

2003年

辽宁工程勘察与岩土工程
学术会议论文集

岩土工程理论与实践

主 编 朱浮声
副主编 陈殿强 张海东



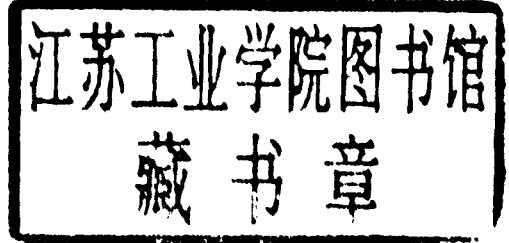
NEUPRESS
东北大学出版社

2003年辽宁工程勘察与岩土工程学术会议论文集

岩土工程理论与实践

主 编 朱浮声

副主编 陈殿强 张海东



东北大学出版社

·沈阳·

© 朱浮声 2003

图书在版编目 (CIP) 数据

岩土工程理论与实践 / 朱浮声主编. — 沈阳 : 东北大学出版社, 2003.9

ISBN 7-81054-944-8

I. 岩… II. 朱… III. 岩土工程 - 学术会议 - 文集 IV. TU4 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 083024 号

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024-83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024-83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印刷者: 沈阳农业大学印刷厂

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 24.375

字 数: 608 千字

出版时间: 2003 年 9 月第 1 版

印刷时间: 2003 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 王兆元 责任校对: 于 琴

封面设计: 唐敏智 责任出版: 杨华宁

定 价: 120.00 元

《岩土工程理论与实践》编委会

主 编 朱浮声

副主编 陈殿强 张海东

编 委 (以姓氏笔画为序)

王敏权 王家伟 林立岩 张丙吉

张成金 高振明

前 言

两年一度的辽宁省岩土工程学术会议即将召开。这个定期召开的盛会是一个学术论坛，云集了来自全省各地岩土工程界的专家、学者和优秀工程技术人员，通过认真的学术交流、经验介绍和有关事故分析，不仅介绍了新理论、新经验、新技术，而且，通过学术讨论和技术切磋，达到了推广新技术、推动学科发展的效果。

本次学术会议是在全国人民万众一心、众志成城战胜“非典”的时刻召开的。辽宁省战斗在岩土工程领域的科技工作者在欢庆胜利的时刻，以自己优异的答卷响应了党中央号召。经过编委会对 120 篇来稿的认真评选，形成了这本学术会议论文集。与历届论文集相比，本次征文不仅来稿数目增加，而且论文内容覆盖面更宽，深度更大，反映了辽宁省岩土工程蓬勃发展的生机和活力。论文集由五部分组成，包括地质勘察与测试、地基处理、基础工程、基坑工程及其他岩土工程问题等。

论文集得到了中冶集团沈阳勘察研究院的大力支持，以及辽宁省建设科学研究院、辽宁省建筑设计研究院和中国建筑东北设计研究院等单位的大力协助。中冶集团沈阳勘察研究院的项梅芳同志为论文集形成做了大量具体工作，在此一并表示感谢。

**辽宁省土木建筑学会工程勘察及岩土工程分会
沈阳市土木建筑学会岩土工程学术委员会
建工勘察辽宁省情报站**

2003 年 8 月

目 录

· 地质勘察与测试 ·

- 便携式可变能量动力触探仪 PANDA 在电力勘测中的应用 徐春宇 孙国春 (1)
- 面波地震勘探技术在岩土工程勘察中的应用 李志敏 孙国春 (6)
- 综合物探技术在大伙房水库输水工程中的应用效果分析 储思哲 佟胤铮 (14)
- 按轻探击数确定挖孔桩砂土极限端阻力标准值 李建明 温成世 林国友 (18)
- 大连地区风化泥灰岩工程特征简析 林明成 (20)
- 营口地区砂土液化问题的探讨 姜秀萍 (23)
- 桩基低应变动测在建筑工程的桩基检测中整体评价问题初探
..... 邹俊林 魏秀军 卢 巍 刘全德 杨占宇 (26)
- 桩基低应变动测在工程检测中的应用体会 邹俊林 魏秀军 卢 巍 穆 林 (28)
- 浅谈 CPTU 在尾矿堆积物工程勘察中的应用方法 孟 杰 (30)
- 桩基低应变检测中传感器的安装与锤的选择 王宁伟 李秋梅 (34)
- 用触探试验检测砂垫层的实践 陈鸿仁 (38)
- 灌注桩基础勘察与确定 R_k 值经验 邹文道 李范龙 (43)
- 朝阳市区湿陷性黄土的分布特点 周大军 张国刚 (45)
- 施工验槽与常见问题的处理 杨洪生 (48)
- 静力触探在营口软土地区评价砂土液化中的应用 张国忱 (51)
- 确定预制桩试桩数量的探讨 詹 霓 (53)
- 有关土工试验技术问题的探讨 于 丹 李培清 (57)
- 辽阳市区工业与民用建筑工程地质条件研究 张文录 徐春燕 周 瀚 刘洪志 (61)
- 辽阳市区地势的分析 周 瀚 徐春燕 刘洪志 张文录 (68)

· 地基处理与复合地基 ·

- 刚性桩复合地基研究进展 朱浮声 王凤池 (71)
- 浅谈刚性复合地基设计 邓子林 袁晓光 姚文杰 (78)

复合模量及其影响因素分析	王凤池 赵 岗 朱浮声	(81)
加筋土在建筑地基处理中的应用	张丙吉 苏艳军	(85)
高压旋喷技术在软弱下卧层处理中的应用实践	张春良 边大可 张民芳 张丙吉	(88)
卵砾石垫层地基处理在黑山地区的应用	张宝刚 高志红 马 凌	(93)
振冲碎石桩在超软土地基中的应用	孙 涛 刘晓东	(98)
在高层建筑中采用振冲密实法的总结	李范龙	(102)
水泥搅拌桩在东北地区应用的几点体会	赵连华 张 利 李 娜 康尔宁	(106)
强夯碎石桩加固山区不均匀地基土工程实例浅析	高 胜 李 飞	(110)
基础加固的几种方法	姚文杰	(113)
严重不均匀地基中深层搅拌桩的设计及施工	林 立	(116)
饱和软弱黏性土强夯置换复合地基工程应用	高 胜 孟素君	(119)
振冲碎石桩在地基处理中应用效果分析	唐贺明	(122)
地基处理技术在铁岭地区的应用	董国毅	(124)
粉喷桩水泥配合比试验分析	郭纯玖 王学俊	(127)
水泥粉喷桩加固软土地基的应用实例	郭纯玖	(131)
用塑料板排水技术处理软土路基	林正淳 李天祺 王 杰 杜嘉鸿	(134)
深层搅拌法地基处理有关技术问题探讨	陈殿强 高达志	(138)
碎石桩在黏性土地基加固中的应用	徐瑞华 张征宇	(142)
水泥粉煤灰碎石桩复合地基的设计与应用	李玉红 叶廷巍 朱 江	(145)
地基处理技术在营口地区的应用现状与展望	赵俭斌 王振波 江 滔 于 平	(148)
土工网在灰渣筑坝工程地基处理中的应用	刘树国	(152)

· 基础工程 ·

怎样设计预应力混凝土管桩基础	林立岩 温成世 楼永林	(154)
超流态混凝土灌注桩的施工技术	曾庆辉 孙建立 唐清茂 袁晓光	(160)
超流态混凝土灌注桩应用实例	曾庆辉 于大雨 唐清茂	(163)
两种新桩型在抚顺地区的应用与分析	付 峰 罗纯刚	(167)
浅谈基础的冲切与剪切	马东骥 张绍银 郭福盛	(170)
吊脚桩事故分析和解决方法	王德顺 于志华	(172)
筏板基础地基反力测试研究	闫瑞明 顾 亮 李镇波 李 纯	(174)
海上钻孔灌注桩施工中遇到的问题及解决办法	孙 涛 蔡吉伟	(178)
振动沉管灌注桩常见施工质量事故及预防措施	顾 丰 王 冬	(182)

夯压成型灌注桩在丹东地区的应用	林明成	(185)
复合载体夯扩桩在铁岭某山庄的应用	袁晓光 李强 杨洪生	(188)
夯扩桩技术的应用与经济分析		
..... 何丽 王大千 战森 李伟 孙建柱 程全 马凌		(190)
浅基承载力破坏的突变模型	张业民 郝冬雪	(194)
端承型大直径桩渐进破坏性分析	戚昆 赵海全 董天文 朱浮声	(199)
加固桩端持力层经验讨论	李范龙	(202)
论静压钢管桩在软土地基中应用	康立中 姜焕民 王宁伟 晏可奇	方艳清 (204)
沉管灌注桩 q_{pk} , q_{sik} 取值的探讨	林明成	(207)
利用灰色系统理论预测单桩极限承载力的方法	王宁伟 康立中	(210)
利用别列赞策夫公式确定单桩极限承载力	谢谱	(213)
阶梯形不规则建筑基础选型与变形控制	刘志昌 王福田 邓立 李延波	(216)
工业垃圾场人工挖孔桩中巨厚钢筋混凝土层的处理	林立	(219)
某桩基设计与检测评定	王德顺 丑述卫	(222)
既有建筑接层的单桩承载力评价	邹文道	(225)
桩基静载荷试验应变测量及应用	任维军 高胜 王济伟 冯立仁	(227)
上海大屯九层宿舍楼水泥搅拌桩工程	庄皓 赵连华	(230)

· 地基与基坑工程 ·

浅基础地基沉降计算方法及其发展现状	张海东 张金力	(233)
深基坑中地基变形过程与计算方法探讨	张丙吉 屈林永 杨旭 邢宝全	(240)
地基承载力概述	张海东 郝庆芬	(243)
喷锚支护的实用计算方法及工程实践	汪智慧 朱泰儒	(247)
在基坑围护工程中土钉墙支护与超前锚管技术的应用实践	马建华 朱雄斌	(251)
桩锚—喷锚联合支护技术在盘锦地区的应用	苏艳军 屈林永 苏仲敏	(255)
在基坑支护中土层 c , φ 值的动态确定方法	闫瑞明 苏艳军	(258)
饱和砂土和饱和粉土液化判别的几点注意事项	杨丽春 张立峰	(262)
钢板桩支护结构的设计计算及工程实践	汪智慧 汤晓明	(265)
影响冻土路基稳定性主要因素的分析	李纯 王晓辉 潘秀艳	(270)
辽河干流防洪应急工程地基液化处理方案的探讨	潘湘农	(274)
软土地区砂石垫层地基的沉降计算讨论	董天文 董天兵	(278)
对沉降计算经验系数 ψ_s 的讨论	李伟 王明恕 石刚	(281)

营口地区软土工程地质特性的探讨	姜秀萍	(284)
圆形基础软弱下卧层顶面处承载力验算方法比较	刘 军 温成世	(287)
沈阳地区砂砾地层的基床系数	辛立武 薄 萍 霍 峰 张长虹	(290)
大连某小区桩、剪力墙护坡方案设计施工浅谈	张桦槿 张 颖	(294)
福建晋江某基坑支护方案的选型分析	李 纯 王晓辉 潘秀艳	(296)

· 岩土工程其他问题 ·

学习新《建筑地基基础设计规范》的体会	王明恕 王凤池	(300)
学习新版《建筑地基基础设计规范》的几点体会	邓子林 窦南华	(305)
王家坎水库坝体渗漏及安全性分析	鲍立新 王希友	(308)
锦绣苑小区3#楼纠倾实录	陈鸿仁	(312)
用注浆技术改善滑坡区隧道围岩稳定性	咎月稳 房艳峰 王 杰 杜嘉鸿	(314)
长江南京三江口盾构法隧道竖井施工技术	张士旭	(320)
某水厂澄清池倾斜事故原因及处理方法	舒昭然 刘忠昌 梁 赓	(324)
东北大学烟囱基础地基应急处理浅析	常蕴玉 赵嵩堪 杨旭辉	(327)
饱和软土地基井点降水对相邻建筑物的影响与预防措施	张立峰 衣 征 杜大忠 张大红	(329)
灰土垫层检测方法的实践	徐瑞华 张征宇	(333)
抚顺开发区某工业厂房桩基工程事故分析	丑述卫 王德顺 刘学军 宋其锋	(335)
基础障碍的处理实例分析	张绍银 马东骥 郭福盛	(338)
主要交通要道下的商场逆作法设计与施工要点	邓子林 张丙吉 张立峰	(341)
某住宅楼整体倾斜原因分析及最终倾斜预报	王文亮 舒昭然 温成世	(344)
振动沉管灌注桩基施工质量事故分析及处理	曹天林 陈广志 王海军	(347)
基坑降水对周边工程设施的危害作用	沈 蓉 温成世	(351)
软土非线性流变本构关系的研究	张敏江 张丽萍 赵俭斌	(356)
基坑降水对边坡土体抗剪强度的影响	于大雨 阎俊飞	(361)
冯家东沟排土场的稳定性评价	胡传生 王世波 郭乐群	(365)
漠河电厂2#住宅楼沉降原因分析	马阿雨	(368)
谈发电厂改造中地下管线的探测	李志敏 孙国春	(372)
装配式桥梁扩建加宽后不同构造的讨论研究	潘秀艳 张文献 李 纯	(377)

便携式可变能量动力触探仪 PANDA 在电力勘测中的应用

徐春宇 孙国春

(辽宁电力勘测设计院, 沈阳 110005)

摘要 简要介绍便携式可变能量动力触探仪 PANDA 的原理、结构、使用方法、数据处理及其在电力勘测中的主要用途。通过大量试验数据及成果图表, 与原位轻型动力触探 N_{10} , 重型动力触探 $N_{63.5}$, 室内及原位十字板剪切仪, 静力触探仪几种主要测试手段比较, 分析了 PANDA 便携式可变能量动力触探仪与其他几种测试手段的相关关系, 及该测试手段在电力勘测中的适用性。在工程的应用实例中, 重点论述了该仪器在密实度检测方面的应用。对比研究与工程应用实例的结果表明, 该仪器必将在更加广泛的领域得到应用。

关键词 便携式可变能量动力触探仪; 浅层土勘探; 密实度检测

便携式可变能量动力触探仪简称为 PANDA, 是法国帕斯卡大学研制的世界上第一台可变贯入能量动力触探仪。该仪器从原理到仪器的设计都与传统的动力触探仪有一定的区别, 仪器充分利用现代计算机技术, 提高测试的自动化程度, 针对浅层土体这一重要地质体进行勘探及密实度检测。

一、仪器性能及原理

便携式可变能量动力触探仪, 具有轻便、操作简单、自动化程度高、精度高等特点, 它在吸收同类型动力触探仪优点的基础上, 采用可变轻巧动能装置取代笨重的势能装置, 减轻了仪器的质量(总质量仅 20kg)。

仪器的主要原理是: 用一个一定质量的标准重锤锤击探杆顶部的活塞, 通过钻杆将锥形探头压入土内。对于每次锤击, 根据活塞内部传感器测得的冲击速度, 由电子记录器内的计算器计算出贯入的能量。同时, 卷带盒内另一记录器记录锥形探头触入的深度。根据这两个数据, 运用传统的荷兰人公式便可立即计算出锥形探头的动力阻力 q_d (公式(1))。所有这些数据均可被储存在记录器内并可以在完成试验之后, 被传输到 PC 机上, 然后使用相应的软件进行编辑处理。

$$q_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{Ae} \cdot \frac{l^2}{t^2} \cdot \frac{m}{m+m'} \quad (1)$$

式中: q_d ——锥形探头的动力阻力, MPa;

m ——标准重锤质量, kg;

A ——锥形探头的截面积, m^2 ;

e ——对应每次锤击的锥形探头贯入量, m;

m' ——被锤击部分的质量, kg;

l ——活塞内两测速传感器之间距离, m;

t ——通过活塞内两测速传感器的时间, s。

该仪器的主要用途为对 4~8m 深的浅层土体进行勘探, 确定地基承载力等主要参数, 检测各类回填土在施工期间及施工后的密实程度。此外, 还可以使用该仪器对地下管道进行勘察, 对挡土墙进行诊断, 对积雪覆盖坡的稳定性进行研究, 特别适用电力系统中架空送电线路工程、管道工程、变电站、部分轻型建筑物的勘测以及基槽的检验。具有快速、轻便、可靠的优点。

二、PANDA 仪与几种主要测试手段的对比性研究

1. 与其他类型动力触探仪的对比

国内现采用的圆锥动力触探试验(DPT)是利用一定的锤击动能, 将一定规格的圆锥探头打入土中, 然后依据贯入击数或动贯入阻力判别土层的变化, 确定土的工程性质, 对地基土作出岩土工程评价。

进行对比试验的动力触探仪中以轻型动力触探仪(N_{10})及重型动力触探仪($N_{63.5}$)为代表。轻型动力触探仪(N_{10})的主要参数为: 每根钻杆长度为 1.0~1.5m, 重锤质量 10kg, 自由落体高度为 50cm, 探头直径为 40mm, 探头锥角 60°, 探杆直径 25mm。重型动力触探仪($N_{63.5}$)的主要参数为: 重锤质量 63.5kg, 自由落体高度 76cm, 探头直径 74mm, 探头锥角 60°, 探杆直径 42mm。

运用传统的荷兰人公式计算出圆锥形探头的贯入阻力 R_d

$$R_d = \frac{Q}{Q+q} \cdot \frac{QgH}{Ae} \quad (2)$$

式中: R_d ——动力触探动贯入阻力, MPa;

Q ——锤质量, kg;

H ——落锤高度, m;

g ——重力加速度, $g = 9.81\text{m/s}^2$;

A ——锥形探头的截面积, m^2 ;

e ——对应每次锤击的锥形探头贯入量, m;

q ——触探器(包括探头、触探杆、锤座等)的总质量, kg。

PANDA 便携式可变能量动力触探仪和这两种动力触探仪的比较试验结果见图 1 及图 2。

图 1 和图 2 显示了 PANDA 仪和这两种类型动力触探仪之间有很好的相关关系。

一系列对比试验表明, PANDA 仪和该触探仪之间的相关关系见表 1。

表 1

回归曲线 $R_d = \alpha q_d$		
回归系数 α	方差 $\sigma(\alpha)$	90% 可信度值
1.03	0.03	$0.98 < \alpha < 1.08$

2. 与室内及原位十字板剪切仪的对比

试验用的室内十字板剪切仪的类型参数为: 十字板的直径 19mm, 4 叶, 十字板的高度 3mm; 原位十字板剪切仪的十字板直径为 60mm。试验土的力学参数为: 天然重力密度 $\gamma_n = 14.2\text{kN/m}^3$, 天然含水量 $W_n = 89.9\%$, 液限 $W_l = 73.7\%$, 塑限 $W_p = 54.2\%$ 。

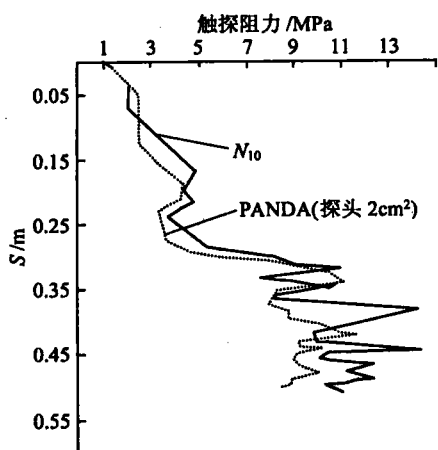


图1 PANDA 仪和轻型动力触探 N_{10} 试验对比结果

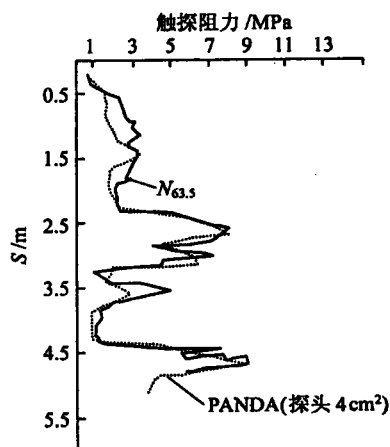


图2 PANDA 仪和重型动力触探 $N_{63.5}$ 试验对比结果

通过一系列试验,并经过统计分析以及简单的回归分析,给出以下相关关系

$$q_d = \alpha c_u$$

式中: q_d ——触探仪的探头阻力;

c_u ——十字板剪切仪测得的土的不排水剪黏聚力(图3)。

相关关系分析结果见表2。

表2

	室内剪切仪	原位剪切仪
回归系数 α	11.4	20.4
方差 $\sigma(\alpha)$	0.67	2.3

从 PANDA 触探曲线与室内十字板剪切仪试验的对比图(图3)相关分析结果(表2)可以看出;二者具有很好的相关关系。

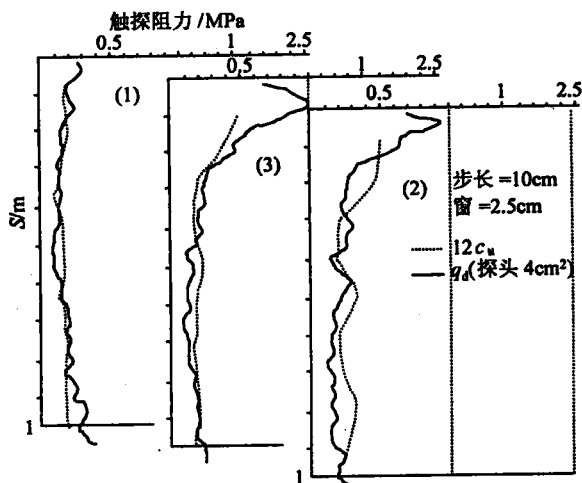


图3 PANDA 触探仪试验与室内剪切仪试验的对比结果

3. 与静力触探仪的对比研究

通过一系列与各种型号静力触探仪(普通型及 GOUDA200kN)的对比试验研究,简单回归分析得到以下相关关系

$$q_d = \alpha q_c$$

式中: q_c ——静力触探仪的触探阻力。

相关分析结果见表 3。

表 3

回归系数 α	1.05
方差 $\sigma(\alpha)$	0.03
模型质量 R^2	0.89

因此,可以认为 $q_d = q_c$ 。一方面,对于强度大的土,比较试验的结果为 $q_d = q_c$;另一方面,对于强度小的土,运用 PANDA 仪做试验时,贯入速度相应减小,比较试验表明二者结果很接近。当然,该结论只有在没有侧向摩擦力的情况下才成立。

除了上述对比试验研究,还开展了该仪器和梅纳尔旁压仪、大型原位载荷试验等的对比研究。所有这些比较试验的对比研究表明,PANDA 便携式可变能量动力触探仪和其他测试手段具有很好的相关关系,该仪器在电力勘测中具有很高的实用性。

三、应用实例

PANDA 仪的主要用途是对 4~8m 深的浅层土进行勘探,这包括各类线性工程的前期勘探、结合基坑开挖的勘探等;检测各类回填土在施工期间和施工后的密实程度,主要是各类路基回填密实度的检测,各类土坝、土坡施工的碾压程度的检测以及城市各类地下管道工程回填密实度的检测。

此外,还可以使用该仪器对地下管道问题进行勘察,对挡土墙进行诊断,对积雪覆盖坡的稳定性进行研究,对土坝的稳定性进行评价。

对于第一类用途,类似于其他类型的触探仪,根据所测的触探曲线便可以对地层进行划分,对各地层的强度进行评价,对地基或坝基的承载力进行估算。试验数量、深度及孔的布置视具体问题而定。其主要优点是携带方便,操作简单,仅需一个人,自动化程度及精度高,可以在普通触探仪难以接近的地方进行试验。

对于第二类用途,这里结合清河电厂重油改轻油工程回填碾压前后的对比来介绍。

清河电厂重油改轻油工程拟建储油罐地基土体为软弱土,需要换填 1.5m 深的土。为此,在回填过程中每 50cm 碾压一次。为了确保碾压的密实度达到一定的要求,碾压前后运用 PANDA 仪分别做了 1 个深 2.0m 左右的钻孔以便检测碾压的密实度是否达到要求,见图 4。

比较图 4 中触探曲线和压实参考曲线及否定曲线的位置,不难看出仅在 50cm 左右的深度碾压稍不足,其他深度的密实度均满足要求(即 95% 的 γ_d , 最大干容重)。从图 4 中还可以明显地看出:

- (1) 在最上层碾压之前及碾压之后的触探曲线的位置差别,即密实度的变化;
- (2) 整个深度范围内,由于增加碾压次数,触探曲线明显向右移动,表明密实度明显增大。

作为密实度检测的一种轻便、快速仪器,PANDA 仪不仅避免了常规方法如环刀法、蜡封法、注砂法、载荷试验等方法的操作复杂、对设备和人员要求高等特点(比如载荷试验要求现场有较大的加载设备、多种测试仪表、较多的试验技术人员、花费时间较长等)外,而且,同核子密

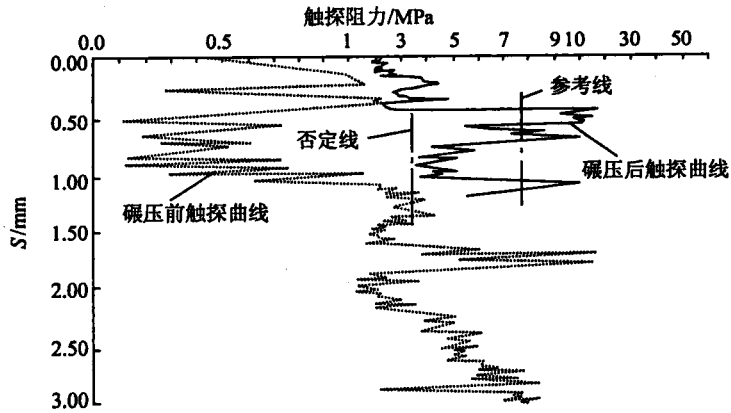


图4 应用 PANDA 仪检测清河电厂储油罐地基土碾压质量结果(碾压前后对比)

度仪相比,该仪器具有无放射性污染、检测深度大等优点。从另外一层意义上讲,该仪器对核子密度仪具有很好的补充性。

四、结 语

通过对便携式可变能量动力触探仪 PANDA 结构及工作原理的研究、与其他几种主要测试手段试验成果图表的对比研究、适用性分析及在工程中的应用实例,表明该仪器在电力勘测领域有广泛的用途。一方面,它可以对浅层土进行勘探,且轻便、快速、高效而又经济;另一方面,对各类回填土工程密实度的检测不仅速度快、精度高,而且能对施工程序具有一定的指导意义。它必将在电力系统架空送电线路、公路、铁路、管道和其他各类较轻型的建筑物的勘测中发挥更大作用,具有更加广泛的用途。

参 考 文 献

- 1 Zhou S. Characterization of subsurface soil with the help of portable dynamic penetrometer with variable energy of type Panda. Ph. D. thesis (in French), Blaise Pascal University, France, 1997
- 2 周树华. 一种新型的动力触探仪. 工程勘察, 1997

面波地震勘探技术在岩土工程勘察中的应用

李志敏 孙国春

(辽宁电力勘测设计院, 沈阳 110005)

摘 要 根据近年来对浅层地震勘探的试验研究成果和面波在岩土工程项目的实践经验, 论述浅层高分辨率反射波技术、多道瞬态面波技术和高密度地震图像技术不失为当前很好的岩土工程勘察新方法。该项技术在测定岩土物理力学参数、评价软土地基加固处理效果、提供地基抗震设计参数以及基岩埋深、分层、场地类别、分析等方面均有良好的应用前景和推广应用价值。

关键词 浅层高分辨率反射波技术; 多道瞬态面波技术; 剪切等效波速; 面波地震勘探

一、前 言

面波地震勘探技术是一种新兴的岩土原位测试勘察方法。它充分利用了地震波传播中产生的折射波、反射波、直达波、面波及转换波特性, 根据不同的勘察对象, 可选择采用其中一种波或综合采用多种波进行解释、推断, 使得浅层工程物探勘察手段能够真正达到高精度、高分辨率、量化。这种先进仪器, 测试方法简便、快速, 可以进行原位无破损、连续大面积测量。

我们利用北京水电物探研究所的 SWS-3 型工程勘探与工程检测仪, 先后在阜新发电厂、辽阳灯塔热电厂、大连台山热电厂等工程中进行了面波地震勘察测量工作。从测试结果来看, 它不但能在初勘阶段作为一种普查的方法, 而且在多层或高层建筑地基详勘中也能作为钻探的重要辅助手段, 减少了钻孔数量, 降低了勘察费用, 提高了勘察工作效率, 为岩土工程勘察提供了一种快速、廉价和较为有效的手段。

二、面波勘探原理及技术

面波 (对于炸药震源或冲击振源, 面波主要指瑞雷面波) 是在弹性分界面处, 由于波的干涉而产生, 并且沿界面传播, 波动现象是集中在界面附近的一种弹性波。它具有以下主要特性。

(1) 面波在自由表面附近传播时, 质点在波传播方向的垂直平面内振动, 振幅随深度呈指数函数急剧衰减, 质点的振动轨迹沿波传播的方向或反方向的椭圆轨道运动。

(2) 面波的水平 and 垂直振幅从弹性介质的表面向内部呈指数减小, 大部分能量损失在 $1/2$ 波长的深度范围内。这说明面波某一波长的波速主要与深度小于 $1/2$ 波长的地层物性有关。

(3) 在多层介质中, 面波具有明显的频散特性。面波沿地表面层传播, 影响表层的深度约为一个波长。因此, 同一波长面波的传播特性反映了地质条件在水平方向的变化情况, 不同波长的面波的传播特性反映着不同深度的地质情况。

(4) 面波勘探采集到的原始资料是面波沿地表传播的振动波形, 通过对波形的室内整理、计算和解释, 可以为勘察工作提供有价值的信息。面波的特点在于:

① 传播速度低, 且只在表层某一深度内传播;

- ② 只要有波速差异(大于或等于 10%)也可以精确进行分辨;
- ③ 在均匀介质中,面波的波速与频率无关,即没有频散特性;
- ④ 面波的波长不同,穿透深度也不同;
- ⑤ 面波波速近似等于横波波速,并具有相关性,即面波波速与介质的物理力学性质密切相关。

根据面波勘探的上述特点,同时也考虑到面波勘探场地地层纵横向变化因素较多,为了减少斜坡反射干扰,使面波资料能真实反映地面上某一点下面地层垂直变化情况,我们在野外采集过程中,利用已知地质资料,优选测试参数,直到与已知地质资料相吻合。由于面波勘探每一测点需要数道的记录(一般不低于 4 道),原始资料的整理和解释是一项细致又繁杂的工作,其主要内容如下。

- (1) 对原始资料进行整理,检查核对,编录。
- (2) 计算各频率条件下面波的传播速度。
- (3) 确定面波时间—空间窗口。
- (4) 在频率—波速域内提取面波。
- (5) 进行频散分析并形成频散曲线图。
- (6) 根据频散曲线的变化,对层数和各层速度的变化范围作出定性解释。
- (7) 进行定量解释,确定各层的厚度,计算各层的横波传播速度(程序中已把面波波速化为横波波速),并对获得结果进行反演拟合解释,直到拟合相关系数满足要求为止。
- (8) 绘制成图片,输入 CAD 绘图软件,绘制成果表,对资料作出地质解释,对各层的岩土工程性质作出评价,最后绘制物探地质剖面图。

三、瞬态面波法概要

传统的地震勘探一直利用的是体波。利用天然地震中的面波推断地球内部构造的尝试始于 20 世纪 50 年代,利用人工激发的面波进行地质调查则是近二十几年的事。

面波有天然面波与人工面波之分。激振方式不同,致使面波法目前又进一步分为稳态面波法和瞬态面波法。

在 20 世纪 70 年代,我国工程界亦开展了稳态面波测试试验,主要是在基础块上进行,由于当时的技术条件尚不太成熟,还满足不了地基土分层的需要,因此,此类试验研究沉寂了一段时间。较早将稳态面波法形成探测系统用于工程实践的是日本 VIC 公司,他们经过 8 年努力,于 80 年代初推出 GR810 佐藤式全自动地下勘察机,并数次来中国表演,由于设备昂贵,我国迄今仅购置 2 台。80 年代后期,稳态面波法试验研究在我国悄然兴起,地矿部、水利水电部、冶金部、中科院、浙江大学等均先后开展了应用开发研究。进入 90 年代,稳态面波法,特别是在硬件研制和软件开发两个方面,都相继取得引人注目的进展。

试验表明,瑞雷波某一波长的波速,主要与深度小于该波长一半的地层物性有关。这就是用一定波长的瑞雷波速度来表征一定深度地层物性的实验基础。

稳态面波法是通过改变震源的激振频率来得到不同波长的瑞雷波在地层表层的传播速度,其形式与电法的频率测深有某些类似,故初期在《浅层地震勘探应用技术》一书中,稳态面波法曾被称为弹性波频率测深。

瞬态面波法所不同的是,通过锤击、落重乃至炸药震源,产生一定频率范围的瑞雷波,再通过振幅谱分析和相位谱分析,把记录中不同频率的瑞雷波分离出来,从而得到一条 V_r-f 曲

线或 $V_r-\lambda_r$ 曲线。

解释方法多采用半波长法,但进一步研究发现,半波长解释方法有时不够精确,实际应用中需作修正或改进。现已研究出若干种解释方法。推断层厚度的方法目前有一次导数极值点法和拐点法;计算层速度的方法有渐近线法、 $\frac{\partial V_r}{\partial \lambda_r} H$ 极值法和近似算法以及层厚度、层速度的综合解释法等。在实际应用中,一般绘制 $V_r-\beta \lambda_r$ 曲线 (β 为波长深度转换系数),为便于分析频散曲线的变化规律,还同时绘出 $\frac{\partial V_r}{\partial \lambda_r}-\beta \lambda_r$ 和 $\frac{\partial V_r}{\partial \lambda_r} H-\beta \lambda_r$ 曲线。

通过正反演计算,进行人机联作速度分层,也是日趋常用的处理解释方法。

四、面波仪及其使用

1. SWS-3 型多功能面波仪的主要技术指标

道数:12道,24道,可扩展为48道,测试时可选1道至多道;

放大器:瞬时浮点放大器;

模数转换:20bit;

信号增强:32bit;

采样率:30 μ s~8ms,分若干挡;

采样点数:512~8192个样点,分若干挡;

动态范围:120dB;

滤波器:高、低通模拟滤波;

CPU:80386 或 80486;

RAM:2Mb,可扩为4Mb,8Mb,16Mb;

硬盘容量:80Mb,可扩为120Mb或200Mb;

软驱:1 \times 3.5英寸,1.44Mb;

显示屏:640 \times 480点阵VGA液晶显示屏,可外配彩显,显示彩色剖面;

打印与绘图:输出各种记录与处理结果;

电源:DC12V,24道额定功耗小于25W;

体积:45cm \times 34cm \times 15cm;

重量:8.8kg;

使用环境:-5 $^{\circ}$ C~+45 $^{\circ}$ C。

2. 软件特点与运行环境

与SWS多功能面波仪相配套的面波处理系统为SWS II版本,地震勘探处理系统为CSP III版本,这些处理系统功能强、直观、快捷、实用,适合于现场使用。运行环境为各种CPU,如486,586微机协处理器,DOS版本在6.0以上。上述软件在多种型号打印机上均可实现打印与绘图输出,如Canon BJ Loex, M1724, M2024, LQ1500, LQ1600, EX10E, AR-3240, M2724, M3070等。

面波处理系统的处理流程大致分为四段:第一阶段为面波原始记录编辑;第二阶段为面波提取与频散分析处理;第三阶段为速度分层;第四阶段为速度分层再处理与地质解释。原始记录的编辑是对记录的处理,对某道失真、干扰的记录进行删除,对没有记录的进行圆滑添加。