

# 国内外新技术在土工试验中的应用

张 炜

(机械工业部勘察研究院,西安 710043)

## 0 前 言

在岩土工程领域里,土工试验作为研究和测定土的工程性质的重要手段,担负着为工程设计提供主要参数,为岩土工程科学研究提供理论数据并进行科学验证的艰巨使命。在新技术革命的浪潮中,土工试验是岩土工程领域中吸收并应用新技术成果最迅速,也是最广泛的学科之一。土工试验应用新技术的动因来自两方面,其一,当今科学技术的飞速发展推动了土工试验技术的进步;其二,日趋复杂的岩土工程问题对土工试验应用新技术不断提出更高的要求。

国内外新技术在土工试验中的应用主要体现在三个方面,一是计算机辅助测试技术在土工试验中的应用;二是利用高新技术研制出一批性能更好、自动程度更高的土工试验仪器;三是相关学科新技术的发展与岩土工程科学研究及实际应用紧密结合,所孕育出的土工试验新方法—土工离心模型试验技术的应用与发展。

## 1 土工试验计算机辅助测试技术

计算机技术在土工试验中的应用,70年代初起源于英美及日本等发达国家,80年代初我国的一些科研单位和高校从这些国家引进了一批当时在国际上比较先进的土工试验仪器设备,其中先进的数据采集和处理系统使国内土工试验界大开眼界,加之国内计算机技术的发展已开始对土工试验技术产生影响,一些科研单位开始了对这一新技术的探索。

国内土工试验界的一些有识之士向国家

有关部门建议要研制自己的土工试验数据采集和处理计算机系统,经过有关单位及部门的共同努力,1986年我国已研制出“GSX-1型工程地质试验数据采集处理系统”、“GJS-1型固结试验数据采集与处理系统”、“IG-1A型自动固结仪”等一系列土工试验数据采集和处理计算机装置。但由于种种原因,上述成果的应用广度和深度有限,没有推广使用。但通过这些工作,已初步形成了我国自己的土工试验数据采集和处理系统模式,为进一步发展奠定了基础,这一阶段可称之为摸索发展阶段。

80年代后期以来,土工试验数据采集和处理计算机技术得到了长足的进展,我国有关研究机构及厂家先后推出了“KTG型土工试验数据采集处理微机系统”、“TSW型土工试验微机数据采集处理系统”和“TWJ型土工试验微机数据采集处理系统”,并进行了商品化,在全国范围内推广应用,系统的研制者们紧跟计算机技术的发展动态,不断对系统的软硬件加以改进,使土工试验计算机辅助测试技术日臻完善。

### 1.1 土工试验计算机辅助测试技术的主要功能

#### 1.1.1 数据采集

数据采集是土工试验中工作量最大,也是最关键的环节,数据采集的自动化是通过采用传感器技术来实现的。在试验过程中,用位移传感器代替百分表,用压力传感器代替压力表,用体变传感器代替体变管,用电子

天平代替机械天平,使常规土的力学试验和物理试验的被测量值均通过传感器转换成电量,再通过电子线路转变成数字量,在程序的管理下,计算机通过数据采集器对不同试验仪器按照各自不同的工作规律进行高速采样,并按不同格式要求贮存在内存单元中留待处理。

现有数据采集系统可以根据试验室的规模来设定数据采集通道数量,可以同时采集任意台数的固结仪、直剪仪、三轴仪及电子天平的试验数据,并可利用设定的程序进行试验过程的控制,按试验规程的要求完成各项试验的数据采集工作。

### 1.1.2 数据处理

土工试验的数据处理包括试验数据的校正,试验结果的计算,各种试验曲线的绘制,试验报告的编辑整理和输出,由于土性本身的复杂性及不同工程对试验项目及试验结果的要求不同,土工试验数据处理计算机软件已具备下列功能:

(1) 根据不同工程的试验要求进行试验结果的分析计算,并绘制相应的试验曲线;

(2) 按工程试验项目的分布情况进行试验报告的编辑,并能按试验项目的多少及种类,输出一定格式的试验报告;

(3) 对一些有赖于土工理论、实际工程经验,并结合地区土特征进行数据处理试验项目,计算机提供了人工干预的功能。对于这类问题,还有待于开发土工试验专家系统,以提高数据处理水平,减少数据处理结果的随意性。

### 1.1.3 数据管理

在土工试验计算机辅助测试技术中引用数据库管理系统的技术,已能有效地对试验数据进行贮存、分类、检索、排序、统计、生成表格等项管理工作。利用计算机网络技术,能方便地进行试验数据的通讯,实现资源共享,也为岩土工程计算机辅助系统的实现创造了先决条件。

## 2 新技术在土工试验仪器研制中的应用

### 2.1 自动控制技术的应用

在土工试验仪器研制中,利用计算机及现代控制技术对试验过程进行自动控制,使土工试验仪器具有更强的功能、更高的自动化及智能化水平,是近年来土工试验仪器研制的一个发展趋势,智能化、自动化仪器的种类日益增多,其中等梯度固结仪和智能控制三轴仪就是典型代表。

#### 2.1.1 等梯度固结仪

为了解决传统的固结试验(分级加荷、定时记录)存在的试验持续时间长、试验结果的精度不高、数据的可利用程度有限等问题,国内外都在利用计算机技术进行连续加荷快速固结试验仪器(即等梯度固结仪)的研制,它是根据太沙基固结理论,在计算机的控制下,采用电液伺服装置对试样进行跟踪连续加荷,随时用位移传感器及孔隙水压力传感器测定试样的变形量与试样底部的孔隙水压力。按照控制条件,又可分为等应变速率固结试验,控制孔隙水压力梯度试验,等加荷速率试验及等固结度试验,这种仪器在微机的控制下,按控制条件进行自动加荷、自动采集数据,并进行试验数据的自动处理,是一种智能化的全自动固结仪。利用这种仪器可以使试验历程大大缩短,所得的试验资料全面、准确,可利用程度高。在即将颁布实施的国家标准《土工试验方法标准》(GBJ50123—98)中,该方法已被列入正式试验项目。

目前国内使用的有南京电力自动化设备厂生产的“DG-1型等梯度固结仪”,也有少数单位使用进口的美国 Geotest 公司生产的等梯度固结仪。

#### 2.1.2 全自动三轴仪

传统的静三轴仪只能在保持围压  $\sigma_3$  下,增加轴向压力  $\sigma_1$ ,应力路径较单一,很难较好地模拟地基土的实际应力状态,且操作繁琐。近年来研制出的具智能化的计算机控制三轴仪,是在计算机的控制下,根据指令自

动进行  $\sigma_1$  和  $\sigma_3$  的增减,除能进行常规三轴试验外,还可以进行等应力比、 $k_0$  固结等不同应力路径的三轴试验。这种仪器通过电液伺服装置进行垂直压力  $\sigma_1$  和围压  $\sigma_2$  的自动加荷,自动采集试验数据(位移、压力、体变、孔隙压力等),并进行试验数据的自动处理,是一种全自动三轴仪。

目前国内已有南京电力自动化研究院研制的“WYS-1型微机应力路径三轴仪”和中国建筑科学研究院地基所与辽宁丹东分析仪器厂联合研制的“JDDJ-2型智能三轴仪”,还有少数单位从美国、英国进口了类似功能的全自动三轴仪。

## 2.2 光电技术的应用

现代光电技术在土工试验仪器中应用的典型范例是光透射式粒度分析仪的研制成功。

在细粒土的颗粒分析试验中,传统的移液管法和比重仪法,对试验人员的熟练程度要求较高,试验操作麻烦,周期较长,由于试验中对悬浮液均有一定程度的扰动,对试验精度也有一些影响。近年在国内外均采用光电技术研制出了光透射式粒度分析仪,其优点是,测量时不与悬浮液直接接触,因而对悬浮液没有扰动,测量速度快,准确性好,并且将测试部与计算机联接,实现了颗粒分析测试、数据处理的自动化。

光透射式粒度分析仪,是利用重力沉降测量中的“斯托克斯定律”,采用消光沉降法的原理设计的。通过用消光法测量悬浮液一定高度处颗粒浓度与沉降时间的函数关系,就可以计算沉降颗粒的累积粒度分布曲线。悬浮液的浓度是用一束狭而平行的水平光,在已知深度  $h$  处通过样品槽中的悬浮液被光电探测器所接收,接收到光的强弱与悬液中颗粒的投影面积(即颗粒浓度)有关,光电探测器将接收到的光信号转变成电信号送放大器放大,然后由计算机采集,再经数据处理即可得到颗粒大小分布。

国际上,有日本产的 SKC-2000 型和

SKC-3000 型光透射式粒度分析仪,我国已有部分单位引进。近年来江苏省理化测试中心按上述原理也研制成功 LFY-9000 型光透射式粒度分析仪,其主要性能已接近国际水平。

## 2.3 多功能测试技术的应用

传统的土工试验仪器功能有限,大多只能进行一、二方面的土工试验工作,仪器的利用率不高。近年来国际上已推出了用于岩土试验的多功能材料试验机,它采用了电液伺服控制、数控技术、材料科学等领域的最新研究成果,自动化程度较高。这种仪器能进行岩石及土工材料的拉、压、剪、扭等方面的试验,还具有静力试验和动力试验两方面的功能,只需更换试验台及压力室,就能进行岩石的动、静三轴、拉伸、扭转及弯曲试验,土的动、静三轴、扭转等项试验,以及土工织物的有关方面试验,同时它还能进行其它复合材料及某些金属材料的力学试验。

我国已有单位引进了美国 MTS 公司生产的岩土多功能材料试验机,国内的一些研究机构和仪器生产厂家也研制出性能相类似的岩土多功能材料试验机。

## 3 新技术在土工试验方法中的应用——土工离心模拟试验技术

近年来,在土工试验新方法的研究和应用中,对岩土工程领域影响最大的莫过于土工离心模拟技术。目前,国内众多的研究机构致力于土工试验离心模拟技术的研究及土工离心模拟试验机的研制和工程应用。

对岩土工程而言,由土的自重引起的应力通常占支配地位,土的力学特性随应力水平而变化,常规小比例尺模型由于其自重产生的应力远低于原型,因而不能再现原型的特性,解决这一问题的唯一途径是提高模型的自重,使之与原型等效,其中最有效的方法是将模型置于特制的离心机中,使  $1/n$  缩尺的模型在  $n g$  离心加速度的空间进行试验,由于惯性力与重力完全等效,且高加速度不会改变工程材料的性质,从而使模型与原型

的应力应变相等、变形相似、破坏机理相同,能再现原型特性,这就是土工试验离心模拟技术的独到之处。

### 3.1 土工离心模拟技术的基本方法及试验设备

离心模拟试验是将比原型缩小  $n$  倍的模型放在  $n$  倍重力加速度的离心力场中,模型材料的体重也增大了  $n$  倍;通过观察测量在模型中进行试验的各种数据和现象,从而获得原型的定量资料。模型与原型各物理量间存在着定量的比例关系,如长度比为  $1:n$ ,当  $n=100$ ,离心机上 50cm 的原型,则可模拟 50m 的原型,又如时间比为  $1:n^2$ ,模型上 1 小时的沉降就相当于实际工程一年多的沉降量。

土工离心机是土工离心模拟技术的必备工具,到 80 年代末国际上已研制成第三代离心机。土工离心机主要由三部分组成:(1)是由电机为核心的驱动系统;(2)是由试样箱、吊斗、旋转臂及平衡配重等组成的试样装载、试验及平衡系统;(3)是由高灵敏的微型传感器、高速静物摄影系统、闭路电视及图象采集与处理系统、计算机及外围设备等所组成的试验数据采集与处理系统。

在国际上,土工离心机的研究起源于美国,前苏联对这方面的发展作出过重大贡献,之后英、日、法、德、荷等国相继研制出中、大型土工离心机,并应用了最新的测试及计算机技术。我国 80 年代初期开始了这方面的试验研究工作,发展迅速,到目前为止,我国已建成十余台各种规格的土工离心机,其中北京水科院和南京水科院的 450g-t 和 400g-t 离心机属亚洲最大规模,在国际上也名列前茅。

### 3.2 土工离心模拟试验技术的应用

从国内外已有资料看,土工离心模拟试验技术的应用范围极其广泛,几乎涉及所有岩土工程有关的基本建设工程,包括水利、能源、交通、海洋工程、城市建设、采掘工程,国防工程等。主要应用于四个方面:(1)检查工程设计方案的经济合理及安全可靠性;(2)对已建工

程的安全可靠性进行重新检查;(3)校正数据值分析及一些理论研究成果;(4)进行岩土体的抗震试验。用土工离心模拟试验技术解决的主要工程问题有:①堤坝和边坡的变形和稳定性验证;②建筑物浅基础的地基变形特性破坏模式及极限承载力,桩基的承载力特性及施工工艺对承载力及变形的影响;③挡土结构的变形及破坏机理,土与结构物的相互作用;④动力工程中的地下爆破、地震液化、单桩及群桩在水平动荷载下的性状等。

## 4 结 语

经过几代人的不懈努力,尤其是改革开放二十年的奋起直追,我国的土工试验技术取得了长足的进步,在新技术的应用方面取得了丰硕的成果。但与国际先进水平相比仍有较大的差距,尚需在下列几方面加倍努力,使新技术真正成为促进我国土工试验进一步发展的动力。

(1) 加大在工程勘察全行业推广应用土工试验新技术的力度。我国土工试验技术的先进水平已与国际水平相差不远,但总体水平却差距很大,主要是我国大部分工程勘察单位土工试验新技术的应用水平较低,很不适应形势的发展,提高整体的新技术应用水平仍是今后一段时期的艰巨任务。

(2) 提高土工试验人员总体技术水平是推广应用新技术的基础。由于种种原因,我国工程勘察单位土工试验人员的总体技术水平不高,严重阻碍了土工试验新技术的推广应用,因此,采取各种形式,加强在职土工试验人员的技术培训和继续教育,提高总体技术水平已是当务之急。

(3) 继续加强高新技术在土工试验中应用的研究与开发,不断赶超国际先进水平。在高新技术日新月异的今天,我们要紧紧跟踪国际上新技术的发展动态,不断采用新技术研究和开发土工试验新仪器、新方法,推进我国土工试验技术的全面进步。

收稿日期:1998-05-11