

SIMPLIFIED SERIES OF  
CIVIL ENGINEERING

清華

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

徐金明 刘绍峰 朱耀耀 编著

简明土木工程系列专辑

岩土工程实用  
原位测试技术

中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)



知识产权出版社  
[www.cnipr.com](http://www.cnipr.com)



TU4/69

2007

d Series of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

徐金明 刘绍峰 朱耀耀 编著

简明土木工程系列专辑

岩土工程实用  
原位测试技术

中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn  
知识产权出版社  
www.cnipr.com



## 内容提要

本书系“简明土木工程系列专辑”中的一本，简述了工程勘察和基桩测试中的一些岩土工程中常用的原位测试技术，主要包括标准贯入试验、静力触探试验、静载荷试验、基桩高应变测试、基桩低应变测试、变形观测、水土压力测试等几部分内容，分别介绍了这些原位测试技术的适用条件、基本原理、试验过程、资料整理、成果应用等。

本书内容合理、层次清晰、使用方便、适用性强，可作为高等学校理工科相关专业学生教学用书，也可供有关科研和工程技术人员参考。

选题策划：阳 森 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z\_baolin@263.net

责任编辑：阳 森 张宝林

文字编辑：彭天放

## 图书在版编目 (CIP) 数据

岩土工程实用原位测试技术 / 徐金明, 刘绍峰, 朱耀耀编著. —北京: 中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2007

(简明土木工程系列专辑/崔京浩主编)

ISBN 978-7-5084-4799-5

I. 岩… II. ①徐…②刘…③朱… III. 岩土工程—原位试验 IV. TU413

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 099837 号

## 简明土木工程系列专辑

### 岩土工程实用原位测试技术

徐金明 刘绍峰 朱耀耀 编著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68331835 68357319)  
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村 1 号; 传真、电话: 010-82000893)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643

北京市兴怀印刷厂印刷

850mm×1168mm 32 开 5.5 印张 148 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册

定价: 14.00 元

ISBN 978-7-5084-4799-5

## 版权所有 侵权必究

如有印装质量问题, 可寄中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

# 总序

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到1/3；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过GDP总量的50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起

着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程系列专辑”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程系列专辑包括以下几层含义：简明，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；系列，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业；专辑，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，一个特定的行业标准，等等，均可独立成册。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“系列专辑”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写机构臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现

代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端，这套系列专辑采用小开本，在选题上尽量划分得细一些，视专业、行业、工种甚至流程的不同，能独立成册的绝不合二为一，每本书原则上只讨论一个专题，根据专题的性质和特点有的书名仍冠以“手册”两字。

这套系列专辑的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性，就是充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法，老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性，就是避免不必要的说理和冗长的论述，尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形来表述；深入浅出，让人一看就懂，一懂能用；不是手册，胜似手册。

科学性，就是编写内容均有出处，参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外，尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套系列专辑的读者对象是比较宽泛的，它包括大专院校师生，土木工程领域的管理、设计、施工人员，以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册，又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩

2005年10月于清华园

崔京浩，男，山东淄博人。1960年清华大学土建系毕业，1964年清华大学结构力学研究生毕业，1986~1988年赴挪威皇家科学技术委员会做博士后，从事围岩应力分析的研究。先后发表论文150多篇，编著专业书4本，参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》，任编辑办公室主任，并为该书撰写绪论；主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”，并任主编。曾任清华大学土木工程系系主任，现为中国力学学会理事，《工程力学》学报主编，享受国务院特殊津贴。

# 前 言

作者在近几年的教学过程中发现，岩土工程原位测试课程的学时少、方法多、原理多、又要结合工程实际，学生往往是记住了几个公式，离实际分析解决问题的能力有很大距离，碰到实际问题往往不知所措、也难以有所创新。

本教材是近几年作者在上海大学和上海铁道大学（现同济大学沪西校区）有关课程教学的基础上编撰而成。考虑到学生的实际情况，本书坚持实践第一、注重实用。

本书主要阐述工程勘察和桩基测试中的一些常用监测与测试技术，主要包括标准贯入试验、静力触探试验、静载荷试验、桩基高应变测试、桩基低应变测试、变形观测、水土压力测试等几部分内容，本书阐述这些测试或监测方法的适用条件、基本原理、试验过程、资料整理、成果应用等几方面，本着少而精的原则对这些方面没有展开讨论、只阐述目前国内被大多数工程或科研人员认可的内容。

作为尝试，本书在工程勘察中的测试技术、孔隙水压力测试、现场位移监测给出了相应的典型算例，对桩基现场测试分别给出了典型报告并进行了适当删减。由于静载荷试验在桩基工程中占有非常重要的地位，在静载荷试验一章中给出了典型算例与实际报告部分内容。本书还增加了两个附录：原位测试方法一览与桩基极限承载力预测的应用程序开发。

本书是由徐金明策划、集体编写而成的。其中，徐金明编写绪论、标准贯入试验、静力触探试验部分，陈文财编写静载荷试验、桩基高应变测试、桩基低应变测试部分，刘绍峰编写变形监测部分，朱耀耀编写水土压力测试与附录部分。插图由孙昆仑、朱耀耀、翟文信绘制。全书由徐金明统稿。

上海市建筑科学研究院有限公司季沧江教授级高级工程师、上海港湾工程设计研究院朱光裕教授级高级工程师和上海市民防地基勘察院汪永东高级工程师审阅了本书。中国水利水电出版社阳森编辑为本书的内容确定、格式编排与付印出版做了大量工作，作者致以特别的感谢。

本书可作为高等学校理工科专业本科生的教学用书，也可供有关科研和工程技术人员参考使用，在使用中如有问题，可通过E-mail与作者联系，E-mail地址为 [xjming@163.com](mailto:xjming@163.com) 或 [xjm@xujinming.com](mailto:xjm@xujinming.com)。

**涂金明**

2007年2月于上海



## 出版者的话

---

尊敬的读者：

为适应国家建设发展的需要，为及时反映有关“新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法”，为有志于在土木工程领域传播和推广科学技术知识的人士构筑学术出版平台，为渴求知识的读者在工作实践中的学习交流和继续教育创造机会，由中国水利水电出版社和知识产权出版社与清华大学土木工程系联手，倾力推出的“简明土木工程系列专辑”中的第一批出版物正式与您见面了。

在此，我们特别感谢您对本套专辑的热切关注。

为使您对本套专辑有更多的了解，以下一并列出2006年和2007年两年内本套专辑即将陆续出版的图书。如果您有什么要求，有什么意见和建议，真诚地希望和欢迎您随时与我们取得联系。具体联系方式详见版权页上的E-mail地址。

再次感谢您对本套专辑的支持与厚爱！

# 目 录

总序

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
第 1 节 原位测试的主要目的与特点 / 1	
第 2 节 原位测试的主要类型 / 2	
第 3 节 原位测试的主要过程 / 2	
第 4 节 原位测试的整体要求 / 3	
<b>第 2 章 标准贯入试验</b> .....	5
第 1 节 概述 / 5	
第 2 节 试验方法 / 5	
第 3 节 资料整理 / 7	
第 4 节 成果应用 / 8	
第 5 节 典型算例 / 14	
复习思考题 / 15	
<b>第 3 章 静力触探试验</b> .....	16
第 1 节 概述 / 16	
第 2 节 试验过程与资料整理 / 16	
第 3 节 成果应用 / 23	
第 4 节 典型算例 / 31	
复习思考题 / 36	
<b>第 4 章 静载荷试验</b> .....	38
第 1 节 概述 / 38	
第 2 节 试验方法与主要技术要求 / 38	
第 3 节 资料整理 / 50	
第 4 节 典型算例 / 53	

第 5 节	几点讨论 / 56	
第 6 节	报告示例 / 58	
	复习思考题 / 62	
<b>第 5 章</b>	<b>基桩高应变测试</b> .....	<b>64</b>
第 1 节	概述 / 64	
第 2 节	理论基础 / 64	
第 3 节	检测过程 / 70	
第 4 节	适用条件 / 74	
第 5 节	主要功能 / 75	
第 6 节	几点讨论 / 78	
第 7 节	报告示例 / 84	
	复习思考题 / 88	
<b>第 6 章</b>	<b>基桩低应变测试</b> .....	<b>89</b>
第 1 节	概述 / 89	
第 2 节	理论基础 / 89	
第 3 节	试验过程 / 91	
第 4 节	资料整理 / 93	
第 5 节	几点讨论 / 96	
第 6 节	报告示例 / 97	
	复习思考题 / 102	
<b>第 7 章</b>	<b>变形观测</b> .....	<b>103</b>
第 1 节	基本原理 / 103	
第 2 节	测试方法 / 106	
第 3 节	常见变形观测类型 / 109	
第 4 节	报告示例 / 116	
	复习思考题 / 119	
<b>第 8 章</b>	<b>水土压力测试</b> .....	<b>121</b>
第 1 节	孔隙水压力测试 / 121	
第 2 节	土压力测量 / 129	
	复习思考题 / 131	

附录 A 原位测试方法一览 .....	132
附录 B 基桩极限承载力预测的应用程序开发 .....	138
参考文献 .....	158
出版者的话	

# 第 1 章 绪论

## 第 1 节 原位测试的主要目的与特点

### 1.1 原位测试的主要目的

原位测试 (in-situ test), 又称为野外试验、现场试验, 是岩土体保持或基本保持其所处位置与天然结构、湿度和应力状态情况下进行的各种测试。原位测试可以完成或实现室内无法测定的内容, 取得可靠的岩土体物理、力学、水理性质指标, 为基坑开挖、地基处理、基础工程提供可靠的数据。

原位测试的主要目的是: 取得工程设计和施工所需要的岩土体物理、力学、水理性质等方面的定量指标。仅靠实验室进行试验往往不能达到这一目的。因为, 实验室一般使用小尺寸试件、不能完全确切地反映岩土体 (特别是对难于取得原状结构的岩土体) 天然状态下的性质。

### 1.2 原位测试的主要特点

岩土工程原位测试的主要优点如下:

(1) 无须取样, 可在拟建工程场地进行测试。

(2) 较好保持了岩土体的天然结构和环境状态、对岩土体扰动小, 测出的岩土体力学参数直观、准确。

(3) 比室内测试更能反映岩土体宏观结构 (如裂隙) 对岩土性质的影响。

岩土工程原位测试的主要缺点是试验设备笨重、操作复杂、工期长、费用高。

必须指出, 不能过于依赖岩土工程原位测试成果。因为, 原位测试过程受到很多主客观因素的影响, 其实际作用范围要比工

程岩土体要小得多，所测参数也只能代表一定范围内的岩土力学性质。

## 第 2 节 原位测试的主要类型

原位测试的主要类型包括以下几种。

### 2.1 原位测试

工程勘察中的原位测试主要是岩土力学性质指标的野外测定，如标准贯入试验、静力触探试验、静载荷试验、旁压试验、十字板剪切试验、岩体变形试验、岩体抗剪试验、声波测试、点荷载强度试验、回弹试验、压水试验、抽水试验、注水试验、连通性试验等。本书只阐述在实际工程中最经常使用的标准贯入试验、静力触探试验和静载荷试验。

### 2.2 工程检测

工程检测中的原位测试包括天然地基、人工地基、桩基工程中的各种原位测试，如基桩静载荷试验、基桩高应变动力测试、基桩低应变动力测试、填土压实质量测试、道路平整度测试、加州承载比试验等。本书只阐述在实际工程中最为常用的基桩静载荷试验、基桩高应变动力测试和基桩低应变动力测试。

### 2.3 工程监测

工程监测中的原位测试主要是与各种施工过程基本同步进行的、实时检查施工质量与施工效果的原位测试，这方面测试类型非常多、又受不同地区或不同专业的多方面制约，本书只阐述实际工程中较为常用的变形观测与水土压力测试。

## 第 3 节 原位测试的主要过程

原位测试一般应遵循以下程序：

(1) 编写试验方案和试验大纲。编写时应充分了解场地岩土

体工程特征及工程设计要求,符合国家和地区的有关规范、规程和标准,尽量使试验条件符合工程实际情况。试验方案和试验大纲应对试验位置、试验项目、试验数量、试验设备、试验内容、试验步骤、突发事件处理及资料整理方法等方面作出具体规定。

(2) 进行现场试验。现场进行原位测试时,应在充分进行试验准备的基础上,井然有序地逐项实施试验方案和试验大纲中规定的内容、要求和步骤,以取得可靠的原始数据和资料。

(3) 整理试验资料并进行综合分析。试验所取得的各种原始数据,需经数理统计、回归分析等方法进行处理,在此基础上进行综合分析评价、提出岩土性质参数或指标建议值并提交相应的原位测试报告。

## 第4节 原位测试的整体要求

进行原位测试之前要制定原位测试方案,具体实施时要满足各种测试技术要求与信息化施工要求,以便为工程项目的安全施工和正常运营提供可靠的技术保障。

### 4.1 原位测试方案的制定

一般来说,原位测试方案包括以下一些主要内容:

(1) 工程概况:包括工程项目名称、建设单位、监理单位、测试单位、施工单位、项目具体地点、现场工程水文地质条件等。

(2) 测试方法:包括测试的主要依据(相关规范、规程、规定、标准及设计要求等)、测试仪器设备情况(类型、型号、尺寸等)、测试过程与采用的分析方法等。

(3) 施工组织:包括具体实施测试手段的时间和地点、相关单位的协调措施、测试时遇到常规问题(如天气原因、仪器设备现场保护)的解决方法、测试时应急预案等内容。

(4) 费用预算:以表格形式说明具体原位测试方法所发生的费用、费用的计算依据(通常以国家有关收费标准及市场价格为

依据), 要注意将不可预见性费用计算在内。

## 4.2 原位测试的整体技术要求

确定并实施具体原位测试方案时, 一般要满足以下要求:

(1) 符合规范: 工程检测或监测点的布设位置、数量、布设过程要满足现行国家和地方的相关规范、规程、规定等技术要求, 所用仪器设备应符合相关计量认证的要求。

(2) 切合实际: 不同原位测试方法都是为工程建设服务的, 因此, 原位测试技术必须满足设计和施工的有关具体要求、符合不同工程对象的具体特点、考虑具体操作时的实际环境与工作条件, 以便相应的原位测试能按时完成并满足信息化施工的要求。

(3) 参照经验: 由于大多数岩土工程问题都带有区域性的特点, 而现有很多计算理论或方法又作了相关假定, 因此, 在实施原位测试方案和有关参数设定时要参照相应地区的已有工程经验。

(4) 综合考虑: 技术可行性、经济合理性和测试操作性之间会出现一些矛盾, 制定和实施原位测试方案时要综合考虑这些矛盾或问题。很多情况下, 确定具体测试技术就是寻求合理满足各方条件的方法。

原位测试涉及面广、知识面宽, 是一个综合性的学科, 每一种原位测试手段不仅会涉及不同的技术要求与理论基础, 还与资料分析和应用过程、仪器设备性能、试验方法、人员素质等方面情况密切相关, 各种数据或多或少地会有不同误差, 应用测试结果时必须客观、全面地反映各种条件。



## 第 2 章 标准贯入试验

### 第 1 节 概 述

标准贯入试验 (Standard Penetration Test, SPT), 简称标贯试验或标贯, 是一种特殊的动力触探试验。

标准贯入试验适用于砂土、粉土、一般黏性土及强风化岩等岩土体力学特性的判断, 例如, 可进行土层类别划分, 砂土密实度和黏性土及粉土稠度的判断, 土的强度及变形指标的估计, 地基土承载力的确定, 砂土及粉土振动液化的评价, 单桩承载力及沉桩可能性的估算, 以及地基加固处理质量的检验等, 是国内外广泛使用的一种地基原位测试方法。

### 第 2 节 试 验 方 法

标准贯入试验的试验设备由触探头 (又称为贯入器、对开式管筒)、锤垫及导向杆、质量 63.5kg 的穿心锤 (钢锤、落锤) 组成 (见图 2.1 和图 2.2), 落锤距离由自动脱钩装置控制。

标准贯入试验孔采用回转钻进并保持孔内水位略高于地下水位 (当孔壁不稳定时可用泥浆护壁), 用钻具钻至试验位置以上 15cm 处、钻具拔出后清除孔底残土及孔壁软黏土 (以免挤出堵塞钻孔), 标贯探头入土之前应测出探头靴口到锤垫底面之间的长度及探杆长度。

试验时用卷扬机将穿心锤提起后采用自动脱钩装置、以  $76 \pm 2$ cm 的落距让钢锤自由下落, 将一定规格的标准贯入器击入到预定位置, 应保持贯入器、探杆、导向杆连接后的垂直度, 尽量减