

# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2014年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标[2013]169号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订了本规程。

本规程的主要技术内容是:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.仪器设备与处理软件;5.现场采集;6.资料处理和解释;7.成果报告。

本规程修订的主要技术内容是:1.修订了采集仪器的电气参数指标,增加了仪器自检功能的要求;2.增加了处理软件中对剖面处理的要求;3.补充了数据处理的解释的内容;4.修订了成果报告应提供的内容;5.对原“仪器设备与处理软件”和“现场采集”两章中的重复内容进行了合并调整。

本规程由住房和城乡建设部负责管理,由北京市水电物探研究所负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送北京市水电物探研究所(地址:北京市东城区东中街58号美惠大厦A902,邮政编码:100027)。

本规程主编单位:北京市水电物探研究所

本规程参编单位:福建省建筑设计研究院

中航勘察设计研究院有限公司

建设综合勘察研究设计院有限公司

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

北京市水利规划设计研究院

广西地球物理勘察院

桂林矿产地质研究院工程有限公司  
中铁第五勘察设计院集团有限公司  
上海岩土工程勘察设计研究院有限  
公司

本规程主要起草人员：刘云祯 梅汝吾 李哲生 刘金光  
苏 强 刘运平 林万顺 陈 康  
张玉池 谢昭晖 马文亮  
本规程主要审查人员：梁金国 单娜琳 康景文 杨俊峰  
朱向泰 王殿广 张建清 张海东  
鲁志强 化建新 邱祖全

住房城乡建设部  
浏览专用

## 目 次

1 总则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	3
3 基本规定 .....	5
4 仪器设备与处理软件 .....	6
4.1 仪器设备 .....	6
4.2 处理软件 .....	6
5 现场采集 .....	8
5.1 一般规定 .....	8
5.2 现场试验 .....	8
5.3 测线、排列的布设 .....	9
5.4 采集要求 .....	10
5.5 采集记录质量评价 .....	11
6 资料处理和解释 .....	13
6.1 资料整理 .....	13
6.2 数据处理 .....	13
6.3 分析解释 .....	14
7 成果报告 .....	16
本规程用词说明 .....	17

## Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Basic Requirements .....	5
4	Instrumentation and Software .....	6
4.1	Instrumentation .....	6
4.2	Software .....	6
5	Field Acquisition .....	8
5.1	General Requirements .....	8
5.2	Field Test .....	8
5.3	Line, Array Layout .....	9
5.4	Acquisition Requirements .....	10
5.5	Record Quality Assessment .....	11
6	Data Processing and Interpretation .....	13
6.1	Data Collating .....	13
6.2	Data Processing .....	13
6.3	Analysis and Interpretation .....	14
7	Result Report .....	16
	Explanation of Wording in This Specification .....	17

# 1 总 则

**1.0.1** 为提高工程勘察成果的精度和可靠性，规范多道瞬态面波勘察技术，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于应用多道瞬态面波技术进行的工程勘察及检测。

**1.0.3** 多道瞬态面波勘察技术除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

住房城乡建设部信息公开  
浏览专用

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 面波 surface wave

沿介质自由表面传播的波，称为表面波，简称面波。

#### 2.1.2 剪切波 shear wave

波的传播方向与介质质点的振动方向垂直的波，又称横波、S波。

#### 2.1.3 压缩波 compression wave

波的传播方向与介质质点的振动方向一致的波。又称纵波、疏密波、P波。

#### 2.1.4 基阶面波 first-mode surface wave

多个传播模态中以第一阶振型传播，在各阶振型中速度最低的面波。

#### 2.1.5 高阶面波 higher-mode surface wave

多个传播模态中以高阶振型传播的面波。

#### 2.1.6 面波频散 frequency dispersion of surface wave

面波各频率组分具有不同的传播速度的现象。

#### 2.1.7 频散曲线 dispersion curve

频散波的波长与波速间关系的曲线。

#### 2.1.8 基阶面波的频散 dispersion of first-mode surface wave

基阶面波各频率成分具有不同的传播速度的现象。

#### 2.1.9 多道瞬态面波勘察 multi-channel transient surface wave investigation

利用瞬态震源，采集多通道面波进行工程勘察的一种方法。

#### 2.1.10 面波速度 surface wave velocity

面波在介质中传播的平均相速度。

**2.1.11 剪切波层速度** layer velocity of shear wave

剪切波在地层中的传播速度。

**2.1.12 排列** array

为完成一个面波采集记录，布置在一条测线上接收震动信号的检波器组合。

**2.1.13 排列长度** spread length

为完成一个面波采集记录，布置在一条测线上的接收检波器组合的长度。

**2.1.14 测点** exploratory point

面波勘察中的勘探点。

**2.1.15 多道** multi-channel

在面波勘察中获取面波频散的过程，采用多个检波器和仪器多个通道采集面波的传播。

**2.1.16 偏移距** offset

面波采集时，震源与仪器第一通道所连接的检波器之间的距离。

**2.1.17 道间距** channel distance

排列中相邻检波器之间的距离。

**2.1.18 源检距** source offset

震源位置到检波器的距离，最大源检距指震源位置到最远检波器的距离。

**2.1.19 瞬态** transient vibration

震源以冲击式或脉冲式震动。

**2.1.20 瞬态面波** transient-vibration surface wave

利用瞬态震源条件采集的面波。

## 2.2 符 号

$E_d$ ——动弹性模量；

$f$ ——频率；

$G_d$ ——动剪切模量；

$H$ ——深度；

$K$ ——波数；

$v_p$ ——压缩波波速；

$v_R$ ——地层面波波速，也称瑞利波波速；

$v_S$ ——剪切波波速；

$\eta_S$ ——面波和剪切波波速换算系数，与泊松比有关；

$\lambda$ ——波长；

$\mu_d$ ——泊松比；

$\rho$ ——质量密度。



## 3 基本规定

**3.0.1** 采用多道瞬态面波进行勘察前，应收集相关资料，并应包括下列主要内容：

- 1 多道瞬态面波勘察任务委托书或勘察要求说明文件等；
- 2 已有场地工程勘察资料；
- 3 场地建筑物、构筑物的平面图等资料；
- 4 场地及其邻近的干扰震源调查资料。

**3.0.2** 采用多道瞬态面波进行勘察前，应制定勘察方案，并应包括下列主要内容：

- 1 勘察目的及要求，勘察范围及工作量等；
- 2 勘察场地的地球物理条件；
- 3 勘察内容、方法和测点、测线布置图；
- 4 采用的相关仪器设备；
- 5 采用的数据处理方法；
- 6 勘察工期、安全、质量保证及环境保护措施等；
- 7 勘察成果报告的要求及提交时间。

**3.0.3** 采用多道瞬态面波勘察方法，采集的地震波记录道不应少于 12 个通道。

**3.0.4** 现场勘察时，仪器主机设备应有防风砂、防雨雪、防晒和防摔等保护措施。

**3.0.5** 多道瞬态面波成果的综合分析与评价，宜与其他工程勘察方法相结合。

**3.0.6** 多道瞬态面波勘察工作应编制勘察成果报告。

## 4 仪器设备与处理软件

### 4.1 仪器设备

4.1.1 多道瞬态面波采集仪器应符合下列规定：

- 1 仪器放大器的通道数不应少于 12 通道；
- 2 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求，宜为  $0.5\text{Hz}\sim 4.0\times 10^3\text{Hz}$ ；
- 3 仪器放大器各通道的幅值偏差不应大于 5%，相位时差不应大于所用采样时间间隔的一半；
- 4 仪器采样时间间隔应满足不同面波周期的时间分辨，在最小周期内应采样（4~8）点；仪器采样时间长度应满足最大源检距采集完面波最大周期的需要；
- 5 仪器动态范围不应低于 120dB，模数转换（A/D）的位数不宜小于 20 位；
- 6 仪器应具有频响与幅度一致性的自检功能。

4.1.2 多道瞬态面波检波器应符合下列规定：

- 1 应采用竖直方向的速度型检波器；
- 2 检波器的固有频率应满足采集最大面波周期的需要，宜采用不高于 4.0Hz 的低频检波器；
- 3 同一排列检波器之间的固有频率差不应大于 0.1Hz，灵敏度和阻尼系数差不应大于 5%；
- 4 同一排列检波器的幅值差不应大于 5%，相位时差不应大于所用采样时间间隔的一半；
- 5 检波器应具有方便竖直安置的部件。

### 4.2 处理软件

4.2.1 多道瞬态面波处理软件主要功能应包括：选用基阶面波

生成频散曲线；进行频散曲线分层，反演计算剪切波波速和确定地层厚度；利用测线上的频散曲线生成速度剖面彩色图，绘制等速度图或岩土分层解释图。

**4.2.2 多道瞬态面波勘探点处理软件应具有下列功能：**

- 1 检查与改正采集参数，正确组合拼接采集文件，批量显示采集记录，分辨记录中的坏道与处理等功能；
- 2 识别和剔除干扰波的功能；
- 3 识别和利用基阶面波的功能；
- 4 提取面波频散曲线的功能；
- 5 正反演功能，在速度递增及近水平层状地层条件下应能准确反演地层剪切波波速和层厚；
- 6 分频滤波和检查各分频段面波发育及信噪比的功能；
- 7 对比分析频散曲线的功能，供研究不同测点的速度变化或对比同一测点的处理结果。

**4.2.3 多道瞬态面波勘探剖面处理软件应具有下列功能：**

- 1 能同时调入不少于 3 个测点的频散曲线，并自动进行拟速度计算；
- 2 编辑测点坐标和成图比例，生成速度成果图；
- 3 具有自动绘制速度等值线的功能；
- 4 具有图例填充功能。

**4.2.4 多道瞬态面波速度处理成图的文件格式，应采用计算机通用格式，便于报告编写中调用。**

## 5 现场采集

### 5.1 一般规定

- 5.1.1** 多道瞬态面波排列布置应符合下列要求：
- 1 采用线性等道间距排列方式，震源在排列的延长线上；
  - 2 道间距应小于最小探测深度所需波长的二分之一；
  - 3 偏移距的大小应满足勘探深度的要求；
  - 4 排列长度应大于预期面波最大波长的一半；
  - 5 排列的中点应为面波勘探点。
- 5.1.2** 多道瞬态面波激发震源应符合下列规定：
- 1 震源频率与能量的选择应根据勘探深度确定，应满足面波勘察的要求；
  - 2 震源可采用人工锤击、机械冲击或爆炸等方式；
  - 3 当勘探深度小于 20m 时，宜选择人工锤击；当勘探深度为 20m~50m 时，宜选择落重或机械冲击激震；当勘探深度大于 50m 时，宜选择爆炸激震或其他大能量激震方式。
- 5.1.3** 面波的激发应符合下列要求：
- 1 应根据勘察任务要求和场地条件合理选择震源；
  - 2 使用人工锤击震源或机械冲击震源时应在激震点敷设垫板；
  - 3 使用爆炸震源时药量应通过试验确定，触发方式宜采用回线记时法。

### 5.2 现场试验

- 5.2.1** 现场正式工作前应进行现场试验，试验范围应覆盖不同的地形地质单元。
- 5.2.2** 试验工作的主要内容应包括仪器设备系统的频响与幅度

的一致性检查和采集试验工作。

**5.2.3** 仪器设备系统的频响与幅度的一致性检查，应符合下列要求：

1 仪器各道的一致性检查，宜采用在各道输入端并联后接入信号源，采集与工作记录参数相同的记录，分析仪器各道的频响与幅度的一致性；

2 检波器的一致性检查，应选择介质均匀的地点，将检波器密集地安插牢固，在大于 10m 地方激震，采集面波记录，分析检波器频响与幅度的一致性；

3 仪器通道和检波器的频响与幅度特性，应符合本规程第 4.1 节的要求。

**5.2.4** 采集试验工作应符合下列规定：

1 应在场地选择有代表性的地段进行干扰波调查，采用展开排列方式采集面波，根据基阶面波发育的强势段确定偏移距、道间距、排列长度和记录长度，排列长度应与勘探深度相近；

2 应根据勘探深度的要求，确定适用频率的检波器，检波器的频率可按下列式计算：

$$f = v_R / \lambda_R \quad (5.2.4)$$

式中： $f$ ——检波器的频率 (Hz)；

$v_R$ ——地层面波波速 (m/s)；

$\lambda_R$ ——波长 (m)，可取勘探深度的 2 倍。

3 应根据采集记录进行频谱分析，确定满足勘探深度和分辨薄层需要的最佳激震方式。

**5.2.5** 应通过现场试验，确定满足勘察目的和精度要求的采集方案、采集参数及激震方式。

**5.2.6** 在具有钻孔资料的场地应在钻孔旁布置试验点，进行资料对比。

### 5.3 测线、排列的布设

**5.3.1** 测线的布设应符合下列规定：

1 滑坡体、泥石流勘察，主测线应沿主滑方向平行布设，辅助测线宜垂直主滑方向布设；

2 构造破碎带勘察，主测线应与构造走向垂直布设；

3 古河床勘察，主测线应与古河床方向垂直布设；

4 岩溶、土洞或采空区勘察，测线应平行布设，测线间距应小于勘察对象的尺寸，发现异常时，应在异常点垂直布设辅助测线；对于重点勘察项目应采取网格布线；

5 地基加固效果检测，测线布设采取通过加固点和在加固点之间两种方式，并应在加固前后，对同一测点采用相同参数进行检测；

6 一般场地勘察，测线应根据勘探线和勘探点布设。

**5.3.2** 排列的布设应符合下列规定：

1 地形较平坦且不存在固定干扰源的场地，排列应沿测线布设；

2 地形起伏较大的场地，应调整排列方向，沿地形等高线布设；

3 存在固定干扰源的场地，排列与激发震源和干扰源应布设在一条直线上，且激发震源和干扰源应在排列的同一侧；

4 场地存在沟坎或处在建筑群中时，排列方向应规避干扰波影响；

5 其他场地排列应沿测线布设。

## **5.4 采集要求**

**5.4.1** 应根据勘察目的、要求、地形地质与介质的地球物理特性条件选用观测系统，并应符合下列规定：

1 所选用的观测系统，应满足主要目的层探查的需要；

2 简单地质地形条件下可采用单端激震法，复杂地质地形条件下宜采用双端激震法；

3 在满足勘探点间距要求的前提下，宜采用全排列移动、半排列移动或部分道移动。

#### **5.4.2 面波的接收应符合下列规定：**

- 1 仪器应设置**在无滤波状态，对定点仪器应设置各道增益一致；
- 2 记录长度**应满足最大源检距基阶面波的采集需要；
- 3 记录的近震源道**不应出现削波，排列中不宜有坏道；
- 4 检波器安置的位置**应准确；
- 5 检波器应与地面（或被检测物表面）**安置牢固，并力求埋置条件一致；检波器周围的杂草等易引起检波器震动之物应清除；在风力较大条件下工作，检波器应挖坑埋置；
- 6 检波器与电缆连接**应正确，防止漏电、短路和接触不良等故障。

**5.4.3** 在面波勘察中应布置复测检查工作，复测检查的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。

**5.4.4** 采集工作结束应及时进行数据存储与备份，并应符合下列规定：

- 1 按工程名称或工程代号**设置存储文件夹；
- 2 文件名应标识清晰**，对于同一测点不同偏移距、不同激震方式或双端激震等记录文件应有不同标识；
- 3 采集过程中应填写现场采集班报记录**，记录应包括场地名称、测线编号、存储文件名、测点位置、场地条件等内容，记录应有操作员、记录员和检查员签字。

### **5.5 采集记录质量评价**

**5.5.1** 对记录中的削波和常规地震勘探中的坏道，在多道瞬态面波勘察中均应作为坏道处理。

**5.5.2** 对记录长度不满足采集最大源检距基阶面波的记录，应视为不合格记录。

**5.5.3** 记录中的基阶面波应为强势波，否则应视为不合格记录。

**5.5.4** 记录中非边道的相邻两道为坏道，应视为不合格记录。

**5.5.5** 记录中坏道数大于使用道数 10%的记录，应视为不合格记录。

**5.5.6** 发现不合格记录，应进行补测。

住房和城乡建设部信息公开  
浏览专用



## 6 资料处理和解释

### 6.1 资料整理

6.1.1 外业工作结束后应对原始资料进行整理，原始资料包括纸质记录和数据记录。

6.1.2 纸质记录包括现场采集班报记录、试验记录、仪器自检记录和测量记录等，整理应符合下列规定：

1 对记录应进行分类和装订成册；

2 对记录应进行校核和校对，对错误记录的修改不得采用擦除的办法；

3 纸质记录整理和使用完毕应归档。

6.1.3 数据记录包括面波采集记录和测点的地形测量记录，整理应符合下列规定：

1 对现场采集的面波记录应按场地、试验内容、测线进行分类存储备份；

2 留作存档的数据记录不得修改和删除；

3 对测点的坐标和高程应进行校核，形成地形文件；

4 数据记录整理完毕后应归档。

### 6.2 数据处理

6.2.1 数据处理应采用处理软件完成。

6.2.2 处理软件应具有利用基阶面波提取多道瞬态面波频散曲线的功能。

6.2.3 频散曲线提取应符合下列规定：

1 应在  $f-K$  域中提取频散曲线；

2 二维滤波计算应突出基阶面波能量；

3 应在  $f-K$  域确认基阶面波频散曲线；

- 4 应将速度-波长域频散曲线转换为速度-深度域频散曲线；
  - 5 频散曲线提取完毕后应进行存储。
- 6.2.4** 频散曲线的分层应依据拐点、斜率及频散点疏密等特征确定。用于计算地层速度的频散曲线应具有收敛的特征；不收敛段的起始拐点可解释为地层界线。
- 6.2.5** 频散曲线的反演计算应符合下列规定：
- 1 剪切波层速度的反演计算宜选择固定层厚度的方式；
  - 2 剪切波层速度的反演计算宜遵循由浅及深、逐层调试的原则，使正、反演结果逐渐逼近；
  - 3 在场地具有钻孔资料的条件下，应结合已知资料确定层厚度和剪切波层速度；
  - 4 经过反演计算确定的剪切波层速度和层厚度结果应存储。
- 6.2.6** 制作彩色速度剖面图应符合下列规定：
- 1 每个剖面应有不少于3个勘探点的频散曲线；
  - 2 剖面上勘探点频散曲线的输入可选择自动和手动两种方式；
  - 3 频散曲线上不合理的数据点应剔除；
  - 4 应根据地形文件进行地形校正；
  - 5 应能设置合适的比例尺和波速标尺门限；
  - 6 应在速度分层图中填充地质图例，制作地质解释剖面图。

### 6.3 分析解释

- 6.3.1** 频散曲线的地层反演分析应符合下列规定：
- 1 对于近水平层状地层，反演结果应为排列中点位置竖直方向地层的波速分布；
  - 2 对于倾斜地层，反演结果应为排列中点位置至地层界面法向深度的波速分布。
- 6.3.2** 速度剖面图的地质分析应依据频散曲线的分层结果，在有条件的情况下应结合既有地质资料，进行综合分析。
- 6.3.3** 绘制地质解释剖面图应根据同点位、同深度映像的速度

值与地层的关系，逐层确认划分。

**6.3.4** 面波的解释深度应依据面波波长换算，在具备条件的场地，应根据有关资料进行校正。

**6.3.5** 分析解释时，应将地层瑞利波波速转换为剪切波波速。

**6.3.6** 地层剪切波波速应按下列公式计算：

$$v_s = \frac{v_R}{\eta_s} \quad (6.3.6-1)$$

$$\eta_s = \frac{0.87 + 1.12\mu_d}{1 + \mu_d} \quad (6.3.6-2)$$

式中： $v_s$  ——地层的剪切波波速 (m/s)；

$v_R$  ——地层的面波波速 (m/s)；

$\eta_s$  ——面波和剪切波波速换算系数，与泊松比有关；

$\mu_d$  ——泊松比。

**6.3.7** 地层的动剪切模量应按下列公式计算：

$$G_d = \rho v_s^2 \quad (6.3.7)$$

式中： $G_d$  ——动剪切模量 (Pa)；

$\rho$  ——质量密度 ( $\text{kg/m}^3$ )。

**6.3.8** 地层的动弹性模量应按下列公式计算：

$$E_d = 2(1 + \mu_d)\rho v_s^2 \quad (6.3.8)$$

式中： $E_d$  ——动弹性模量 (Pa)。

**6.3.9** 地层的泊松比应按下列公式计算：

$$\mu_d = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad (6.3.9)$$

式中： $v_p$  ——地层的压缩波波速 (m/s)。

**6.3.10** 利用剪切波波速进行抗震场地类别划分时，应按国家现行有关标准的规定计算土层的等效剪切波波速。

## 7 成果报告

**7.0.1** 面波勘察报告应重点突出、图表清晰、结论明确、建议合理。

**7.0.2** 面波勘察报告应根据任务要求、工程特点和工程地质条件等具体情况编写，并应包括下列主要内容：

- 1 工程概况；
- 2 勘察目的、任务要求、所依据的技术标准以及勘察时间和完成的工作量；
- 3 工程场地的地形、地貌、地质特征和地球物理条件；
- 4 场地震动干扰背景及分析；
- 5 面波勘察工作包括方法技术原理、仪器性能、观测系统及采集参数选择，激震与接收方式，测线布设及工作质量保证措施等；
- 6 资料处理；
- 7 面波勘察成果分析解释；
- 8 结论与建议；
- 9 其他说明。

**7.0.3** 面波勘察报告应包括下列图表：

- 1 面波勘察布置平面图；
- 2 仪器设备工作正常检查的波形记录图；
- 3 干扰波调查的记录和典型面波记录图；
- 4 面波点频散曲线图；
- 5 面波速度分层图，有钻探地质资料时，绘制面波点速度分层与工程地质柱状对比图；
- 6 面波勘察成果图表包括波速分层、波速分区、波速等值线图以及推断解释成果图等。

**7.0.4** 面波勘察报告的文字、术语、代号、符号、数字、计量单位等均应符合国家现行有关标准的规定。

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。