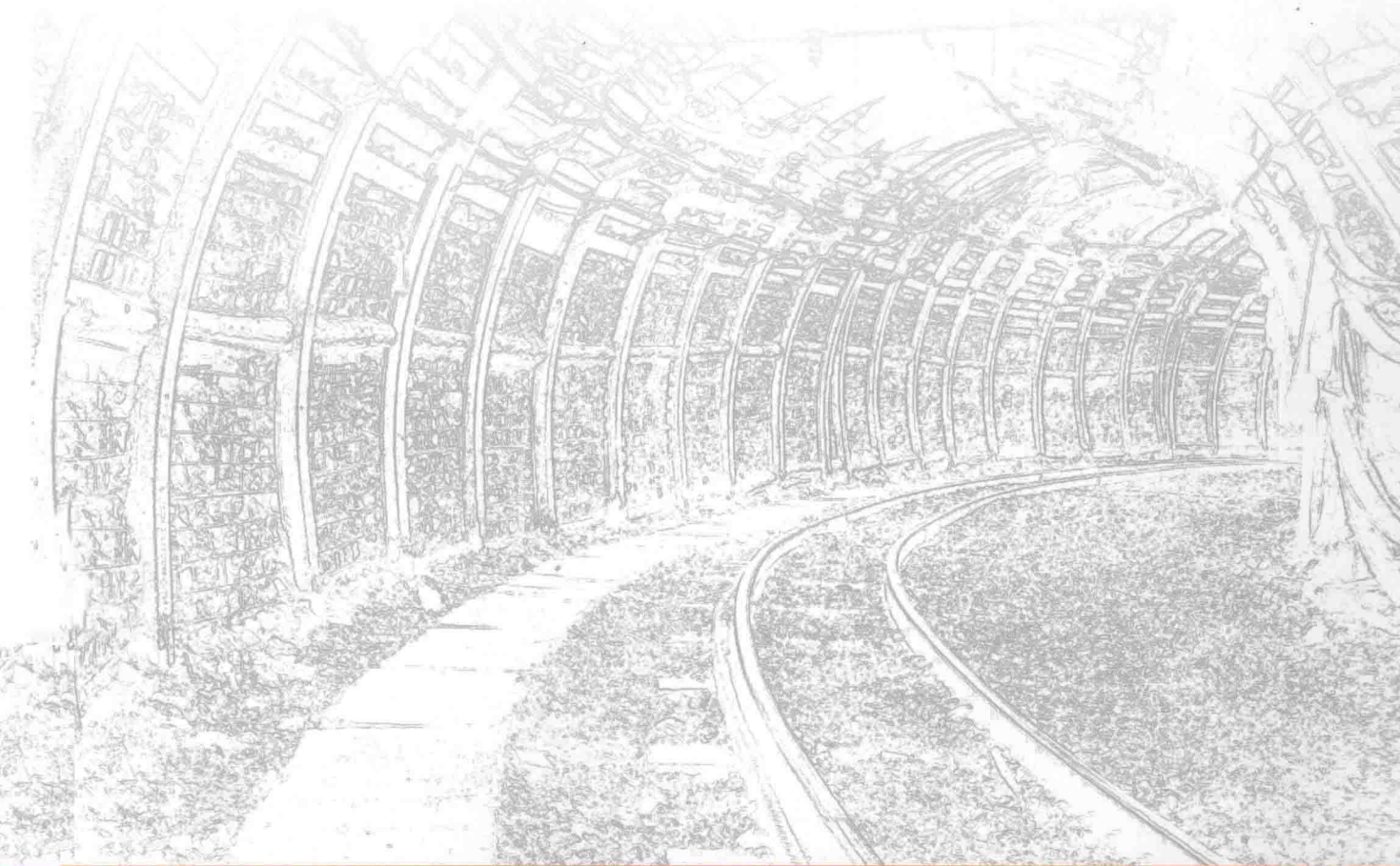




普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

# 岩土工程测试技术

主编 姚直书 蔡海兵  
主审 程 桦



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

# 岩土工程测试技术

主 编 姚直书 蔡海兵  
副主编 王晓健 宋海清  
主 审 程 桦



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

岩土工程测试技术/姚直书,蔡海兵主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.3  
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材  
ISBN 978-7-307-12638-1

I. 岩… II. ①姚… ②蔡… III. 岩土工程—测试技术—高等学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 316773 号

责任编辑:孙 丽

责任校对:李嘉琪

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:湖北睿智印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:11 字数:296千字

版次:2014年3月第1版 2014年3月第1次印刷

ISBN 978-7-307-12638-1

定价:23.00元



版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

## 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾问: 干洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程桦 颜事龙

主任委员: 丁克伟 徐颖 高飞

副主任委员: 戈海玉 方达宪 孙强 杨智良 陆峰 胡晓军

殷和平 黄伟

委员: 马芹永 王睿 王长柏 王佐才 韦璐 方诗圣

白立华 刘运林 关群 苏少卿 李长花 李栋伟

杨兴荣 杨树萍 肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞

张洵 张速 张广锋 陈燕 邵艳 林雨

周安 赵青 荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华

钱德玲 倪修全 郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑: 曲生伟

秘书长: 蔡巍

## 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

### 课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

### 课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录[www.stmpress.cn](http://www.stmpress.cn)下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

# 前言

本书为住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会“2013年度高等教育教学改革项目土木工程专业卓越计划专项”立项课题成果之一。

“岩土工程测试技术”是高等学校土木工程专业岩土工程方向、地下工程方向、矿山建设工程方向、路桥隧道方向、建筑工程方向和城市地下工程方向等专业方向的一门专业基础课。本书主要内容包括土木工程专业方向测试技术的基本原理、基本方法、测试元件和测试系统组成等。

为了贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要》，提出了“卓越工程师教育培养计划”。为配合“卓越计划”的实施，安徽省各土木工程专业高校联合武汉大学出版社，启动“安徽省高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划教材建设项目”。本书是根据卓越工程师计划的要求，结合编写组教师的长期教学经验编写而成的，并注意与其他相关课程的衔接，适当调整一些重复的内容，突出特色内容。在测试技术介绍中力求系统和实用，强调对学生实际运用能力的培养。

本书由安徽理工大学姚直书和蔡海兵担任主编，安徽理工大学王晓健和宋海清担任副主编，安徽建筑大学曹广勇担任参编。

具体编写分工如下：

安徽理工大学，姚直书(第1章、第9章)；

安徽理工大学，蔡海兵(第5章、第7章)；

安徽理工大学，王晓健(第2章、第8章)；

安徽理工大学，宋海清(第3章、第4章)；

安徽建筑大学，曹广勇(第6章)。

安徽大学程桦教授担任本书主审，并对本书的编写提出了许多宝贵的建议，特致谢意。同时，对安徽理工大学徐颖教授在本书的编写过程中给予的关心和帮助表示谢意。

在本书的编写过程中，我们参考了有关书籍，并从中引用了部分内容，在此向各位编著者表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2013年12月

# 目录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <b>1 绪论</b> .....        | (1)  |
| 1.1 岩土工程测试的意义 .....      | (2)  |
| 1.2 岩土工程测试内容 .....       | (2)  |
| 1.3 岩土工程测试技术的发展 .....    | (4)  |
| 知识归纳 .....               | (5)  |
| 独立思考 .....               | (5)  |
| 参考文献 .....               | (5)  |
| <b>2 测试技术的基础知识</b> ..... | (6)  |
| 2.1 测试系统的组成 .....        | (7)  |
| 2.2 测试的误差处理 .....        | (8)  |
| 2.3 测试系统的传递特性 .....      | (10) |
| 2.4 测试系统的选择原则 .....      | (12) |
| 知识归纳 .....               | (13) |
| 独立思考 .....               | (13) |
| 参考文献 .....               | (13) |
| <b>3 传感器测量原理</b> .....   | (15) |
| 3.1 传感器的定义、组成及其分类 .....  | (16) |
| 3.2 应力计和应变计原理 .....      | (17) |
| 3.3 电阻式传感器 .....         | (18) |
| 3.4 振弦式传感器 .....         | (28) |
| 3.5 电感式传感器 .....         | (31) |
| 3.6 电容式传感器 .....         | (37) |
| 3.7 光纤传感器 .....          | (38) |
| 知识归纳 .....               | (43) |
| 独立思考 .....               | (43) |
| 参考文献 .....               | (43) |
| <b>4 基坑工程监测技术</b> .....  | (44) |
| 4.1 基坑工程现场监测的意义 .....    | (45) |
| 4.2 基坑监测的对象和步骤 .....     | (45) |
| 4.3 基坑监测方案和测点布置原则 .....  | (46) |

|          |                     |              |
|----------|---------------------|--------------|
| 4.4      | 基坑监测的重点内容           | (50)         |
| 4.5      | 监测数据的处理             | (57)         |
| 4.6      | 基坑工程监测实例            | (59)         |
|          | 知识归纳                | (62)         |
|          | 独立思考                | (62)         |
|          | 参考文献                | (62)         |
| <b>5</b> | <b>隧道工程施工监测技术</b>   | <b>(63)</b>  |
| 5.1      | 隧道工程监测的目的           | (64)         |
| 5.2      | 隧道工程的监测内容           | (64)         |
| 5.3      | 隧道工程的监测方法           | (65)         |
| 5.4      | 监测数据的分析             | (78)         |
| 5.5      | 监测信息的反馈             | (81)         |
|          | 知识归纳                | (82)         |
|          | 独立思考                | (82)         |
|          | 参考文献                | (83)         |
| <b>6</b> | <b>声波测试技术</b>       | <b>(84)</b>  |
| 6.1      | 概述                  | (85)         |
| 6.2      | 声波测试的基本原理           | (85)         |
| 6.3      | 声波检测仪与换能器           | (95)         |
| 6.4      | 声波探测的基本方法           | (99)         |
| 6.5      | 声波测试在岩土工程中的应用       | (105)        |
|          | 知识归纳                | (109)        |
|          | 独立思考                | (110)        |
|          | 参考文献                | (110)        |
| <b>7</b> | <b>工程结构混凝土的强度检测</b> | <b>(111)</b> |
| 7.1      | 混凝土强度的回弹法检测         | (112)        |
| 7.2      | 混凝土强度的超声波法检测        | (124)        |
| 7.3      | 混凝土强度的超声回弹综合法检测     | (126)        |
| 7.4      | 混凝土强度的钻芯法检测         | (129)        |
|          | 知识归纳                | (130)        |
|          | 独立思考                | (131)        |
|          | 参考文献                | (131)        |
| <b>8</b> | <b>桩基础检测技术</b>      | <b>(132)</b> |
| 8.1      | 桩基础概述               | (133)        |
| 8.2      | 灌注桩成孔质量检测           | (135)        |
| 8.3      | 桩基静载测试              | (139)        |



---

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| 8.4 桩基低应变反射波法动力检测 .....   | (146)        |
| 8.5 灌注桩钻芯法检测 .....        | (151)        |
| 知识归纳 .....                | (153)        |
| 独立思考 .....                | (154)        |
| 参考文献 .....                | (154)        |
| <b>9 矿山井筒工程监测技术 .....</b> | <b>(155)</b> |
| 9.1 井筒工程监测的意义 .....       | (156)        |
| 9.2 井筒工程监测的重点内容 .....     | (156)        |
| 9.3 井筒工程监测仪器的性能要求 .....   | (157)        |
| 9.4 井筒工程的监测方法 .....       | (157)        |
| 9.5 冻结井筒工程监测实例 .....      | (158)        |
| 知识归纳 .....                | (164)        |
| 独立思考 .....                | (164)        |
| 参考文献 .....                | (164)        |

# 绪 论

## 课前导读

---

### ▽ 内容提要

本章主要介绍岩土工程测试技术的意义和基本概念，重点讲述了岩土工程测试的主要内容，还介绍了岩土工程测试技术的发展状况。

### ▽ 能力要求

通过本章的学习，学生应掌握岩土工程测试技术的相关概念，熟悉岩土工程测试的主要监测内容，了解岩土工程测试技术的发展前沿。

## 1.1 岩土工程测试的意义

岩土工程是利用土力学、岩体力学及工程地质学的理论与方法,为研究各类土建工程中涉及岩土体的利用、整治和改造问题而进行的系统工作。

随着科学技术的发展,人类发明和创造了各种仪器、仪表和传感器,并利用它们进行各种科学实验和测试工作,获得了单靠人的感官所不能取得的各种信息,然后将这些信息进行处理、分析和利用,促进了科学技术的进步和生产的发展。就这样,在工程实践和科学实验中,逐步地形成了现代的“测试技术”。测试是人们借助一定的测量手段,采用实际测量的方法,对客观事物和自然现象取得数量上和质量上的认识的过程。任何一个事物和现象都可以用一些特征物理量或物理参数的大小及其变化规律的信息来描述。而测试技术就是信息的获得、传输,变换、显示记录和分析处理的原理和技术。总之,测试技术就是测量工具和测量方法的统称。测试可在现场条件下对实物原型来进行量测,通常称为现场实测,如混凝土强度检测、巷道围岩松动圈量测和桩基承载能力监测;也可在实验室内对模型试件进行量测,称为实验测试。岩土工程测试技术就是为了研究岩土体的工程特性及与岩土体相关工程结构的稳定性和安全性,而利用一定的测量工具和测量方法对岩土体及其工程结构进行试验测量的技术方法和测试过程的总称。

岩土工程测试技术不仅在岩土工程建设实践中十分重要,而且在岩土工程理论的形成和发展过程中也起着决定性的作用。理论分析、试验研究和工程实测是岩土工程分析问题的三个重要方面,理论分析指导工程实践,而试验测试又是理论分析的基础,岩土工程中的许多理论是建立在试验基础上的,岩土工程实测技术是保证岩土工程设计合理可行的重要手段。随着经济和社会的发展,工程实践中出现了更多、更复杂的岩土工程问题,需要运用创新的工程设计方法来解决实际问题,创新的设计方法要求测试技术采用新仪器和新方法,以提高岩土体物理力学参数的测试水平,保证工程实测的精度。岩土工程测试技术是大型岩土工程信息化施工的保障,现场测试已经成为岩土工程施工不可分割的重要组成部分,监测技术在边坡工程、地下工程、路桥工程、基坑工程、桩基工程、矿山工程等建设施工中发挥着越来越重要的作用;岩土工程测试技术是保证大型重要岩土工程长期安全运行的重要手段,重大的岩土工程,如水电系统的地下厂房群、大型地下空间、城市地下铁道、大型高陡边坡、高速铁路路基、海底隧道、矿山井壁等工程,需要在运营期间进行岩土工程及其结构的变形、受力、温度、渗流状况、沉降的长期监测监控。

因此,岩土工程测试技术是从事土木工程相关方向人员所必需的基本知识,同时也是从事岩土工程理论研究所必须掌握的基本手段。所以,对土木工程专业相关方向的学生而言,这是一门必须掌握的专业基础课程。

## 1.2 岩土工程测试内容

岩土工程测试技术一般分为室内试验测试技术、原位测试试验技术和现场监测技术三个方面,它们具有各自的特点和应用范围,本书主要介绍现场监测技术的相关内容。

### (1) 室内试验测试技术

室内试验测试技术能进行各种理想条件下的控制试验,在一定程度上容易满足理论分析的要求。室内试验测试主要有土的物理力学指标室内测试试验、岩石的物理力学指标室内测试试验、利用相似材料完成的岩土工程模型试验和采用数值方法完成的数值仿真试验,有关上述试验的原理

和方法由专门的课程进行讲授。下面列举一些试验的具体名称。

① 土的室内试验测试在“土力学”和“土动力学”课程中进行讲解,主要试验有含水率试验、密度试验、颗粒分析试验、击实试验、回弹模量试验、渗透试验、固结试验、三轴压缩试验、无侧限抗压强度试验、直接剪切试验、动力特性试验、自由膨胀率试验、膨胀力试验、收缩试验、温度试验、导热系数试验等。

② 岩石的室内试验测试在“岩石力学”课程中进行讲解,主要试验有含水率试验、颗粒密度试验、块体试验、吸水性试验、渗透性试验、膨胀性试验、耐崩解性试验、冻融试验、岩石断裂韧度测试试验、单轴强度和变形试验、三轴压缩强度和变形试验、抗拉强度试验、点荷载强度试验等。

③ 相似材料模型试验主要在“模型试验”课程中进行讲解。该试验采用相似理论,用与岩土工程原型性质相似的材料按照相似常数制成室内模型,在模型上模拟各种加载和开挖过程,研究岩土工程的形成和破坏等力学现象。模型试验种类繁多,主要试验有岩土工程开挖施工过程中围岩破坏规律试验、工程加固机理研究、地下工程开挖引起的地表损害规律研究、岩爆机理研究、地下洞室群支护设计优化分析、离心模型试验等。

④ 数值仿真试验主要在“有限单元法”等课程中进行讲解。数值仿真试验利用计算机进行岩土工程问题的研究,具有可以模拟大型岩土工程、模拟复杂边界条件、成本低、精度高等特点。岩土工程数值仿真试验常用的数值方法有有限元法、离散元法、有限差分法、不连续变形法、顺粒流法、流形单元法、无单元法等。

## (2) 原位测试试验技术

原位测试可以在最大限度上减少试验前对岩土体的扰动,避免这些扰动对试验结果的影响。原位测试结果可以直接反映原位测试体的物理力学状态,更接近工程实际情况。同时,对于某些难以采样进行室内测试的岩土体,原位测试则是必需的。在原位测试方面,地基中的位移场、应力场测试,地下结构表面的土压力测试,地基土的强度特性及变形特性测试等方面是研究的重点。

原位测试技术可以分为土体的原位测试试验和岩体的原位测试试验两类。

① 土体的原位测试试验主要在“基础工程”课程中讲解,主要试验有静载荷试验、静力触探试验、标准贯入试验、轻便触探试验、十字板剪切试验、现场直剪试验、地基土动力特性原位测试试验、场地土波速测试、场地微震观测、循环荷载板试验、地基土刚度系数测试、振动衰减测试、旁压试验等。

② 岩体的原位测试试验主要在“岩石力学”课程中讲解,主要试验有地应力测试、弹性波测试、回弹试验、岩体变形试验、岩体强度试验等。

## (3) 现场监测技术

现场监测技术是随着大型复杂岩土工程的出现而逐渐发展起来的,在水电工程大型地下厂房群、城市地铁建设中的车站及区间隧道、大型城市地下空间、复杂地质条件下矿山井筒及巷道、大断面隧道、高陡边坡加固等工程施工中,由于信息化施工技术的应用,现场监测已成为保证这些工程安全施工的重要手段。岩土工程现场监测技术将在本书中详细介绍,这里仅介绍其涉及的领域和分类。

① 岩土工程现场监测涉及的领域众多,主要有水利水电工程、铁路、公路交通、矿山、城市建设、国防建设、港口建设、地下空间开发与利用等。

② 岩土工程现场监测的分类,按开展监测的时间可分为施工期监测和运营期监测;按监测的建筑物类型可分为大坝监测、地下洞室监测、隧道监测、地铁监测、基坑监测、边坡监测、支挡结构监测等;按影响因素可分为对人类工程活动进行的监测和自然地质灾害监测;按监测物理量的类型—

般可以分为变形监测、应力(压力)应变监测、渗流监测、温度监测和动态监测等;按监测变量分为原因量监测和效应量监测。

### 1.3 岩土工程测试技术的发展

#### 1.3.1 岩土工程测试技术的现状

近年来,各类建设工程的不断开展给岩土工程领域带来了巨大活力,同时也提出了更高的要求。新元件、新仪器、新方法和新技术等的引入,大大促进了岩土工程检测与测试水平的提高,为岩土工程领域的不断扩展打下了坚实的基础。岩土工程检测与测试始终贯穿于岩土工程勘察、设计、施工、监测的全过程。岩土工程勘察,在解决与工程有关的岩土工程问题,查明不良工程地质现象,提出解决问题的方法,利用获得的检测、测试数据合理确定岩土参数,科学、准确地作出结论等方面发挥了巨大的作用。岩土工程测试要求技术人员责任心强,它直接关系到岩土工程参数的提取是否准确与合理。但由于各种原因,在岩土工程测试工作的开展中还存在一些非技术性的不足之处,主要表现如下:

① 手段单一。岩土工程测试是获得岩土工程科学参数的主要手段。针对不同的岩土工程项目,应采用不同的测试方法,以获得合理的岩土工程参数。如果无视工程复杂与否,仅用单一简单的方法,难免得到不切实际的结论。

② 结果缺乏科学、合理的解释。岩土工程测试是一项技术性强、需要测试人员责任心强的严肃性工作。如果在重要环节使用非专业人员或专业人员的素质与训练不够,则结果的科学性与合理性得不到保证。

③ 管理制度不健全。管理制度不健全是阻碍岩土测试及岩土工程领域发展的根本所在。无论工程大小、复杂与否,也不管所需的设备是否满足要求,只从经济效益出发,跨越资质、等级,低水平操作是管理失效的主要表现。

④ 人员培训不及时。我国岩土工程领域的快速发展,对岩土工程检测与测试提出了更高的要求,测试新技术的应用被普遍重视,对人员的培训考核就显得尤为重要。

#### 1.3.2 岩土工程测试技术的展望

近年来,岩土工程的规模越来越大,对施工技术的要求也越来越高。展望未来,为了满足不断发展的岩土工程对测试技术的要求,岩土工程测试技术应加强以下几方面的工作:

① 新仪器和新方法的开发及应用。由于试验测试方法在很大程度上影响着岩土力学理论的发展,结合有关高新技术,引入现代计算机技术,同位素示踪技术,光纤技术,半导体技术,卫星测量技术,电、磁场测试技术,声波测试技术,遥感测试技术以及传感器技术的最新成果,开发出功能强、精度高、速度快、抗干扰、智能化程度高的高精度试验仪器,将使得测试结果在可信度方面大大提高、地下结构表面的土压力测试等传统测试难题等变得简单而可靠、测试结果更具有现实的工程意义。

② 工程地球物理探测技术的快速发展。工程物探在我国已有 40 多年的历史,早期主要引用传统的物探方法,如地面直流电法、电测井法等,方法单一,多解性强,误差大,效果不理想。近年来,国内外应用各种物探原理开发了一批性能很强的专用仪器,如波速仪、探地雷达、管线探测仪、打桩分析仪等,它们具有精度高、抗干扰能力强等优点,而且能适应各种岩土工程的需要,是今后发

展的一个重要方向。

③ 信息化施工技术的广泛应用。随着岩土工程的发展,工程地质条件变得更加复杂,为了确保岩土工程及其结构在施工和使用过程中的安全,必须要对其关键指标进行监测,通过对实测数值的处理分析,评估其工程的安全性。

④ 现场监测、室内试验测试、设计计算和数值反分析及其再预测的有机结合与循环。室内试验测试是基础,并由此进行工程设计;现场实时监控与测试能对预测值作出修正,并经反分析、优化得到符合工程实际所需的参数值。这种快速、实时监测是动态设计的重要环节,而远程自动化监测是岩土工程测试技术发展的方向。

#### 【知识归纳】

- (1) 岩土工程测试技术的意义;
- (2) 岩土工程测试的主要监测内容;
- (3) 岩土工程测试技术的发展状况。

#### 【独立思考】

- 1-1 简述岩土工程测试技术的意义及基本概念。
- 1-2 岩土工程测试技术的主要监测内容有哪些?
- 1-3 简述岩土工程测试技术的发展前沿。

#### 【参考文献】

- [1] 王后裕,陈上明,言志信. 地下工程动态设计原理[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
- [2] 夏才初,李永盛. 地下工程测试理论与监测技术[M]. 上海:同济大学出版社,1999.
- [3] 马英明,程锡禄. 工程测试技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,1988.
- [4] 蔡海兵. 土木工程测试技术课程模块化教学方法探讨[J]. 陕西教育(高教版),2009(10): 280-281.
- [5] 饶汉刚. 岩土工程测试技术与计算机应用[J]. 软件工程师,1996(6):21.

# 测试技术的基础知识

## 课前导读

---

### □ 内容提要

本章主要介绍测试系统的组成，其中包括测试系统的科学意义、系统的模块功能等；重点讲述测试系统传感器的静态特性，包括灵敏度、线性度、回程误差等，最后从测试系统的性能、布设、测读和经济性方面给出了选择原则。

### □ 能力要求

通过本章的学习，学生应掌握本章重点内容，了解测试系统的组成，熟悉测试系统的主要静态特性参数，掌握测试系统的选择原则。

## 2.1 测试系统的组成

生产力是社会发展的决定因素,一个国家的国力首先取决于它的生产能力,特别是它的科技水平,而测试技术是决定科技水平的重要因素之一。我国已将科技兴国作为我国的基本方针,而测试技术是科学发展必不可少的手段。门德列耶夫说过:“科学是从测量开始的,没有测量就没有科学,至少是没有精确的科学、真正的科学。”我国“两弹一星”元勋王大珩院士也说过:“仪器是认识世界的工具;科学是用斗量禾的学问。用斗去量禾就对事物有了深入的了解、精确的了解,就形成科学。”

人类已进入瞬息万变的信息时代,信息科技包括信息的获取、处理、传输、存储、执行。传感器处于研究对象与测控系统的接口位置,是感知、获取与检测信息的窗口。一切科学实验和生产过程,特别是自动检测和自动控制系统所获取的信息,都要通过传感器转换为容易传输与处理的电信号。

岩土工程实践提出监测和检测的任务是正确、及时地掌握各种信息。处于源头的信息是最微弱、最容易受到干扰的。信息的准确性首先取决于源头信息,取决于测试。为了提高所获取信息的准确性,现代的测试系统往往还包括信息的预处理、预存储、传输和控制,把从信息的获取到控制作为一个整体来对待。

“测试系统”这一概念是传感技术发展到现在一定阶段的产物。在工程中,需要有传感器与多台仪表组合在一起,才能完成信号的检测,这样便形成了测试系统。随着计算机技术及信息处理技术的发展,测试系统所涉及的内容也不断得以充实。为了更好地学习本课程,我们需要对测试的基本概念、测试系统等方面的理论及工程方法进行学习和研究,只有了解和掌握这些基本理论,才能更有效地完成监测任务。

测试技术包括测量技术和试验技术两个方面。测试技术是通过测试系统来实现的,按照信号传递方式来分,常用的测试系统可分为模拟式和数字式两种。一个测试系统可以由一个或若干个功能单元组成。通常,测试系统应具有以下几个功能:将被测对象置于预定状态下,对被测对象所输出的信息进行采集、变换、传输、分析、处理、判断和显示记录,最终获得测试所需的信息。一个典型的力学测试系统如图 2-1 所示。

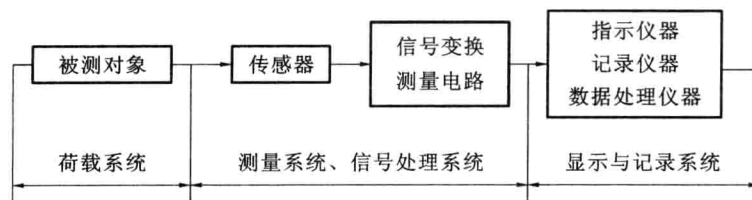


图 2-1 力学测试系统的组成

由图 2-1 可知,一个完善的力学测试系统由荷载系统、测量系统、信号处理系统以及显示和记录系统四大部分组成。

### (1) 荷载系统

荷载系统是使被测对象处于一定的受力状态下,使被测对象(试件)有关的力学量之间的联系充分显露出来,以便进行有效测量的一种专门系统。岩土工程测试采用的荷载系统除液压式外,还有重力式、杠杆式、气压式等。



### (2) 测量系统

测量系统由传感器、信号变换和测量电路组成,它将被测量(如力、位移等)通过传感器变成电信号,经过变换、放大、运算,变成易于处理和记录的信号。传感器是整个测试系统中采集信息首要的关键环节,它的作用是将被测量(主要是非电量)转换成便于放大、记录的电量。

### (3) 信号处理系统

信号处理系统是将测量系统的输出信号作进一步处理以便排除干扰。如智能测试系统中需要设置智能滤波软件,以便排除测量系统中的干扰和偶然波动,提高所获得信号的置信度。对于模拟电路,则需用专门的仪器(如滤波器等)或电路来达到这些目的。

### (4) 显示和记录系统

显示和记录系统是测试系统的输出环节,它是将被测对象所测得的有用信号及其变化过程显示或记录下来。数据显示可以用各种表盘、电子示波器和显示屏来实现,数据记录可以采用记录仪、光式示波器等设备来实现,智能测试系统中以微机、打印机和绘图仪等作为显示记录的设备。

## 2.2 测试的误差处理

### 2.2.1 误差的基本概念

由于检测系统(仪表)不可能绝对精确、测量原理的局限、测量方法的不尽完善、环境因素以及外界干扰的存在,使得测量过程会影响被测对象的原有状态,使得测量结果不能准确地反映被测量的真值而存在一定的偏差,这个偏差就是测量误差。一个量严格定义的理论值通常叫理论真值,常用约定真值或相对真值来代替理论真值。根据国际计量委员会通过并发布的各种物理参量单位的定义,利用当今最高科学技术复现的这些实物的单位基准,可以看作是约定真值。如果高一级检测仪器误差仅为低一级检测仪器误差的 $1/10\sim 1/3$ ,则认为前者是后者的相对真值。

检测系统的指示值 $X$ 与被测量真值 $X_0$ 之间的代数差值 $\Delta x$ 称为检测系统测量值的绝对误差,表示为:

$$\Delta x = X - X_0 \quad (2-1)$$

式中  $X_0$ ——约定真值或者相对真值。

如果绝对误差是一恒定值,则绝对误差也称为检测系统的系统误差。测量值通过修正后可得到被测量的实际值。

检测系统测量值(即指示值)的绝对误差 $\Delta x$ 与被测参量真值 $X_0$ 的比值,称为检测系统测量(指示值)的相对误差 $\delta$ ,常用百分数表示:

$$\delta = \frac{\Delta x}{X_0} \times 100\% = \frac{X - X_0}{X_0} \times 100\% \quad (2-2)$$

检测系统指示值的绝对误差 $\Delta x$ 与系统量程 $L$ 的比值,称为检测系统测量值的引用误差 $\gamma$ ,通常以百分数表示:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{L} \times 100\% \quad (2-3)$$

在规定的工作条件下,当被测量平稳增加和减少时,检测系统全量程所有测量值的引用误差(绝对值)的最大者,或所有测量值中最大绝对误差(绝对值)与量程比值的百分数,称为该系统的最大引用误差,符号为 $\gamma_{\max}$ 。