

## 团 体 标 准

T/CSPSTC 75—2021

---

### 微动探测技术规程

Technical code of practice for microtremor survey

2021-12-16 发布

2021-12-31 实施

---

中国科技产业化促进会 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、缩略语..... 1

    3.1 术语和定义 ..... 1

    3.2 缩略语 ..... 2

4 基本规定 ..... 2

5 探测方案 ..... 3

    5.1 基本要求 ..... 3

    5.2 资料搜集与现场踏勘 ..... 3

    5.3 方法有效性试验 ..... 4

    5.4 探测方案大纲 ..... 4

6 仪器设备 ..... 4

7 数据采集 ..... 5

    7.1 基本要求 ..... 5

    7.2 试验工作 ..... 5

    7.3 测点、测线和台阵布设 ..... 5

    7.4 测量定位 ..... 6

    7.5 一致性检查与信号采集 ..... 6

    7.6 重复观测 ..... 8

    7.7 原始资料质量检查 ..... 8

8 资料处理与解释 ..... 8

    8.1 资料整理 ..... 8

    8.2 数据预处理 ..... 8

    8.3 数据处理 ..... 8

    8.4 资料解释 ..... 10

9 成果报告..... 11

    9.1 基本要求 ..... 11

    9.2 文字报告 ..... 11

    9.3 成果图件 ..... 12

10 成果验收 ..... 12

附录 A（资料性） 台阵型式图 ..... 14

附录 B（资料性） 微动探测班报表 ..... 15

附录 C（资料性） 面波频散曲线分层与反演横波速度图 ..... 16

参考文献 ..... 17

## 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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京市水电物探研究所提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：北京市水电物探研究所、北京市道路及市政管线地下病害工程技术研究中心、北京市生态地质研究所、北京市水利规划设计研究院、安徽省地球物理地球化学勘查技术院、浙江数智交院科技股份有限公司、黄河勘测规划设计研究院有限公司、深圳大学、深圳地质建设工程公司、深圳市新通物探工程有限公司、中地华北(北京)工程技术研究院有限公司、杭州市交通规划设计研究院有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、深圳市水务规划设计院股份有限公司、深圳市工勘岩土集团有限公司、贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司、湖南省交通规划勘察设计院有限公司、广东省有色金属地质局九三五队、广州市城市规划勘测设计研究院、常州市建筑科学研究院集团股份有限公司、河北华勘资环勘测有限公司、湖北中冶建设工程检测有限公司、深圳面元智能科技有限公司、威海双丰物探设备股份有限公司、深圳市深水水务咨询有限公司、深圳市厚德检测技术有限公司、江苏省地质勘查技术院、广东中煤江南工程勘测设计有限公司、中国冶金地质总局地球物理勘查院、浙江宏宇工程勘察设计有限公司、广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、山东省煤田地质规划勘察研究院、厦门腾鼎七星环保技术有限公司、上海勘察设计研究院(集团)有限公司、上海申丰地质新技术应用研究所有限公司、桂林矿产地质研究院工程有限公司、浙江有色地球物理技术应用研究院有限公司、河南省航空物探遥感中心、福建省交通规划设计院有限公司、湖北省地质局第一地质大队、航天建筑设计研究院有限公司、福建省建筑设计研究院有限公司、中铁第六勘察设计院集团有限公司、标准联合咨询中心股份公司。

本文件主要起草人：刘云祯、陈昌彦、雷晓东、盛勇、林万顺、王超凡、李清波、陈侃福、耿光旭、陈湘生、楼凯峰、赵竹占、张琦伟、冷冬灵、赖刘保、张明财、陈凯、吴奇、赵家福、李法滨、王水强、李耀华、张鹏、唐灵、张汉春、张宇捷、贾会会、杨麟峰、林月梅、任强、余海忠、罗传根、赵新杰、穆建强、徐飞印、周孝宇、王怀洪、张永命、胡绕、陈德海、张玉池、张建华、郑莉、张卓、郭密文、林文太、徐富文、刘宏岳、刘黎东、廖圣柱、余凯、李华平、顾侃、吴遥、李新元、马德青、韦乙杰、王清泉、曹亚强、张小朋、黄晓航、赵修军、邹磊、常建树、安好收、谭鹏、高明程、洪成雨、周明磊、徐远思、马董伟、彭马俊、路琦、张东旭、张心彬、谢兰香、贾慧涛、王雪涛、刘杨、傅庆凯、杨文明、徐成光、李巧灵、郝宇花、王振邦、卢成绪。

## 引 言

近年来,微动数据采集和数据处理技术日趋完善。该技术利用大地微动信号中的面波成分,提取面波频散曲线,分析地下物性差异及地质属性关系。该技术不需要人工震源开展现场地震波探测,有效解决了以往地震波勘探中因使用炸药震源所带来的环境污染、安全隐患和运输管理等一系列问题,在工程勘察、地质调查、资源勘探、防灾减灾、城市物探等领域得到了广泛的应用。

目前,该技术在数据采集、参数设置、数据处理、解释技术等方面尚无统一的标准,影响其探测工作质量和推广应用,因此制定本文件。

本文件可规范微动探测技术的应用,指导探测方案的制定、仪器设备的选择与使用、数据采集、资料处理与解释、撰写成果报告及成果验收,提升探测工作质量,促进微动探测技术的推广与应用。

# 微动探测技术规程

## 1 范围

本文件给出了微动探测的基本规定,确立了探测方案、仪器设备、数据采集、资料处理与解释、成果报告、成果验收的体系。

本文件适用于工程建设过程中的规划、勘察、设计、施工管理与运营,以及防灾减灾、环境保护和地质调查、资源勘探等领域的微动探测。

## 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 50026 工程测量标准

## 3 术语和定义、缩略语

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**微动 microtremor**

一种由自然界和人类活动产生的,一般振幅只有几微米到几十微米,在地面可以观测到的微弱振动。

#### 3.1.2

**微动探测 microtremor survey**

借助专门的仪器设备采集微动信号,并通过数字处理技术提取其垂直分量中面波信号的频散特征曲线,经计算获得地下横波速度的变化规律、推断地下结构的一种地球物理探测方法。

注:广义微动探测包括  $H/V$  谱比法等。

#### 3.1.3

**面波频散 frequency dispersion of surface wave**

在层状不均匀介质中,面波各频率组分具有不同传播速度的现象。

#### 3.1.4

**频散曲线 dispersion curve**

频散波的波长与波速间关系的曲线。

#### 3.1.5

**拟速度 pseudo-velocity**

将面波速度按照周期  $t$  进行提高,经过峰度计算得到的速度值。

注:具有突出地层分层的特征。

3.1.6

**采集单元 acquisition unit**

用于接收微动数据的检波器或一体化地震仪。

3.1.7

**台阵 observation array**

按照一定排列组合布置的采集单元方式。

注：有一维台阵和二维台阵。

3.1.8

**一维台阵 1-D array**

采集单元沿直线方向布置的台阵。

3.1.9

**二维台阵 2-D array**

采集单元沿不同方向布置的台阵。

注：包括嵌套三角形型、单圆型、同心多重圆型、十字型、密集型、L型、菱形等。

3.1.10

**台阵道集 array gather**

按照台阵采集单元排列序号组成的微动信号采集记录。

3.1.11

**嵌套三角形型台阵 nested triangle array**

若干共中心点的等边三角形，每外层边长是内层边长的2倍，每外层边长的中心是内层三角形的顶点，由同心点与所有三角形顶点构成的台阵。

3.1.12

**测点 survey point**

一个完整台阵的微动勘探点。

注：代表台阵的记录点。

3.1.13

**采集点 data recording point**

台阵中采集单元的位置。

3.1.14

**H/V 谱比法 H/V spectral ration method**

计算微动信号的水平分量与垂直分量频谱的比值曲线，利用曲线峰值推断地层结构的方法。

3.1.15

**一体化地震仪 integrated seismograph**

集定位、采集、记录于一体的单分量或三分量数字地震仪。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

SPAC:空间自相关(Spatial Autocorrelation)

ESPAC:扩展空间自相关(Extended Spatial Autocorrelation)

4 基本规定

4.1 微动探测应具备以下条件：

- a) 探测目标体具有可探测的规模,且与周围介质间存在一定的波速差异;
- b) 微动信号应能被仪器探测采集;
- c) 工作现场应能布置探测装置;
- d) 场地干扰不影响目标体微动信号的采集。

#### 4.2 微动探测内容主要包括:

- a) 覆盖层勘察、地质分层及基岩起伏形态探测;
- b) 地质构造带及裂隙密集带探测;
- c) 软弱地层、冻土层和砂砾石层探测;
- d) 滑坡、地面塌陷探测;
- e) 地下洞穴、岩溶、采空区、障碍物及隐蔽工程探测;
- f) 古代遗存及地下埋设物探测;
- g) 地下水、地热及场地热源体探测;
- h) 浅层油气及矿产的探查;
- i) 地基基础加固效果探测;
- j) 海底地质调查。

#### 4.3 微动探测项目应在资料搜集和分析基础上,结合现场踏勘及方法有效性试验编制工作方案。

#### 4.4 仪器设备应符合以下要求:

- a) 具有与工作需要相匹配的技术参数;
- b) 具有现场评价采集数据质量的功能;
- c) 性能稳定,具备防潮、防震等性能。

#### 4.5 测线、测点的布置应根据探测目的、地形地质条件和测试条件综合确定。

#### 4.6 台阵型式及规模应满足探测深度和精度要求,采集单元数量不应少于 4 个。

注 1: 台阵型式见附录 A。台阵规模依据一个台阵内使用采集单元数量和采集点之间的最大距离确定,习惯上使用的采集单元数量多和采集点之间的距离大描述为规模大。探测深度和精度与台阵规模成正比。

注 2: 对于某一探测点而言,微动信号的来源方向是不确定的,二维台阵可采集各个方向的微动信号记录,计算结果的准确性高。采用一维台阵采集数据,利用一维台阵方向上的微动源信号计算的结果准确性高,利用非一维台阵方向上的微动源信号计算的结果有偏差。

#### 4.7 资料解释宜根据已有资料进行定性与定量解释,结论应明确。

#### 4.8 微动探测成果资料应包括文字报告、图件、表格等内容。

### 5 探测方案

#### 5.1 基本要求

探测方案应包括目的任务、工作地点、工作范围、技术要求、工作期限、计划工作量、工作依据、探测方法和技术、仪器设备、处理解释、施工组织和安全风险识别等内容。

#### 5.2 资料搜集与现场踏勘

##### 5.2.1 资料搜集主要包括:

- a) 测区地形地貌、植被、水系及交通条件等;
- b) 地上与地下工程设施类型及其分布等;
- c) 测区震源干扰波、交通运输及其他振动等外界干扰源类型及其分布情况;
- d) 测区地质资料、地层的地震波速、密度、泊松比等岩石物理力学参数;
- e) 结合探测目的,收集已开展的相关调查工作成果;

- f) 测区工程施工与运营情况；
- g) 测区地形测绘和测量控制点等。

#### 5.2.2 现场踏勘主要包括：

- a) 了解测区人文、气象、交通、地形、地貌、地质条件及地下工程设施分布等；
- b) 调查现场振动源的类型、分布与时空变化等特征，评估对现场数据采集的可利用性及其影响；
- c) 核实已收集资料的符合性和相关性；
- d) 调查影响探测工作的主要安全风险源，分析其对现场探测工作的不利影响。

### 5.3 方法有效性试验

方法有效性试验宜结合探测目的、现场地形、地质和地球物理探测条件等，选择典型区段开展试验测试，确定微动探测方法的有效性和适宜性。

### 5.4 探测方案大纲

探测方案大纲宜包括：

- a) 项目概况：项目来源、目的任务、工作范围、技术要求、预计工作量；
- b) 测区地球物理条件：地形地貌、地质条件、地球物理特征等；
- c) 编制依据：任务书、合同、技术规范、管理规定等；
- d) 方法技术：方法原理、观测方式、测线/测点布置、技术参数、探测精度等；
- e) 仪器设备：名称型号、性能参数等；
- f) 数据处理与解释；
- g) 进度计划：工作组织、设备和人员投入、计划安排等；
- h) 质量、环境、职业健康安全保障措施；
- i) 风险识别与控制：安全风险识别、防控对策、应急预案等；
- j) 探测成果。

## 6 仪器设备

6.1 微动探测仪器设备宜采用多通道微动探测系统或一体化地震仪。

6.2 仪器设备的频带响应应满足微动探测的需要。

6.3 多通道微动探测系统的技术指标应符合以下规定：

- a) 放大器的通道数不少于 4 通道；

注：不少于 4 通道的要求与台阵最少采集单元数的规定一致。实际上，多通道微动探测系统一般为 24 通道，并具有 4 通道、7 通道、10 通道等多挡可选功能。

- b) 通道间幅值偏差不大于 5%，相位差不大于 0.1 ms；
- c) 通道间串音抑制不小于 100 dB；
- d) 动态范围不小于 120 dB，A/D 转换位数不小于 24 位；
- e) 系统噪声不大于 1  $\mu$ V；
- f) 采样率应满足探测精度要求，采集时间长度可控。

6.4 检波器应符合以下规定：

- a) 采用垂直分量或三分量的速度型检波器，电压输出灵敏度不小于 200 V/(m/s)；
- b) 同一台阵检波器之间的固有频率差不大于 0.1 Hz，灵敏度和阻尼系数差不大于 5%；
- c) 同一台阵检波器的幅值差不大于 5%，相位差不大于 0.1 ms；
- d) 检波器具有竖直安置的部件或调平装置；



e) 水底检波器应具有满足探测深度需要的密封防水能力。

6.5 一体化地震仪除符合 6.2、6.3 的相关规定外,尚应满足以下要求:

- a) 具有采集和存储记录的能力;
- b) 具有与要求相匹配的数据传输能力;
- c) 符合 GNSS(全球导航卫星系统)等有关时间精度的规定;
- d) 具有与工作时间相匹配的供电电源;
- e) 具有防震、防潮等性能。

## 7 数据采集

### 7.1 基本要求

7.1.1 正式探测前,应根据探测目的和现场探测条件开展采集试验,确定台阵型式及采集参数等,设计测点、测线和测网等。

7.1.2 数据的采样间隔、记录长度应满足探测深度和精度的要求。

注:数据的采样率、记录长度与探测深度和精度密切相关,随着探测深度的加深,数据采样率的选择有 1 ms、2 ms、5 ms、10 ms~20 ms、50 ms、100 ms,记录长度可由几分钟到几个小时。

7.1.3 现场探测过程中应填写班报记录,记录清晰、完整。

7.1.4 应检查、评估数据,数据不合格,应补测。

7.1.5 微动探测点的位置宜以台阵几何中心位置综合确定。

7.1.6 现场台阵布设应优先选择嵌套三角形台阵,其次选择单圆型台阵、同心多重圆型台阵、十字型台阵、L 型台阵、菱形台阵,在测网探测中可选择密集型台阵,当场地具备一维采集条件时,可选择直线型台阵。

### 7.2 试验工作

7.2.1 正式探测前,应选择代表性场地开展试验,确定合理采集参数。

7.2.2 试验点应根据任务要求、地质地球物理条件、代表性场地和已知资料综合选择。

7.2.3 试验内容包括台阵型式和规模、采集单元频率、采样率、记录长度、采集时段等。

7.2.4 当地形起伏变化较大时,应试验、评估地形对探测结果的影响,确定探测对策。

### 7.3 测点、测线和台阵布设

7.3.1 测点、测线(网)布设遵守以下原则:

- a) 测点、测线应根据勘探点和勘探线布设,能控制区内主要地质体;
- b) 当探测目标体复杂时,宜采用平行测线或网格状布设测线形成测网,测网的密度依据地质条件和探测条件的复杂性确定;
- c) 测点、测线的间距根据探测精度和工作任务合理确定;
- d) 若现场条件不允许,可适当调整测点、测线位置,但点距、线距调整量不应超过设计位置的 20%;
- e) 测区边界附近发现重要异常时,应延长测线长度,确保异常形态的完整探测;
- f) 探测重要目的物时,至少有 2 条测线通过,每条测线至少有 3 个相邻点予以控制;
- g) 测点、测线应统一编号,并在现场设置明显标志;
- h) 测线布设图应注明测点、测线端点、转折点、钻孔、探洞、布线方向等主要信息。

7.3.2 开展专项探测时,测线布设尚需遵守以下原则:

- a) 滑坡探测,纵测线应沿主滑方向平行布设,横测线垂直主滑方向布设;

- b) 构造破碎带探测,主测线布设方向应与构造走向垂直或大角度相交;
- c) 古河床探测,主测线布设方向应与古河床走向垂直或大角度相交;
- d) 岩溶、土洞、采空区、孤石、地下病害、地下构筑物等探测,测线宜采用网状布设,测点间距应小于探测对象的尺寸;
- e) 地基加固效果检测应在加固前、后进行对比探测,测线布设宜通过加固区域。

#### 7.3.3 台阵布设遵守以下规定:

- a) 台阵应沿测线布设,当地形起伏较大时,可适当调整位置,位置偏差不宜超过设计位置的 15%;
- b) 若场地存在固定干扰源,台阵应远离固定干扰源;
- c) 当干扰源可作为有效震源时,宜采用直线型台阵,台阵延长线宜通过干扰源;
- d) 台阵规模应结合垂向探测分辨率和最大探测深度综合考虑。

注:台阵规模与探测深度的关系:在浅层探测中,一般台阵采集单元间最大距离的 3 倍~10 倍与探测深度相当,随着探测深度加大,倍率减小,通过已有的试验资料反映出千米级别的勘探深度,台阵规模需要与探测深度相当。

#### 7.3.4 采集单元布设遵守以下规定:

- a) 采集单元与地面耦合良好;
- b) 同一台阵内采集单元的平面位置不宜超过设计位置的 5%;
- c) 台阵内采集单元的数量应与探测要求相匹配;
- d) 嵌套三角形型台阵采集单元不少于 4 个,其中 1 个采集单元应布设在中心点;
- e) 同心多重圆型台阵采集单元不少于 7 个,其中 1 个采集单元应布设在中心点,其余采集单元应布设在不同圆的内嵌等边三角形的顶点上。

### 7.4 测量定位

7.4.1 测点和采集单元位置宜采用全站仪、GNSS 或 RTK(实时动态载波相位差分技术)测量定位,测量工作应符合 GB 50026 的规定。

7.4.2 当台阵半径小于 50 m 时,采集单元位置可采用测量绳、测量尺定位。

7.4.3 测点的平面点位误差在工作比例尺成果图上应不大于 2 mm。

7.4.4 现场测量工作完成后,应分析、整理测量成果,提交平面位置布置图。

### 7.5 一致性检查与信号采集

7.5.1 正式探测前和探测后应进行仪器与采集单元的一致性检查。

注:探测前的一致性检查是检查仪器与采集单元是否符合探测要求,一致性检查不合格,需分析原因,检修或更换仪器与采集单元,一致性检查合格后,方可开始数据采集;探测后的一致性检查是评价仪器与采集单元性能的合格性和数据采集质量的依据资料。

7.5.2 一致性检查的记录采集时间宜为 10 min~30 min,浅层探测或环境干扰弱时采集时间宜为 10 min~30 min,深层探查或环境干扰强时采集时间加长至 2 h 左右。

7.5.3 分析、评价仪器与采集单元一致性检查记录的方法宜采用目视或软件分析方法,可参照以下方法执行:

- a) 对于纸质或计算机显示的一致性检查记录可采用目视方法,依据各道记录波形的平行相似性和幅度相同性评价仪器与采集单元的一致性;
- b) 可通过软件处理提取分析各采集道记录的功率谱、相位谱等的相似性和相差值,评价仪器与采集单元的一致性。

7.5.4 一致性检查的采集参数应与正式探测的工作参数相同。

7.5.5 多通道微动探测系统的一致性检查应包括检查探测仪器的一致性和检波器的一致性,并遵守以

下要求：

- a) 多通道微动探测系统的一致性检查宜采用并联各通道输入端后接入信号源,采集微动信号,分析仪器各通道的频响与幅度的一致性;
- b) 检波器的一致性检查宜选择相对均匀的场地,将各检波器集中安置牢固,采集微动信号,分析幅度与相位的一致性。

7.5.6 一体化地震仪的一致性检查除遵守 7.5.5 的规定外,尚需要遵守以下规定:

- a) 选择相对均匀的场地,将各地震仪集中安插牢固,采集微动信号,分析幅度与相位的一致性;
- b) 各一体机的 GNSS 授时和守时精度应一致。

7.5.7 采用多通道微动探测系统采集微动信号需要满足以下要求:

- a) 电缆连接与台阵内采集点的设计一致;
- b) 检波器与电缆连接良好,防止漏电、短路和接触不良等;
- c) 仪器应设置在不滤波状态,各道增益设置应一致;
- d) 仪器参数设置与设计方案和现场布置一致。

7.5.8 采用一体化地震仪采集微动信号除应符合 7.5.4 的规定外,尚需符合以下要求:

- a) 与地面耦合良好,且处于水平状态;
- b) 应确认仪器采集状态正常;
- c) 应正确记录台阵内设备的位置。

7.5.9 台阵的选用应根据以下要求确定:

- a) 准确探测横波速度的项目采用二维台阵型式;
- b) 大深度探测项目加大台阵内采集点的最大距离;
- c) 高分辨探测项目增加台阵内采集点数量。

7.5.10 数据采集时间长度应根据探测深度、精度及环境干扰等因素,并按照以下要求综合确定:

- a) 采集记录时间长度应满足提取符合任务要求的合格的频散曲线数据;
- b) 对于微动信号采集中能实时显示频散曲线叠加过程的采集系统,应视频散曲线特征基本稳定后,再延长 3 min~10 min 后停止采集;
- c) 对于微动信号采集中不能实时显示频散曲线的采集系统,可按照表 1 确定采集时间。

表 1 采集时间长度(T)

| 背景干扰情况 | 最大探测深度          |                 |                  |
|--------|-----------------|-----------------|------------------|
|        | <100 m          | 100 m~500 m     | >500 m           |
| 背景干扰较小 | 10 min<T≤20 min | 20 min<T≤40 min | 40 min<T≤90 min  |
| 背景干扰较大 | 20 min<T≤40 min | 30 min<T≤60 min | 60 min<T≤120 min |

7.5.11 数据采集时,台阵内或采集单元附近应防止人为振动干扰。

7.5.12 采集过程中宜监测微动信号,发现异常时,应记录异常时段。

7.5.13 采集过程中发现采集单元异常时,应排除故障并重新采集。

7.5.14 采集过程中,可参照附录 B 填写微动探测班报表,并符合以下要求:

- a) 记录内容包括测点位置、台阵类型、采集单元类型和频率、采集单元位置、采集参数、背景干扰情况、台阵范围内地形地貌及地质概况、采集开始和结束时间等信息;
- b) 野外记录本宜用 3H 及以上硬度铅笔或签字笔记录,字迹清楚,重要参数的记录不应涂改。

7.5.15 采集工作结束应及时存储数据,做好数据备份,并符合以下要求:

- a) 按照工程名称或工程代号设置存储档夹;

- b) 在通过回放或利用数据卡回收微动数据时,应登记采集单元号并编辑各测点台阵道集记录;
- c) 每天收工后,操作人员应检查原始数据记录,评估数据质量,登记不合格数据并及时开展补测。

## 7.6 重复观测

- 7.6.1 重复观测点在测区范围内宜均匀分布,并包括异常点、拟验证点等。
- 7.6.2 重复观测工作量不少于总工作量的 5%;
- 7.6.3 重复观测的数据特征信息与原记录数据的相应特征平均相对误差不大于 5%。

## 7.7 原始资料质量检查

- 7.7.1 原始资料质量检查需要遵守以下要求:
  - a) 现场操作员应自检全部原始记录;
  - b) 原始记录检查的抽查率应大于 30%;
  - c) 检查结束后宜编制自检报告或检查精度统计表。
- 7.7.2 原始资料满足以下全部条件时,为合格记录:
  - a) 仪器检查记录合格,资料完整;
  - b) 观测系统和采集台阵正确,满足设计要求;
  - c) 微动探测班报表记录完整、清晰;
  - d) 微动信号记录时间满足设计要求,信号整体平稳,无明显干扰信号;
  - e) 频带范围满足勘探需要。
- 7.7.3 判定为不合格的记录,应补测。

## 8 资料处理与解释

### 8.1 资料整理

- 8.1.1 数据采集工作结束后应对原始资料进行整理,运用质量合格的数据进行数据处理和计算解释。
- 8.1.2 原始资料包括纸质记录和电子记录。
- 8.1.3 纸质记录包括微动探测班报表(可参照附录 B)、试验记录、仪器自检记录和测量记录等。纸质记录应符合以下规定:
  - a) 内容完整、数据正确、字迹清晰,不应涂改、转抄;
  - b) 应及时校核、分类和装订成册。
- 8.1.4 电子记录包括微动采集记录和测量记录,相关资料应符合以下规定:
  - a) 采集记录应按照场地、试验内容、测线分类存储、备份;
  - b) 校核测点坐标和高程,形成地形文件。

### 8.2 数据预处理

- 8.2.1 对一体化地震仪,在回收数据后应根据探测点号编辑采集记录形成台阵道集记录。
- 8.2.2 对现场采集中已编辑成台阵道集的记录进行去均值、去趋势、滤波和剔除瞬时强干扰等处理。

### 8.3 数据处理

- 8.3.1 数据处理软件应具有以下功能:
  - a) 可使用 SPAC 法、ESPAC 法、F-K(频率-波数)法或  $H/V$  谱比法;
  - b) 提取频散曲线并具有依据频散曲线进行分层、计算拟速度和反演计算剪切波速度的功能;
  - c) 具有绘制面波速度剖面图、横波速度剖面图、拟速度剖面图和等速度线剖面图的功能。

8.3.2 数据处理方法的选择宜根据台阵型式、震源特点、场地测试条件等因素,参照以下原则综合确定:

- a) 有中心点的规则台阵,宜选择 SPAC 法;
- b) 无中心点的非规则台阵,宜采用 ESPAC 法;
- c) 拾震器数量较多(不少于 10 个)的非规则台阵采集的微动数据处理,尤其是采集过程中方位性震源明显或混入较大能量体波时,宜使用 F-K 法。

8.3.3 频散曲线提取应采用有效频段内的数据,且同一数据记录提取的频散曲线应一致。

注:获得能表征地层特征的频散曲线数据是微动探测的关键,频散曲线数据的提取依靠软件完成,因此,要求软件设计的功能有利于正确提取频散曲线,减少因操作不一造成多解,或因不同人操作而导致结果差异较大等问题的出现。

8.3.4 频散曲线划分地层应综合曲线的拐点、斜率和频散点的疏密等特征进行。

注:面波在地层界面发生频散是面波传播的重要特征,因此提取的面波频散曲线在地层界面会产生“之”字形拐点,地层速度变化会影响频散曲线斜率的变化,地层介质粒径和密实度的变化会影响频散点疏密变化等,所以利用频散曲线具有的拐点、斜率和频散点疏密等特征划分地层是合理的。

8.3.5 频散曲线反演计算需要遵守以下规定:

- a) 反演计算宜由浅及深、逐层调试,使正、反演结果逐渐逼近;
- b) 依据频散曲线特征进行分层和反演地层的横波速度;

注:依据频散曲线具有拐点、斜率和频散点疏密的特征进行分层和反演地层横波速度,有利于解释地质分层和评价岩土性质,参见附录 C。

- c) 在有钻孔资料的条件下,应结合已知资料反演层速度,并总结已知地层和反演的横波速度的关系。

8.3.6 计算拟速度,可参照公式(1)。

$$V_{x,i} = \left( \frac{t_i \cdot V_{R,i}^4 - t_{i-1} \cdot V_{R,i-1}^4}{t_i - t_{i-1}} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$V_{x,i}$  ——第  $i$  个频散点的拟速度,单位为米每秒(m/s);

$t_i$  ——第  $i$  个频散点的周期,单位为秒(s);

$V_{R,i}^4$  ——第  $i$  个频散点面波速度的 4 次方;

$t_{i-1}$  ——第  $i$  个频散点前一点的周期,单位为秒(s);

$V_{R,i-1}^4$  ——第  $i$  个频散点前一点面波速度的 4 次方。

8.3.7 计算探测深度,可依据公式(2)。

$$H = \alpha \frac{\lambda}{2} = \alpha \frac{V_R}{2f} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$H$  ——探测深度,单位为米(m);

$\alpha$  ——校正系数,通常取 1,当有已知资料时可调整;

$\lambda$  ——波长,单位为米(m);

$V_R$  ——面波速度,单位为米每秒(m/s);

$f$  ——频率,单位为赫兹(Hz)。

8.3.8  $H/V$  谱比法计算:

- a) 将微动数据分成若干个时窗,分别计算每个时窗的水平分量和垂直分量的谱比;
- b) 通过平均所有时窗的谱比得到  $H/V$  谱比曲线;
- c) 覆盖层厚度的计算: $H/V$  谱比曲线的频率峰值( $F_0$ )与松散覆盖层的平均横波速度和厚度相关,可参照公式(3)计算。

$$F_0 = \frac{V_s}{4D_{ov}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$F_0$  ——频率峰值;

$V_s$  ——覆盖层加权平均横波速度,单位为米每秒(m/s);

$D_{ov}$  ——松散覆盖层厚度,单位为米(m)。

### 8.3.9 成果图绘制:

测点和测线的成果图宜包括以下内容:

- a) 测点成果为频散曲线的深度—速度图、速度分层与横波速度图和物探地质成果图;
- b) 测线成果为面波速度剖面图或拟速度剖面图、横波速度剖面图、地质物探解释图。

## 8.4 资料解释

### 8.4.1 资料解释应符合以下基本要求:

- a) 根据物性参数和已有资料,按照从已知到未知、由浅及深、点面结合、综合分析、定性定量相结合的原则进行地质解释;
- b) 依据频散曲线特征、面波速度剖面图、拟速度剖面图、横波速度剖面图及物探地质成果图等进行物性分析和地质推断;
- c) 采用多种物探方法时,应综合解释;
- d) 在有地质、钻孔等资料的情况下,应结合已知资料进行解释。

### 8.4.2 $H/V$ 谱比法可依据曲线峰值确定强波阻抗界面,结合已知资料进行地质解释。

### 8.4.3 覆盖层勘察与地质分层等探测解释可依据以下原则:

- a) 根据频散曲线的拐点、斜率、频散点疏密等特征确定速度层厚度和横波速度,解释覆盖层和地质分层;
- b) 利用拟速度剖面图和横波速度剖面图,结合已知钻孔等资料总结速度和与地层的对应关系,解释和推断覆盖层分层、地质分层及岩土性质;
- c) 分析拟速度剖面图及横波速度结构图,依据速度值的高低、变化及分布形态,推断地层岩土性质和分布形态。

注:根据获得的横波速度,依据 GB 50011 的规定评价场地土性质。

### 8.4.4 基岩面深度与起伏形态的探测解释可依据以下原则:

- a) 依据覆盖层和基岩具有明显速度差异,在岩土界面频散曲线的频散点由密集明显变为稀疏,曲线斜率也明显加大的特征,并结合区域地层分层波速的变化特征,综合解释基岩面;
- b) 依据频散曲线反演计算的横波速度结构层的速度突变特征,推算基岩顶界面埋深和风化分带;
- c) 利用已知钻孔资料总结覆盖层与面波速度或拟速度的关系,绘制面波速度或拟速度的速度等值线,以确定的速度线推断基岩界面的起伏形态;
- d) 根据  $H/V$  谱比曲线峰值频率并结合已有资料可估算基岩界面的埋深。

### 8.4.5 地质构造带的探测解释可依据以下原则:

- a) 依据在面波速度剖面图或拟速度剖面图中的速度变化异常带推断地质构造带,依据速度变化的幅度和延伸中断情况推断地质构造带的发育位置及规模;
- b) 依据面波速度或拟速度等值线的速度梯度变化段推断地质构造带位置,依据速度梯度变化段的陡缓解释地质构造带界面产状的陡缓。

### 8.4.6 边坡、滑坡的探测解释可依据以下原则:

- a) 依据纵向测线的拟速度剖面图中低速异常带的速度和分布,推断滑动带的性质、连续性和坡度;

b) 依据拟速度剖面图中低速异常带深度与覆盖层的关系,计算滑体厚度和推断滑坡性质;

注:低速异常带深度小于覆盖层厚度属于覆盖层中的滑坡,低速异常带深度与覆盖层厚度接近属于岩土界面滑坡。

c) 依据横向测线的拟速度剖面图中低速异常带的分布,推断滑坡体的横向边界。

#### 8.4.7 地下空洞、岩溶、采空区等探测解释可依据以下原则:

- a) 此类目标体表现为独立的低速异常特征,可依据拟速度等值线剖面图中的圆形、扁圆形和条带状等低速异常及形态变化,解释探测目标体的空间延伸、发育规模和空间位置等;
- b) 依据测点频散曲线的连续性和中断性特征,可解释测点下目标体的顶界面深度;
- c) 结合  $H/V$  谱比曲线的特征峰值及峰值类型、局部速度异常区,推测目标体顶界面;
- d) 结合其他物探方法和钻探资料,依据面波速度、拟速度与地层的对应关系进行地质解释。

#### 8.4.8 地基加固效果解释应根据加固前、后成果的对比,并依据以下原则评价:

- a) 依据探测点频散曲线的形态及面波速度的变化确定加固深度;
- b) 依据测线剖面图中的面波速度或反演计算的横波速度变化,分析测线加固深度、均匀性和连续性;
- c) 结合已知钻孔和原位测试资料、静载荷试验资料,总结面波速度、拟速度与地层有关岩土参数的关系,评价地基加固质量。

#### 8.4.9 探测地热、固体矿产资源时,可依据以下原则解释:

- a) 一般以热储层或赋矿层岩性、埋深、厚度和控热、控矿断裂构造位置为探测目标。
- b) 单点微动探测可依据单点微动频散曲线的斜率、拐点和疏密变化,结合横波速度结构图解释地层垂向分层,划分不同速度的岩性界面。
- c) 微动剖面探测可依据面波速度剖面图、拟速度剖面图或横波速度剖面图,将垂向速度变化的梯度带解释为地层界面。
- d) 根据钻探资料总结的主要地层界面与速度的关系,以某一等速度线确定地层界面;将横向速度异常带依据 8.4.5 解释地质构造带,并结合区域水文地质、工程地质条件综合分析,解释控水断裂、控矿断裂等。
- e) 面积性微动探测工作,可依据三维面波速度剖面图、拟速度剖面图或横波速度剖面图,分析垂向和横向的速度变化特征,解释区域内基岩起伏形态和埋深,评价热储层埋藏深度和厚度等。

## 9 成果报告

### 9.1 基本要求

9.1.1 微动探测成果应包括文字报告和成果图件。

9.1.2 文字报告中应包括质量检查结果和探测结果验证的内容。

9.1.3 文字报告的原始记录、数据和图件应编录、整理、检查、分析,确认无误后,方可使用。

9.1.4 根据工程要求,可提交阶段性探测成果,其内容可简化。

### 9.2 文字报告

9.2.1 文字报告应结构严谨、内容齐全,分析有据,结论明确。

9.2.2 文字报告的插图、插表应清楚、表述规范,附图、附表等资料齐全。

9.2.3 文字报告应包括以下内容:

- a) 项目概况;
- b) 技术依据;
- c) 地质及地球物理特征;
- d) 工作方法与技术;

- e) 数据处理及成果解释;
- f) 质量评价;
- g) 成果验证分析;
- h) 结论和建议。

### 9.3 成果图件

9.3.1 成果图件应包括实际材料图、探测成果图、地质解释成果剖面图、成果平面图、成果表及其他图件。

9.3.2 成果图件应层次清晰,图式、图例、注记和比例尺等要素齐全。

9.3.3 实际材料图应清楚表达测点和测线、检查点、地质调查点和图名、图例、责任表等。

9.3.4 探测成果图应包括单点图和剖面图。单点图应包括频散曲线图、分层与反演的横波速度图等;剖面图应包括拟速度剖面图、地质解释剖面图等。

9.3.5 地质解释成果剖面图宜在微动探测剖面图基础上标注专项地质问题解释。

9.3.6 成果平面图应反映通过探测解释和地质调查查明的地质问题,清晰表述其位置、类型、延伸状况等。

9.3.7 成果表应包括反演地质分层和速度数据。

9.3.8 其他成果图件可根据需要制作专项成果图。

## 10 成果验收

10.1 提交验收的微动探测成果资料应包括以下内容:

- a) 任务(委托)书或合同书、技术方案或设计书;
- b) 现场试验、一致性检查记录(含电子文档);
- c) 野外观测班报记录;
- d) 各测点的坐标和高程数据(含电子文档);
- e) 实际材料图;
- f) 原始数据和频散曲线;
- g) 质量检查纪录;
- h) 成果报告。

10.2 验收的微动探测成果资料符合以下规定,则判定合格:

- a) 提交的成果资料齐全,符合归档要求;
- b) 完成任务书或合同规定的各项任务,成果符合质量要求;
- c) 原始数据保存完整、无损,记录时间符合技术设计书的要求,档头各项参数齐全无误;
- d) 野外观测班报记录填写齐全,对测点周围地形地貌等有草图和描述;
- e) 各项记录和计算资料完整、齐全、清晰、正确;
- f) 采用的技术方法和技术措施符合相关标准的规定、满足技术设计书的要求;
- g) 总结报告内容齐全,能反映工程的全貌,结论明确,建议合理可行。

10.3 存在以下情况,微动探测成果资料判定为不合格:

- a) 仪器设备不合格或使用故障设备采集;
- b) 仪器设备无检查记录;
- c) 原始记录不全;
- d) 数据档与内容不符;
- e) 测点布置不满足任务书要求;



- f) 未按照要求重复观测和检查观测；
- g) 不具备频散曲线分层特征。

10.4 项目承担单位应先组织内部验收,合格后向项目委托单位提交验收申请,委托单位组织验收,并形成验收报告,验收报告应包括以下内容:

- a) 验收目的；
- b) 验收组织；
- c) 验收时间和地点；
- d) 成果验收意见；
- e) 发现的问题及处理办法；
- f) 验收结论；
- g) 验收组成员签名表。

附录 A  
(资料性)  
台阵型式图

台阵型式图见图 A.1。

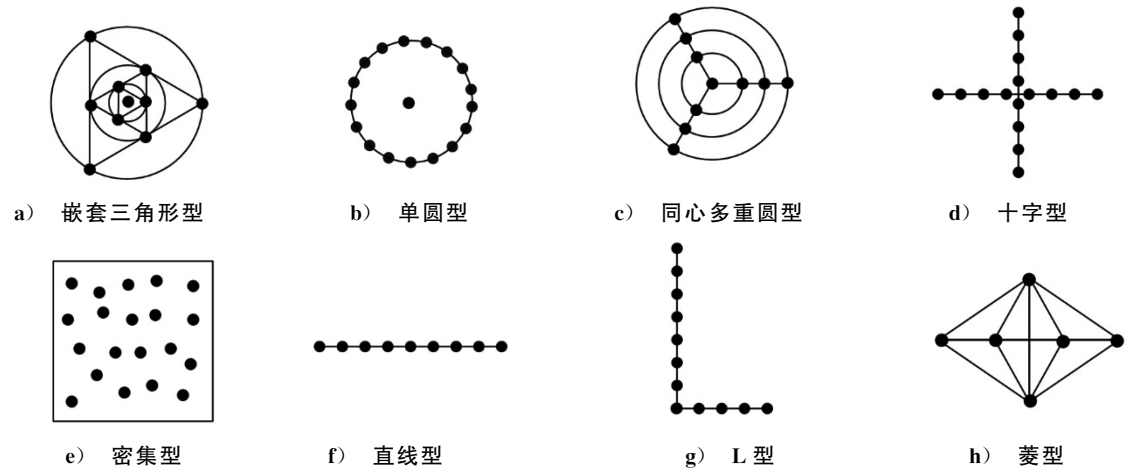


图 A.1 台阵型式图

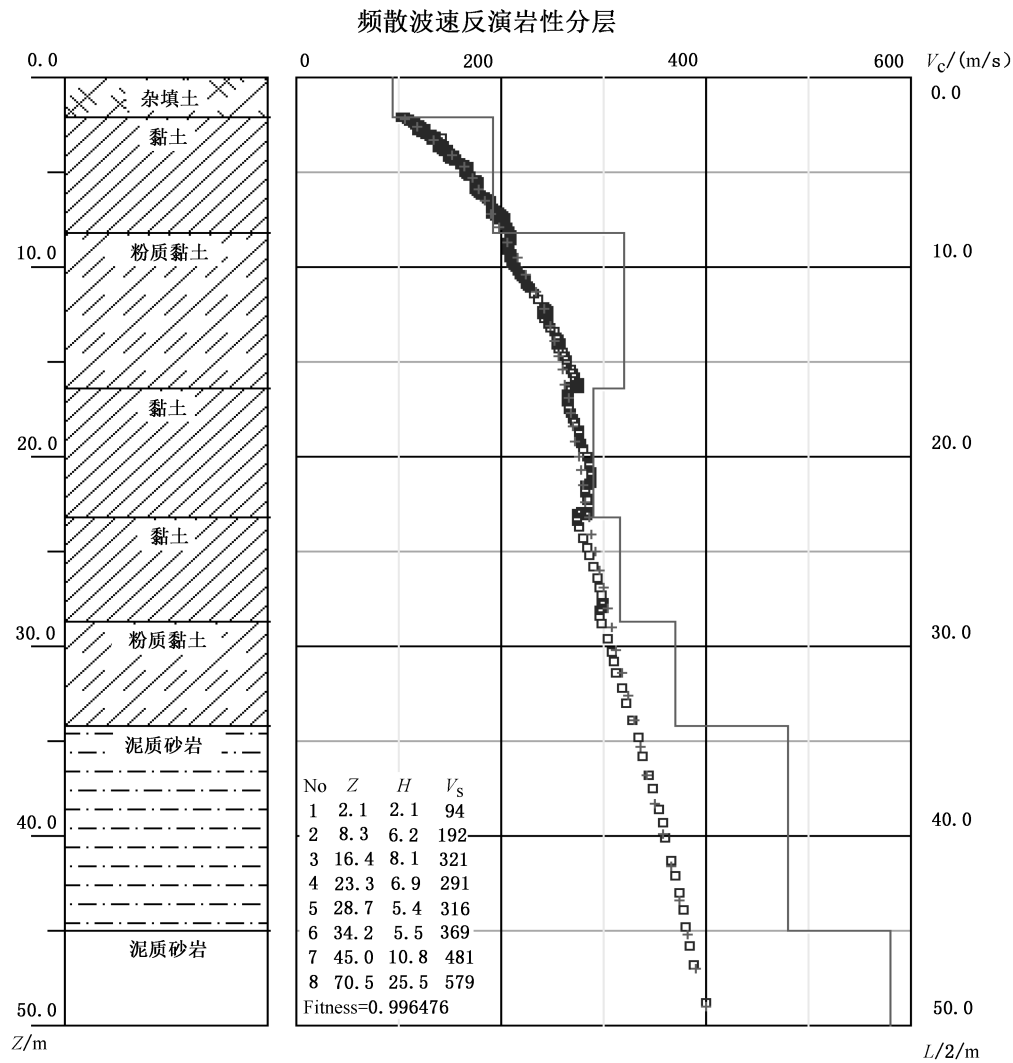


附 录 C

(资料性)

面波频散曲线分层与反演横波速度图

面波频散曲线分层与反演横波速度图见图 C.1。



标引序号说明：

Fitness —— 反演拟合计算系数；

$H$  —— 地层厚度，单位为米(m)；

$L$  —— 用波长表示的深度，单位为米(m)；

$V_c$  —— 介质速度，单位为米每秒(m/s)；

$V_s$  —— 横波速度，单位为米每秒(m/s)；

$Z$  —— 界面深，单位为米(m)。

图 C.1 面波频散曲线分层与反演横波速度图

### 参 考 文 献

- [1] GB 50011 建筑抗震设计规范
  - [2] CJJ/T 7 城市工程地球物理探测标准
  - [3] DZ/T 0153 物化探工程测量规范
  - [4] JGJ/T143 多道瞬态面波勘察技术规程
  - [5] JGJ/T 437 城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准
  - [6] NB/T 10701 地热资源微动探测技术规程
-