

工程地震勘探综述^①

赵 鸿 儒

郭 铁 栓

(北京大学地球物理系, 北京 100871) (国家地震局分析预报中心, 北京 100036)

摘要 本文对工程地震勘探作为一门年轻的、独立的学科, 其诞生和发展的历史进行了评述。文中对工程地震勘探涉及的研究内容、与地震勘探的关系, 所取得的成果进行了论述。对应用超声地震模型技术模拟解决工程地震勘探实际问题发表了见解, 并对工程地震勘探未来的发展进行了展望。

关键词 工程地震勘探 超声地震模型 全波震相分析

1 工程地震勘探的发展概况

工程地震勘探是一门年轻的正在发展中的勘探地球物理学学科。工程地震勘探的基本含义是根据人工激发的地震波或超声波(声波)在介质中传播的物理特性来研究工程地质情况, 研究岩土体或地层的地震参数与工程地质指标之间的关系以及对工程地质问题进行评价^[1]。工程地质情况, 是与工程建筑的设计和施工有关的勘探。在工程地质填图、道路工程、水利工程、矿山工程以及古河床基岩的埋深和表面形状、潜水面埋深、裂隙带和薄弱带勘测、圈定喀斯特溶洞等等研究方面, 工程地震勘探都可发挥重要作用。

工程地震勘探和地震勘探、地震学有着密切的关系。我国是世界上地震学发展最早的国家。早在三千多年前就有地震的记载, 西汉张衡的地动仪更是闻名于世^[1]。但到了近代, 我国的地震学、勘探地震学均落后于国外。

国外的地震勘探研究始于本世纪初。1914年德国人 R.A. 费森登提出反射法。1919年德国人 L. 明特罗普首先运用了折射法, 这些方法主要用于石油勘探。前苏联 1926年开始使用折射法, 1929年在格鲁兹宁区地震勘探研究石油构造时被列入方法之一。1923年开始研究反射法, 1935年起开始了反射波的工业生产^[2]。

我国石油勘探中采用现代地球物理方法的时间可以追溯到 1939 年。当时地球物理界老前辈翁文波先生, 由英国留学归来在重庆中央大学物理系任教时, 开设了地球物理勘探课程。他在 1945 年 9 月组建了玉门重磁队。我国第一个地震勘探队是 1949 年筹备, 1951 年在上海成立后开赴陕北地区进行工作的。1949 年起还先后开办了一些石油勘探方面的短训班, 由老一代地球物理学家授课, 培养了新中国的第一代地球物理勘探队伍。现在这些人已是我国地震勘探工作的主要骨干。

工程地震勘探作为一门独立学科的时间应该是在 1940 年末到 1950 年初。当时前苏联

^①本文1993年4月17日收到, 同年7月16日收到修改稿

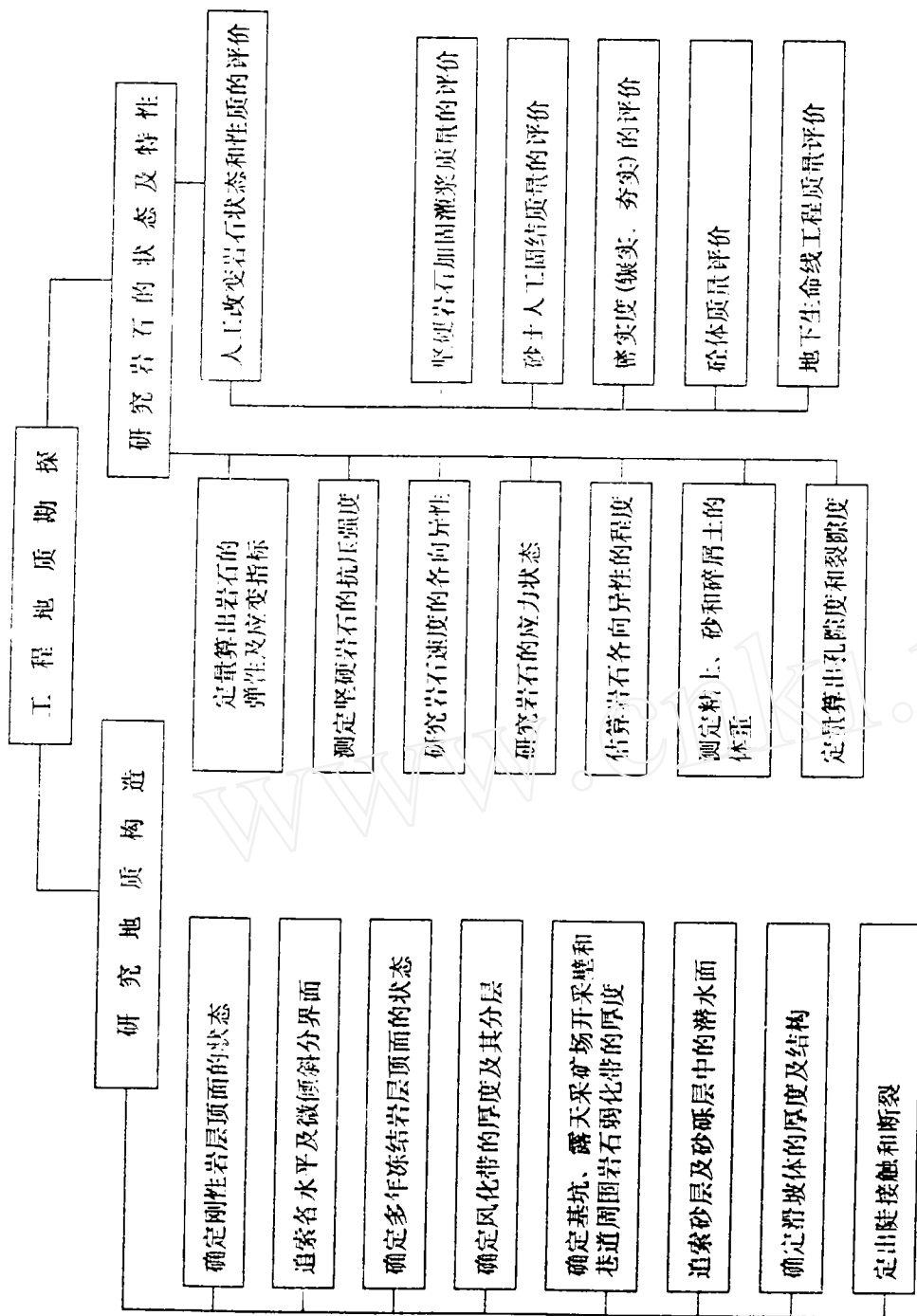
的水利设计院和水电设计院同时在工程地质勘察中使用了工程地震勘探, 为战后 1946 年至 1950 年国民经济恢复做出了贡献^[2]。前苏联的工程地震勘探可追溯至 1937 年左右。他们首先采用地震学方法进行浅部地层的试验研究, 结论是需要改进仪器。当时用低频的地震仪(20—70 Hz)不能满足时间读数要求。1946 年, T. A. 甘布尔采夫用高频地震仪(几百赫兹)勘探浅部地层的设想实现, 可以说, 从那时起工程地震勘探逐步在工程地质研究中得到了应用。1939 年我国“新科学”报导, 美国人威廉(G. M. William)利用地震仪探测路基下地层土质坚硬程度, 来选路基。他说这样的方法解决了路面修好了又有许多地方陷下去的难题。1942 年“每月科学”第 2 卷第 11 期“人工地震和地质调查”一文报导了日本地震权威流边贯来华介绍说, 日本人工地震在丹那隧道、关门隧道开凿成功中, 贡献实属不小。

第二次世界大战之后, 一些国家随着工程建设的大量兴起, 建筑物场地勘探、动力基础的设计, 结构物的动力分析等要求人们用地震学方法测定地震波在地层介质中的传播速度, 从而促进了地震波在土木工程、矿山工程以及其它工程地质中的应用, 为工程地震勘探的发展提供了条件。随着时间的前进、科技的进步, 工程地震勘探的内容逐步丰富扩大。国外 50 年代初期, 人们大多采用纵波的反射波法。50 年代末开始使用纵、横波研究粘土和天然产状条件下岩石的各种动力学参数。60 年代后, 广泛使用地震学方法研究岩层产状和性质, 而且用于山地(30°—35°)地区亦取得好的效果。随着对坚硬基础上高坝各种断面的研究, 在坑道中地震观测的研究, 工程地震勘探很快成了重要的勘测手段, 并且在研究岩体的岩性和状态中开始采用了超声波方法。70 年代初, 对多年冻结条件下坚硬岩石和土体中弹性波速度变化特征进行了研究。70 年代后期到 80 年代初, 在水利工程建设、道路建设、矿山建设和民用建设等有关部门也都广泛地使用着地震学和超声波方法。

我国的工程地震勘探起步较晚, 可以说从 70 年代中期才逐步开始, 从 80 年代初开始大规模系统地发展起来。由于建设工程的需要, 先后办过一些短训班, 培养了工程地震勘探人员。许多生产单位和科研单位研制生产出一批适合于工程地震勘探的专门仪器, 如声波岩石参数测定仪、矿井地震仪、多功能微机控制采集系统等。从已掌握的系统资料看 1980 年有“岩体超声探测技术及应用”, 1982 年有“浅层地震勘探方法与技术”^[3]和“地震波在工程中的应用”等书出版^[4]。1987 年还翻译出版了前苏联“工程地震勘探原理”一书^[2]。我国的工程地震勘探工作虽然起步晚, 但发展速度并不慢, 根据不完全统计, 我国目前已有 100 多个工程地震勘探组织在从事工程勘察工作^[5]。

2 工程地震勘探的内容和现状

“工程地震勘探”这个术语概括的比较全面。从当代发展水平看, 工程地震勘探无论是与石油地震勘探还是与地震采矿均有区别。显然, 简单地确定各种地质界面的空间形态不是这一学科的主要和唯一的方向, 它还应该是解决非均匀复杂小构造地质体的形态、性质、结构以及岩土体的物性等方面的问题。关于其内容可用下表框图简单说明。



工 程 地 震 勘 探 内 容

应该指明, 这里所用的“工程地震勘探”这个术语在文献中还会遇到表示同样内容的术语, 如“工程地震声波勘探”、“地震声波勘探”、“微观地震探测”、“应用地震学”、“浅层地震勘探”、“高频地震勘探”等等。这些术语虽有各自某些特点, 但从工作内容看, 均不如“工程地震勘探”较确切。

鉴于上述情况, 我们将工程地质和建筑工程中研究岩土体与地层结构、性质和状态采用的一整套地震学研究方法和超声波研究方法, 都理解为工程地震勘探所综合的内容, 并归入到工程地震勘探中。工程地震勘探与一般地震勘探不同, 它包括地面观测、探矿工程——浅井、平巷、竖井中的观测、地震测井和超声测井, 以及在试样和露头上进行超声波观测。在许多情况下, 正是上述一整套研究方法保证了圆满和精确地解决各种问题。工程地震各种方法的有效性, 使得这种研究已成为工程地质、道路工程、工业建筑和民用建筑的任何大型设计方案都将逐步不可避免地进行仔细综合的地震勘探。

土层的地震学指标与工程地质性质指标的相互关系, 决定着用地震波和超声波指标的值可以间接地确定工程地质性质的指标。这一方面对工程地质勘探具有重要意义, 它在工程地震勘探中已得到优先发展, 而与确定土层性质和状态有关的问题又在这一研究中占有很大比重。

地震学方法的重要优点是, 它不需要采集试样, 即不需要破坏岩体的连续性和土层的天然结构, 就可确定土层的工程地质指标。这一优点在研究松散土层性质时表现得尤为突出。因为要取得松散土层的完整试样是很复杂的, 有时甚至不可能。由于地震学方法简便和实地大量观察, 各种地震学方法可以有理由把单独确定的某些工程地质指标推广到面上和深部。还有, 地震学方法可以用来研究我们需要了解的任何范围内的土层性质, 必要时甚至可用未来建筑物的规模来比拟该范围。这种可能性对任何一种直接研究的方法都不是具备的。这一点从现代有关岩石的概念看是特别重要的。根据该概念, 小块试样岩石的性质与天然产状条件下大块岩体中同样岩石的性质可以相差极远。

根据某种物理原理建立的超声波法和地震学方法, 既可反映试样或小块岩体的特征, 也可反映大块的天然岩体的特征, 从而可以对出现的差异, 用估算尺度效应和环境效应的办法进行定量评价。此外, 对于工程地震勘探中遇到的某些难题还可以通过超声地震模型试验的手段, 根据相似性原则建立模型, 先在实验室进行某些理论方法的研究, 取得结果后再运用到实际被研究的对象(原型)中。这是一种既省财力又能快速准确解决问题的方法^[5]。

80年代以来, 工程地震勘探迈入了实用阶段, 采用了先进技术方法, 取得了长足的进展。应该指出一点, 即工程地震勘探由于专业特点所限, 比起石油、煤田地震勘探, 在使用电子计算机处理资料方面, 显得有些落后。但近几年来, 微机控制的数字采集仪器的发展使差距变得越来越小。在工程地震勘探中采用微机处理资料, 取得空前的发展。如过去手工解释难度很大的哈莱斯法, 时间场法现在都在微机上实现了自动处理成图。最近我国又将地震波初至自动检测技术和射线法正、反演技术成功地引入工程地震勘探领域, 工作效率、解释精度显著提高^[5]。

折射波法和反射法是工程地震勘探的两个基本方法。在地质调查方面, 由于浅层地质

情况比深层复杂得多,还比不上石油地震勘探那样成熟,目前仍处于初级阶段,我们除了要继续发展和完善这两种方法外,根据工程地震勘探的特点,还应使用透射法和波的动力学特征参数,如振幅法.目前透射波法的层析技术已应用于工程地震勘探,但还不普遍.振幅法主要研究弹性波有介质中的衰减特性.声波透视的交会法和Q测井也是透射波振幅法的一种.反射波振幅法对于具有瞬时浮点增益功能的地震仪,恢复地震波的真振幅已有可能.折射波振幅法用具有二进制增益系统数字工程地震仪记录弹性波和对振幅(振幅比)是完全可能的.解释时利用粘弹理论可以算出土、软岩石等的粘滞系数.这种原位测定粘滞系数是评价工程地质、特别是滑坡地质的宝贵参数.

在弹性波测井方面,如PS波测井和Q测井技术属已有方法.弹性波频率测深技术,面波测深技术、垂直地震剖面技术、高分辨率技术^[7].超前探测技术以及常时微动(脉动)的观测应用技术等等也是近年来逐步发展起来的新技术.这些技术已不同程度地应用在工程地震勘探中.特别是动态无损桩基检测,近年来发展迅速,应用广泛.这项技术也应属于工程地震勘探的范畴.

在仪器发展方面,在使用原有的地震勘探仪器的基础上,已研制出微机化、数学化、智能化更适合工程地震勘探使用的仪器.目前除新进一些国外的工程地震仪器外,国内如长沙、湘潭、重庆、长春、北京、武汉、扬州、厦门、宝应等地的工厂或高等院校科研单位相继研制生产出一些适合于工程地震勘探的仪器.

3 工程地震勘探的展望

(1) 目前工程地震勘探常用的基本方法仍以折射法和反射法为主,都采用石油或煤田地震勘探的基本方法.这些方法又都采用的是纵波或横波的单一直达波或一次的射波.它们来源于把地球介质视为均匀、各向同性完全弹性的几何地震学方法,是一级近似的结果.而工程地震勘探是浅层勘探.对象除一般层状地质构造外,更多遇到的是非均匀复杂构造体.解决勘测这类问题,几何地震学方法已不完全适用.因此,在理论上应从非均匀、非弹性介质(即非线性)着手考虑问题.在方法上建议采用广义多波勘探思想,采用三分量检波器作全波列记录的勘探方法,利用多个震相的运动学和动力学特征参数和全波震相分析理论方法进行工程地质的解释.我们认为这将有助于解决非均匀复杂地质构造问题的途径之一^[8].

(2) 对于一些非均匀复杂构造的震波波场,尤其是多震相的复杂波场,往往从理论上很难用数学计算的方法解决或者无法解决.因为波场不能认识,更无法用来反演地质结构.遇到这类难题,最好的办法是先采用超声地震模型试验方法,将原型按照相似性原则在实验室内建造模型进行理论和方法的研究,取得结果后,再应用到实际原型中去指导解决问题.这将是工程地震勘探应推广的重要方法之一^[9].

(3) 工程地震勘探的任务是解决工程地质等方面的问题,或者说就是要研究岩体组成的非均匀、复杂构造地质问题或建筑工程等问题.因此,应加强对岩土、砗体的物性特征参数的研究,甚至还应对其化学特征参数也要研究,以保证对工程地震勘探对工程地质的

解释更加准确。

(4) 由于工程地震勘探研究的对象多为非均匀复杂构造的地层, 因此应加强综合利用各种地球物理方法和地质、岩石物性、化探等手段相互配合进行综合勘探, 才能更可靠地解决工程地质等方面的问题。

(5) 专业化、系统化、多功能、便携、智能、使用方便的高质量仪器研制以及新方法的计算机资料处理, 在这方面, CT 技术已用于工程地震勘探, 需要的是进一步完善和实用。

希望工程地震勘探逐步开展和推广上述五点的同时, 随着科学的发展和技术的进步, 采用更多新的理论和方法技术, 相信将会更快更好地解决工程地质等方面的各种问题的过程中, 工程地震勘探也将得到更大的发展。

参 考 文 献

- [1] 金井清著, 常宝琦等译, 《工程地震学》, 地震出版社, 1987.
- [2] B. H. 尼基金著, 刘统良译, 《工程地震勘探原理》, 地震出版社, 1987.
- [3] 北京铀矿地质研究所浅层地震组, 《浅层地震勘探方法与技术》, 原子能出版社, 1982.
- [4] 首培杰等, 《地震波在工程中的应用》, 地震出版社, 1982.
- [5] 赵鸿儒等, 《超声地震模型试验技术及应用》, 石油工业出版社, 1986.
- [6] 王振东, 《浅层地震勘探应用技术》, 地质出版社, 1988.
- [7] 王庆海等, 《抗干扰高分辨率浅层地震勘探》, 地质出版社, 1991.
- [8] 赵鸿儒等, 《全波震相分析》, 地震出版社, 1991.

A SUMMARY OF ENGINEERING SEISMIC PROSPECTING

Zhao Hongru (Department of Geophysics, Beijing University, Beijing 100871)

Guo Tieshuan (Center for Analysis and Prediction, State Seismological Bureau, Beijing 100036)

Abstract

The history of the engineering seismic prospecting is quite young and it is an independent science. The paper has commented on research problems and results of engineering seismic prospecting, relation between seismic prospecting and engineering seismic proepecting. The paper puts some comments on solving

problems of engineering seismic model prospecting by ultrasonic seismic model technology, and look forward to the development trend of engineering seismic prospecting.

Key Words engineering seismic prospecting, ultrasonic seismic model technology, phase analysis for complete wave

www.cnki.net