

电子计算机在岩土力学实验测试中的应用

王 改 正

Computer Application on the Experiments and Tests of Rock and soil Mechanics

Wang Gaizheng

Abstract

Rock and soil mechanics are strongly applied science. It is closely related to the technology of experiments for development. This paper briefly discusses the application of modern micro-computer for data recording and processing in rock and soil mechanics testing, the advantage, necessary condition and range for applicability in automatic testing control, fundamental method and mathematical model testing control and the problem of computer system selection.

提 要

岩土力学是实验性很强的应用学科,它的发展与实验测试技术有着密切的关系。现代电子计算机技术的发展为岩土力学的研究提供了强有力的实验手段。本文就岩土力学实验测试中运用计算机进行数据自动采集和处理,实验过程的自动控制等的优越性、必要条件和适用范围;控制实验过程的基本方法和数学模型;以及如何选择计算机进行系统设计和研制等问题,作一些粗浅的介绍和评述,以促进岩土力学测试技术的现代化。

一、引 言

本世纪四十年代问世的电子计算机,三十多年来得到了迅速的发展。七十年代初出现的微型计算机,则以更加方便灵活的形式,惊人的速度,深入到人类社会生活的各个领域。电子计算机应用的程度已经成为科学技术和经济发展水平的重要标志。电子计算机以它强大的

信息加工和运算能力,丰富的逻辑功能,巨大的信息存贮量,对各种环境的灵活适应性,结构微型化、模块化和非凡的软件技术,在各个领域得到广泛的应用。它不仅可以进行科学计算和信息处理,还广泛应用于科学实验和生产过程的自动控制。

岩石力学和土力学是实验性很强的应用科学。它的发展与实验技术密切相关。由于岩体和土体形成条件的复杂性,象岩体中的裂隙、节理、层面、断层的交错出现,土体中微粒结构的不均匀性,使得岩土力学的研究在很大程度上依赖于试验技术。为了搞清岩体和土体的本构关系、变形与强度、破坏机理和应力传播等基本性质,就要求有适应性强、准确可靠、与人为因素无关的实验设备和测量仪器,能够客观地反映岩体和土体的力学性能。

岩土力学的实验和测试,无论是室内的还是野外的,都要求试件大小形状、加载范围、实验步骤和操作方法等方面有较大的灵活性。要求操作方便、省时省力和迅速的数据处理。电子计算机在这些方面有着巨大的潜力,完全可以适应上述要求。在岩土力学实验研究中应用计算机有着广阔的前景。国外大多数研究单位在岩土力学的实验研究中已经广泛采用。早在六十年代中期,国外已经在岩土力学实验研究中使用计算机。我国岩土力学专家陈宗基教授早在七十年代初就提出,把计算机用到岩土力学实验研究中去。美国加州大学伯克利分校材料和采矿工程系、地质和地球物理系、土木系的几个岩石力学实验室都配备了由PDP-11和6500系列微计算机控制的刚性压力机、材料试验机和高温高压三轴实验机。瑞典的采矿研究所,配备了APPLE-Ⅱ微型控制的岩石力学试验系统。我国岩土力学研究要赶上国际先进水平,实验设备和仪器必须前进一步。

要把我们现有的实验设备改造成用计算机控制的自动化设备,还有许多艰苦的研究工作要做。第一步要实现被测物理量的电信号转换。即把被测的位移、压力、应变等静动态力学参数的测试信号转换成模拟的或数字的电信号,以便计算机采集和识别。做这些转换的换能器、传感器已经有不少定型产品。但是要真正找到适合特定的岩土力学实验需要的器件,仍然要细心研究。其次,对各种实验测量过程,要程序化。电信号和对应的物理量要有确定的函数关系。对测量信号的幅值、范围、精度和数据量多少要有个基本估计。第三,对于自动控制的实验系统,还要研究被控物理量怎样由电信号控制,控制参数的响应频率、作用范围、稳定可靠性等要有基本的论证和分析。

计算机控制的实验系统具有高效率、准确、稳定、适应性强、试验程序化等优点,可以达到用人工无法得到的效果。现代控制理论中的最佳控制、自适应控制和职能控制理论,为实现上述要求开创了全新的局面。利用计算机的优越性,研究开发适合各个学科领域中实验研究所需要的自动数据处理和实验控制系统,是各个学科共同关注的新课题,是改进和提高科学研究装备、实现科学技术现代化的重要方面。在核物理、化学、生物学、材料科学、电力、水工等许多学科领域里,应用计算机已经取得了可喜的成果。在岩土力学的实验研究中,也有着广阔的前景。

二、实验系统自动化的基本形式

计算机用于实验系统,主要有三种形式:自动数据采集系统、直接数字控制系统和闭环控制系统。分别简述如下。

(一) 自动数据采集和处理系统

数据记录量大、参数多的实验系统,多采用计算机自动数据采集处理系统。通过多路模数(A/D)转换和巡回检测,将计算机直接得到的实验结果加以处理,输出到外存贮器记录设备中,即记到数据文件库里,并印出数据,绘成图表。这样就可以按预先给定的数据分析模型,进行计算分析,得到准确、可靠、实时的结果。这种系统在电测设备上已经得到广泛的应用,是实现自动控制的前提。国际上自动化的职能测试已经达到成熟的阶段。万用表、示波器之类的各种通用电子测量设备均已被职能化、数字化、带有微型电脑的设备代替。大多数微型机都提供了连接测量设备的标准化扩充接口。

计算机数据采集和处理系统的方框图如图1。

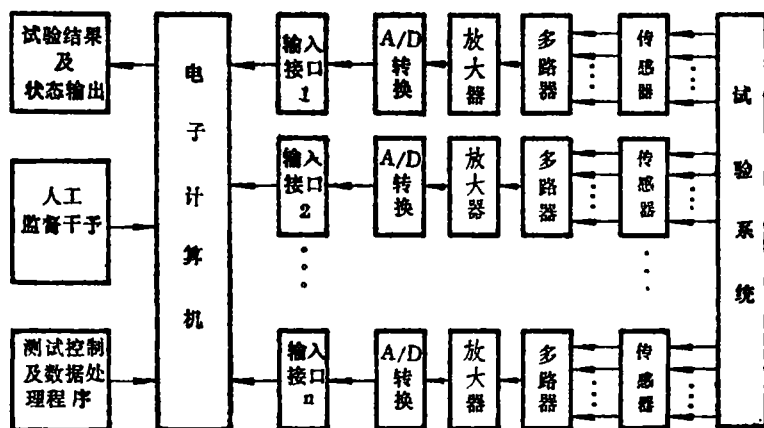


图1 计算机数据采集和处理系统框图

系统工作过程如下:计算机在人工干预和监督下,输入测试控制和数据处理程序。在该程序控制之下,传感器从试验系统检测的物理量被转换成模拟电信号;经多路器将各路电信号送到放大器模拟放大;再经A/D转换器转换成数字信号送到输入接口;计算机从输入接口得到检测的数字量。然后计算机将这些原始数字量按预定的处理公式加工处理、存盘、存带、打印、绘图输出。在同一个试验系统中做不同的试验,按不同的实验公式处理,都可以通过灵活地改变程序来实现。大批的实验数据,还可以直接将磁带或磁盘直接由较大的计算机接口设备上送到大中型计算机上进行各种计算分析。

单道或多道的数据采集处理系统,已经有许多成熟的经验借鉴。Michael, N. Graniri和Williarn, J. schmitt总结成三代发展结构。即单处理机单总线多接口结构(如前所述)、多处理机单总线互连结构和分布式处理结构。笔者认为,目前岩土力学实验系统应采用第一代结构。

(二) 直接数字控制系统

对于操作较复杂,但数据采集和处理则较为简单的实验系统,可采用直接数字控制系统。在这样的系统中,试验控制参数之间遵循一定的函数关系,而与检测记录量无直接关系。系统要求计算机输出按控制时间分配的参数值进行试验。如位移按时间变化的曲线控

制、温度按时间变化曲线控制等。这类系统一般较简单,便于调试分析。但也有包括检测输入的,不过此时输入的检测量只作为检测结果处理,对控制量影响甚小。所以也叫做开环控制系统。

(三) 闭环控制系统

这是一类复杂的控制系统,由试验操作控制、数据采集处理和反馈输出控制等组成。结构方框图如图2。

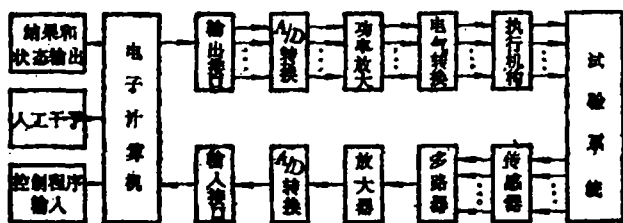


图2 计算机闭环控制系统框图

该系统的输入回路与数据处理系统相同。计算机接收检测输入量;按控制模型进行计算分析,从而确定系统状态和控制输出量;经过输出接口、D/A转换、电液或电磁转换;推动执行机构;控制试验过程;将检测试验结果和系统状态经加工处理,以图表形式输出。

尽管计算机的运算速度快,有实时中断功能,但在频率响应要求高的系统中,单靠计算机构成的控制还是不够的。一般的计算机只能做到几十毫秒级的瞬态响应,反应的速度跟不上。所以,闭环频率响应要求高的系统,除了有计算机作为全局反馈控制之外,还必须有与之并行的模拟反馈控制。例如,MTS材料试验机的计算机控制系统,就是以局部模拟反馈控制为主的。

在岩土力学的实验研究中,大量的室内和现场试验,都可以采用自动数据采集处理系统和自动控制系统。如地下洞室的围岩变形测量、地应力测量、岩石声波测量、岩石静态应力应变测量、土的固结测量、土的静态应力应变测量等,都可以用微型计算机数据采集和处理。岩石和土的各种试验机也都可以配备计算机自动控制系统。将加载、卸载的全过程和各种实验数据的记录处理实现自动化。这就可以大大提高试验精度和工效。

三、计算机控制的数学模型

无论是工业生产过程还是试验过程的自动控制,都要实现在给定条件下确定的过程变化,达到预定的目的。因此必须将过程变化的输入量、输出量和状态变化量以及它们之间的关系进行准确地数学描述,建立系统控制的数学模型。数学模型的研究在自动控制理论中占有重要地位。系统预定指标能否达到和系统的稳定性如何,都要通过数学模型来进行研究分析。因此,数学模型也是系统设计的理论根据。

古典的控制理论主要用于线性定常系统,用频率法进行分析。把问题归结为在传递函数基础上设计一个满足给定指标的指标函数。它仅适用于单输入单输出的系统。而多输入多输

出的复杂系统, 用现代控制理论的观点分析, 可以表示成状态空间的状态方程。计算机控制系统的状态描述可以由图3说明。

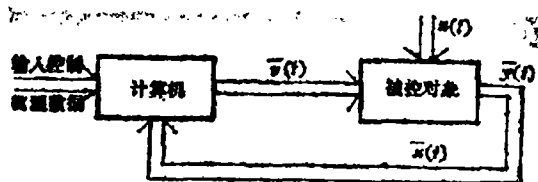


图3 计算机控制系统的状态表示

图3中 $\bar{x}(t)$ 表示被控对象的状态, 称谓状态向量。 $\bar{u}(t)$ 是计算机输出的控制量, 称谓控制向量。 $\bar{y}(t)$ 是计算机从被控对象检测的输入量, 称谓检测向量。 $n(t)$ 是系统受到的附加干扰。

对于试验过程所有可能的 t 值, $\bar{x}(t)$ 值的集合, 构成 n 维空间的状态场。 $\bar{x}(t)$ 可以表示成

$$\bar{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}^T$$

每个 $x_i(t)$ 叫做一个状态分量。

输入向量 $\bar{y}(t)$ 可以表示成

$$\bar{y}(t) = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_e(t)\}^T$$

每个 $y_j(t)$ 叫做输入分量。每个检测量的取值范围就是对应的输入分量的取值范围。

控制向量 $\bar{u}(t)$ 可以表示成

$$\bar{u}(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)\}^T$$

每个 $u_k(t)$ 表示一个输出控制量。输出控制量规定了系统控制参数的性质。

系统的控制过程, 可以用一阶微分方程描述如下

$$\dot{\bar{x}}(t) = F[\bar{x}(t), \bar{u}(t), t] \quad (1)$$

$$\bar{x}(t_0) = \bar{x}_0 \quad (2)$$

$$\bar{y}(t) = H[\bar{x}(t), \bar{u}(t), t] \quad (3)$$

式(1)描述了状态向量、控制向量和时间的关系, 称谓状态方程; 式(2)描述了输入向量、状态向量、控制向量和时间的关系, 称谓系统的测量方程。直接求解上面的方程, 往往是复杂的、困难的。但是通过拉普拉斯变换或Z变换, 即可化为求解代数方程的问题。根据状态方程的线性和非线性性质, 系统可分为一阶线性系统和高阶非线性系统。对上述系统的研究, 引入了最佳控制理论、稳定性理论等许多数学问题。还有的系统, 则不用微分方程描述。而用概率统计模型或经验公式描述。这就可以使整个系统的控制模型简化。

对于给定的物理系统, 可以根据其物理特性建立数学模型, 但这样的纯理论模型要反复试验修改。往往还要在计算机上模拟过程的控制。数学模型的研究在系统设计阶段就必须考虑, 从而确定系统的基本特性和硬设备的基本要求。它的具体使用, 在软件设计和联机调试时, 还要进一步修改。在岩土力学试验中, 由于不同的岩石和土的力学性质变化较大, 相应的各种检测参数和控制参数也将会有很大的变化。无论是检测元器件、控制部件, 还是计算机的软件、硬件配置和研究制造, 都必须考虑岩土力学试验的这种特殊要求。(待续)

参 考 文 献

- 〔1〕戴冠中, 计算机控制原理, 西北工业大学。
- 〔2〕IEEE, 1979, Autotestcon, International Automatic Test Conference.
- 〔3〕Carrick, A., Computer and Instrumentation.
- 〔4〕电子测量技术, 1982.5.
- 〔5〕MTS试验机技术手册。
- 〔6〕Application of Computer Methods in the Mineral Industry, Proceedings of the Tenth International Symposium, 1972.