验需要而定,一般应多制备 1~2 组备用,同一组试件或平行试件的密度、含水率与制备标准之差值,应分别在 $\pm 0.1\text{s/cm}^3$ 或 2% 范围之内。

3.2 原状土试件制备程序

按土样上下层次小心开启原状土包装皮,将土样取出放正,整平两端。在环刀内壁涂一薄层凡士林,刀,向下,放在土样上,无特殊要求时,切土方向应与天然土层层面垂直。

按本试验 3.1.3 的操作步骤切取试件,试件与环刀要密合,否则应重取。

切削过程中,应细心观察并记录试件的层次、气味、颜色,有无杂质,土质是否均匀,有无裂缝等。

如连续切取数个试件,应使含水率不发生变化。