

城市地震 勘探

◎ 徐明才 高景华 等著

地质出版社

城市地震勘探

徐明才 高景华 刘建勋 著
柴铭涛 荣立新 王广科

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书分为两篇 15 章, 前 8 章介绍地震勘探的基本原理、地震勘探的数据采集、数据的处理、资料的解释、地面地震层析成像和垂直地震剖面, 后 7 章介绍地震勘探在活动断层调查、水文地质调查、工程地质勘查以及考古等方面丰富的应用实例。

本书可供从事物探工作、工程地质和水文地质勘查工作等方面的科技人员参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市地震勘探 / 徐明才等著. —北京: 地质出版社, 2011. 10

ISBN 978-7-116-07389-0

I. ①城… II. ①徐… III. ①城市—地震勘探—研究
IV. ①P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 192617 号

CHENGSHI DIZHEN KANTAN

责任编辑: 陈军中

责任校对: 白秀君

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 82324508 (邮购部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$

印 张: 24.5

字 数: 570 千字

印 数: 1—1000 册

版 次: 2011 年 10 月北京第 1 版

印 次: 2011 年 10 月北京第 1 次印刷

定 价: 65.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-07389-0

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

近年来,随着社会的进步,人们对居住环境的安全更加重视,各级政府对城市交通、旧城改造不断投入,各类工程勘察项目以及城市活断层探测项目日益增多,地震勘探因其分辨率高、探测结果可靠,在这些勘查(察)项目中成为主要方法和手段。

地震勘探利用的是弹性波,弹性波经震电转换后得到电信号,城市中的各种震动干扰和电磁干扰对地震勘探都有严重影响,识别和压制外界干扰是城市地震勘探必须解决的问题之一。本书作者对这一问题进行过长期深入研究,取得了一些有价值的研究成果,曾于1991年编著了《抗干扰高分辨率浅层地震勘探》一书;该书出版发行对于开展城市高分辨率浅层地震勘探起到了重要作用,受到了广大读者的好评。自该书出版以来,城市地震勘探方法技术又有了进一步的发展和完善,我们获得了许多资料和新的经验,有了撰写《城市地震勘探》一书的想法。

全书由绪论、第一至第十五章和结束语等组成。在绪论中,主要论述了城市地震勘探发展历史及现状,城市地震勘探的主要任务、作用与地位等。第一章论述了地震波理论基础、地震波的概念和传播及地震记录的分辨率。第二章介绍了城市地震勘探的地质基础和地球物理特征,第三章简要地介绍了几何地震学,第四章至第六章分别介绍了城市地震数据采集、处理和资料解释技术,并结合实例对地震剖面的地质解释以及资料解释过程中存在的问题进行了重点讨论。第七章和第八章分别介绍了地面地震层析成像技术和垂直地震剖面技术。第九章至第十五章介绍了一些应用实例,论述了地震方法在城市活断层调查、水文和工程地质调查、地质灾害勘查、考古勘察,以及垂直地震剖面、纵横波联合地震勘探在工程地质调查中的有效性。在结束语中,作者对提高地震记录分辨率和信噪比的技术进行了总结,对目前城市地震勘探中存在的问题和城市地震勘探的发展方向进行了讨论。

本书作者自1985年在上海开展延安东路过江隧道浅层地震勘探以来,一直从事城市抗干扰高分辨率浅层地震方法技术应用研究工作。作者的研究曾得到原地质矿产部重点科技项目“工程勘查中的VSP方法技术研究”和“863”项目“考古遥感与地球物理综合探测技术”、中国地质调查局地质大调查项目“适用于地质灾害调查的部分地面物探方法新技术开发试验”等项目的资助,书中采用的大量素材均来源于作者近几年开展城市地震勘探所取得的应用研究成果,书中所阐述的一些方法技术均来源于作者多年的实践经验,实用性较强。

徐明才、高景华执笔编写本书,刘建勋、柴铭涛、荣立新、王广科、刘冠军、张保卫、王小江、郭庆及曲国胜、陈建强、方慧、陈宇坤、沈繁銮、刘志辉、冯希杰、李亦刚、刘畅往、黄宗林、贺文静、宁宝坤、李岩峰、杨润海和孙刚等参加了城市地震方法技

术应用研究和本书的编写。本书集中反映了中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所近些年开展城市地震勘探的应用研究成果，特别是利用地震方法在城市活断层调查、大型工程项目选址以及地质灾害调查等方面所取得的研究成果。由于作者水平所限，书中错误或不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2010年10月

Urban Seismic Exploration

(Abstract)

In recent years, cities develop fast. The safety of our living environment is paid more attention. Seismic exploration goes into the main methods with the daily increasing of various kinds of the engineering exploration projects and the urban active fault detection projects due to seismic method possess high resolution and reliably detecting results. In urban area, the various vibration and electromagnetic interference effect seriously on seismic exploration; identification and suppression outside interference is one of the problems that must be settled in the urban seismic exploration. The author has conducted the long term study in depth for the problems, and obtained some valuable research results. The author wrote *Shallow seismic exploration with anti-interference and high resolution* in 1991. Publication of the book has played an important role for China's urban high resolution seismic exploration, the book is well received by the reading public. Urban seismic prospecting have been further developed and improved, and a lot of new data about experiments have also been obtained since the book published. In this case, we have the idea of writing *Urban Seismic Exploration*.

The entire book is composed of the introduction, first to the fifteenth chapter and the conclusion. In the introduction, the history and current situation, the main tasks and role as well as status of urban seismic exploration are mainly discussed. First chapter expounds the seismic wave theoretical basis, propagation and the concepts of seismic wave as well as resolution of seismic record. Second chapter introduces the geological basis and geophysical characteristics related to urban seismic exploration. Third chapter briefly describes the geometric seismology. Fourth and sixth chapter discuss the seismic data acquisition, processing and the interpreting technology respectively. Problems existed in the course of the geological interpretations to seismic profile are focused on combining with some examples. Seventh and eighth chapter introduces surface seismic tomography and vertical seismic profiling technology respectively. Ninth and fifteenth chapter introduce some application examples. The validity of seismic method is discussed in urban active fault investigation, engineering and hydrology as well as geological hazard detecting, archaeology, vertical seismic sections, longitudinal and transverse wave combining seismic prospecting in engineering geological surveying. In the conclusion, on improving the seismic record resolution and S/N technologies are summarized, the problems and development direction of current urban seismic exploration are discussed.

The authors of the book has been engaged in application of the urban seismic techniques since 1985. A lot examples in the book is from the application results of developing urban seismic exploration obtained by the author in the last few years. Some techniques discussed in the book are stemmed from the practical experience of the author in many years, with strong usability.

This book is written by professor Xu Mingcai and Gao Jinghua, Liu Jianxun, Chai Mingtao,

Rong Lixin, Wang Guangke, Liu Guanjun, Zhang Baowei, Wang Xiaojiang and Guo Qing participated in the composition and the applications of urban seismic techniques. It reflects main application results related to the urban seismic exploration obtained by Institute of Geophysical and Geochemical Exploration CAGS in recent years, especially the research results of urban active fault investigation, engineering VSP techniques and archaeological shallow seismic surveying.

目 录

前 言	
绪 论	(1)
一、城市地震勘探发展历史及现状	(1)
二、城市地震勘探的作用、地位与目标任务	(2)
三、城市地震勘探的基本环节	(4)

方法技术篇

第一章 地震波理论基础	(7)
第一节 地震波的概念	(7)
第二节 地震波的描述	(11)
第三节 地震波的传播	(17)
第四节 地震记录的分辨率	(32)
第二章 城市地震勘探的地质基础和地球物理特征	(51)
第一节 地质基础	(51)
第二节 地震波阻抗及反射系数	(60)
第三节 地震地质条件	(64)
第三章 几何地震学	(68)
第一节 反射波时距曲线	(68)
第二节 折射波时距曲线	(75)
第三节 绕射波时距曲线	(82)
第四章 地震数据采集	(84)
第一节 地震仪器设备	(84)
第二节 反射波法数据采集	(103)
第三节 抗干扰地震方法技术	(127)
第四节 折射波法	(139)
第五节 直达波和透射波法	(142)
第五章 反射地震资料处理	(147)
第一节 预处理	(147)
第二节 去噪处理	(151)
第三节 校正、叠加处理	(166)
第四节 高分辨率处理技术	(180)
第五节 处理流程	(192)
第六节 其他处理技术	(194)
第六章 浅层地震资料的解释	(197)
第一节 地震剖面与地质剖面对应关系	(197)

第二节	反射波的特征、地震剖面的地质解释	(198)
第三节	地震资料解释中问题	(214)
第四节	地震成果图件的绘制	(223)
第五节	地震资料的综合解释	(227)
第七章	地面地震层析成像	(233)
第一节	基本原理	(233)
第二节	数据采集	(236)
第三节	数据处理和解释	(237)
第八章	垂直地震剖面	(244)
第一节	时距方程	(246)
第二节	正演模拟	(248)
第三节	野外工作方法	(253)
第四节	资料处理	(256)
第五节	资料解释方法	(260)

应用实例篇

第九章	地震方法在城市活断层调查中的应用	(263)
第一节	太行山山前断裂地震调查	(264)
第二节	利用地震剖面研究夏垫断裂的活动特征	(269)
第三节	地震方法探测海河断裂	(274)
第四节	利用地球物理探测技术研究河西务断裂的活动特征	(279)
第五节	利用浅层地震剖面研究磁县断裂的活动特征	(287)
第六节	利用浅层地震研究海口马袅-铺前断裂的特征	(294)
第十章	地震方法在水文和地热调查中的应用	(302)
第一节	地热勘探中的综合地球物理探测技术	(303)
第二节	地震方法在含水层地质调查中的应用	(308)
第十一章	地震方法在地质灾害调查中的应用	(311)
第一节	地震方法在堤坝渗漏调查中的应用	(311)
第二节	地震方法在滑坡调查中的应用	(313)
第三节	地震方法用于活动断裂和地裂缝研究	(316)
第四节	地震方法在采空区调查中的应用	(319)
第十二章	地震方法在秦始皇陵考古中的应用研究	(322)
第一节	物理前提及方法原理	(322)
第二节	工作布置	(322)
第三节	工作方法	(323)
第四节	资料处理及解释方法	(324)
第五节	探测结果	(328)
第六节	几点认识	(333)

第十三章 地震方法在重大工程勘察中的应用 (334)

第一节 天津北疆发电厂厂址勘察 (334)

第二节 引黄入晋工程勘察 (338)

第三节 地下科学城综合地球物理调查 (341)

第四节 北京昌平规划新城浅层地震勘探 (345)

第十四章 纵横波联合地震勘探在城市地质调查中的应用 (353)

第一节 纵横波地震联合勘探在工程地质调查中的应用 (355)

第二节 纵横波联合探测活断层 (360)

第三节 几点认识 (361)

第十五章 垂直地震剖面在工程地质调查中的应用 (363)

第一节 活断层探测 (363)

第二节 永久冻土层探测 (365)

第三节 滑坡勘查 (368)

第四节 探测挡土墙的内部结构 (370)

结束语 (374)

主要参考文献 (377)

CONTENTS

Urban Seismic Exploration

INTRODUCTION	(1)
1 History and current situation of urban seismic exploration	(1)
2 Role and main tasks, as well as status of urban seismic exploration	(2)
3 Basic links of urban seismic exploration	(4)

METHODS AND TECHNIQUES

CHAPTER 1 THEORETICAL BASIS of SEISMIC WAVE	(7)
§ 1 Concepts of seismic wave	(7)
§ 2 Represents of seismic wave	(11)
§ 3 Propagations of seismic wave	(17)
§ 4 Resolution of Seismic record	(32)
CHAPTER 2 GEOLOGICAL BASIS AND GEOPHYSICAL FEATURES OF URBAN SEISMIC EXPLORATION	(51)
§ 1 Geological basis	(51)
§ 2 Acoustic impedance and reflection coefficient	(60)
§ 3 Seismic geological conditions	(64)
CHAPTER 3 GEOMETRIC SEISMOLOGY	(68)
§ 1 Time-distance curve of reflection wave	(68)
§ 2 Time-distance curve of refraction wave	(75)
§ 3 Time-distance curve of diffraction wave	(82)
CHAPTER 4 SEISMIC DATA ACQUISITION	(84)
§ 1 Seismic equipment	(84)
§ 2 Data acquisition of Reflection method	(103)
§ 3 Anti-interference seismic technique	(127)
§ 4 Refraction method	(139)
§ 5 Direct and transmission method	(142)
CHAPTER 5 PROCESSING OF SEISMIC REFLECTION DATA	(147)
§ 1 Pre-processing	(147)
§ 2 Removing noise	(151)
§ 3 Correct and stack processing	(166)
§ 4 High resolution processing	(180)
§ 5 Processing flow	(192)
§ 6 Other processing techniques	(194)

CHAPTER 6 INTERPRETATION OF SHALLOW SEISMIC DATA	(197)
§ 1 Correspondence between geological cross-section and seismic section	(197)
§ 2 Characteristics of reflection events and geological interpretation of seismic profiles	(198)
§ 3 Problems in seismic data interpretation	(214)
§ 4 Draw of seismic result map	(223)
§ 5 Comprehensive interpretation of seismic data	(227)
CHAPTER 7 GROUND SEISMIC TOMOGRAPHY	(233)
§ 1 Basic principle	(233)
§ 2 Data acquisition	(236)
§ 3 Data processing and interpretation	(237)
CHAPTER 8 VERTICAL SEISMIC PROFILE (VSP)	(244)
§ 1 Time-distance equation	(246)
§ 2 Forward modeling	(248)
§ 3 Data acquisition method	(253)
§ 4 Data processing	(256)
§ 5 Data interpretation method	(260)

APPLICATION OF SEISMIC METHOD IN CITY GEOLOGICAL INVESTIGATION

CHAPTER 9 APPLICATION OF SEISMIC METHOD IN URBAN ACTIVE FAULT INVESTIGATION	(263)
§ 1 Piedmont fault of Taihang mountain detected by seismic method	(264)
§ 2 Active feature of Xiadian fault investigated by seismic section	(269)
§ 3 Haihe fault detected by seismic method	(274)
§ 4 Active feature of Hexiwu fault resulted from geophysical techniques	(279)
§ 5 Active feature of Cixian fault resulted from shallow seismic section	(287)
§ 6 Characteristics of Maniao-Puqian fault resulted from shallow seismic method	(294)
CHAPTER 10 APPLICATION OF SEISMIC METHOD IN HYDROLOGICAL AND GEOTHERMAL INVESTIGATION	(302)
§ 1 Comprehensive geophysical survey for the geothermal prospecting	(303)
§ 2 Application of seismic method in aquifer investigation	(308)
CHAPTER 11 APPLICATION OF SEISMIC METHOD IN GEOLOGICAL HAZARD SURVEY	(311)
§ 1 Application of seismic method in dam leakage investigation	(311)
§ 2 Landslide examining by shallow seismic method	(313)
§ 3 Application of seismic method to active faults and ground fissure	(316)

§ 4	Excavated area detected by seismic method	(319)
CHAPTER 12 APPLICATION OF SEISMIC METHOD IN ARCHAEOLOGICAL INVESTIGATION		
(322)		
§ 1	Physical premise and methodology	(322)
§ 2	Working assign	(322)
§ 3	Working Method	(323)
§ 4	Method of data processing and interpreting	(324)
§ 5	Detecting results	(328)
§ 6	Some knowledge	(333)
CHAPTER 13 APPLICATION OF SEISMIC METHOD IN ENGINEERING INVESTIGATION		
(334)		
§ 1	Site exploration of Beijiang power plant in Tianjin	(334)
§ 2	Exploration of leading yellow river into Shanxi province	(338)
§ 3	Comprehensive geophysical survey for underground science town	(341)
§ 4	Exploration of Changping new town in Beijing	(345)
CHAPTER 14 APPLICATION OF P AND S WAVE SEISMIC EXPLORATION IN THE CITY GEOLOGICAL INVESTIGATION		
(353)		
§ 1	Application to the investigation of engineering geology	(355)
§ 2	Application to active fault detecting	(360)
§ 4	Some knowledge	(361)
CHAPTER 15 APPLICATION OF VSP IN THE INVESTIGATION of ENGINEERING GEOLOGY		
(363)		
§ 1	Surveying active faults	(363)
§ 2	Investigating permafrost layer	(365)
§ 3	Prospecting landslide	(368)
§ 4	Detecting the internal structure of retaining wall	(370)
CONCLUSION		(374)
REFERENCES		(377)

绪 论

一、城市地震勘探发展历史及现状

地震勘探是地球物理勘探中的一种重要方法。地震勘探的物理基础是岩、土介质的波阻抗差异,研究的基本方法是利用机械或炸药震源人工激发地震波,沿测线的不同位置用检波器接收,用地震勘探仪器记录地震波;通过分析地震波的运动学和动力学特征,获得地下地质体信息。

城市地震勘探是勘探地球物理学科新的方向之一,它是在能源地震勘探的基础上发展起来的。中国的工程地震勘探始于20世纪70年代中期,80年代初有了较大规模的发展,自80年代中期国内有不少部门进行过试验研究。1985年,物化探所在上海延安东路过江隧道勘查中应用反射地震方法成功解决工程地质调查中的问题,这是城市反射地震勘探在国内较早应用的一个实例。之后,徐明才、高景华、柴铭涛等针对强干扰背景条件下的浅层地震勘探方法进行了一系列的试验研究,使城市浅层地震勘探技术日趋完善;利用该技术开展城市地震调查,取得了很好的社会和经济效益(徐明才等,1998,2005;徐明才,2002)。2002年中国地震局地球物理勘探中心在国家“十五”重大项目“大中城市活动断层探测”项目资助下,在福州进行了一系列的试验探测工作;中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,利用抗干扰高分辨率地震方法技术,成功地解决了十余座城市地质调查中的隐伏断裂分布问题,为城市发展、规划和建设作出了贡献。

根据地震波传播特征的不同,地震勘探方法分为:直达波法、反射波法、折射波法和透射波法等。

直达波法测量炮点与检波点间波的直线传播时间,从而获取激发点和接收点之间介质的传播速度,为地下地质结构反演提供速度资料。在地震勘探中,利用直达波可确定地表面的速度。

浅层折射波法作为工程物探的手段,是应用最早,也是较成熟的方法。折射波法主要利用地震记录上波的初至,当外界干扰较大时,地震记录上的初至起跳不清楚,影响到了初至拾取的精度;该方法也不适合速度倒转的情况。因此,在城市地震勘探中,折射波法的应用不如反射波法那样普遍。

透射波法是研究穿透不同弹性分界面的地震波,激发点和接收点分别位于地层或地质体的两侧。当激发点和接收点之间为相对均匀介质时,透射波即为直达波。当有钻孔时,它常被用于地震测井,可测定地质体形状、地层速度等参数。近年来,在此基础上,发展了垂直地震剖面方法(VSP),跨孔和井-地地震层析成像等方法。

绕射波法是研究地下局部不均匀体产生的地震波。在探测诸如洞穴、破碎带等地质目标时,常利用地震记录上的绕射波。最近几年,发展了反射波和散射波联合成像技术,以解决工程地质调查中的岩溶、断层分布等问题。

反射波法是目前城市地震勘探中技术最为成熟、应用最为广泛的地球物理勘探方法。近年来,随着各项技术的发展,超浅层地震勘探技术得到迅速的发展,使得能够有效地采

集到地下深度约5m处的反射波,由此可利用反射地震方法探测超浅层地质构造和对地层进行划分。

在反射地震勘探中,使用较多的方法技术包括多次叠加技术和共偏移距技术。最近,人们利用共偏移距技术,开发了水域地震映像技术和陆地声呐探测技术。

单一的方法都有其自身不可避免的缺陷,如折射波法要求上覆地层速度比下伏地层速度低。工程地震勘探中,遇到的探测对象不仅有简单的地层界面和基岩起伏的空间形态,还有一些非均匀复杂形态的地质构造。由于单一震相方法不能完全适用,国内有人提出了工程多波地震勘探的新思路和相应的理论及方法,并将其应用于如矿井和隧道的超前预报、地质灾害和工程抗震等许多方面。工程多波地震勘探方法的最大优点:在对所获得的地震波列进行分离、识别和提取后,既可以进行联合勘探,又可以进行单波勘探,从而减少了野外的工作量。

二、城市地震勘探的作用、地位与目标任务

1. 城市工程地震勘探在城市建设中的地位 and 作用

一般来说,城市规划、建设,涉及地面土地和地下空间的科学利用、各类建筑群合理布局、地基基础条件的评价和处理、地质灾害的预防与治理、地质环境保护以及地下资源的利用等一系列问题,这些工作要在规划、建设之前进行,有些还要在城市建设过程中以及以后的较长时期内研究新出现的问题。可见,城市工程地质勘察是城市规划建设中不可缺少的一项重要基础工作,而城市浅层地震勘探方法又是城市工程地质勘察中的一种主要方法。

城市地震勘探,具有快速、准确的特点,方法简便并可用于大面积测量,可以确定浅部或深部的地质构造、划分地层以及人们需要了解的岩土层动力学参数;它不需要采集试样,不需要破坏岩体连续性和土层的天然结构,可以提供连续的剖面或工程设计参数、地质信息,并可节省大量工程钻探费用。这些优点使城市地震勘探在提高效率、保证质量和节约资金方面起到重大作用,也使城市地震勘探在城市工程地质勘察领域具有不可替代的地位。

2. 城市地震勘探在城市建设中的基本任务

城市地震勘探与常规地震勘探在野外数据采集方法、室内资料处理及解释方法有相似之处。常规地震勘探主要以了解地壳、岩石圈的结构以及探测石油和天然气为目的,而工程地震勘探则以勘探地面以下300m深度范围内,有时甚至是地下几米内的地质构造、岩土结构、力学性质为目的。与常规地震勘探相比,城市浅层地震勘探所涉及的表层条件更复杂。城市地震勘探主要是以城市或城市周边地区为目标研究区,各种干扰十分严重,要求解决的地质目标体的几何尺度较小。发展抗干扰高分辨率地震方法技术,并以该方法技术解决有关的工程地质问题是城市地震勘探的首要任务。

概括起来,城市浅层地震勘探的目标任务有以下几方面:

1) 确定第四系覆盖层厚度,探测基岩埋深和起伏。浅层地震方法探测覆盖层通常包括以下工作内容:确定覆盖层厚度,覆盖层内部及基岩断裂构造,覆盖层分层和覆盖层弹性力学参数的测定等。

2) 探测地下水富集地段。用浅层地震反射波法探测地下水富集地段包括探测含水层

和寻找富水带。探测含水层主要是结合测区钻孔资料,利用地震剖面上的波组特征,对第四系含水层或基岩承压含水层进行追踪;寻找基岩富水带主要是通过调查基岩的岩性、构造和风化等情况,推断出基岩地下水富集的有利地段。根据地下构造特征确定最佳井位,从而达到寻找基岩地下水的目的。

3) 勘查古河道。深埋于地下的古河道沉积砂体厚度小、河道窄、形态复杂,长期以来人们主要是依靠钻井、测井资料来分析判断确定有关情况。采用地震勘探方法探测古河道是地震方法在水文地质调查的一个重要方面。

4) 调查基岩风化带。根据基岩风化程度的不同,一般可将风化带分为全风化、强风化、中风化、弱风化和微风化(或未风化)5层。各风化层间从上到下通常具有速度和密度递增的趋势。多数情况下基岩风化层存在3~4个速度或波阻抗界面,这些界面常与全风化、强风化、中风化、弱风化和微风化界面相一致或相接近。通常情况下,全风化层和其上第四系覆盖层在波速上差异较小,容易造成两者混淆。在堤坝、大型建筑和隧道等工程地质勘察中,利用浅层地震方法可以查明基岩风化程度和风化厚度;在波速差异明显时,还可进行风化带分层。

5) 研究地下构造情况,确定破碎带、断裂带等。隐伏构造破碎带是指覆盖层以下的断层破碎带。按断层两盘岩性划分,通常有以下两种情况:上、下盘为同一岩性的断层破碎带(通常为中、小几何尺度的断层);上、下盘为不同岩性的断层破碎带(通常为几何尺度较大的断层)。大部分构造破碎带内部具有断层泥、糜棱岩,和破碎、充水或无水等特征,地震波在破碎带中传播时高频成分易被吸收,且波速较低。当断层面比较光滑且其两侧岩石的波阻抗有明显差异时,断层面本身就是一个反射界面,产生断面波。

6) 勘察岩溶或土洞。岩溶洞穴与其围岩之间,一般存在着明显的密度、波速和波阻抗差异,可用反射和绕射地震方法来探明岩溶地区溶洞的分布和发育情况。

由于采空区、防空洞或土洞等空穴与周围的介质具有明显的波阻抗差异,当采空区的几何尺度较大时,利用反射地震方法能够探测采空区的存在和范围;对于防空洞或土洞,由于其几何尺度较小,利用绕射波或瑞利波能够探测该洞穴的存在。

7) 调查滑坡。在铁路、高速公路、大型水库等施工或使用过程中,都可能遇到滑坡这种地质灾害。工程地质上依据滑坡体组成物质的不同,一般将滑坡分为土体滑坡和岩石滑坡两大类。

滑坡体在滑动过程中常使其岩土结构受到不同程度的破坏,产生大小不等的裂隙,从而使滑坡体的波速降低,滑坡体的波速一般都比滑动面以下的岩(土)体低,通常以基岩面为滑动面的土层滑坡体和以断层面(或风化界面)为滑动面的岩石滑坡体与滑坡床之间形成明显的速度界面。因此,可以用浅层地震方法来探测滑坡体的分布范围和厚度。

有研究表明,当滑坡体不稳定时,垂直于滑坡体走向的地震波速度不同于平行于滑坡体走向的地震波速度,即滑坡体上地震波速度显示出明显的各向异性。根据此研究结果,可利用地震方法研究滑坡体的稳定性。

8) 确定岩层的动力学参数。利用地震勘探确定的岩层P、S波速度,可求取岩层的动力学参数,依次研究岩层的特性。

沉积层中的软弱夹层常指在力学强度上要比上、下岩土层低得多的地层。软弱夹层往往具有渗透性差、波速低和密度小等特点。因此,当该夹层厚度相对较大时(如大于

$\lambda/4$), 可用浅层地震反射方法探测该夹层的存在。由于软弱夹层有速度倒转现象, 因此一般不适合用折射波法来探测, 采用瑞利波探测技术能够探测沉积层中的软弱夹层。

除此之外, 城市地震勘探能够解决的地质问题还包括: 划分地层, 研究地裂缝, 确定与工程建筑有关的持力层, 堤坝渗漏勘察和大型工程选址勘察等。

9) 探测活断层。最近几年, 城市浅层地震勘探的主要应用之一就是探测城市活断层。

活断层是指在第四纪期间, 尤其是晚更新世以来发生过活动的, 而且在今后仍可能活动的断层。大量地震灾害的调查结果表明, 活断层不仅是产生天然地震的根源, 而且发生地震时沿断层线的破坏也最为严重。因此, 在大中城市的防震减灾中, 采用地震方法准确地查明城市活断层的位置、活动性及其分布范围, 并采取有效的防范和“避让”措施, 对有效减轻城市地震灾害, 保障人民生命财产安全具有十分重要的意义。

3. 城市地震勘探的特点

城市地震勘探主要为城市规划、大型厂矿企业建设、公共设施建设等提供必要的工程地质资料, 城市地震勘探往往具有激发能量较弱, 勘查范围较小, 勘查网度较密, 勘探精度较高等特点。随着我国建设事业的发展, 新兴的工业城市、港口城市、经济开发区等不断发展, 老城市的现代化改造也在迅速进行, 诸如高层建筑、大型厂房、地下铁道、高速公路、桥梁、隧道、港口、机场、水坝、核电站等种类繁多的新型的高标准工程项目日益增多。这不仅对各种工程基础的地质条件提出了更高的要求, 也要求用较少的人力和投资, 快速可靠地完成工程勘察任务。

地震勘探方法是探测地下地质构造的有效手段。城市建筑和公共设施在一定程度上制约了城市活断层探测工作的设计和施工, 工业生产、公共交通和居民生活对探测工作可产生很强的干扰, 一些在城市以外行之有效的地球物理探测方法, 在城市地区面临着严重的挑战。因此, 对城市活断层地震勘探来说, 在环境复杂、各种干扰较强的城市来探测第四系松散沉积层内部落差较小的断层, 需要对传统的方法技术进行改进和完善, 以提高地震方法的抗干扰能力和分辨率。

三、城市地震勘探的基本环节

在常规地震勘探中, 地震勘探可分为三个基本环节, 即采集阶段、处理阶段、资料解释阶段。在城市地震勘探中, 由于城市特殊的地理条件, 我们在这里把城市地震勘探分为四个基本环节, 即调研准备阶段、采集阶段、处理阶段、资料解释阶段。

1. 调研准备阶段

在城市地震勘探中, 充分调研准备是顺利开展城市地震勘探的前提, 它包括: 资料收集、现场踏勘与市政有关部门进行联系等。

以往的城市地质调查中, 布置了大量的钻孔, 收集这些钻孔资料和有关的物化探、地质资料有助于最终成果解释。

在设计完成之后, 所设计的反射地震剖面能否进行, 需要现场进行踏勘。踏勘内容包括: 在所设计的地震剖面上有无障碍物, 地下管线(管道)的分布, 地震剖面沿线及周围干扰源的分布等。当无法进行正常施工时, 需要对设计的剖面位置进行修改, 地震剖面位置的修改应在不影响解决地质问题的前提下进行。