

中华人民共和国行业标准

多道瞬态面波勘察技术规程

Technical specification for multi-channel
transient surface wave investigation

JGJ/T 143—2004

J 370—2004



2004 北 京

中华人民共和国行业标准

多道瞬态面波勘察技术规程

Technical specification for multi-channel
transient surface wave investigation

JGJ/T 143—2004

批准部门：中华人民共和国建设部

实施日期：2004年12月1日

2004 北 京

中华人民共和国建设部 公 告

第 260 号

建设部关于发布行业标准 《多道瞬态面波勘察技术规程》的公告

现批准《多道瞬态面波勘察技术规程》为行业标准，编号为
JGJ/T 143—2004，自 2004 年 12 月 1 日起实施。

本规程由建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出
版发行。

中华人民共和国建设部
2004 年 8 月 18 日

前 言

根据建设部建标 [2002] 84 号文的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规程。

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 数据资料处理；7 成果报告编写。

本规程由建设部负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。

本规程主编单位：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 室；邮政编码：100027）。

本规程参编单位：建设综合勘察研究设计院

福建省建筑设计研究院

中航勘察设计研究院

中交第一公路勘察设计研究院

北京市地震局震害防御与工程地震研究所

本规程主要起草人员：刘云祯 梅汝吾 任书考 李哲生

刘金光 刘运平 胡 平

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 4

4 仪器设备与处理软件 5

 4.1 仪器设备 5

 4.2 处理软件 6

5 现场采集 8

 5.1 现场试验 8

 5.2 测线、测点布设 9

 5.3 正式采集 10

 5.4 采集记录质量评价 11

6 数据资料处理 12

 6.1 资料处理的主要内容 12

 6.2 数据资料处理 12

 6.3 面波资料的分析论证 13

7 成果报告编写 16

 7.1 一般规定 16

 7.2 成果报告的基本要求 16

本规程用词说明 18

1 总 则

1.0.1 为了规范多道瞬态面波勘察方法，保证勘察成果的精度和可靠性，提高工程投资效益、环境效益和社会效益，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各行业利用多道瞬态面波方法进行的各类岩土工程勘察、检测。

1.0.3 多道瞬态面波勘察，宜与钻探和其他物探方法密切配合，综合分析，正确评价。

1.0.4 在现场作业时，应遵守现行安全和劳动保护的有关规定，做到安全作业。

1.0.5 多道瞬态面波勘察除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 面波 **surface wave**

规程中面波特指瑞利波，即质点运动轨迹为椭圆形的波。

2.1.2 剪切波 **shear wave (transverse 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 of surface wave**

面波的多个传播模态中以第一阶振型传播的波动为基阶面波。

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

面波各频率组份具有不同的传播速度的现象。

2.1.6 基阶面波的频散 **first mode dispersion of surface wave**

基阶面波传播模态波动的频散规律。

2.1.7 面波速度 **surface wave velocity**

面波在介质中传播的平均相速度。

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

剪切波在地层中的传播速度。

2.1.9 多道 **multi-channel**

面波勘察中所采用的多个通道仪器，同时记录形成完整的面波记录。

2.1.10 瞬态 **transient vibration**

震源的一种动力特征。

2.1.11 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。

2.1.12 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。

2.1.13 道间距 distance of channel

在排列中，相邻检波器之间的距离。

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 ——瑞利波波速

v_s ——剪切波波速

λ ——波长

μ ——动泊松比

ρ ——质量密度

η_s ——与泊松比有关的系数

3 基本规定

3.0.1 多道瞬态面波勘察，应具备下列资料：

- 1 收集场地的岩土工程勘察资料；
- 2 任务委托书应包括勘察目的与技术要求，勘察范围及工作量，完成工作时间等；
- 3 有条件时，应收集场地建（构）筑物的平面图（剖面图）等；
- 4 场地及其邻近的干扰震源。

3.0.2 多道瞬态面波勘察前，应根据选定的勘察方法制订勘察方案。其内容宜包括：

- 1 勘察目的及要求；
- 2 具备面波勘察方法的地球物理条件、技术可行性，精度应满足勘察深度与精度的要求，勘察工期以及质量保证体系等；
- 3 勘察内容、具体方法和测点、测线布置图；
- 4 仪器设备；
- 5 拟采用的数据处理方法；
- 6 报告书的要求、份数以及提交时间。

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

3.0.4 现场勘察场地应避开干扰震源。

3.0.5 勘察报告应包括现场原始记录、勘察结果、分析意见和勘察结论等内容。

4 仪器设备与处理软件

4.1 仪器设备

4.1.1 多道瞬态面波勘察仪器应符合下列要求：

1 仪器放大器的通道数不应少于 12 通道。采用的通道数应满足不同面波模态采集的要求；

2 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求。对于岩土工程勘察，其通频带低频端不宜高于 0.5Hz，高频端不宜低于 4000Hz；

3 仪器放大器各通道的幅度和相位应一致；各频率点的幅度差在 5% 以内，相位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，保证在最小周期内采样 4 至 8 点；仪器采样时间长度应满足在距震源最远通道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 16 位。

4.1.2 用于多道瞬态面波采集的检波器应符合下列要求：

1 应采用垂直方向的速度型检波器；

2 检波器的自然频率应满足采集最大面波周期(相应于勘察深度)的需要，岩土工程勘察宜用自然频率不大于 4.0Hz 的低频检波器；

3 用作面波勘察，同一排列的检波器之间的自然频率差不应大于 0.1Hz，灵敏度和阻尼系数差别不应大于 10%；

4 检波器按竖直方向安插，应与地面(或被测介质表面)接触紧密。

4.1.3 用于多道瞬态面波采集的检波器排列布置应符合下列要求：

- 1 采用线性等道间距排列方式,震源在检波器排列以外延长线上激发;
 - 2 道间距应小于最小勘探深度所需波长的二分之一;
 - 3 检波器排列长度应大于预期面波最大波长的一半(相应最大探测深度);
 - 4 偏移距的大小,需根据任务要求通过现场试验确定。
- 4.1.4** 用于多道瞬态面波的震源应符合下列要求:
- 1 震源方式可采用大锤激振、落重激振或炸药激振。选择震源需保证面波勘察所需的频率及足够的激振能量;
 - 2 震源方式的选择应根据勘察深度要求和现场环境确定,勘察深度 0~15m,宜选择大锤激振;0~30m 选择落重激振,0~50m 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重量或提高落锤高度的办法加大勘察深度;
 - 3 激振条件的改善:勘察深度小时,震源应激发高频率波;勘察深度大时,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。

4.2 处理软件

- 4.2.1** 处理软件应具有下列功能:
- 1 采集参数的检查与改正、采集文件的组合拼接、成批显示及记录中分辨坏道和处理等基本功能;
 - 2 识别和剔除干扰波功能;
 - 3 分辨识别与利用基阶面波成分的功能;
 - 4 正反演功能,在波速递增及近水平层状地层条件下应能准确反演地层剪切波速度和层厚;
 - 5 分频滤波和检查各分频段面波的发育及信噪比的功能,以利于测深分析;
 - 6 能调入多条频散曲线,以供研究不同测点或同一测点加固改良后地层波速的改变。
- 4.2.2** 对于多测点频散曲线的剖面成图,软件应具有速度映像成

图功能，以便直观分析地层速度结构。在有条件的情况下，软件应具有自动拾取映像速度等值线和图例填充等功能，使面波成果成图电脑化。

4.2.3 对于速度映像处理成图的文件格式，应为通用计算机平台所调用，便于报告编制。

5 现场采集

5.1 现场试验

5.1.1 现场正式工作前,应进行试验工作。在地质地形条件复杂的工区,试验工作应充分,试验工作量宜控制在预计工作量的5%。

5.1.2 试验工作应包括下列主要内容:

1 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:将仪器输入端各道并联后接入信号源,采集与工作记录参数相同的记录并存储,利用软件分析频响与幅度的一致性;

2) 检波器的一致性检查:选择介质均匀的地点,将检波器密集地安插牢固,在大于10m外激振,采集面波记录并存储,利用软件分析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,在测深需要的频率范围内应符合一致性要求。

2 采集试验工作应符合下列要求:

1) 干扰波调查,在工区选择有代表性的地段进行干扰波调查,干扰波调查应通过展开排列采集的方式进行。采集面波在时空域传播的特征,根据基阶面波发育的强势段确定偏移距离、排列长度和采集记录长度,一般展开排列长度应与勘察深度相当;

2) 选用不同频率检波器的原则:可根据勘察深度要求,利用 $f=v_R/\lambda_R$ 和 $H\approx\frac{1}{2}\lambda_R$ 估算选用的检波器频率,式中: f ——检波器的频率; v_R ——地层面波速度; λ_R ——波长; H ——探测地层的深度;

3 根据勘探深度和现场环境条件进行激振方式试验。依据采集记录进行频谱分析，震源的频带宽度应满足勘探深度和分辨薄层的需要，据此确定最佳激振方式。

5.1.3 通过以上3项试验工作，应确定满足勘察目的和精度要求的采集方案、采集参数和激振方式。

5.1.4 在具有钻孔资料的场地宜在钻孔旁布置面波勘察点，取得对比资料。

5.2 测线、测点布设

5.2.1 在地形较平坦的工区，测线布置可根据任务书布置，面波排列宜与测线相重合布置。

5.2.2 在地形起伏较大的工区，面波排列可不与测线重合，宜结合地形等高线取平坦段布置。

5.2.3 在滑坡体、泥石流等勘察项目中，测线布置宜沿主滑方向平行布置，适当布置横向联络线。

5.2.4 在岩溶、土洞或采空区勘察项目中，测线间距应小于被调查对象的尺寸，发现异常，在异常点（带）布置垂直测线，重点勘察项目可采取布置网格线的方案。

5.2.5 构造破碎带勘察，测线布置应与构造走向相垂直；古河床调查，测线应垂直古河床方向。

5.2.6 地基加固效果检验，应在加固前后采取测点、测线位置不变的原则。

5.2.7 面波排列的中点为面波勘探点，面波勘探点间距的布置应根据勘察阶段、场地地质地形条件的复杂性以及勘察目的和精度综合考虑。

5.2.8 面波排列方式应遵循以下要求：

- 1** 面波排列的长度不应小于勘探深度所需波长的二分之一；
- 2** 在场地存在固定噪声源的环境中工作，应使面波排列线的方向指向噪声源，并布置激振点与固定噪声源在面波排列的同侧，干扰震源波不得构成对面波排列线的大角度传播；

3 在地表存在沟坎及在建筑群中进行面波勘察时,面波排列线的布置应考虑规避非震源干扰波的影响。

5.3 正式采集

5.3.1 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探点间距移动排列的方法。根据勘察目的、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:

- 1** 所选用的观测系统,应保证主要目的层的连续追踪;
- 2** 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。

5.3.2 面波的接收应遵循下列原则:

- 1** 仪器应设置在全通状态,对定点仪器应设置各道增益一致;
- 2** 记录长度为“采样点数”和“采样间隔”的乘积,采样点数可选择 1024 点或 2048 点;采样间隔的选择视采集记录的长度要求,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** 排列方向的设计应视地形条件和规避干扰波的需要确定;排列上的道间距应小于最小勘探深度所需波长的二分之一;
- 5** 检波器安置的位置应准确;
- 6** 检波器应与地面(或被检测物表面)安置牢固,并使埋置条件一致;
- 7** 检波器的安置:在地表介质松软时,应挖坑埋置;在地表为稻田或潮湿条件时,应防止漏电。检波器周围的杂草等易引起检波器微动之物应清除;在风力较大条件下工作时,检波器应挖坑埋置;
- 8** 检波器与电缆连接应正确,防止漏电、短路或接触不良等故障。

5.3.3 面波的激发应符合本规程第 4.1.4 条的规定,并符合下列

要求:

1 面波的激发应根据勘察任务要求和工区条件合理选择震源;

2 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;

3 使用炸药震源时:炸药量要通过试验确定;炸药坑深度宜大于 60cm 并压实;炸药记时应采用回线记时和内触发记时。

5.3.4 采集工作结束后,应及时从仪器外传数据做好备份,以防数据丢失,同时做好现场采集班报表记录。

5.3.5 每项工程应进行检查观测。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。

5.3.6 采集记录的文件宜按下列要求存贮:

1 宜按工程名称或工程代号设置存贮文件的子目录;

2 文件名由字符和数字组成,以字符表示线号,以数字表示测点顺序。同测线上的文件名中的数字连续。文件名中的后缀常用“.dat”,表示为原始采集记录。

5.4 采集记录质量评价

5.4.1 采集记录中的削波和通常地震勘查中的坏道,在多道瞬态面波勘察中应视为坏道。

5.4.2 采集记录的长度满足最大源检距基阶波采集的记录,并视为合格记录;否则为不合格记录。

5.4.3 采集记录中基阶波应为强势波,否则为不合格记录。

5.4.4 采集记录中相邻两道为坏道应视为不合格记录。

5.4.5 采集记录中坏道数大于使用道数 10%的记录应为不合格记录。

5.4.6 发现不合格记录,应进行补测。

6 数据资料处理

6.1 资料处理的主要内容

6.1.1 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，面波数据资料的处理与解释。

6.1.2 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。在工区具备电子地图的条件下，可直接将测线（点）绘制在电子地图文件中，并按要求绘制测线（点）平面布置图。

6.1.3 面波数据资料处理应使用软件程序完成。其主要功能应包括：面波数据资料预处理、生成面波频散曲线、频散曲线分层反演剪切波速度及确定层厚，利用面波频散曲线生成速度映像彩色剖面，并在此基础上绘制地质剖面图等。

6.1.4 建立地形高程文件、绘制面波速度映像剖面图和地质解释剖面图。剖面图的比例尺应按勘察任务书的要求绘制。

6.2 数据资料处理

6.2.1 面波数据资料预处理时，通过成批调入与显示采集记录，应检查现场采集参数的输入正确性，对错误的输入应予以改正；检查面波成批记录中面波多振形组份的发育情况，尤其观察基阶波组份和干扰波的发育情况以及检查采集记录的质量，选用利于提取基阶波组份的时间-空间窗口。对合格记录中的坏道，应予以处理。预处理完毕，应进行存盘。存盘时另起文件名，不得覆盖原始记录文件。

6.2.2 面波频散曲线提取应符合下列要求：

1 可用 **DOS** 环境下的软件，也可使用 **Windows** 环境的软件，软件均具有面波频散曲线的提取功能；

2 对基阶面波选用合理的时间-空间窗口，是频散曲线提取的关键；

3 面波频散曲线的提取宜在 f - K 域中进行；

4 在 f - K 域进行的二维滤波应突出基阶面波的能量；

5 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；

6 频散曲线应遵循收敛的原则。在面波频散曲线上若频散点距过大，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；

7 频散曲线提取完毕后，应进行存储。

6.2.3 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剪切波层速度和层厚。

1 剪切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；

2 反演过程宜遵循由浅及深逐层调试，使正、反演结果逼近，完成剪切波层速度和层厚的处理；

3 确认层参数后，存储处理结果。

6.3 面波资料的分析论证

6.3.1 面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。

6.3.2 面波速度映像图的制作可分为以下几个步骤：

1 输入剖面线上超过 3 个测点的面波频散曲线文件；

2 输入测点的剖面坐标和高程；

3 设置合适的比例尺生成面波速度映像图；

4 需进行地形校正时应进行校正，生成地形校正后的面波速度映像图。

6.3.3 面波速度映像图的地质分析应结合面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、同深度映像的速度值与地层的关系，逐层确认划分，生成地层（物质）界线框图，选择地质图例，绘制地质剖面图。

6.3.4 地质剖面的绘制，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。

6.3.5 地基的剪切波波速应按下列公式计算：

$$v_s = \frac{v_R}{\eta_s} \quad (6.3.5-1)$$

$$\eta_s = \frac{0.87 - 1.12\mu}{1 + \mu} \quad (6.3.5-2)$$

式中 v_s ——地基的剪切波波速 (m/s)；

v_R ——地基的面波波速 (m/s)；

η_s ——与泊松比有关的系数；

μ ——地基的动泊松比。

6.3.6 地基的动剪切模量应按下列公式计算：

$$G_d = \rho v_s^2 \quad (6.3.6)$$

式中 G_d ——地基的动剪切模量 (MPa)；

ρ ——地基的质量密度 (kg/m³)；

v_s ——地基的剪切波波速 (m/s)。

6.3.7 地基的动弹性模量应按下列公式计算：

$$E_d = 2(1 + \mu) \rho v_s^2 \quad (6.3.7)$$

式中 E_d ——地基的动弹性模量 (MPa)；

μ ——地基的动泊松比；

ρ ——地基的质量密度 (kg/m³)；

v_s ——地基的剪切波波速 (m/s)。

6.3.8 地基的动泊松比应按下列公式计算：

$$\mu = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad (6.3.8)$$

式中 v_p ——地基的压缩波波速 (m/s);
 v_s ——地基的剪切波波速 (m/s)。

7 成果报告编写

7.1 一般规定

7.1.1 多道瞬态面波勘察报告的原始资料，应在验收合格后使用。

7.1.2 多道瞬态面波勘察报告的文字应叙述准确、完整、真实；图表清晰；结论与建议明确、合理。

7.2 成果报告的基本要求

7.2.1 多道瞬态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，并应包括下列内容：

1 勘察目的、任务要求、所依据的规程规范以及勘察时间和完成的工作量；

2 拟建工程的概况；

3 开展面波勘察有关的场地地形、地质和地球物理条件；

4 场地振动干扰背景及分析；

5 方法技术和工作布置(内容包括方法技术原理、仪器性能、观测系统及采集参数选择；激振与接收方式；测线布置及工作质量保证措施等)；

6 资料的整理、分析与解释；

7 结论与建议(阐明面波勘察工作的主要技术成果、结论与建议)。

7.2.2 成果报告应附下列图件：

1 勘察综合平面图；

2 仪器设备一致性检查的原始资料；

3 干扰波实测记录和面波点采集记录图；

4 面波点频散曲线图；

5 面波频散曲线速度分层图，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 面波测试成果图表等。

7.2.3 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”。

表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。