



高等学校城市地下空间工程专业规划教材

地下工程监测与检测技术

DIXIA GONGCHENG JIANCE YU JIANCE JISHU

彭丽云 刘兵科◎主 编

马伯宁 张经双◎副主编



★ ★ ★ ★ ★
本书带二维码
提供配套视频



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

地下工程监测与检测技术

彭丽云 刘兵科 主 编

马伯宁 张经双 副主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书系统阐述了监测、检测基础知识与基本原理,重点介绍了地下工程中常用的监测、检测方法和与其相关的信息反馈技术和数据处理方法,注重新的测试技术,如探地雷达和超前地质预报技术的全面引入。全书共分为9章,主要内容包括绪论、测试技术基础知识及传感器的原理、基坑工程监测、隧洞工程监测、地下工程中的声波测试技术、地质雷达测试技术、隧道超前地质预报技术、地下工程监测的信息反馈技术、测量误差分析和数据处理。为适应大众化高等教育特点以及应用型人才培养的需求,本书注重实用性和工程实践性,在书中穿插了大量的仪器操作视频和现场监测检测视频,形象地展示了书本内容,突出了实操性和工程应用的特点。

本书可供城市地下工程方向学生作为教材使用,也可作为地下工程建设相关从业人员的专业指导用书和技能培训参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地下工程监测与检测技术 / 彭丽云,刘兵科主编. — 北京:
人民交通出版社股份有限公司,2017.7

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

ISBN 978-7-114-13524-8

I. ①地… II. ①彭… III. ①地下工程测量—高等学
校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 300480 号

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

书 名: 地下工程监测与检测技术

著 作 者: 彭丽云 刘兵科

责任编辑: 张征宇 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 14

字 数: 338 千

版 次: 2017 年 7 月 第 1 版

印 次: 2017 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13524-8

定 价: 32.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

编 委 会

主任委员:张向东

副主任委员:宗 兰 黄 新 马芹永 周 勇
金 奕 齐 伟 祝方才

委 员:张 彬 赵延喜 郝 哲 彭丽云
周 斌 王 艳 叶帅华 宁宝宽
平 琦 刘振平 赵志峰 王 亮

序 言

近年来,我国城市建设以前所未有的速度加快发展,规模不断扩大,人口急剧膨胀,不同程度地出现了建设用地紧张、生存空间拥挤、交通阻塞、基础设施落后等问题,城市可持续发展问题突出。开发利用城市地下空间,不但能为市民提供创业、居住环境,同时也能提供公共服务设施,可极大地缓解中心城市密度,疏导交通增加城市绿地,改善城市生态。

为适应城市地下空间工程的发展,2012年9月,教育部颁布了《普通高等学校本科专业目录》(以下简称专业目录),专业目录里将城市地下空间工程专业列为特设专业。目前国内已有数十所高校设置了城市地下空间工程专业并招生,在这个前所未有的发展时期,城市地下空间工程专业系列教材的建设明显滞后,一些已出版的教材与学生实际需求存在较大差距,部分教材未能反映最新的规范或标准,也没有形成体系。为满足高校和社会对于城市地下空间工程专业教材的多层次要求,人民交通出版社股份有限公司组织了全国十余所高等学校编写“高等学校城市地下空间工程专业规划教材”,并于2013年4月召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路,于2014年4月召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,目前这套规划教材陆续出版。

这套教材包括《地下工程概论》《地铁与轻轨工程》《岩体力学》《地下结构设计》《基坑与边坡工程》《岩土工程勘察》《隧道工程》《地下工程施工》《地下工程监测与检测技术》《地下空间规划设计》《地下工程概预算》和《轨道交通线路与轨道工程》12门课程,涵盖了城市地下空间工程专业的主要专业核心课程。该套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,充分考虑知识体系的完整性、准确性、正确性和适用性,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例,做到通俗易懂,图文并茂。

为方便教师的教学和学生的自学,本套教材配有多媒体教学课件,课件中除教学内容外,还有施工现场录像、图片、动画等内容,以增加学生的感性认识。

反映城市地下空间工程领域的最新研究成果、最新的标准或规范,体现教材的系统性、完整性和应用性,是本套教材力求达到的目标。在各高校及所有编审人员的共同努力下,城市地下空间工程专业系列规划教材的出版,必将为我国高等学校城市地下工程专业建设起到重要的促进作用。

高等学校城市地下空间工程专业规划教材编审委员会
人民交通出版社股份有限公司

前 言

面对城市地面资源的日益枯竭、交通严重拥堵、空气质量恶化,地下空间的开发逐渐引起了人们的关注,地下铁道、公路隧道、地下停车场、地下商业街、地下管廊等工程的兴建急需大量的建设人才。有别于地上工程,地下工程施工风险更高,建设的成功与否在很大程度上取决于工程所赋存的岩土体能否提供足够的承载力以及岩土体开挖后自身的稳定性,以保证地下工程施工过程的安全、地下结构正常使用阶段中的安全及周边环境在地下工程建设中的安全。因此必须掌握围岩、支护、结构及周边环境所处的安全状态,必须通过监测和检测的手段对上述内容进行实时、动态监测,方能防患于未然。此外,每一个工程监测实际上是一个足尺的原位试验,从中监测和检测得到的各种数据又为地下工程设计理论的发展提供支撑,为岩土体模型的修正提供依据,从而促进岩土工程学科的进一步发展。因此,在地下工程领域,监测和检测已逐渐成为和勘察、设计、监理、施工相并列的一个行业,在地下工程领域发挥着重要的作用,为工程建设的安全保驾护航,为地下工程学科的发展提供支撑。

“地下工程监测与检测技术”是土木工程专业城市地下工程方向的一门专业方向必修课,是地下工程建设从业人员必须掌握的一门专业技能。本书是根据我国高等学校土木工程专业指导委员会编制的《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》对该课程的要求,注册岩土工程师考试大纲中对该课程的要求以及现行国家、行业相关规范,并结合长期的教学与工程实践经验编写而成,可供城市地下工程方向学生作为教材使用,亦可作为地下工程建设从业人员的专业指导用书。

为适应大众化高等教育特点以及应用型人才培养的需求,本书注重实用性和工程实践性,注重新的测试技术的全面引入。全书共分为9章,主要内容包括绪论、测试技术基础知识及传感器的原理、基坑工程监测、隧洞工程监测、地下工程中的声波测试技术、地下工程中的地质雷达测试技术、隧道超前地质预报技术、地下工程监测的信息反馈技术、测量误差分析和数据处理。

为适应大众化高等教育特点以及应用型人才培养的需求,本书注重实用性和工程实践性,注重新的测试技术的全面引入。全书共分为9章,主要内容包括测试基础知识及传感器的原理、基坑工程监测、地下隧洞工程监测、地下工程中的声波测试技术、地质雷达测试技术、隧道超前地质预报技术、地下工程监测的信息反馈技术、测量误差分析和处理。为帮助师生对《地下工程监测与检测技术》进行更加深入学习,全面掌握课程内容,书中制作了部分监测与检测仪器的原理视频、安装视频和现场操作视频,以二维码的形式嵌入各章节,以增加学生的感性认识,实现课堂教学与现场操作的良好对接,提高学生学习该课程的兴趣和积极性。此外,书中每章配备了各章节的 pdf

教学课件,对每章的重要内容进行了展示,方便学生的课后学习和教师的课堂教学。

本书由北京建筑大学彭丽云、北京建工集团有限责任公司刘兵科任主编;北京建筑大学马伯宁、安徽理工大学张经双任副主编。第一、六、七章由彭丽云编写;第二、四章由马伯宁编写;第三、九章由刘兵科编写;第五、八章由张经双编写。全书的视频资料由北京建筑大学彭丽云和北京基康仪器有限公司的雷霆录制。全书由彭丽云和刘兵科负责组撰与统稿。

安徽理工大学马芹永教授、南京林业大学黄新教授对本书的初稿进行了详细的审阅,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。北京建筑大学研究生范磊、乔红军、陈城协助主编做了许多校对、绘图和排版工作,在此表示衷心感谢。在本书的编辑出版过程中,北京建工集团有限责任公司提供了大量的现场资料,人民交通出版社股份有限公司给予了大力帮助和支持,在此也表示感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 4 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 地下工程监测和检测的必要性	1
第二节 本课程的研究内容和基本要求	3
第三节 地下工程监测和检测技术的发展与现状	4
复习思考题	6
第二章 测试技术基础知识及传感器的原理	7
第一节 测试技术基础知识	7
第二节 传感器基础知识	13
复习思考题	30
第三章 基坑工程监测	31
第一节 基坑工程监测的目的	31
第二节 基坑工程监测的内容及测试方法	33
第三节 基坑工程监测的相关规定	51
第四节 工程实例——森林公园南门地铁车站北部深基坑围护结构变形特性监测	60
复习思考题	67
第四章 隧洞工程监测	68
第一节 隧洞工程监测的目的	68
第二节 隧洞工程监测的内容及测试方法	68
第三节 隧洞工程监测的相关规定	83
第四节 监测数据的分析反馈及信息化施工	93
第五节 盾构法和顶管法施工监测	99
第六节 工程实例	105
复习思考题	113
第五章 地下工程中的声波测试技术	114
第一节 声波测试技术	114
第二节 声波测试技术在围岩测试中的应用	118
第三节 声波测试技术在地下混凝土结构质量评价中的应用	121
复习思考题	125
第六章 地下工程中的地质雷达测试技术	126
第一节 地质雷达技术基本理论	126
第二节 地质雷达的野外施测与数据采集	132
第三节 地质雷达资料处理与地质解释	137

第四节 工程实例——某区间隧道地质雷达检测·····	152
复习思考题·····	156
第七章 隧道超前地质预报技术·····	157
第一节 隧道超前地质预报技术基础理论·····	157
第二节 隧道超前地质预报常用方法·····	159
第三节 工程实例——某隧道综合超前地质预报·····	178
复习思考题·····	188
第八章 地下工程监测的信息反馈技术·····	189
第一节 信息反馈的目的及内容·····	189
第二节 信息反馈技术·····	190
复习思考题·····	193
第九章 测量误差分析及数据处理·····	194
第一节 测量误差及分类·····	194
第二节 单随机变量的数据处理·····	195
第三节 多变量数据的处理·····	199
复习思考题·····	207
参考文献·····	208
本书配套数字教学资源·····	210

第一章 绪 论

地下工程是修建在具有原岩应力场、由岩土和各种结构面组合的天然岩土体中的建(构)筑物,通常包括地铁、隧道、地下停车场、地下商场、水电工程中的地下厂房等。这些建筑物靠围岩和支护的共同作用保持稳定。由于围岩中存在着节理、裂隙、应力和地下水,地质结构体系极其复杂,且具有不确定性,因此地下工程的建设比地面工程复杂得多。特别是在地下工程开挖之前,其地质条件、岩体形态不易掌握,力学参数难于确定,工程中不得不借助现场监测,获取建(构)筑物性状变化的实际信息,并及时反馈到设计和施工中去,直接为工程服务。围岩物理力学参数的难以确定和获得,又导致对地下工程共同作用体系安全稳定定量分析出现困难,工程设计难以适应水文、地质环境变化,施工中监控不力容易诱发工程安全、质量、环境事故,或导致工程进展缓慢,造成不必要的浪费。



请扫码观看第一章电子课件

近年来,随着地下工程修建技术的不断进步,以及对地下工程共同作用体系力学机理认识 and 研究的逐步深入,人们开始认同和应用通过对围岩力学性能、工程地质条件的检测和对围岩—建(构)筑物共同作用体系的施工力学行为的监测,来保证工程安全和质量,验证设计的合理性,及时修正设计施工方法。大量的工程实践证明,检测和监测工作正在地下工程中发挥着重要的作用,其技术正在逐步得到完善和发展。

第一节 地下工程监测和检测的必要性

在岩土中修建地下工程,由于对结构设计的合理性进行理论分析涉及的问题很多,进行精确计算比较困难。主要原因是岩土的复杂性、施工方法的难以模拟性、围岩与支护结构相互作用的复杂性及周边环境的复杂性。因此,需通过先进手段对围岩的特性进行检测并进行信息化施工,通过施工过程中对围岩、支护结构及周边建(构)筑物的位移和应力监测,并及时反馈到设计与施工中去,优化设计参数及施工方法,以确保地下工程施工和周围建(构)筑物的安全。

地下工程赋存环境的复杂性决定了其工程建设的风险性。如:地下工程施工中很容易造成周围建筑物的不均匀沉降,进而造成周围建筑的破坏,尤其在特殊情况下线路和建筑基础或桥梁桩基相遇,需要进行桩基托换,这对建筑物的影响极大,控制不当将导致建筑物的破坏;复杂的地质条件使得施工极具挑战,很难找到一种工法、一种机械适用所有的地质条件,同时地下流沙、暗浜或沼气很容易造成隧道坍塌和人员伤亡;丰富的地下水尤其是承压水是施工中的大敌,降水对周围建筑极具破坏性;城市地下工程意味着多层地下空间的交叠,致使地下工程的深度越来越深,这给施工中的地下支撑体系带来很大的困难,任何支撑体系的失效都会带来灾难性的事故,较深的埋深和丰富的地下水使得地下结构的抗浮极其困难,地下水降水不充分,会造成基坑底板隆起,甚至底板破坏涌水涌沙,但超量的地下降水会造成周围建筑的超常

沉降而破坏;地下工程穿越河流是不容忽视的难点,河水通常和地下水连通造成很高的压力,极易造成隧道上浮变形破坏,同时河床下的地质通常非常松软,很容易造成流沙;联络通道的施工是地下工程施工中的重要风险点,目前国内地铁施工通常采用冷冻法,支撑体系依赖冻土强度,冷冻土体的强度是通过冷冻温度和冷冻时间控制,在施工中冷冻设备的正常工作至关重要,任何冷冻设备的失效会造成冻土强度减弱,从而导致隧道坍塌,如果旁通道在河流下,会造成灾难性的后果。综上所述,地下工程是极具挑战的工作,如何解决好以上风险是工程能否成功的关键。

风险的解决过程是设计、施工和监测、检测相互配合协调的过程。地下工程施工过程中,在各种力的作用和自然因素的影响下,其工作性态和安全状况随时都在发生变化。如出现异常,而又不被及时发现和掌握这种变化的情况和性质,任险情持续发展,后果不堪设想。如能在岩土体或工程结构上安装埋设必要的监测、检测仪器,随时监测、检测其工程状态,则可在发现异常时,提前对岩土体或工程结构采取补强加固措施,防止灾害性破坏的产生;或采取必要的应急处理,避免或减少生命和财产的损失。

在施工、运行过程中,监测岩土工程的实际状况及稳定性,为保证工程安全提供科学依据,监测信息将为修改设计、指导施工提供可靠资料。同时监测成果还将为提高新建岩土工程的技术水平积累经验。目前,安全监测已成为工程勘测、设计、施工和运行过程中不可缺少的重要手段,被视为工程设计效果、施工和运行安全的直接指示器。岩土工程都建造在岩土介质之上或之中,在施工过程中必须进行动态监测,实行信息化施工,提供反馈信息,从而指导施工和修改设计,以确保工程安全。

综上所述,地下工程监测检测的必要性体现如下:①保证工程的施工质量和安全,提高工程效益。要做到这一点,各项检测和监测工作必须在充分了解工程总体情况的前提下有针对性地进行;在此基础上,合理安排检测与监测的重点及其在空间和时间上的布局,选择恰当的方法,及时提出阶段性的分析和最后的成果,使工程师能够尽可能定量地了解 and 把握工程的进度、所处的状态、质量情况和出现的问题,确定修正设计和施工方案的必要性,评价或指导施工,险情诊断,甚至在紧急状态下采取应急措施,为加固处理提供依据,力争使工程达到质量、进度、安全、效益相统一的最佳效果。②服务于工程建设的全过程。使工程师对建(构)筑物与岩土共同作用的性状及施工和建(构)筑物运营过程的认识在理论和实践上更加完善;运用长期积累的观测资料掌握变化规律,对建筑物的未来性态作出及时有效的预测;为未来设计提供大量定量信息,为更新设计理论、改进施工方法及对破坏机理研究等提供宝贵的参考资料。③为法律仲裁提供依据,当工程出现事故时,检测和监测资料有助于分清事故原因与责任。

地下工程监测和检测中存在的问题主要体现如下:①部分工程未把监测、检测与信息反馈作为重要工序编入施工组织设计,有的虽然作为工序编入,但实施得不规范、不彻底,应用效果差。②工程技术人员没能真正领会和掌握信息化设计与施工技术,施工中缺少专业人员,特别是信息反馈方面,很少能结合施工情况,对监测检测信息进行合理分析,进而对工程设计和施工起指导作用。③缺乏环境的评估标准,有必要就地下工程施工对周围环境影响的评估程序、评估方法以及控制标准进行研究。④在我国部分城市地下工程施工中,引入了第三方监测,对促进监测技术健康发展具有一定的积极意义,但还要进一步规范。

第二节 本课程的研究内容和基本要求

本教材共有9章,主要介绍监测与检测技术基础知识、基坑工程监测、地下隧洞工程监测、地下工程中的声波测试技术、雷达测试技术、地质超前预报技术、监测的信息反馈技术和测量误差分析及数据处理等内容。

本课程是一门实践性很强的工程应用性学科,与其他课程相比,无论是在内容体系上,还是在教学要求上,均存在着很大差别。学生在学习过程中,必须充分注意到该课程实践应用型的特点,掌握其内在的规律及其基本要领,变被动为主动,才能取得较好的效果。

本课程在学习上有如下要求:

(1)作为一门技术和应用型课程,除了涉及地下结构、地下工程施工、岩土方面的专业知识外,还涉及大量测量学、电工学、数理统计、电子学等学科的基础知识。尽管上述基础知识在之前的学习中已经有了一些认识,但多了解的内容,也非地下工程专业学生的主干课程,因此学生对此重视程度不够,基础较薄弱。然而,在本课程中,对上述基础知识的要求已经从了解上升到应用的高度,这就要求学生在涉及这些知识时,自己补充学习,以利于掌握本课程的基本原理和概念。如监测与检测技术基础知识章节中,涉及大量的电工学和电子学的知识;测量误差分析及数据处理章节中,涉及大量数理统计的内容。

(2)在学习过程中,必须牢固树立服务于工程、切实解决工程实际问题的思路。监测和检测工作贯穿于工程建设的全过程,部分还渗透到运营过程,且实际的工程进展和监测检测结果具有直接的对应关系。因此,在本课程学习前,要对地下工程的施工技术,如施工方法、施工步骤等有深刻的认识,掌握各阶段的重点监测检测内容;随着工程建设的进行,合理有序地调整监测对象、监测内容、监测频率,达到优化监测方案、确保工程安全的目的。此外,对土力学、岩石力学等地下工程方向的专业基础课程要有一定的掌握,学会用土力学和岩石力学中的相关理论知识来解释围岩应力、应变等方面的监测结果。

(3)要重视实践和试验的内容,要求深入工程、熟悉工程、密切注意当前在建地下工程。结合教学过程,安排诸如室内试验操作、室外现场测试以及现场元件埋设、测试和分析等不同形式的实践内容。学生应珍惜这些机会,增强参与意识,努力提高动手能力,将理论知识应用于实际,达到学以致用目的。此外,深入实际工程现场,参观学习现场的监测、检测技术,通过实践获得最直观的认识。

(4)重视地下工程监测、检测技术的发展动态。地下工程测试中,监测检测仪器发挥了重要作用,各种类型的传感器是设备中的必要元件。随着电子技术的飞速发展,出现了大量新型传感器和多种新型测试技术,对上述发展的掌握和认识,有助于合理选择监测检测仪器,对提高监测检测精度、减小监测检测工作劳动量、节省投资将起到一定的作用。

(5)现有的监测检测手段和仪器是通过长期工程实践摸索和总结出来的方法,与目前的施工水平无疑是相适应的,具有一定的先进性和经济性,但也存在不足。如在测试精确度和准确度及对测试结果的分析判断方面存在不足,这是由地下工程及其所处环境的复杂性决定的。在学习过程中要对不足有清晰的认识,不能完全依赖监测检测结果,要对结果有一个客观的、



符合实际的分析和认识。

(6) 重视监测检测结果的积累和分析,深刻认识反分析及广义反分析法在结果分析中的重要地位,及其对设计和理论的修正、指导和验证作用。

第三节 地下工程监测和检测技术的发展与现状

20 世纪 50 年代以来,人们逐步认识到地下工程中的许多事故往往是由岩(土)体失稳引起的,监测和检测技术开始得到重视。

70 年代以来,随着新奥法技术的推广应用,人们开始对地下工程中监测、检测项目的确定、仪器选型、布置埋设与观测方法、观测资料的分析整理等研究工作逐步加深,并取得一定成果,但在监测设计规划、仪器的技术性能、数据分析处理等方面并不令人满意。

80 年代以来,人们对地下工程监测检测技术应用实践中存在的问题进行了深入研究,改进了监测手段和方法,对仪器的技术指标、使用条件、稳定性和可靠性等给出了评定标准,安全监测工作的标准化、程序化和质量控制措施也逐步得到完善,并编制了各类工程监测技术规范、规范、指南和手册。

90 年代以来,地下工程监测技术的硬件和软件迅速发展,应用范围不断扩大,动态设计和信息化设计技术开始在实际工程中应用,监测自动化、网络传输、数据处理和资料分析、安全预警报警等系统不断完善,地理信息系统(GIS)也在大型工程监测中得到了应用。

21 世纪开始,安全和环境问题的日益恶化引起了人们的高度重视,公众的法律和环保意识增强、对地下工程建设的关注程度增加,各级政府对安全和环保方面的科学研究、防护治理、环境监测检测的投入加大,促使施工安全、环境保护和工程质量监(检)测技术应用范围更加扩大,监(检)测仪器设备与技术发展迅猛。传统的应力应变等监测检测技术已逐渐无法胜任现代地下工程越来越复杂的研究对象和日趋复杂的使用环境,涌现出了以光纤测试技术、GPS、CT 法为代表的现代信息和监测检测技术。即利用高性能智能传感组件、无线传输网络和信号采集系统,采用多参量、多传感组件,数据智能处理与数据动态管理方法,进行实时监测、安全预警和可靠性预测成为监测仪器的发展方向。

一、光纤监测技术

为确保地下工程建设及其内部设施的安全性、完整性和耐久性,对可能出现的灾害进行预测和告警,必须迅速、及时、精确地掌握这些结构与设施的建造和运营状况。长期以来人工监测一直是该领域的主要监测方法,但该方法耗费大,精度较低,更重要的是监测数据难以连续,因而对突发情况的反应、处理以及预警能力大大下降,对于不易进入的永久性使用设施,如地下埋藏的管道和极为繁忙的地下线路,则更加难以监测和控制。有线监测是近 20 年发展起来的监测技术,其代表就是光纤监测技术。该技术具有以下优点:以光信号作为载体,光纤为媒质,具有耐腐蚀、抗电磁干扰、防雷击等特点;光纤本身轻细纤柔,光纤传感器的体积小,重量轻,不仅便于布设安装,而且对埋设部位的材料性能和力学参数影响甚小,能实现无损埋设;且容易实现远距离信号传输和测量控制;灵敏度高,可靠性好,使用寿命长,尤其适用于恶劣环境

中。基于上述优点,光纤技术地下工程监测、检测领域中得到了广泛的应用,如:光纤传感器的多路复用技术,布拉格光栅技术(FBG),OTDR 技术,布里渊散射光时域分析法(BOTDA)等。但该技术还有一些问题需要解决,如监测过程中传感系统的增敏和去敏问题;空间分辨率、测量精度、后期维护以及系统造价等仍需改进;和导光光纤与光电信号处理部分的接口技术;埋入岩土工程构筑物中的光纤传感系统的工作寿命仍需进一步提高。

二、三维激光扫描技术

三维激光扫描技术是一种先进的全自动高精度立体扫描技术,主要面向高精度逆向工程的三维建模与重构,可以高效地采集三维坐标点,并可以深入到复杂的现场环境中进行扫描,将各种大型的、复杂的、不规则的实景三维数据完整地采集到电脑中,从而快速重构出目标的三维点云模型。其主要优势为:不需要设置反射点;不接触被测物;扫描速度快,可在十几分钟内获得上百万个数据点;坐标点高密度、高精度;配合后处理软件可以生成三维向量的空间表面或实体图形。激光扫描不需要光源,可在黑暗中进行量测;还可与数码相机协同工作,数码相机照片与扫描点云一一对应,为数据点提供颜色,形成三维影像,方便地建立虚拟现实。

三、非量测相机的近景摄影测量技术

为克服现有的表面变形测量手段,只能获得单点信息,观测工序复杂,耗时长且影响现场施工等缺点,以数字化近景摄影测量为代表的非接触测量方法,在地下工程安全监测领域受到广泛重视。其特色如下:能快速获得结构变形和移动的瞬间整体信息,可提供整体大面积变形测量结果;是一种可实现非接触三维测量的遥感方法,非常适于复杂施工现场条件。随着数字化近景摄影测量技术的发展,近景摄影进入了一个新的发展阶段。在实际工作中开始大量使用非量测 CCD 相机,基于计算机进行数字化图像处理,摒弃了复杂昂贵的摄影测量相机和专用设备,使近景摄影测量的应用更加方便。目前使用摄影测量相机在 50m 的摄影距离内,使物方标志点的量测精度达到了 1mm。

四、无线传感网络技术

无线传感网络和基于无线传感器网络的自主智能系统是涉及微机电系统、计算机、通信、自动控制、人工智能等多学科的综合性技术,目前已应用于许多领域,能完成如灾难预警与救助、结构健康监测、空间探索等任务。在地下工程领域,剑桥大学已将 WSN 技术应用于伦敦地下铁道变形监测;并在某隧道安装了两套监测与预警系统,对隧道内的裂缝、温湿度、倾斜角、位移等参数监测,准确分析了若干条发展中的裂缝、隧道及墙壁变形的速度、支撑环间的相对移动,及时提出了预警;在欧洲其他地区,在地铁工程中也得到了应用,如捷克布拉格地铁监测项目、西班牙巴塞罗那地铁监测项目等。无线传感网络系统提供了一种全新的数据采集模式,它将带动监测领域新的革命,其主要优势为感知范围扩大、容错性能高、测量准确性高、人工维护成本低。在监测成果的整编方面,实现了监测信息计算机处理;在成果分析方面,强调与地质紧密结合,利用其他技术手段如数学物理模型、GMD 模型、反分析方法等,对监测资料进行综合分析。在信息反馈方面能基本做到及时、准确,可利用在修改设计、调整施工、降低工程造价,以及避免工程失事或减小工程损失等多方面。



复习思考题

1. 简述地下工程监测和检测的目的。
2. 列举几种先进的监测、检测技术,并简要说明其优点。

第二章 测试技术基础知识及传感器的原理

当代科技水平的不断发展,为测试技术水平的提高创造了物质条件;反过来,高水平的测试理论和测试系统又会促进科技成果的产生。当前,随着半导体技术的新的突破和大规模集成电路构成的微处理器的出现,测试技术越来越朝着高精度、小型化和智能化的方向发展。在工程中,需要将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。



请扫码观看第二章电子课件

第一节 测试技术基础知识

对测试系统有完整和全面的理解,能够帮助人们按照实际工程需要设计出一个有效的测试系统,从而达到高效、准确测试的目的,为地下工程建设提供保障。

一、测试系统的组成

测试系统通常具有以下几个功能:将被测对象置于预定状态下,并对被测对象所输出的特征信息进行采集、变换、传输、分析、处理、判断和显示记录,最终获得测试目的所需的信息。典型的力学测试系统如图 2-1 所示。该系统由荷载系统、测量系统、显示与记录三大系统组成。这三大系统又可被细化为被测对象、传感器、信号变换与测量电路、显示记录系统四大部分。若要以最佳方案完成测试任务,就应该对整套测试系统的各功能单元作全面综合的考虑。

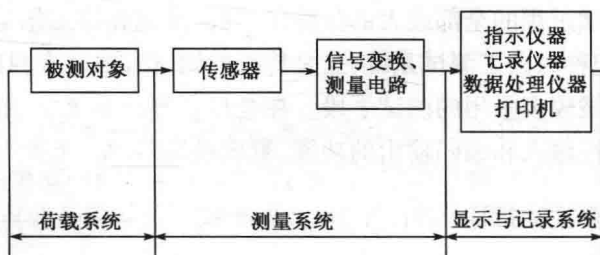


图 2-1 测试系统的组成

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,使与被测对象(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。如测定岩石及结构面力学性质的直剪试验系统中的直剪试验架和液压控制系统就是一个荷载系统。它由直剪试验架和液压控制系统组成,液压泵提供施加到试件上的荷载,液压控制系统则使荷载按一定速率平稳地施加,并在需要时保持其恒定,从而使试件处于一定法向应力水平下进行剪切试验。地下工程试



验采用的荷载系统,除液压式外,还有重力式、杠杆式、液压式、弹簧式和气压式等。

2. 测量系统

测量系统,由传感器、中间变换和测量电路组成。它把被测量(如力、位移等)通过传感器变成电信号,经过后接仪器的变换、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,它的作用是将被测非电量转换成便于放大、记录的电量。所以,有时称传感器为测试系统的一次仪表,其余部分为二次仪表或三次仪表。如直剪试验系统中,需要观察在不同法向应力水平下,试件在剪切过程中,法向和剪切方向的力和位移的变化,则采用四支位移传感器分别测量试件在法向和剪切方向的位移,采用两只液压传感器分别测量试件在法向和剪切方向的荷载。其中,用荷载传感器和动态电阻应变仪组成力的测量系统,用位移传感器和位移变送器组成位移测量系统。动态电阻应变仪以及位移变送器内的中间变换和测量电路中通常有电桥电路、放大电路、滤波电路及调频电路等。所以,测量系统是根据不同的被测参量,选用不同的传感器和后接仪器组成的测量环节,不同的传感器要求与其相匹配的不同的后接仪器。

3. 信号处理系统

信号处理系统是将测量系统的输出信号进一步进行处理以排除干扰。计算机中需设计智能滤波等软件,以排除测量系统中的噪声干扰和偶然波动,提高所获得信号的置信度。对模拟电路,则要用专门的仪器或电路(如滤波器等)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,它是将对被测对象所测得的有用信号及其变化过程显示或记录(或存储)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,而数据记录则可采用函数记录仪、光线示波器等设备来实现,直剪试验计算机辅助测试系统中,以微机屏幕、打印机和绘图仪等作为显示记录设备。

在测试系统中,测试过程的全部或大部分操作、调试及计算等工作是由测试人员直接参与并取得结果的测试系统称为人工测试系统,这是传统的测试方法。在目前,尤其是在地下工程现场测试中,它仍然是被较多采用的测试手段。在全自动测试系统中,所有仪器及设备都与计算机联机工作,具有程控输入和编码输出的功能,测试过程不用人工参与。

二、测试系统的主要性能指标

测试系统的主要性能指标,包括精确度、稳定性、测量范围(量程)、分辨率及传递特性等。测试系统的主要性能指标是经济合理地选择测试系统时所必须明确的。

1. 测试系统的精度和误差

测试系统的精度是指测试系统给出的指示值和被测量的真值的接近程度。精度与误差是同一概念的两种不同表示方法。通常,测试系统的精度越高,其误差越低;反之,精度越低,则误差越大。实际中,常用测试系统相对误差和引用误差的大小来表示其精度的高低:

$$\text{绝对误差} \quad \Delta_x = x(\text{仪器指示值}) - A_0(\text{真值}) \quad (2-1)$$