

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0170—2020

代替 DZ/T 0170—1997

浅层地震勘查技术规范

Technology specification for shallow seismic exploration

2020-12-25 发布

2021-05-01 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号和计量单位	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号和计量单位	2
4 总则	3
4.1 应用条件与能力	3
4.2 应用领域	3
5 技术设计	4
5.1 工作任务	4
5.2 资料收集与踏勘	4
5.3 测线与观测系统选择	4
5.4 设计书编写	5
5.5 设计书审批	5
6 仪器设备	5
6.1 仪器设备一般要求	5
6.2 仪器设备技术指标	6
6.3 仪器设备的检查	7
6.4 仪器设备使用与保养	8
7 野外工作	8
7.1 生产前试验	8
7.2 测线(网)布置与测量工作	9
7.3 地震反射波法	10
7.4 地震折射波法	13
7.5 瞬态瑞雷波法	13
7.6 井中地震层析成像	15
7.7 质量监控	15
7.8 原始资料验收和质量评价	16
8 数据处理	17
8.1 地震反射波法	17
8.2 地震折射波法	18
8.3 瞬态瑞雷波法	19

8.4	井中地震层析成像	19
9	资料解释	20
9.1	地震反射波法	20
9.2	地震折射波法	20
9.3	瞬态瑞雷波法	21
9.4	井中地震层析成像	21
10	成果报告编写与汇交	22
10.1	基本要求	22
10.2	成果报告主要内容	22
10.3	主要成果图件	22
10.4	资料汇交	22
附录 A (规范性)	地震波速测试技术要求	23
附录 B (资料性)	质量监控记录表	26
附录 C (资料性)	各种野外记录表	31
附录 D (资料性)	波速测试成果的应用	35
参考文献	38

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 DZ/T 0170—1997《浅层地震勘查技术规范》，与 DZ/T 0170—1997 相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- a) 增加了术语和定义、符号和计量单位(见 3.1、3.2)；
- b) 增加了仪器设备一般要求、仪器设备技术指标、瞬态瑞雷波法、井中地震层析成像等内容(见 6.1、6.2、7.5、7.6)；
- c) 调整野外工作中原始资料验收和质量评价，并完善了相关内容(见 7.8)；
- d) 补充细化了水域地震反射波法的野外工作技术要求(见 7.3.2)；
- e) 调整技术设计的方法有效性试验与野外工作的生产性试验进行整合，调整直达波法地震工作为地震波速测试技术要求(见附录 A)；
- f) 增加了质量监控记录表(见附录 B)；
- g) 修改补充了各种野外记录表(见附录 C)、波速测试成果的应用(见附录 D)。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本文件起草单位：浙江省地球物理地球化学勘查院、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质大学(武汉)、安徽省勘查技术院、江苏省地质勘查技术院。

本文件主要起草人：何良军、高景华、顾汉明、陈耀、罗传根、周立军、方斌、孙丽影。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1997 年首次发布为 DZ/T 0170—1997；

——本次为第一次修订。

引 言

近 20 年来,《浅层地震勘查技术规范》(DZ/T 0170—1997)在浅层地震勘探工作中发挥了重要的指导作用。随着地震仪器设备、计算机和计算机处理技术的进步,浅层地震勘查技术得到了长足发展,DZ/T 0170—1997 已难以满足工作需要。为规范浅层地震勘查技术的有效运用,进一步提高工作质量和应用水平,有必要对其进行修订。

本次修订广泛征求了地质、建设、水利电力、煤炭、交通、地震等有关高校、科研和生产部门的意见,符合当前浅层地震勘查工作实际,对进一步规范和促进浅层地震勘查工作、提高勘查技术水平和成果精度有着重要意义,并将为我国水文、工程、环境、资源、物探发展做出贡献。

浅层地震勘查技术规范

1 范围

本文件规定了浅层地震勘查的技术设计、仪器设备、野外工作、数据处理、资料解释、成果报告编写与汇交等主要工作环节的技术要求。

本文件适用于在水文、工程、环境地质调查,区域和场地稳定性调查,能源及矿产资源调查等过程中,勘查深度在数米至数百米范围内各种地质体的浅层地震勘查工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 12950 地震勘探爆炸安全规程
- GB/T 14499 地球物理勘查技术符号
- GB/T 18314 全球定位系统(GPS)测量规范
- DZ/T 0077 石油、天然气和煤田地震勘探图式、图例及用色标准
- DZ/T 0153 物化探工程测量规范

3 术语和定义、符号和计量单位

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

地震反射波法 seismic reflection method

人工震源激发的地震波向地下传播到具有波阻抗差异的界面上时,产生返回地面的反射波被地震仪器接收并记录下来,经过数据处理、资料解释,即可提供不同地质体反射界面的形态、埋藏深度、倾角和各层速度等资料的浅层地震勘查方法。

3.1.2

地震折射波法 seismic refraction method

通过人工震源激发的地震波,在地下速度分界面产生折射波时,根据地震仪记录的折射波到达时间与距离的关系,可以获得地质体的速度和界面埋深等参数的浅层地震勘查方法。

3.1.3

井中地震层析成像 borehole seismic tomography

通过地—井或井—井间观测记录到的地震波走时或波形,利用大量的地震波信息进行反演计算,得到测区内介质地震波速度场分布规律,从而揭示地质构造、岩性或速度异常体分布特征的浅层地震勘查方法,也称井中地震 CT。

3.1.4

瞬态瑞雷波法 transient Rayleigh wave method

利用人工瞬态震源激发产生多种频率成分的瑞雷面波,由于近地表介质的不均匀性导致瑞雷面波产生频散,通过地震记录得到的面波信息计算出面波波速随频率的变化关系,最终确定面波波速在地下空间的分布特征,以了解浅层工程地质分层和速度分布的地震勘查方法。

3.1.5

地震分辨力 seismic resolution

可分辨的最小地层厚度或最窄的地质体的宽度。前者称为地震垂向分辨力,后者称为地震水平分辨力。

3.1.6

多次覆盖 multiple coverage

对地下同一反射点,进行多次重复观测,把共反射点的信号进行叠加处理以提高反射记录质量的一种观测系统。

3.1.7

观测系统 geometry

地震波激发点和接收点相互位置关系。

3.1.8

频散曲线 dispersion curves

表示瑞雷面波的周期(或波长、频率)与波速关系的曲线。

3.1.9

SH波 shear horizontal wave

剪切形变在介质传播过程中,质点的振动与波传播方向垂直,且质点振动在水平平面内的横波分量。

3.1.10

信噪比 signal-noise ratio

地震记录中信号与噪声的比例,常用 S/N 表示。

3.1.11

数字地震检波器 digital seismometer

即 MENMS 加速度传感器,是集微型传感器、信号处理、控制接口、执行器、通信接口和电源等为一体的微机电系统。其具有精度高、故障率低、质量小、体积小和易组网等优点。

3.1.12

炸药包 dynamite bundle

安装了雷管的炸药或震源药柱。

3.2 符号和计量单位

浅层地震勘探技术符号和计量单位见表 1。

表 1 符号和计量单位

序号	符号	名称或意义	计量单位
1	v	波速	m/s
2	λ	波长	m
3	k	波数	m^{-1}

表 1 符号和计量单位(续)

序号	符号	名称或意义	计量单位
4	f	频率	Hz
5	T	周期	s
6	Z	波阻抗	$\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$
7	R	反射系数	量纲为一
8	v_p	纵波速度	m/s
9	v_s	横波速度	m/s
10	v_R	瑞雷波速度	m/s

4 总则

4.1 应用条件与能力

4.1.1 浅层地震勘查技术的应用具有一定的条件性和局限性。各种方法技术的应用应同时具备地震地质条件和地震环境条件。

4.1.2 浅层地震勘查技术方法选择应根据勘查地质体的埋深、规模、地震地质和环境条件、仪器设备等因素综合分析、试验而决定。

4.1.3 地震反射波法应用条件是勘查地质体与周围相邻介质之间存在明显波阻抗差异。反射波法不受地层速度逆转的限制,对划分沉积地层层序、探测断层等地质构造的效果较好。纵波反射法勘查深度较大,SH波反射法分辨力较高。

4.1.4 地震折射波法应用条件是勘查目的层波速大于上覆所有地层的波速,并且要求勘查目的层厚度足够大,使其所产生的折射波能够在地震记录上以初至波的形式出现。勘查目的层上界面的视倾角小于 $(90^\circ - i_c)$ (i_c 为折射临界角,单位为度);如存在高速屏蔽层,则其厚度应远小于入射波的波长。折射波法常用于测定覆盖层厚度及其速度、基岩速度及基岩界面起伏形态,推测构造破碎带,为反射波法勘查提供用于静校正的表层速度和低速带变化资料。

4.1.5 瞬态瑞雷波法应用于勘查地层或介质的瑞雷波波速。其勘查深度一般小于一个波长,主要取决于瞬态瑞雷波的频率。不同频率有不同的波长,频率低勘查深度大,频率高勘查深度小。总体而言,其勘查深度相对较浅,有利于揭示浅表层内的非均匀异常体。

4.1.6 井中地震层析成像应用于勘查地—井或井—井之间地层或介质的弹性波速度,圈定地层中速度异常体或速度异常带。其勘查精度主要取决于地震波首波走时拾取的精度、投影数据的密度和反演计算方法。

4.2 应用领域

4.2.1 工程、水文、环境地质调查

应用领域如下:

- a) 测定覆盖层厚度及基岩界面起伏形态;
- b) 测定隐伏断层、裂隙破碎带的位置、宽度及展布方向;
- c) 探测岩溶、采空区、火烧区、陷落柱、地下洞穴发育状况;
- d) 划分松散沉积地层层序;

- e) 调查滑坡及塌陷等地质灾害；
- f) 地质填图；
- g) 地基基础质量检测和岩土弹性力学参数测定；
- h) 堤坝、水库大坝渗漏探查。

4.2.2 区域和场地稳定性调查

应用领域如下：

- a) 进行场地类别和土类型划分；
- b) 进行岩石风化与完整程度的划分；
- c) 断裂(层)(含活动断裂)构造调查。

4.2.3 地质与矿产资源调查及其他

应用领域如下：

- a) 浅层油气和煤田的勘查和开发；
- b) 天然气水合物勘查；
- c) 地热资源勘查；
- d) 沉积金属及非金属矿床勘查；
- e) 低速带和降速带的测定；
- f) 文物遗存及地下埋设物探测等。

5 技术设计

5.1 工作任务

5.1.1 工作任务书的内容应包括：项目名称、工作地区及范围、工作目的、工作任务；实物工作量及技术经济指标；提交成果资料的内容及期限。

5.1.2 应根据委托单位下达的任务书或有关合同(协议)明确工作目的任务,并编写设计书。

5.2 资料收集与踏勘

5.3.1 设计书编制前应充分收集、调查测区及邻区各类资料,主要包括：

- a) 测区、邻区或其他条件相似地区与目的任务相关的地质、物探、测绘等资料；
- b) 测区地形地貌、植被、表层土、水系、交通条件等资料；
- c) 测区震源干扰波、工业电、交通运输及其他震动等外界干扰波情况；
- d) 地下工程设施分布及物性(地震波速、密度)(见附录 A)等资料；
- e) 水域测区气象、潮汐、水深及水下和水面设施分布资料。

5.3.2 现场踏勘应包括以下内容：实地考察测区地形、地貌、交通、工作条件及外界震动干扰状况；核实已收集的地质、物探及测绘资料。

5.3.3 在资料收集和现场踏勘的基础上,对方法的有效性和可行性进行综合分析,当不存在问题时即可转入设计书编写阶段。

5.3 测线与观测系统选择

5.3.1 测线布置应根据工作目的任务、测区地形、地物条件,因地制宜合理设计；测线、检波点、炮点的平

面位置设计应根据相应比例尺的地形图确定。

5.3.2 测线长度和测线间距,应根据地质任务的要求或按工作比例尺确定;测线之间应适当布置联络测线;联络测线宜与主测线垂直并与之相交。

5.3.3 主测线方向应尽可能垂直于地层、构造、探测地质体的走向。宜选择地形起伏较小、表层介质较均匀的地段。测线尽可能与地质勘探线或其他物探方法测线重合,有利于资料对比分析。

5.3.4 进行面积性浅层地震勘查时,在构造复杂的地段,测线间距可适当加密。勘查任务要求高、环境条件许可时,可采用三维地震观测系统。

5.3.5 需要开展浅层纵、横波联合勘查时,测线应尽可能重合布置。

5.3.6 合理布置地震勘查测线,力求使布置的地震剖面避开或垂直穿过地下管道(线)。

5.3.7 选择观测系统应在满足地质任务要求的条件下,遵循简单、经济的原则。

5.4 设计书编写

5.4.1 设计书应根据委托单位下达的任务书或有关合同(协议)内容,由承担单位组织收集和分析工区及邻区有关地质、钻探、物探及其他技术资料,并在现场踏勘的基础上进行编写。在地震勘查测区的地震地质条件比较复杂或已知资料比较缺乏的情况下,应先做一定工作量的地震试验工作。

5.4.2 设计书应包括下列内容:

- a) 前言:项目来源、目的任务、测区范围、自然地理与交通概况等;
- b) 测区地质、地球物理特征:以往的地质、地震勘查工作程度和主要成果及存在的问题,地质概况(地层、构造)、地震地质条件和地震环境条件初步分析,本次勘查工作的主要困难与对策等;
- c) 工作布置:工作布置原则,明确面积性测区范围、剖面性工作具体位置及依据,测网密度确定及依据,测线方向确定及依据,实物工作量,工作流程、时间安排;
- d) 勘查方法技术与质量检查:技术标准与规范,测量工作,方法技术(包括观测系统、地震波的激发和接收方式、仪器参数选择等),测地精度及质量检查,数据处理和解释推断等;
- e) 项目组织与保障措施:勘查质量、安全保障措施,项目组人员组成及分工,拟投入的仪器设备;
- f) 拟提交成果资料的内容和时间;
- g) 经费预算:预算编制依据,采用的费用标准和测算依据,编制预算结果;
- h) 相关附表及附图(含地形、地质内容图层的工作布置图等)。

5.4.3 短期或工作量不大的任务,设计书内容可从简,但应包括下列内容:工作目的、任务;工作地区和工作量;工作方法及精度要求;完成期限等。

5.5 设计书审批

5.5.1 设计书由编制单位初审,由上级主管单位审查或经任务下达单位批准或委托单位认可(参见附录B),方可正式实施。

5.5.2 实施过程中由于客观条件变化或其他原因,需要修改设计时,应及时将修改理由和内容申报至审批单位或委托单位,经确认同意后再修改、变更原设计,变更内容和依据应逐一系列,并经重新审批或委托方认可方可实施。

6 仪器设备

6.1 仪器设备一般要求

6.1.1 应根据勘查任务、环境条件、勘查深度和工作精度经济合理地选定仪器设备的型号和数量。

6.1.2 浅层地震勘查仪器设备包括震源激发系统、地震仪(采集站)、检波器、地震电缆、爆炸机(编一译码器)、触发线、通信设备及测量设备等。

6.1.3 地震反射波法、折射波法采用动态范围不低于 120 dB 数字地震仪;瞬态瑞雷波法应采用通频带较宽的数字地震仪,井中地震层析成像应采用采样率较高的数字地震仪。

6.1.4 地震纵波反射波法宜选用固有频率为 38 Hz~100 Hz 的垂直检波器,也可采用数字地震检波器;地震横波(SH 波)反射波法宜选用固有频率为 28 Hz~38 Hz 的水平检波器;地震折射波法宜选用固有频率为 10 Hz~38 Hz 的垂直检波器;瞬态瑞雷波法宜选用 1 Hz~10 Hz 的低频检波器;水域地震勘查宜选用频率高、频带宽并具有良好的防水性能的压电检波器。

6.1.5 震源要求如下:

- a) 在浅层地震勘查中,使用的震源主要有雷管震源、炸药包震源、可控震源、随机编码震源、锤击震源、机械冲击震源、震源枪、电火花震源、空气枪震源和机械声波震源等;
- b) 在浅层地震勘查中,震源应根据测区地震地质条件、工作环境和勘查深度等因素通过试验确定;
- c) 通常情况下,雷管震源、锤击震源、机械冲击震源、震源枪等震源的勘查深度相对较浅,炸药包震源、可控震源、随机编码震源和电火花等震源的勘查深度相对较深;
- d) 可控震源、随机编码震源、锤击震源和机械冲击震源等在地表面激发,适合于在不允许施工激发孔的地区开展工作;震源枪、炸药包震源和电火花震源等需要在充水的浅孔内激发,不适合于在人口密集区开展工作;
- e) 在外界干扰较严重的情况下,宜采用具有相关叠加功能的可控震源和随机编码震源等;
- f) 在水域地震勘查中,宜采用电火花震源、空气枪震源、机械声波震源等。

6.2 仪器设备技术指标

6.2.1 地震仪

6.2.1.1 采用地震反射波法、折射波法工作时,接收道数不宜小于 48 道;采用瞬态瑞雷波法、井中地震层析成像工作时,接收道数不宜小于 12 道;并且具有良好的道一致性。

6.2.1.2 模/数(A/D)转换精度不低于 20 bit。

6.2.1.3 最小采样间隔宜不大于 0.5 ms;并且有多挡可选。

6.2.1.4 具有多次垂向叠加功能,使用可控震源或随机编码震源激发还应具有相关叠加功能。

6.2.1.5 可调通频带范围:1 Hz~5000 Hz;并且有多挡可选。

6.2.1.6 采样点数应不少于 512 个;并且有多挡可选。

6.2.1.7 具有高、低截滤波和陷波功能,并且有多挡可选。

6.2.1.8 具有内、外触发功能,触发灵敏度可调节。

6.2.2 检波器

6.2.2.1 固有频率小于 10 Hz,误差不大于 $\pm 10\%$;固有频率大于 10 Hz,误差不大于 $\pm 5\%$ 。

6.2.2.2 灵敏度误差不大于 $\pm 5\%$ 。

6.2.2.3 谐波失真不大于 0.2%。

6.2.2.4 相位差变化应小于 ± 1.0 ms。

6.2.2.5 绝缘电阻应大于 20 M Ω 。

6.2.3 地震电缆

6.2.3.1 陆域地震电缆

6.2.3.1.1 道间绝缘电阻应大于 50 M Ω /km,接地电阻应大于 100 M Ω /km。

6.2.3.1.2 不得有破损、短路、串道、断路等故障。

6.2.3.1.3 电缆插座有保护盖。

6.2.3.2 水域漂浮电缆

6.2.3.2.1 全缆绝缘电阻(下水前)应大于 10 M Ω /km。

6.2.3.2.2 电缆串音小于 60 dB。

6.2.3.2.3 电缆拖曳噪声小于 0.1 dB。

6.2.3.2.4 各道间相位差小于 ± 1.0 ms。

6.2.3.2.5 各道间的振幅变化在 15%以内。

6.2.4 震源

6.2.4.1 可控震源

6.2.4.1.1 可控震源启动信号、无线参考信号零时校准,两信号的相位误差不大于 100 μ s。

6.2.4.1.2 编码器每发出 100 次启动指令,可控震源启动扫描信号的次数不低于 99 次。

6.2.4.1.3 可控震源信号启动平均延迟时间误差不大于 200 μ s。

6.2.4.1.4 可控震源控制系统的参考信号与真参考信号、震源输出信号应满足相关要求。

6.2.4.1.5 相邻两个独立测试加速度表的相位差不大于 1 ms,振幅差不大于 10%。

6.2.4.1.6 可控震源的一致性信号采用控制系统锁相信号。

6.2.4.1.7 输出力不得低于额定值的 70%。

6.2.4.1.8 最大激发信号的畸变与失真值的比值不得超过 35%,平均畸变与失真值的比值不得超过 25%。

6.2.4.1.9 组合振动激发时的同步启动精度不大于 0.25 ms。

6.2.4.2 空气枪震源

6.2.4.2.1 单枪启动稳定性要求 ± 1.0 ms。

6.2.4.2.2 组合阵内各枪应同步工作,启动误差保持在 ± 2.0 ms。

6.2.4.2.3 空气枪的容量不小于设计的 90%,声压不小于设计的 90%。

6.2.4.3 电火花震源

6.2.4.3.1 充电电压不宜小于 1 000 V。

6.2.4.3.2 输出功率不宜小于 1 000 J。

6.2.4.3.3 陆地地震充电时间不宜大于 10 s,水域地震充电时间不宜大于 4 s。

6.2.4.4 炸药包震源

6.2.4.4.1 雷管作用时间小于或等于 1 ms(即地震勘探专用毫秒级雷管)。

6.2.4.4.2 炸药爆速在 4 000 m/s~6 000 m/s 之间。

6.2.4.4.3 炸药包中的雷管安置在药包的顶端,采用正向起爆。

6.3 仪器设备的检查

6.3.1 每天工作开始时,应首先对仪器设备性能和工作状态是否正常进行检查,并做日志记录。

6.3.2 每个测区开工前和每月应做一次地震仪和检波器道一致性检查。

- 6.3.3 地震仪器各道放大器一致性检查,要求各道振幅差不大于5%,相位差不大于0.5 ms。
- 6.3.4 检波器道一致性检查,要求各道之间振幅差不大于10%,相位差不大于1 ms。
- 6.3.5 爆炸机应做同步一致性测试,要求时断信号(TB)最大值与最小值相差不大于一个测试用采样间隔。
- 6.3.6 采用可控震源时,应进行日检、月检、年检。
- 6.3.7 检查结果和原始数据均应存档,作为地震勘查项目的质量控制依据。
- 6.3.8 施工过程中,因仪器故障更换影响技术指标的备件时,应对仪器进行全面调校和测试,并经检查确认仪器设备性能稳定,各项技术指标均满足技术要求后方可继续工作。
- 6.3.9 各类仪器设备检查均参见附录B中表B.1要求做好记录。

6.4 仪器设备使用与保养

- 6.4.1 地震仪的操作和保管应有专人负责,建立使用档案,详细记录仪器的故障和检修情况、调试和校验结果。
- 6.4.2 地震仪操作员应严格遵守仪器操作规程,了解各部件原理和功能,能排除一般性故障。
- 6.4.3 仪器班报应填写正确,字迹工整,不得随意涂改,遇有特殊情况,要写入笔记。
- 6.4.4 当发现仪器有重大故障需检修时,操作员应向主管部门提出书面报告,说明故障性质、原因和检修内容。
- 6.4.5 禁止不熟悉仪器性能、原理、结构的人员拆修仪器。
- 6.4.6 检修仪器在拔插线路板或更换器件时,必须注意防止人体静电损坏器件。检修工具、工作台应良好接地。检修过程中应避免手直接与连线和元器件接触。
- 6.4.7 仪器长期不用,应妥善保管。每隔1个~2个月进行一次通电保养和维护。
- 6.4.8 数据存储介质存放和运输时,应防高温、防潮湿、防尘、防磁、防腐蚀、防挤压等。
- 6.4.9 仪器车或载运仪器的车辆,车厢内应保持清洁、干燥,配置灭火器。严禁放置易燃、易爆危险品。

7 野外工作

7.1 生产前试验

- 7.1.1 试验工作应遵循“由已知到未知,从简单到复杂,点线结合和单一因素变化”的原则。应根据工作目的任务和设计要求,结合区内地震地质条件、地震环境条件和以往工作经验有针对性地开展试验;试验地段应布置在有代表性的地区,宜选择在工作测线上或通过已知钻孔。
- 7.1.2 试验的内容包括震源激发方式、地震波接收方式、观测系统的选择及震源干扰波和环境噪声的调查等。
- 7.1.3 了解测区有效波和干扰波宜采用展开排列法。展开排列长度,一般为实际记录排列长度的2~3倍,道间距应不大于实际工作的道间距。仪器工作参数的选择应采用全通频带,以尽可能接收到各种波的信息为原则。
- 7.1.4 在试验工作的基础上,确定最佳的震源激发、接收条件、观测系统和仪器工作参数,确定最佳的抗干扰方法技术及措施。
- 7.1.5 生产工作中遇到局部地段记录变坏,应增做补充试验;并查找原因,调整适合的工作方法,确定合适的观测系统、激发接收和仪器工作参数,使记录得到改善。
- 7.1.6 试验资料应及时分析处理。针对勘查地质体效果及抗干扰效果等,在试验结果中应有明确的结论。试验成果可作为成果报告的一部分。

7.1.7 未经试验或试验结论不明确,不得转入正式生产。

7.2 测线(网)布置与测量工作

7.2.1 现场测线、测点敷设应采用测量仪器进行;对于场地内的工程勘查任务,可采用钢尺或测绳量距,测绳和钢尺应经常进行校准。测线的端点及转折点应与控制测量点联测,并符合 DZ/T 0153 要求。

7.2.2 地震反射波法测线宜布成直线。若由于受场地条件等限制,可允许测线转折。当进行单次覆盖工作时,最大转折角不得超过 15° ;当进行多次覆盖工作时,最大转折角不得超过 8° 。转折点位为激发点或检波点位,并应回到原测线位置和方向上。

7.2.3 当地震测线不能布置成直线时,应采用弯线叠加方法。设计弯线时,最大偏折角不宜大于 30° ,最小边长不宜小于一个排列长度,测线转折点为接收点或激发点的整数倍。

7.2.4 地震折射波法测线宜布成直线。若受场地条件等限制,可允许测线转折,但应在转折点布置相应的激发点,追逐观测系统的远激发点应布置在转折后的延长线上,并保证一个完整观测排列为直线。

7.2.5 探测高倾角的目的层时,测线布置方向宜满足临界角与视倾角之和不超过 90° 的观测条件;有钻孔或速度参数采集点时,应通过钻孔或参数采集点布置适当的测线。

7.2.6 测线编号及测点桩号在无特殊规定的情况下,一般按照由西向东、由南向北增大的原则编排。测点桩号以米(m)为单位。激发点和检波点位置应有明显可靠标志,必要时测线端点应设置永久性标志。

7.2.7 在地形变化较大时,应实测激发点和检波点的位置及高程,并沿排列方向测绘地形剖面。

7.2.8 测网线距依据地质任务要求、构造复杂程度和目标层稳定程度类型综合确定,不同比例尺的测网线距见表 2。

表 2 不同比例尺的测网线距

比例尺	主测线线距 m	联络测线线距 m
1 : 5 000	50	50~100
1 : 10 000	100	100~200
1 : 25 000	250	200~500
1 : 50 000	500	500~1 000

7.2.9 地震勘查测线上各类测点平面位置和高程的精度要求见表 3。表 3 中各项精度均以中误差衡量,并要求以 2 倍中误差作为限差的指标。

表 3 测点平面位置和高程的精度要求

工作比例尺	平面中误差 m			高程中误差 m		
	加密点	联测点	激发点、检波点	加密点	联测点	激发点、检波点
1 : 10 000	±1.5	±3.5	±6.0	±0.3	±0.4	±0.8
1 : 25 000	±1.5	±4.2	±8.4	±0.3	±0.4	±1.4
1 : 50 000	±1.5	±5.0	±12.0	±0.3	±0.4	±1.7

注:比例尺大于万分之一时,测点平面位置和高程的精度要求应按相应比例尺的测量精度要求,具体要求可根据任务确定。

7.2.10 在比例尺大于 1:10 000 测区开展地震勘查工作时,宜采用具有实时动态测量(RTK)技术的 GPS 仪器。当采用多台接收机工作时,其精度应一致。测区开工前和结束后所有接收机应在已知点上同时校验、检查。满足工作精度的方可在测区使用。

7.2.11 在水域地震勘查工作时,应采用实时差分(DGPS)导航定位系统,并符合 GB/T 18314 的要求。

7.3 地震反射波法

7.3.1 陆域地震反射波法

7.3.1.1 观测系统

7.3.1.1.1 地震反射波法可采用单次覆盖观测系统或多次覆盖观测系统。应根据地质任务、地震地质条件和经济高效的原则加以合理选择。

7.3.1.1.2 共偏移距观测系统的偏移距和测点间距大小可通过试验确定。当探测的地质体横向尺度较小时,选取的测点间距还需考虑地质体横向尺寸,至少应有 3 个以上测点落在地质体上。

7.3.1.1.3 多次覆盖观测系统可采用端点激发或中间点激发方式。在单炮记录信噪比较高时,覆盖次数不低于 6 次。在信噪比较低时,采用的覆盖次数使叠加后主要目的层反射波的信噪比不低于 3。

7.3.1.1.4 在地层倾角较大地段,宜在地层下倾方向激发,地层上倾方向接收。

7.3.1.1.5 当测线遇到障碍物不能正常激发(或接收)时,需改变观测系统观测,以弥补因障碍物分布不能激发(或接收)而丢失的地震数据。

7.3.1.1.6 采用三维地震观测时,可根据环境条件灵活选择观测系统,一般宜采用规则观测系统;条件复杂时,也可采用非规则三维观测系统。若采用束状观测系统施工,相邻线束接收线应适当重复。

7.3.1.1.7 三维观测系统的面元网格大小和覆盖次数应根据地震地质条件和地质任务要求确定,使面元内炮检距、方位角及覆盖次数分布均匀。

7.3.1.2 地震波激发

7.3.1.2.1 地震波的激发应根据地震任务要求和工区地震地质条件合理选择震源。震源系统确定原则为激发的地震有效波较强,干扰波相对较弱;频带较宽;同一震源点激发时,地震记录有良好的重复性。

7.3.1.2.2 使用锤击震源、落锤震源、机械撞击震源应在激震点敷设专用垫板,以防止反跳造成的二次触发。

7.3.1.2.3 激发 SH 波,使用叩板震源,应使木板长轴垂直测线,且长轴的中点位于测线或测线的延长线上,并使木板与地面紧密耦合。为提高激发能量,可在木板上堆置适当重物。

7.3.1.2.4 使用电火花震源或气枪震源应按照使用说明书的有关规则操作,为保证激发能量应充电(充气)到额定电压(气压),并注意安全。

7.3.1.2.5 采用可控震源必须对扫描方式、扫描频率、扫描长度、振动次数、输出力等参数进行充分试验。试验应遵循单一因素变化原则。

7.3.1.2.6 采用随机编码震源激发应使其随机激发,夯击震动越随机,产生的相关噪声就越小,记录的信噪比就越高。

7.3.1.2.7 使用机械震源在坚硬路面上激发,应注意机械震源对路面的破坏;必要时,应采取相应的保护路面的措施。

7.3.1.2.8 使用震源枪应在充水或潮湿的孔中激发。在使用过程中,应防止对地下管线、管道的损坏。

7.3.1.2.9 使用炸药包震源应符合下列要求:

- a) 井中爆炸时,应使用有关介质填塞后激发;对于干孔,应采用闷炮井激发,避免冲井现象;坑中爆

炸时,药包需用湿砂或土埋实,水中或潮湿地区爆炸应有防水措施;

- b) 药包沉放深度应当准确;采用无延迟组合爆炸时,各药包应保证同时起爆;
- c) 使用导爆索炸药柱或低爆速长药柱作为震源时,宜使爆速与周围地层波速相匹配;应尽量使炸药柱位于潜水面以下起爆;
- d) 爆炸计时宜采用回线计时;如使用内触发计时,应使用 600 V 以上的高压爆炸机;
- e) 同一爆炸站禁止使用两套或多套爆炸线工作,爆炸机钥匙必须由爆破员一人掌管;
- f) 震源弹、震源枪应严格按有关规定使用、存放和运输;
- g) 爆炸工作必须符合 GB 12950 中的有关规定,并且参见附录 B 填好炸药包震源使用记录表和野外工作班报表。

7.3.1.2.10 不同类型的震源系统应通过试验使触发计时误差小于 1 ms,否则,应找出原因后重新激发。

7.3.1.2.11 在外界干扰较强的地区工作时,应使用激发能量较大的震源。当激发能量不足以抗衡外界干扰幅度时,应通过缩短接收排列长度缩短干扰半径。

7.3.1.3 地震波接收

7.3.1.3.1 检波器埋置的位置应准确,由于条件限制不能埋置在原设计点位时,沿测线方向移动不得超过 1/10 道间距。垂直于测线方向移动不得超过 1/5 道间距。

7.3.1.3.2 检波器应与地面接触良好,安置牢固,埋置条件力求一致。具体要求如下:

- a) 检波器埋置在稻田、沼泽、浅滩时,应防止漏电;
- b) 检波器在水泥或沥青路面安置时,应用橡皮泥、黄油或熟石膏等将检波器牢固粘于地面或采用铁靴装置安置;每个铁靴的质量应保证检波器与大地耦合良好;
- c) 检波器位于干沙、砂石、虚土层时,检波器安置应挖坑并压实;
- d) 检波器周围的杂草、小旗等易引起检波器微动之物应加以清除,风力过大时检波器应挖坑深埋;
- e) 检波器与电缆连接极性应正确,防止漏电、短路或接触不良等故障。

7.3.1.3.3 用横波检波器接收 SH 波时,应保证检波器水平安置,最大灵敏度方向应垂直测线方向,且取向应一致。

7.3.1.3.4 多次覆盖观测选取的道间距和炮间距需满足空间采样定理,防止在频率—波数域处理中出现空间假频。

7.3.1.3.5 多次覆盖观测选取的最小炮检距(偏移距)不应大于最浅目的层的深度;选取的最大炮检距既要满足最浅目的层反射系数稳定,又要满足速度分析精度和压制多次波,还应减小动校正拉伸畸变对反射波频率的影响。一般情况下,最大炮检距一般不大于探测界面埋深的 1.5 倍。

7.3.1.3.6 地震仪器工作参数应根据地质条件和测区干扰情况合理选择。具体要求如下:

- a) 根据干扰背景强度确定仪器增益;地震反射波法数据采集时,各道增益尽量保持一致;
- b) 依据勘查深度、地层产状、岩土体速度合理选择记录长度;宜采用高采样率接收,当记录长度与采样率发生矛盾时,可配合使用延时功能;
- c) 地震反射波法采集数据时,为压制面波干扰或突出有效波中的高频成分,应采用低截滤波器;为压制工频干扰,可采用 50 Hz 陷波器;为防止时间假频干扰,应采用高截滤波器;在条件允许情况下,应采用宽频带接收;为压制干扰,不宜采用长组合基距组合接收地震波;
- d) 地震仪触发应根据实际条件,可合理选择内、外触发方式,合理设置触发灵敏度参数,做到不随意产生触发,也要避免有触发信号不触发情况发生;
- e) 在同一测区开展同一方法工作时,应尽量保持地震仪各采集参数设置不变;在人文干扰较大测区,应选择合适的工作时段避开干扰,在背景相对平静的工作时段开展地震数据采集。

7.3.1.3.7 在外界干扰较强时,应提高垂直叠加和水平叠加次数。通常情况下,应保证满叠加后反射波的信噪比不小于3。

7.3.1.3.8 对于行驶车辆干扰,若采用垂直叠加技术提高地震记录信噪比,宜采用室内编辑后再进行垂直叠加处理。

7.3.2 水域地震反射波法

7.3.2.1 观测系统

7.3.2.1.1 水域地震反射波法有水中(或水底)固定排列观测、走航式拖缆法观测、共偏移距观测三种方式。

7.3.2.1.2 固定排列观测的观测船和激发船都应抛锚定位,依附缆绳将排列固定,并监测有无溜锚导致船体流动。当发现电缆尾部摆动超过 10° 时,电缆尾部应抛锚固定。

7.3.2.1.3 走航式拖缆法和共偏移距观测时,使用的地震仪应具备较短的单炮采样、记录、存储时间,并具有自动、连续的触发、记录功能。

7.3.2.1.4 在海域使用走航式拖缆法地震勘查作业时,宜选择平潮期进行;当航向与水流方向有一定夹角时,电缆偏离航线不宜大于 10° 。

7.3.2.2 地震波激发

7.3.2.2.1 水域地震勘查的震源激发一般由定位系统控制,可分为定时激发和定距激发。在航速能保持一致的情况下,可采用定时激发方式;在多道漂浮电缆接收时,宜采用定距激发,实现等距放炮。具体激发方式视具备震源条件、勘查地质体埋深及地震地质、环境条件而定。

7.3.2.2.2 震源激发时间间隔应综合考虑震源充气(充电)时间、仪器记录存储数据时间、航速等因素确定。

7.3.2.2.3 空气枪震源宜安置在船尾部适当距离,沉放深度不宜小于1 m;漂浮电缆沉放深度,应通过试验确定。航行过程中应采取必要的措施,保持电缆沉放深度一致。

7.3.2.2.4 禁止在调查船航行的上游采用炸药作为震源;禁止在有渔网、网箱等水域进行地震勘查施工。

7.3.2.3 地震波接收

7.3.2.3.1 在近海海域进行地震勘查作业期间,应同步测量水深,并设置潮位观测站,每隔15 min观测、记录一次水位变化;观测站高程应与已知控制点联测。观潮站的设置应能控制全测区的潮汐变化并符合观潮站的选址原则。

7.3.2.3.2 水域地震勘查测线布设、作业时间、勘查质量控制,应考虑受风浪、水流、气象、附近航船行驶、水域网箱等因素影响。

7.3.2.3.3 当采用漂浮电缆多道接收时,不正常工作道不应超过接收道总数的 $1/12$,整条测线的空、废炮率小于6%。

7.3.2.3.4 当采用单道水听器接收时,应选择采用最佳共偏移距观测技术,仪器工作参数保持不变。

7.3.2.3.5 航速和航向应保持稳定,航迹与设计测线偏离不宜大于测线间距20%,最大偏离不宜大于20 m。

7.3.2.3.6 到达测线起点前应将电缆拉直,到达测线终点后,船只应继续沿航向前进;延续距离应大于半个排列长度;进入测线或测线结束以及每一炮都应有合格的卫星导航定位点。

7.3.2.3.7 首、尾炮号及测量过程中每隔50炮要求填写一次班报记录。

- 7.3.2.3.8 地震炮号与定位点号及地震文件号对应无误。
- 7.3.2.3.9 应有专人监视拖带的震源和电缆,并加强瞭望;当发现有船只要靠近电缆的水面时,应提前做好应对。
- 7.3.2.3.10 水域地震勘查震源系统、接收设备应做好防水工作,并及时做好日常检查、保养、维护工作。

7.4 地震折射波法

7.4.1 观测系统

- 7.4.1.1 折射波法可采用完整对比或不完整对比观测系统。在满足工作目的任务要求的条件下,采用简单、经济的观测系统。
- 7.4.1.2 所选用的观测系统,应保证主要目的层有效波的连续对比追踪。
- 7.4.1.3 相遇时距曲线,应确保在相遇段内,至少有4个检波点接收来自被追踪层界面的折射波。
- 7.4.1.4 追逐时距曲线,应确保在两支时距曲线中,至少有3个检波点重复接收同一界面的折射波。
- 7.4.1.5 沿测线方向,被追逐界面平坦,可用单支时距曲线测定,但应确保追踪地段内至少有4个检波点。
- 7.4.1.6 非纵测线的布置,应考虑旁侧、界面倾角和速度变化的影响。非纵测线应尽量通过纵测线或钻孔。测线长度一般不能大于激发点到测线的垂直距离。
- 7.4.1.7 当追踪目的层区间大、控制横向速度变化要求较高时,可采用相遇追逐或多重相遇追逐观测系统。
- 7.4.1.8 折射波法采用的激发震源和观测系统应使地震记录上的初至波起跳清晰。

7.4.2 地震波激发

- 7.4.2.1 折射波法应准确记录激发井深。
- 7.4.2.2 地震波激发尚应符合本规范7.3.1.2的有关规定。

7.4.3 地震波接收

- 7.4.3.1 根据干扰背景强度确定仪器增益,排列中近炮点各道可采用不同增益。
- 7.4.3.2 合理设置采样间隔、记录长度或采样点数,提高折射波初至时间的精度。
- 7.4.3.3 采用多次叠加工作方式时,可利用锁道措施,防止近道溢出。
- 7.4.3.4 折射波法的道间距的选择应符合下列规定:
- 单支观测系统可采用不等的道间距,排列长度应保证有6道检波器接收到目的层的折射波;
 - 其他观测系统宜采用相等道间距,道间距一般为5 m~10 m;
 - 道间距为水平距离,在测线布置时应根据地形起伏情况对道间距进行校正。
- 7.4.3.5 折射波法的偏移距应符合下列规定:
- 单支观测系统的偏移距小于排列的第一个道间距;
 - 追逐相遇观测系统的近炮偏移距为0 m,远炮偏移距应保证该支时距曲线中,至少有3个检波点与近炮时距曲线重复接收同一界面的折射波。
- 7.4.3.6 地震波接收尚应符合本规范7.3.1.3的有关规定。

7.5 瞬态瑞雷波法

7.5.1 观测系统

- 7.5.1.1 观测系统以激振点分类可分为单端激振法和双端激振法;以排列移动方式分类可分为全排列

移动、半排列移动和根据勘查点间距移动排列的方法。根据勘查目的、要求、地形、地质与地球物理条件应合理选用观测系统,并应符合下列要求:

- a) 所选用的观测系统,应保证主要目的层的连续追踪;
- b) 简单地质地形条件应采用单端激振法,复杂地质地形条件下应采用双端激振法。

7.5.1.2 应结合勘查地质体和已知资料,通过试验确定观测系统布置方式、采集参数和激发方式。现场工作应符合下列规定:

- a) 应视探测对象布置成测线或测网;多道接收时,测线应呈直线布置;
- b) 应采用向前滚动观测方式,滚动点距应满足横向分辨力要求;
- c) 测点间距应根据勘查任务和现场条件确定,每条测线上不得少于3个测点。

7.5.2 瞬态瑞雷波激发

瞬态瑞雷波的激发应符合下列要求:

- a) 瞬态瑞雷波的激发应根据勘查任务要求和工区条件合理选择震源;
- b) 震源方式可采用大锤激振、落重激振或炸药激振,选择震源须保证面波勘查所需的频率及足够的激振能量;
- c) 使用锤击震源、落重震源应在激振点敷设专用垫板;专用垫板是硬材料,有利于激发高频波;专用垫板是软材料,有利于激发低频波。
- d) 使用炸药包震源时:炸药量要通过试验确定,炸药坑深度宜大于60 Am并压实,炸药计时应采用回线计时和内触发计时;
- e) 震源方式的选择应根据勘查深度要求和现场环境确定;一般情况下,勘查深度0 m~15 m,宜选择大锤激振;15 m~30 m,选择落重激振;30 m~50 m以上,选择炸药激振,在无法使用炸药的场地,亦可采用加大落锤质量或提高落锤高度的办法加大勘查深度;
- f) 激振条件的改善:勘查深度小时,震源应激发高频率波;勘查深度大时,震源应激发低频率波;同种震源方式,改变激振点条件和垫板亦可使激发频率改变;
- g) 瞬态瑞雷波激发尚应符合本规范7.3.1.2的有关规定。

7.5.3 瞬态瑞雷波接收

7.5.3.1 瞬态瑞雷波的接收应遵循下列原则:

- a) 仪器应设置在全通状态,对定点仪器应设置各道增益一致;
- b) 每道采样点数不少于1024点;视采集记录的长度要求,应保证各道采集基阶面波的完整性;
- c) 记录的近震源道不应出现削波,排列中不宜有坏道;
- d) 排列方向的设计应视地形条件和规避干扰波的需要确定;采用线性等道间距排列方式,震源在检波器排列以外延长线上激发,排列上的道间距应小于最小勘查深度所需波长的1/2。

7.5.3.2 选用不同频率检波器的原则:可根据勘查深度要求,利用 $f=v_R/\lambda_R$ 和 $H\approx 1/(2\lambda_R)$ 估算选用的检波器频率,式中: f 为检波器的固有频率; v_R 为瑞雷波速度; λ_R 为瑞雷波波长; H 为勘查地层的深度。

7.5.3.3 瞬态瑞雷波排列的中点为勘查点。勘查点间距的布置应根据勘查阶段、场地地质地形条件的复杂性以及勘查目的和精度综合考虑。

7.5.3.4 瞬态瑞雷波法排列方式应遵循以下要求:

- a) 瞬态瑞雷波勘查排列的长度不应小于勘查深度所需波长的1/2;
- b) 在场地存在固定噪声源的环境中工作,应使排列线的方向指向噪声源,并布置激振点与固定噪声源在排列的同侧;干扰震源波不得构成对排列线的大角度传播;

- c) 在地表存在沟坎及在建筑群中进行瞬态瑞雷波勘察时,排列线的布置应考虑规避非震源干扰波的影响;
- d) 瞬态瑞雷波接收尚应符合本规范 7.3.1.3 的有关规定。

7.6 井中地震层析成像

7.6.1 观测系统

7.6.1.1 观测系统应符合下列要求:

- a) 井中地震波层析成像可采用两边观测系统;当孔间、地面或洞间、边坡条件适宜时可采用三边观测系统;在梁柱或周边临空体情况下可采用多边观测系统;
- b) 在平硐、钻孔及自然临空面所构成的地震波层析成像剖面内,应充分利用被探测区域周边的激发与接收条件,采用“一发多收”的扇形观测系统,保持射线分布均匀,交叉角度不宜过小;
- c) 当发射点间距大于接收点间距时,宜采用“两孔互换”的观测方式,并保持一定数量的发射点与接收点互换;
- d) 在同一剖面上进行多个孔间或洞间地震层析成像观测时,宜保持观测系统一致。

7.6.1.2 测点布置应符合下列要求:

- a) 井中地震波层析成像剖面宜垂直于地层或探测目的体的走向,扫描剖面的钻孔和平硐应共面且相对规则;
- b) 孔(洞)间距应根据探测任务要求、物性条件、仪器设备性能和探测方法的特点合理布置,根据激发方式和能量大小适当选择;成像的孔(洞)深度应大于其孔(洞)间距,地球物理条件复杂、探测精度要求较高的部位,孔距或洞距应相对减小;
- c) 点距应根据探测精度和探测方法要求选择,并能满足空间采样定理要求。

7.6.2 井中地震 CT 激发

7.6.2.1 地面激发常用的震源包括:锤击、落重、扣板和炸药等。

7.6.2.2 井中激发常用的震源包括:雷管、炸药包、电火花、机械振动等。

7.6.2.3 井中地震 CT 激发尚应符合本规范 7.3.1.2 的有关规定。

7.6.3 井中地震 CT 接收

现场工作应符合下列要求:

- a) 在钻孔中进行地震层析成像观测时应充分了解钻孔情况,采取预防措施,减少孔内事故发生;
- b) 井中地震波层析成像的钻孔应进行井斜测量,井中地震波层析成像的平硐应进行地震波速度测试;
- c) 在钻孔中进行井中地震波层析成像时,宜选择孔壁相对完整的孔作为接收孔;当孔壁条件较差时,宜采用塑料套管;
- d) 当采用爆破震源进行孔间地震波层析成像时,激发孔应下金属套管护壁,自下而上边提升套管边在管脚下放炮,防止孔壁坍塌;
- e) 当激发与接收距离较远时,应选用高能量激发装置或具有前置放大功能的接收探头或高灵敏度检波器接收;
- f) 井中地震 CT 接收尚应符合本规范 7.3.1.3 的有关规定。

7.7 质量监控

7.7.1 施工前应对仪器设备进行检查,各项性能和工作状态正常才能投入使用。

7.7.2 测量原始数据和计算成果应有专人检查和核算,发现问题应及时补充修改。

7.7.3 每个物理点采集记录后,均应在地震仪器显示屏上对单炮记录进行显示,以适时监视地震记录质量;对于质量变差的单炮记录,应及时分析原因。

7.7.4 每天野外工作结束后,室内组应及时将原始记录表(参见附录 C)进行整理,发现质量问题应及时通知野外组采取改进措施。

7.7.5 项目负责人或技术负责人应及时对原始资料的质量进行监督和检查(参见附录 B),发现问题及时处理。

7.7.6 在条件允许的条件下,应在每条测线施工结束后,对该测线剖面进行现场处理,以监控数据采集质量。发现问题及时采取补救措施。

7.7.7 地震反射波法、折射波法质量检查要求:

- a) 质量检查采用的震源、道间距、仪器工作参数应与实际生产相一致;
- b) 地震反射波法检查单炮记录的主要目的层反射波组特征、记录信噪比等;
- c) 地震折射波法单支观测系统检查目的层折射波接收段,相遇观测系统检查追逐曲线;
- d) 质量检查应在外业工作完成 2/3 以后进行;
- e) 检查排列应与被检查排列布置完全一致,炮检距延长 10 m~20 m 激发;
- f) 记录波形应一致,时距曲线或反射波同相轴应平行。

7.7.8 瞬态瑞雷波法勘查应进行检查观测。检查工作量不得少于总工作量的 5%,检查记录与原记录波形应相似,频散曲线应一致。

7.7.9 井中地震层析成像质量检查要求:

- a) 对异常突变点应重复观测,在异常区内的测点应进行检查观测,收发互换观测资料可作为检查工作量;
- b) 旅行时或地震波振幅的单个重复观测相对误差应小于 3.5%,检查观测的均方误差应小于 5%。

7.8 原始资料验收和质量评价

7.8.1 原始资料的整理

7.8.1.1 班报记录的整理应按工区测线及施工排列登录的顺序整理装订成册,并在每册的封面写明单位名称、工区、测线号及施工排列的起始号和终止号、工作时间等。

7.8.1.2 记录地震数据的储存介质应粘贴标签,编写序列号、测线号和日期、记录格式、记录长度、采样率等。确保与班报对应无误。

7.8.1.3 监视记录应按工区测线统一编录,装订成册。

7.8.2 原始资料验收

7.8.2.1 原始资料应包括仪器检查记录、地震监视记录、野外工作班报、测量记录及有关图件。

7.8.2.2 每天野外工作结束后,室内组应及时对资料进行初步验收,并做出记录评价(参见附录 C)。

7.8.2.3 每条测线施工结束后,应做好对原始资料的评价,并把监视记录分测线、按炮序装订成册。

7.8.2.4 项目工作结束后,主管单位应组织人员对原始资料进行检查和验收(参见附录 B)。

7.8.3 记录质量评价

7.8.3.1 记录质量评价分为“优良”“合格”和“不合格”3 个等级。

7.8.3.2 同时满足下列条件的为“优良”记录:

- a) 仪器检查记录合格;

- b) 观测系统正确,符合设计要求;
- c) 班报填写正确、齐全、整洁;
- d) 折射波记录各道清晰;
- e) 反射波记录中反射层次突出,信噪比高,有效波无溢出,反射深度达到目的层位,相邻道记录能量无明显差异;
- f) 在强干扰条件下,对反射地震记录的评价可参考叠加剖面,即在叠加剖面上反射层次突出,信噪比较高,目的层地震反射波组清晰可见;
- g) 直达波记录初至清晰,满足质量要求。

7.8.3.3 有下列缺陷之一者为“不合格”记录:

- a) 无仪器检查记录或仪器带有故障工作获得的记录;
- b) 观测系统不正确、仪器参数选择不正确、无法使用的记录;
- c) 同一张反射记录上,除因地面障碍物引起的正常空道外,人为因素导致相邻两道或任意单炮记录总道数的 1/8 道不正常;或因同一原因引起的不正常道连续出现两张以上记录时,由第三张记录起为“不合格”记录;
- d) 干扰背景强且无法使用的记录或叠加剖面;
- e) 记录文件号与班报不符,又无法使用的记录;
- f) 互换道或连接道工作不正常的折射波记录;
- g) 物性条件具备,但未能反映主要目的层的记录。

7.8.3.4 瞬态瑞雷波法有下列之一者为“不合格”记录:

- a) 采集记录的长度不能满足最大源检距基阶波采集的记录;
- b) 采集记录中基阶波不是强势波的记录;
- c) 采集记录中相邻两道为坏道的记录;
- d) 采集记录中坏道数大于使用道数 10% 的记录。

7.8.3.5 不够“优良”条件,又不属于“不合格”的记录为“合格”记录。

8 数据处理

8.1 地震反射波法

8.1.1 绘制观测系统图应符合下列要求:

- a) 观测系统图拟采用手工或计算机绘制,图上的桩号和炮号均由左至右增大;空炮、废炮也应统一编号;
- b) 观测系统图上应注明施工方法、测线长度,起始和结束炮应注明桩号、炮号、道号及测线交点;应标明剖面经过的地物标志。

8.1.2 应根据原始资料和任务要求,选择一条典型剖面数据,通过对比试验确定处理流程及主要处理参数。

8.1.3 对于折线、弯线数据处理应建立折线、弯线数据空间属性,采用折线、弯线地震数据处理技术进行处理。

8.1.4 弯线处理选取共反射面元的长边不应大于 1/2 道间距,且共反射面元对角线长度满足

$$D_{xy} \leq \frac{vT}{8\sin\varphi} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- φ ——最大地层倾角,单位为度($^{\circ}$);
- v ——目的层以上的介质速度,单位为米每秒(m/s);
- T ——反射波视周期,单位为秒(s)。

8.1.5 在资料处理过程中应进行质量控制,应重视下述处理过程:

- a) 原始炮记录编辑应检查记录道头,删除不正常炮记录,剔除不正常道、死道,将地震道中含有不正常数值的时段充零,校正反极性道,在地形复杂或表层变化较大的区段应进行静校正处理;
- b) 宜采用自动增益放大处理程序增强微弱反射信号;
- c) 叠前采用综合去噪技术,压制面波、声波、工业干扰、多次波和其他噪声,保证处理结果有较高的信噪比;
- d) 沿剖面要保证有足够的提取动校正速度分析段,并结合地震波速测试成果(见附录 D),掌握速度横向变化,提高其反射点叠加效果和时深转换的精度;
- e) 未进行偏移处理前应检查地震剖面的闭合性,测线相交点处相同同相轴不超过地震子波的 1/4 周期,否则需调整参数进行重新处理;
- f) 对于地层倾角较大或绕射波发育的资料,应选择合适的偏移处理方法,提高叠加剖面的偏移成像效果;
- g) 在进行剖面修饰处理时,应防止削弱地质异常引起的波场变化。

8.1.6 处理结束后,应提交原始记录编辑说明、主要处理模块效果对比图件、处理参数和处理时间剖面、偏移剖面、深度剖面以及处理报告等成果。

8.2 地震折射波法

8.2.1 波的对比应根据以下特征:

- a) 各记录道的波形、振幅及振动延续度的相似性特征;
- b) 相位一致性和同相轴延伸长度特征;
- c) 追逐炮记录同相轴的平行性特征;
- d) 波的对比可采用单相位对比或多相位对比,在构造复杂区宜采用多相位对比。

8.2.2 确定波的置换位置应根据以下特征:

- a) 视速度发生变化;
- b) 波形和振幅突然变化;
- c) 两组波相交波形叠加特征。

8.2.3 读取初至应注意以下几点:

- a) 可利用原始记录读取波的初至时间,也可在回放的监视屏上读取波的初至时间;
- b) 直接读取初至有困难时,可以读取初至波的极值时间,但应求取相位校正量,进行初至校正;
- c) 在波的干扰或置换位置,应分析波的叠加情况后正确读取。

8.2.4 互换道、连接道波的对比,应根据波的旅行时和波的动力学特征进行。

8.2.5 时距曲线图应按以下规定绘制,并符合 DZ/T 0076 的要求:

- a) 比例尺可采用:横向比例尺 1:500~1:2000;纵向比例 1 cm 等于 5 ms~20 ms;
- b) 沿横轴除标明距离外,在对应检波点位置应标上桩号,在对应激发点位置应标上炮序号;
- c) 不同方向的时距曲线用不同符号(或不同颜色)绘制;两相邻点用直线段连接。

8.2.6 绘制综合时距曲线图,应根据解释方法要求,进行必要的校正。包括:地形高程校正、激发点深度校正、测点和激发点偏离校正、表层低速带校正等;折射界面倾角大于 20° 、地形突起、激发点和检波点位于突起两侧时,应进行穿透波校正。校正后的综合时距曲线的互换时间差不得超过 5 ms。

8.2.7 时距曲线绘制后,可根据时间互换相等性、追逐时距曲线平行性、截距时间相等性原则进行检查。

可对照地震记录中有关初至读取情况,进行必要的修改。

8.2.8 时距曲线中个别道出现走时突变时,应对照相同地段的相遇或追逐时距曲线走时情况或根据班报中有关说明,查明突变原因,必要时进行修正。

8.3 瞬态瑞雷波法

8.3.1 资料整理应包括:绘制测线(点)平面布置图和编制测线(点)的高程表,瞬态瑞雷波数据资料的处理与解释。

8.3.2 绘制测线(点)平面布置图应根据实测点坐标,按要求的比例尺绘制。

8.3.3 瞬态瑞雷波数据资料处理应使用经过验证的方法和软件进行。其主要功能应包括:瞬态瑞雷波数据资料预处理、生成瞬态瑞雷波频散曲线、反演瑞雷波层速度及确定层厚,利用瞬态瑞雷波频散曲线生成速度等值线剖面,并在此基础上绘制地质剖面图等。

8.3.4 处理时应剔除明显畸变点、干扰点,并将全部数据按频率顺序排列。

8.3.5 建立地形高程文件,绘制瑞雷波速度等值线剖面图和地质解释剖面图。剖面图的比例尺应按勘查任务书的要求绘制。

8.3.6 瞬态瑞雷波数据资料预处理后,应正确绘制频散曲线,即波速—频率曲线。

8.3.7 瞬态瑞雷波频散曲线提取应符合下列要求:

- a) 软件应具有瞬态瑞雷波频散曲线的提取功能;
- b) 正确选用合理的时间—空间窗口,是频散曲线提取的关键;
- c) 瞬态瑞雷波频散曲线的提取宜在频率—波数(F—K)域中进行;
- d) 在F—K域进行的二维滤波应突出基阶瑞雷波的能量;
- e) 在F—K域中的等值线图上应确认频散曲线,并转换为速度—深度域(速度—波长域)的频散曲线;
- f) 频散曲线应遵循收敛的原则;在瑞雷波频散曲线上若频散点点距过大,不收敛,变化的起点处可解释为地质界线;不收敛的频散曲线段不能用于地层速度的计算;
- g) 频散曲线提取完毕后,应进行存储。

8.3.8 频散曲线的分层应根据曲线的曲率和频散点的疏密变化综合分析;分层完成后反演计算瑞雷波层速度和层厚。具体要求如下:

- a) 瑞雷波层速度和层厚的反演计算可采用两种方式:固定层厚反演层速度和固定层速度反演层厚;一般宜选择固定层厚的方式反演剪切波层速度;
- b) 反演过程宜遵循由浅及深逐层调试,使正、反演结果逼近,完成瑞雷波层速度和层厚的处理;
- c) 确认层参数后,存储处理结果。

8.4 井中地震层析成像

8.4.1 应根据测量资料建立坐标系,将每条射线的激发点与接收点转换为成像剖面的二维坐标,并与相应的旅行时资料形成数据文件。

8.4.2 应计算出每条射线的平均速度,并分别显示出各个同步和定点相应的参数曲线,初步判定异常位置和反演参数的变化范围。

8.4.3 应根据地球物理条件、观测系统、成像精度、分辨力和探测任务要求建立数学物理模型,确定单元和节点的形态和大小。单元网格尺寸应大于测点间距,单元总数宜小于射线条数。

8.4.4 射线追踪宜由直线向弯线过渡,可选择线性方程、打靶法、最小旅行时或平方慢度等方法。

8.4.5 反演算法可选择奇异值分解(SVD)、联合迭代(SIRT)、共扼梯度(AG)、阻尼最小二乘法(LSQR)和以上方法改进的其他方法。

8.4.6 反演迭代次数应根据射线路径和图像形态的稳定程度确定,也可根据相邻两次迭代的图像数据的方差确定。

8.4.7 可将钻孔或平硐原位测试的相关资料作为边界条件加入相应的反演计算中,克服边界效应所产生的伪差。

8.4.8 对于相互连接的地震层析成像剖面,应采用相同的反演方法、模型和参数。

8.4.9 弯线反演的最终射线分布图可作为成果之一,根据射线疏密程度确定高速区或低速区,并按地震层析成像图像参数的变化梯度确定异常范围、延伸方向。

9 资料解释

9.1 地震反射波法

9.1.1 反射波资料解释在叠加时间剖面或偏移时间剖面上进行。应依据剖面图反射波组特征,进行界面追踪和波组划分,采用钻孔资料或地质资料对比分析方法,确定地质层位和地震波组关系。选取与勘查目的层位对应的波组进行对比、追踪,获得目的反射层变化情况。

9.1.2 时间剖面的解释应包括以下主要内容:

- a) 确定主要地质层位与反射层位关系;
- b) 确定地层起伏、厚度变化及其接触关系;
- c) 划分断层或破碎带;
- d) 确定其他地质现象。

9.1.3 对剖面中波组分叉、合并、中断、尖灭等现象要精细分析,尽可能得出这些变化与地层变化的关系,从而获得地层厚度、岩性横向变化及构造情况。

9.1.4 对第四系松散地层中沉积构造及其他地质现象的确定和解释,应有地质资料或钻孔资料对比、佐证。

9.1.5 将时间剖面通过时深转换处理(速度资料见附录 D)获得深度剖面。剖面图上应标明测线号、桩号、测线方位、钻孔位置及主要地物标志。尽可能将钻孔分层的数据反映在剖面上。

9.1.6 对面积性地震勘查任务还应制作等深度图或等 T₀ 图,并标出断层构造线平面展布。制作平面图时,等值线距应大于 2.5 倍观测误差,深度闭合差应小于等值线距的 1/3。

9.1.7 地震反射资料解释应利用叠加时间剖面和偏移时间剖面相结合的方式进行。

9.2 地震折射波法

9.2.1 资料解释前应对速度资料进行整理分析,选择速度参数时注意事项如下:

- a) 由于近地表速度的不均匀性,引起地层平均速度(或有效速度)变化时,应先进行地表速度校正;
- b) 用折射波时距曲线交点法求取的有效速度参与解释时,应分析所测速度的精度;应尽量利用测区内反射波法测定的速度和地震测井的速度资料,与折射波法测定的速度进行综合分析;
- c) 同一测线当速度横向变化较大时,应计算沿测线速度变化曲线,参与深度解释。

9.2.2 应根据地震地质条件、时距曲线特征和精度要求,合理选择解释方法。

- a) 一般应由相遇时距曲线求取界面深度和速度;
- b) 只有在近似水平层状介质、地表与界面起伏较小、界面视倾角不大于 5°、速度横向无明显变化,或由于条件困难无法获得相遇时距曲线时,方可采用截距时间法或交点法;
- c) 地表较平坦、折射界面起伏较大、界面速度又有明显不均匀性时,宜采用哈莱斯法或时间场法;
- d) 对于多层不均匀地层或具有特殊结构的地层,宜采用多种计算解释方法或正反演方法综合求解,以提高求解的精度和解释的可靠程度。

9.2.3 折射波资料经计算解释后,应针对任务所提出的地质问题,并在分析测区内有关地质、钻探及其他物探资料的基础上,开展地质解释工作。

9.2.4 地质解释图中,应尽可能标示钻孔资料,将地震分层与地质构造相联系;对于与地质构造不一致之处,应予以说明。

9.2.5 用折射波资料推断岩性变化时,应有物性资料为依据。

9.2.6 有关破碎带、断裂位置以及断距的确定,应对推断的依据和结果的可靠性加以说明。推断解释破碎带及断层时,应着重对比波的同相性、相似性及振幅的规律变化,依据折射波初至杂乱特征,有无折绕射、绕折射现象及振幅衰减现象等进行解释。

9.2.7 地震剖面图和构造解释图应符合下列要求,并符合 DZ/T 0076 的要求:

- a) 地震剖面图应包括时距曲线图、解释辅助线图(如 t_0 差数时距曲线法的 $t_0(x)$ 线和 $\theta(x)$ 线、哈莱斯法的哈莱斯线、时间场法的时间场图)、深度剖面图等;各图件横坐标应一致,深度剖面纵坐标比例尺可适当加大;
- b) 构造解释图包括基岩面等高程图、覆盖层厚度图、目的层厚度图和界面速度分布图等;根据任务要求,可绘制其中部分图件作为成果的最终图件;等值线距应大于 2.5 倍观测误差,速度分区的速度差值应大于速度测量精度的 2.5 倍。

9.2.8 地震—地质解释图件应符合下列要求,并符合 DZ/T 0076 的要求:

- a) 地震—地质剖面图上应标明地震界线和地质界线的对应关系,并用不同线条表示;剖面线上若有钻孔时,应有相应的钻孔柱状图;
- b) 地震—地质平面图上应标注地质界线与解释的构造线;将测线及其序号、钻孔位置及其孔号和主要地形物标在图上。

9.3 瞬态瑞雷波法

9.3.1 瞬态瑞雷波频散数据反演的结果应视为检波器排列下的地层综合信息。对于近水平层状地层,反演结果视为检波器排列中点位置竖直方向地层的波速分布;对于倾斜地层,反演结果视为检波器排列中点位置至地层界面法向深度的波速分布。

9.3.2 瞬态瑞雷波速度等值线图的制作可分为以下几个步骤:

- a) 输入剖面线上超过 3 个测点的瞬态瑞雷波频散曲线文件;
- b) 输入测点的剖面坐标和高程;
- c) 设置合适的比例尺生成瑞雷波速度等值线图;
- d) 需进行地形校正时应进行校正,生成地形校正后的瑞雷波速度等值线图。

9.3.3 瑞雷波速度等值线图的地质分析应结合瞬态瑞雷波频散曲线的分层结果或地层地质柱状资料进行。分析同点位、同深度等值线的速度值与地层的关系,逐层确认划分,生成地层界线框图,选择地质图例,绘制地质剖面图。

9.3.4 地质剖面图的绘制,在有条件的情况下应利用既有的点位地质资料,进行综合分析。

9.3.5 换算岩土层各动力参数时(参见附录 D),应利用已知资料标定后进行。

9.4 井中地震层析成像

9.4.1 成果图件宜包括井中地震层析成像射线分布图、层析成像速度分布图、层析成像解释成果图。如有其他相关测试资料时,应绘制相应的成果图。

9.4.2 井中地震层析成像图像可以采用等值线、灰度、色谱等图示方法;图像可按等差分级;为了突出异常,也可采用变差分级。

9.4.3 同一剖面的多组井中地震层析成像剖面可拼接成一幅成果剖面图。

9.4.4 应根据井中地震层析成像速度分布图的展布规律,结合被测区域的地层岩性、地质结构等进行地质推断解释(参见附录 D),并绘制合适比例尺的井中地震层析成像解释成果图。

10 成果报告编写与汇交

10.1 基本要求

10.1.1 原始资料经验收合格后,应由项目负责人组织成果报告的编写。

10.1.2 应在全面掌握实际资料的基础上,通过综合分析、研究,形成有充分依据并且合理的结论。

10.1.3 文字报告层次清楚,内容简明扼要,以成果解释推断和工作结论、建议为重点。对于重大有争论的问题,应如实反映。

10.1.4 插图(表)、附图和附件内容力求完整、系统、规范,图表清楚醒目、繁简得当、美观整洁,便于使用。技术符号应符合 GB/T 14499 要求。

10.2 成果报告主要内容

10.2.1 前言:简述工作目的、任务;工区位置、范围;工作日期及完成工作量等。

10.2.2 工区地震地质条件:简述与地震勘查有关的地形、地貌、地质(包括钻孔资料)、地球物理的一般情况。重点分析地震地质条件及地震环境条件。

10.2.3 工作方法和技术:叙述野外工作方法;测线布置及观测系统的选择依据;仪器性能及因素选择;激发和接收方式;工作质量及保证质量的技术措施等。

10.2.4 资料处理和地质解释:叙述原始资料及其质量;数据处理流程及主要处理参数;处理成果质量评述;简述采用的解释方法和选用速度参数的依据;着重分析地震成果的地质解释,并对地震成果精度和地质解释的可靠程度予以评价。

10.2.5 结论和建议:阐明地震工作的主要技术结论和地质结论;指出存在的技术问题和不够肯定的地质问题,提出进一步开展地震工作或与之相配合的其他物探工作,以及地质验证工作的建议。

10.3 主要成果图件

主要包括如下图件:

- a) 实际材料图;
- b) 速度参数表及钻孔柱状图;
- c) 地震时间剖面图;
- d) 地震波速度剖面图;
- e) 地震地质综合解释剖面图;
- f) 综合成果平面图;
- g) 根据设计书要求需提供的其他成果图件。

10.4 资料汇交

10.4.1 成果报告完成评审后应整理相关资料,应汇交并归档纸质和电子资料。

10.4.2 原始资料:原始记录数据、原始观测记录、仪器检查记录、野外工作班报、测量记录、质量监控及评价(参见附录 B)等。

10.4.3 成果资料:生产性试验成果、成果的文字报告和成果图件。

10.4.4 相关资料:任务书、设计书、设计审批书、成果评审意见书等。

附 录 A
(规范性)
地震波速测试技术要求

A.1 地震波速度是浅层地震勘查中重要的物性参数,既可以通过地震反射波法的速度谱、速度扫描、波阻抗反演等间接方法计算求得,也可以通过岩石露头或岩块标本测定,直接的、较准确的方法是利用钻孔(井)波速测试获得。

A.2 钻孔(井)波速测试主要有地震测井、单孔法波速测试、跨孔法波速测试、孔内 PS 测井四种方法。

A.3 地震测井是在已钻好的井中直接测量地震波传播的平均速度和层速度的一种方法。地震测井应符合下列规定:

- a) 地震测井前由钻井班组负责洗井并密切配合,以保证测井工作顺利开展;
- b) 激发方式应根据测井深度、激发能量、现场施工条件等综合因素确定;
- c) 测井检波器应有良好的绝缘性能,地震波记录采用宽频带或全频带记录;
- d) 测井时宜先将检波器放到井底,从井底测起;主要地层应有 3 个~5 个测点,在地层分界面附近适当加密测点;
- e) 进行波速测井时,应防止电缆波和套管波的干扰;
- f) 当地层倾角较大时,炮点应布置在地层下倾方向。

A.4 单孔法波速测试应符合下列规定:

- a) 钻孔应垂直,三分量检波器电缆的深度标志误差应小于 1%;
- b) 三分量检波器应贴紧钻孔孔壁;当有护壁套管时,套管与周围土体应用细砂灌实;
- c) 激发板的两端截面宜贴聚胺酯塑料板,激发板的位置必须避开地下构筑物,板上堆压重物;
- d) 激发板的长轴中心垂线应通过孔口,孔口至激发点的距离宜为 1 m~3 m;
- e) 在主要地层内应有 3 个~5 个测点,测点的垂直间距宜取为 1 m~2 m,层位变化处应加密,并宜自下而上逐点测试;
- f) 如果地震波记录信号较弱,可进行多次叠加提高信噪比;正、反向激发时,初至剪切波相位应相反,初至时间应几乎相等。

A.5 跨孔法波速测试应符合下列规定:

- a) 跨孔波速测试有双孔、三孔和多孔测量方式,一般宜采用三孔测量;只能进行双孔测量时,触发计时精度应保证速度测量误差不大于 5%;
- b) 三孔测量时,三个孔的孔位应按直线排列。两接收孔距在土层中宜为 2 m~5 m,在岩层中宜取 8 m~15 m;在保证所测初至是同一层位的直达波相位的前提下,激发孔和接收孔之间的孔距可根据地层厚度和任务要求进行适当调整;
- c) 震源和检波器应置于相同高程处,测点垂直间距宜取 1 m~2 m,每个地层应有不少于两个测点的记录,近地表测点宜布置在 0.4 倍孔距的深度处;
- d) 为保证井中检波器安全和防止井壁坍塌,宜采用泥浆护壁或全井段放置套管;在软土层中,孔壁和套管应紧密耦合后方可施测;
- e) 测试深度大于 15 m 时,应进行激发孔和接收孔的倾斜度和倾斜方位的测量;其方位角误差不大于 $\pm 5^\circ$,倾角误差不大于 $\pm 0.5^\circ$ 。

A.6 孔内 PS 测井(同井激发、接收系统)是采用电磁式震源激发 P、S 波,与声速测井原理基本一致,只是震源与接收信号的频率不同。在水域或无法实施单孔法波速测试的钻孔可以采用该方法。孔内 PS 测

井应符合下列规定：

- a) 电磁式激振源和井中检波器应全封闭,并做好防水工作;
- b) 在主要地层内应有 3 个~5 个测点,测点的垂直间距宜取为 1 m~2 m,层位变化处应加密,并宜自下而上逐点测试;
- c) 每个测点结束,提升探头后要等待探头稳定(至少 5 s),再开始测量;
- d) 在场地干扰源较多且地震波记录信号较弱处,可进行多次叠加提高信噪比和增强有效信号。

A.7 钻孔波速测试的检查工作量不应少于总工作量的 10%,且不少于 3 个测点,检查观测的相对误差应小于 5%。

A.8 钻孔波速测试的资料整理与解释应符合下列规定。

- a) 记录应包括:测试日期、工程名称、钻孔编号、激发板中心至孔口距离、孔口至激发点的高差、孔中套管位置、仪器工作参数、文件号等(参见附录 C 中表 C.2、表 C.3)。
- b) 地震测井和单孔波速的计算与曲线图绘制方法如下:
 - 1) 按下式计算波的垂向传播时间:

$$t = \frac{H}{\sqrt{H^2 + d^2}} \times t' \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$\bar{v} = \frac{H}{t} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- t ——波传播时间,单位为秒(s);
- H ——测点深度,单位为米(m);
- d ——激发点中心至接收孔水平距离,单位为米(m);
- t' ——压缩波或剪切波自震源至测点的传播时间,单位为秒(s);
- \bar{v} ——井口到检波器的平均速度,单位为米每秒(m/s)。

- 2) 以平均速度 \bar{v} 为纵坐标,以时间 t 为横坐标,绘制平均速度曲线。
- 3) 以深度 H 为纵坐标,以时间 t 为横坐标,绘制垂直时距曲线图。
- 4) 依据时距曲线不同斜率折线段,结合地层实际情况计算地层的层速度:

$$v = \frac{H_n - H_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} = \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- v ——地层压缩波或剪切波层速度,单位为米每秒(m/s);
- ΔH ——地层厚度,单位为米(m);
- Δt ——对应 ΔH 的压缩波或剪切波传播时间,单位为秒(s);

c) 跨孔法可根据下列公式计算层速度:

$$v_p = \frac{L}{t_{p2} - t_{p1}} = \frac{L}{\Delta t_p} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$v_s = \frac{L}{t_{s2} - t_{s1}} = \frac{L}{\Delta t_s} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

- v_p ——压缩波速,单位为米每秒(m/s);
- v_s ——剪切波速,单位为米每秒(m/s);
- L ——测试孔间距,单位为米(m);

Δt_p —— 压缩波在两接收点间时间差,单位为秒(s);

Δt_s —— 剪切波在两接收点间时间差,单位为秒(s)。

d) 根据各地层的纵、横波速度,计算平均纵、横波速度 \bar{v} 。

$$\bar{v} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{h_1/v_1 + h_2/v_2 + \dots + h_n/v_n} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n h_i/v_i} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \dots\dots\dots (A. 6)$$

式中:

h_i —— 各地层厚度,单位为米(m);

v_i —— 与 h_i 对应的弹性波波速,单位为米每秒(m/s);

t_i —— 弹性波垂直穿透各地层的旅行时间,单位为秒(s);

n —— 计算深度范围内土层的分层数。

e) 孔内 PS 测井可根据下列公式计算层速度:

$$v = \frac{L}{\Delta t} \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中:

v —— 层速度,单位为米每秒(m/s);

L —— 两个接收检波器之间的距离,单位为米(m);

Δt —— 两个接收检波器之间的时差,单位为秒(s)。

附录 B
(资料性)
质量监控记录表

仪器设备检查记录、设计书/施工计划审查与修订记录、现场数据采集过程控制记录、原始资料验收文据、产品交付信息分别见表 B.1 至表 B.5。

表 B.1 仪器设备检查记录

设备名称		设备型号		设备编号		检查日期	
序号	检查内容	检查方式	检查人员	检查结果		有效期	备注
1							
2							
3							
4							
5							
6							
检定部门： 记录人： 部门负责人：							
注：“检查结果”一栏除填写“合格”或“不合格”外，还应填写实测数据，必要时可另附表。							

表 B.2 设计书/施工计划审查与修订记录

项目编号：

项目名称		项目类别	
委托单位			
实施单位		项目负责人	
<p>1. 设计书/施工计划审查意见(另有审查意见,可作附件附后)</p> <p>2. 设计书/施工计划修订情况(此项适用于设计书/施工计划有修订的情况,可另加附页)</p>			

表 B.3 现场数据采集过程控制记录

项目编号：

项目名称			
委托单位			
承担单位		项目负责人	
记录介质		操作员	
		自检人：	年 月 日
		项目负责人：	年 月 日

表 B.4 原始资料验收单据

项目编号：

项目名称		项目类别	
委托单位			
承担单位		项目负责人	
原始资料清单：			
原始资料提交人：		项目负责人： 年 月 日	
原始资料验收意见：(此项可另加附页)			
验收责任人：		年 月 日	

表 B.5 产品交付信息

项目编号：

项目名称																			
委托单位																			
承担单位		项目负责人																	
交付产品清单	提交人签名： 年 月 日																		
审核意见	签 名： 年 月 日																		
顾客信息反馈	<p>请您在下列□中打✓</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">1. 您对该合同签订</td> <td style="width: 15%;"><input type="checkbox"/> 满意</td> <td style="width: 15%;"><input type="checkbox"/> 一般</td> <td style="width: 15%;"><input type="checkbox"/> 不满意</td> </tr> <tr> <td>2. 您对该项目设计</td> <td><input type="checkbox"/> 满意</td> <td><input type="checkbox"/> 一般</td> <td><input type="checkbox"/> 不满意</td> </tr> <tr> <td>3. 您对该项目实施质量</td> <td><input type="checkbox"/> 满意</td> <td><input type="checkbox"/> 一般</td> <td><input type="checkbox"/> 不满意</td> </tr> <tr> <td>4. 您对该成果报告</td> <td><input type="checkbox"/> 满意</td> <td><input type="checkbox"/> 一般</td> <td><input type="checkbox"/> 不满意</td> </tr> </table> <p>5. 其他服务要求与意见：</p> <p style="text-align: right;">报告签收人： 年 月 日</p>			1. 您对该合同签订	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 不满意	2. 您对该项目设计	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 不满意	3. 您对该项目实施质量	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 不满意	4. 您对该成果报告	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 不满意
1. 您对该合同签订	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 不满意																
2. 您对该项目设计	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 不满意																
3. 您对该项目实施质量	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 不满意																
4. 您对该成果报告	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 不满意																

附 录 C
(资料性)
各种野外记录表

炸药包震源使用记录、钻孔波速测试野外记录、地震测井野外工作班报、浅层地震野外工作班报分别见表 C.1 至表 C.4。

表 C.1 炸药包震源使用记录

工区名称：			日期： 年 月 日			
领取炸药： (kg)			剩余炸药： (kg)		炸药装箱号：	
领取雷管： (个)			剩余雷管： (个)			
炮 序	激发点 桩号	药柱编号	雷管编号	炸药量 kg	雷管 个	备注

爆破员：

领料员：

操作员：

表 C.2 钻孔波速测试野外记录

班报编号： 日期： 年 月 日 开始工作时间：
 仪器型号： 天气： 结束工作时间：

工区名称：				设计孔深： (m)			井口坐标			X：	Y：				
孔号：				套管类型及深度： (m)			激发方式			P 波：		S 波：			
测试方法： (□单孔、□跨孔、□孔内)				激发点距井口距离： (m)			观测方式								
测点号	测点深度 m	文件夹名称	文件名	P 波记录			S ₊ 波记录			S ₋ 波记录			记录品质	记录评价	处理意见
				道号	增益	初至时间 ms	道号	增益	初至时间 ms	道号	增益	初至时间 ms			

操作员： 记录员： 记录评价： 检查者：

表 C.3 地震测井野外工作班报

班报编号： 日期： 年 月 日 开始工作时间：
 仪器型号： 天气： 结束工作时间：

设计孔深：		(m)	井口坐标		X：	Y：										
套管类型及深度：		(m)	激发方式		P波：		S波：									
激发点距井口距离：		(m)	观测方式													
测点号	测点深度 m	文件号	P波记录			S ₊ 波记录			S ₋ 波记录			记录品质	记录评价	处理意见	备注	
			道号	增益	初至时间 ms	道号	增益	初至时间 ms	道号	增益	初至时间 ms					

操作员： 记录员： 记录评价： 检查者：

表 C.4 浅层地震野外工作班报

工区名称： 仪器型号： 日期： 年 月 日 开始工作时间：
 测线号： 观测系统： 天气： 结束工作时间：
 道间距 (m) 偏移距 (m) 采样间隔 (ms) 记录长度 (ms)
 记录格式 滤波档 延迟时 (ms) 覆盖次数
 浅层地震勘查方法：反射波法 折射波法 瞬态瑞雷波法 井中地震层析成像

炮序	文件号	激发点桩号	激发方式及井深 m	锤击次数或药量 kg	检波点起迄桩号	记录评价	处理意见	备注

操作员： 记录员： 记录评价： 检查者：

附录 D
(资料性)
波速测试成果的应用

D.1 波速测试成果可用于地震勘察资料的地质解释,确定建筑场地覆盖层厚度,划分岩土类型、建筑场地类别,计算地基动力特性参数,划分岩体完整程度和岩石风化程度等。

D.2 地震勘察资料的地质解释主要是利用地震波的运动学特征,通过地震波速测试成果(层速度、平均速度),把地震时间剖面转换为深度剖面,绘制地质构造图。

D.3 剪切波速确定建筑场地的覆盖层厚度要求如下:

- a) 一般情况下,应按地面至剪切波速大于 500 m/s,且其下伏各岩土的剪切波速均不小于 500 m/s 的岩土层顶面的距离确定;
- b) 当地面 5 m 以下存在剪切波速大于相邻上层土剪切波速 2.5 倍的土层;且该层和其下伏岩土的剪切波速均不小于 400 m/s 时,可按地面至该土层顶面的距离确定;
- c) 剪切波速大于 500 m/s 的孤石、透镜体,应视同周围土层;
- d) 土层中的火山岩硬夹层,应视为刚体,其厚度应从覆盖土层中扣除。

D.4 根据土层剪切波速值按表 D.1 划分岩土类型。

表 D.1 岩土的类型划分和剪切波速范围关系

岩土类型	岩土名称和性状	岩土层剪切波速范围 m/s
岩石	坚硬、较坚硬且完整的岩石	$v_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石,密实的碎石土	$800 \geq v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土,密实、中密的砾、粗、中砂, $f_{ak} > 150$ 的黏性土和粉土,坚硬黄土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂,除松散外的细、粉砂, $f_{ak} \leq 150$ 的黏性土和粉土, $f_{ak} > 130$ 的填土,可塑新黄土	$250 \geq v_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土,松散的砂,新近沉积的黏性土和 粉土, $f_{ak} \leq 130$ 的填土,流塑黄土	$v_s \leq 150$

注: f_{ak} ——由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值单位为千帕[斯卡](kPa)。

D.5 由岩土类型和场地覆盖层厚度可按表 D.2 划分建筑场地类别。

a) 土层的等效剪切波速 v_{se} ,应按下列公式计算:

$$v_{se} = \frac{d_0}{t} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}} \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

v_{se} ——土层等效剪切波速,单位为米每秒(m/s);

- d_0 ——计算深度,单位为米(m),取覆盖层厚度和 20 m 两者的较小值;
- t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间,单位为秒(s);
- d_i ——计算深度范围内第 i 土层的厚度,单位为米(m);
- v_{si} ——计算深度范围第 i 土层的剪切波速,单位为米每秒(m/s);
- n ——计算深度范围内土层的分层数。

表 D.2 建筑场地类别划分

岩石的剪切波速或土的等效剪切波速 m/s	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
$v_s > 800$	0				
$800 \geq v_s > 500$		0			
$500 \geq v_{se} > 250$		<5	≥ 5		
$250 \geq v_{se} > 150$		<3	3~50	>50	
$v_{se} \leq 150$		<3	3~15	15~80	>80

注： v_s ——岩石的剪切波速；
 v_{se} ——土层的等效剪切波速。

b) 当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度并且其值处于表 D.2 所列场地类别的分界线附近时,应允许按插值方法确定地震作用计算所用的特征周期。

D.6 根据实测波速值可计算地基动剪切模量 G_d 、动弹性模量 E_d 、动泊松比 μ_d 等动力参数:

$$G_d = \rho \times v_s^2 \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

$$E_d = \frac{\rho v_s^2 (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2} \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

$$\mu_d = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

式中:

- G_d ——动剪切模量,单位为千帕[斯卡](kPa);
- ρ ——介质质量密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- v_s ——剪切波速,单位为米每秒(m/s);
- E_d ——动弹性模量,单位为千帕[斯卡](kPa);
- v_p ——压缩波速,单位为米每秒(m/s);
- μ_d ——动泊松比,量纲为一。

D.7 根据波速比 K_v 参数可按表 D.3 划分岩石风化程度。

表 D.3 岩石风化程度划分

风化程度	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比 K_v	风化系数 K_f
未风化	岩质新鲜,偶见风化痕迹	$0.9 < K_v \leq 1.0$	$0.9 < K_f \leq 1.0$
微风化	结构基本未变,仅节理面有渲染或略有变色,有少量风化裂隙	$0.8 < K_v \leq 0.9$	$0.8 < K_f \leq 0.9$
中风化	结构部分破坏,沿节理面有次生矿物,风化裂隙发育,岩体被切割成岩块。用镐难挖,岩芯钻方可钻进	$0.6 < K_v \leq 0.8$	$0.4 < K_f \leq 0.8$

表 D.3 岩石风化程度划分(续)

风化程度	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比 K_b	风化系数 K_f
强风化	结构大部分破坏,矿物成分已显著变化,岩体破碎,用镐可挖,干钻不易钻进	$0.4 < K_b \leq 0.6$	$0.2 < K_f \leq 0.4$
全风化	结构基本破坏,但尚可辨认,有残余结构强度,可用镐挖,干钻可钻进	$0.2 < K_b \leq 0.4$	$K_f \leq 0.2$

注 1:波速比 K_b 为风化岩石弹性纵波速度与新鲜岩石弹性纵波速度之比。
注 2:风化系数 K_f 为风化岩石与新鲜岩石的单轴饱和和抗压强度之比。

D.8 根据岩体完整性系数 K_v 可按表 D.4 划分岩体完整程度。

表 D.4 K_v 与岩体完整程度的对应关系表

岩体完整性系数 K_v	$K_v > 0.75$	$0.55 < K_v \leq 0.75$	$0.35 < K_v \leq 0.55$	$0.15 < K_v \leq 0.35$	$K_v \leq 0.15$
岩体完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎

岩体完整性系数测试,应针对不同的工作地质岩组或岩性段,选择代表性点、段,测定岩体的弹性纵波速度,并在同一岩体内取样测定岩石弹性纵波速度,按下列公式计算岩体完整性系数 K_v :

$$K_v = \left(\frac{v_{pm}}{v_{pr}} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (D.6)$$

式中:

v_{pm} ——岩体弹性纵波速度,单位为米每秒(m/s);

v_{pr} ——岩块石弹性纵波速度,单位为米每秒(m/s)。

D.9 可按下列式估算场地地基土的卓越周期:

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{v_{si}} \quad \dots\dots\dots (D.7)$$

式中:

T ——场地地基土的卓越周期,单位为秒(s);

H_i ——第 i 土层的厚度,单位为米(m);

v_{si} ——第 i 土层的剪切波速,单位为米每秒(m/s);

n ——基准岩面以上土层数。

参 考 文 献

- [1] GB 8031—2015 工业电雷管
- [2] GB 15563—2005 震源药柱
- [3] GB 50011—2010 建筑抗震设计规范
- [4] GB/T 50269—2015 地基动力特性测试规范
- [5] CJJ 7—2007 城市工程地球物理探测规范
- [6] CH/T 2009—2010 全球定位系统实时动态测量(RTK)技术规范
- [7] DZ/T 0180—1997 石油、天然气地震勘查技术规范
- [8] JTG C20—2011 公路工程地质勘察规范
- [9] JGJ/T 143—2017 多道瞬态面波勘察技术规程
- [10] JTG/T 3222—2020 公路工程物探规程
- [11] MT/T 897—2000 煤炭煤层气地震勘探规范
- [12] SL 326—2005 水电水利工程物探规程
- [13] SY/T 5314—2011 陆上石油地震勘探资料采集技术规范
- [14] SY/T 5332—2011 陆上地震勘探数据处理技术规范
- [15] SY/T 5481—2009 地震勘探资料解释技术规程
- [16] SY/T 10015—2017 陆上多波多分量地震资料解释技术规范
- [17] SY/T 10027—2012 海上高分辨力地震资料采集技术规程
- [18] TB 10013—2010 铁路工程物理勘探规范
- [19] 杜兴忠,曹俊兴.强噪声环境条件下的浅层地震勘探方法研究[J].地球物理学进展,2008,23(5):1616—1620
- [20] 丁华.可控震源技术在地震地质条件复杂区的应用[J].河北煤炭,2007(3):21—29
- [21] 方斌,徐波,周立军等.纵横波联合勘探方法初探[J].工程地球物理学报,2007,4(5):411—416
- [22] 斐彦良,刘保华.海洋高分辨力多道数字地震拖缆技术研究与应用[J].地球物理学进展,2013,28(6):3280—3286
- [23] 高景华,徐明才,等.探测城市断裂活动性的浅层地震方法技术[J].物探与化探,2007,31(增刊):4—8
- [24] 高景华,徐明才.地震反射方法探测城市活断层中的几个问题[J].地质与勘探,2004,40(增刊):91
- [25] 郭彦刚.井间地震层析成像技术及应用研究(硕士学位论文).成都,成都理工大学,2012
- [26] 刘宏岳,戴一鸣.气动机械声波水域高分辨力浅层地震勘探连续冲击震源研制及应用[J].工程勘察,2009(10):87—89
- [27] 孔庆河,李铭铭等.横波震源的设计及激发效果[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2012,31(1):50—53
- [28] 梁光河,蔡新平等.浅层地震勘探方法在金矿深部预测中的应用[J].地质与勘探,2001,37(6):29—33
- [29] 李红立,潘冬明,徐红利.井地地震 CT 技术及其应用[J].煤田地质与勘探,2008,36(3):71—74
- [30] 李辉峰,徐峰.地震勘探新技术[M].北京:石油工业出版社,2009
- [31] 陆基孟,王永刚.地震勘探原理(第3版)[M].北京:中国石油大学出版社,2014
- [32] 刘建生,马荫生,钱耀中.物探技术在大桥建设工程中的应用[J].上海地质,2006(2):1—4
- [33] 刘康和,段伟.地震波 CT 及其应用[J].水利水电工程设计,2010,29(2):44—46

- [34] 兰晓雯,张国宏.一种新型的城市浅层地震勘探震源[J].工程地球物理学报,2005,2(4):316—321
- [35] 潘纪顺,张先康,刘保金.城市活断层的抗干扰高分辨力浅层地震勘探研究[J].中国地震,2003,19(2):148—157
- [36] 邱庆程,李伟和.跨孔地震 CT 层析成像在岩溶勘察中的应用[J].物探与化探,2001,25(3):236—240
- [37] 祁生文,孙进忠,何华.瑞雷波勘探的研究现状及展望[J].地球物理学进展,2002,17(4):630—635
- [38] 单娜琳,程志平,刘云祯.工程地震勘探[M].北京:冶金工业出版社,2006
- [39] 王峰,阮斌.浅层地震勘探震源性状探讨[J].上海地质,2005(2):46—52
- [40] 王广科.适合于城市活断层探测中的激发震源[J].物探化探计算技术,2007,29(增刊):121—124
- [41] 王建军,曹建伟.应用井间地震 CT 探测某桥墩基础处断裂[J].资源环境与工程,2008,22(特刊):89—91
- [42] 王揆洋,黄逸凡,连艳红,等.海洋浅地层高分辨力多道地震探测技术及应用[M].北京:海洋出版社,2011
- [43] 王小江,张保卫,柴铭涛,等.纵横波联合勘探在浅层地震中的应用[J].物探与化探,2010,34(6):824—827
- [44] 王振东.面波勘探技术要点与最新进展[J].物探与化探,2006,30(1):1—10
- [45] 熊昌盛,顾汉明等.提高浅层地震折射波法在隧道勘察效果的举措[J].工程地球物理学报,2004,1(5):452—456
- [46] 徐明才,高景华,等.城市地震勘探[M].北京:地质出版社,2011
- [47] 徐明才,高景华,等.金属矿地震勘探[M].北京:地质出版社,2009
- [48] 夏学礼,仇恒永.多道瞬态面波勘探频散曲线唯一性问题[J].物探与化探,2008,32(2):168—170
- [49] 邢磊.海洋小多道地震高精度探测关键技术研究(博士学位论文).青岛,中国海洋大学,2012
- [50] 熊章强,周竹生,张大洲.地震勘探[M].长沙:中南大学出版社,2010
- [51] 袁明德.工程地震勘探技术的进展[J].地球物理学进展,2004,19(4):847—852
- [52] 姚姚.地震波场与地震勘探[M].北京:地质出版社,2006
- [53] 杨薇,刘四新,冯彦谦.跨孔层析成像 LSQR 算法研究[J].物探与化探,2008,32(2):199—202
- [54] 赵锴.欧洲应用地球物理现状—浅层(特)高分辨(VHRS)地震勘探[J].中国煤田地质,2005,17(1):44—46
- [55] 朱文仲,赵志忠.弹性波 CT 技术几个重要问题的研究[J].工程地球物理学报,2008,5(2):173—180
- [56] 张玉芬.反射波地震勘探原理和资料解释[M].北京:地质出版社,2007

特 别 声 明

一、地质出版社有限公司是自然资源类行业标准的合法出版单位、发行单位。我们发现,有不法书商以地质出版社有限公司的名义征订、发行我社出版的自然资源行业标准。在此声明,我社未委托任何单位或个人征订、发行我社出版的行业标准。读者订购时请注意甄别:凡征订者要求汇款的账户不是“地质出版社有限公司”者,所发行的标准涉嫌盗版。

二、正版自然资源行业标准的封面贴有数码防伪标志,读者可通过两种方式鉴别真伪:(1)手机拨打 4006361315,按照语音提示操作(验证码在防伪标的涂层下),将有语音回告是否为正版;(2)登录 <http://www.china3-15.com> 中国商品信息验证中心输入验证码,验证该标准是否为正版。防伪标涂层下的验证码一书一码,并且仅限查询一次,第二次查询将提示“该数码已被查询过,谨防假冒”。

三、标准订购与咨询请联系:010—66554646,66554578。

地质出版社有限公司特此声明。

中 华 人 民 共 和 国
地 质 矿 产 行 业 标 准
浅 层 地 震 勘 查 技 术 规 范

DZ/T 0170—2020

*

责任编辑：王春庆 责任校对：关风云

地质出版社出版发行

北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码：100083

网址：<http://www.gph.com.cn>

电话：(010) 66554646（邮购部）

(010) 66554578（编辑室）

*

开本：880 mm×1230 mm 1/16

印张：3 字数：93 千字

2021 年 4 月北京第 1 版 2021 年 4 月北京第 1 次印刷

*

书号：12116·387 定价：45.00 元

*

如本书有印装问题 本社负责调换

版权专有 侵权必究