

ICS

CCS

团 体 标 准

T/CSPTC \*\*-\*\*\*\*

频率域地震波法探测规程

（20210830）

XXXX - XX - XX 发布 XXXX - XX - XX 实施

 中国科技产业化促进会 发 布

目 次

[前 言 I](#_Toc80987059)

[引 言 II](#_Toc80987060)

[1 总则 1](#_Toc80987061)

[2 术语和符号 1](#_Toc80987062)

[2.1 术语 1](#_Toc80987063)

[2.2 符号 3](#_Toc80987064)

[3 基本规定 3](#_Toc80987065)

[3.1 一般规定 3](#_Toc80987068)

[3.2 仪器设备 6](#_Toc80987069)

[3.3 现场采集 7](#_Toc80987070)

[3.4 资料处理与解释 8](#_Toc80987071)

[3.5 报告编写 8](#_Toc80987072)

[3.6 资料校审与归档 9](#_Toc80987073)

[4 稳态面波法 9](#_Toc80987074)

[4.1 一般规定 9](#_Toc80987078)

[4.2 仪器设备 9](#_Toc80987079)

[4.3 现场采集 10](#_Toc80987080)

[4.4 资料处理与解释 11](#_Toc80987081)

[4.5 报告编写 13](#_Toc80987082)

[5 瞬态面波法 14](#_Toc80987083)

[5.1 一般规定 14](#_Toc80987088)

[5.2 仪器设备 14](#_Toc80987089)

[5.3 现场采集 15](#_Toc80987090)

[5.4 资料处理与解释 17](#_Toc80987091)

[5.5 报告编写 18](#_Toc80987092)

[6 微动勘探法 18](#_Toc80987093)

[6.1 一般规定 18](#_Toc80987094)

[6.2 仪器设备 19](#_Toc80987095)

[6.3 现场采集 19](#_Toc80987096)

[6.4 资料处理与解释 22](#_Toc80987097)

[6.5 报告编写 23](#_Toc80987098)

[7 地脉动测试 23](#_Toc80987099)

[7.1 一般规定 23](#_Toc80987100)

[7.2 仪器设备 24](#_Toc80987101)

[7.3 现场采集 25](#_Toc80987102)

[7.4 资料处理与解释 26](#_Toc80987103)

[7.5 报告编写 26](#_Toc80987104)

[**本规程用词说明** 28](#_Toc80987105)

[**条文说明** 29](#_Toc80987106)

前 言

本规程按照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。

本规程由中铁第四勘察设计院集团有限公司提出。

本规程由中国科技产业化促进会归口管理。

本规程起草单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司、湖北中冶建设工程检测有限公司、湖北省地质局地球物理勘探大队、武汉地震工程研究院、中国地质大学（武汉）、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、长江地球物理探测（武汉）有限公司、中水珠江规划勘测设计有限公司、河北中核岩土工程有限责任公司、国科（重庆）仪器有限公司。

本规程主要起草人员:

本规程主要审查人员：

引 言

随着国家地下空间开发战略的实施以及城市轨道交通工程建设在大、中城市的全面铺开，适用于城市复杂环境的物理探测技术应用越来越广泛。频率域地震波法具有很强的场地适应性和一定的抗干扰能力，可在房屋密集、交通繁忙、地面硬化、强人文干扰条件下实施探测和场地评价，目前已发展成为城市环境最有效的地球物理方法之一。为提高频率域地震波法水平，统一工作方法与技术要求，确保勘探工作准确可靠、技术先进、应用合理，结合地质特点，特制定本规程。

本规程在充分研究国内有关频率域地震波法技术标准和较为成熟的方法技术基础上，经过专题研究，认真总结实践经验和科研成果后编写而成，并以调研的形式充分征求了国内有关单位和专家的意见，经反复修改完善，最后经审查定稿。

频率域地震波法探测规程

1. 总则
	* 1. 为规范频率域地震波法探测技术应用范围、应用条件、技术设计、仪器设备、处理软件、野外工作、资料处理解译和报告编写的实施，做到技术先进、安全使用、经济合适、确保质量，制定本规程。
		2. 本规程适用频率域地震波法进行地质勘探、场地评价。
		3. 工作中除符合本规程外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。
2. 术语和符号
	1. 术语
		1. 频率域地震波法 frequency domain seismic wave method

依据地震信号的频率域特征实现地层结构探测和场地评价的方法。依据频率域特征和作业方式不同，主要的频率域地震波法有稳态面波法、瞬态面波法、微动法和地脉动测试。

* + 1. 面波 surface wave

存在于界面附近，振幅随着离开界面深度的增加而按指数减弱的地震波，包括瑞雷波、拉夫波、水力波、斯通利尔波等。

* + 1. 瑞雷面波 rayleigh surface wave

沿介质与空气接触的分界面（即地表面或自由平面）传播的面波，称为表面波，简称瑞雷波。

* + 1. 拉夫面波 love surface wave

沿两种弹性介质间的界面传播的面波，称为拉夫面波，简称拉夫波。

* + 1. 微动 microtremor

指地球表面存在的微弱振动，其震源包括但不限于潮汐、海浪拍击海岸，以及人类生产、生活（如工厂机器的振动、交通车辆行驶等）产生的振动，也被称为地震噪音、地脉动等。

* + 1. 面波法 surface wave method

采集由人工震源激发产生的弹性波，通过分析所接收记录的面波频散特征实现地下介质勘探的方法。

* + 1. 稳态面波法 static surface wave method

通过发射和接收固定频率信号方式采集面波记录的面波法称为稳态面波法,本规程所述稳态面波法指稳态瑞雷面波法。

* + 1. 瞬态面波法 transient surface wave method

通过人工激发瞬态脉冲震源采集面波记录的面波法称为瞬态面波法,本规程所述瞬态面波指瞬态瑞雷面波法。

* + 1. 微动勘探法 microtremor exploration

采集天然的微动信号，通过分析、处理和提取微动信号的特征曲线，经反演获得地下横波速度的变化规律，探查地质结构的方法。按特征曲线的不同，微动勘探法分为微动台阵法和微动谱比法。

* + 1. 微动台阵法 microtremor Array method

采用专门仪器设备获取天然垂直向下的微动信号，从微动信号中分析、处理和提取面波频散曲线，经反演获得地下面波速度的变化规律，进而探查地质结构的方法。

* + 1. 微动谱比法 microtremor spectrum ratio method

采用专门仪器设备观测三分量天然微动信号，通过处理、提取和分析单点三分量微动数据中水平分量和垂直分量的谱比信息，经反演获得地下面波速度的变化规律，进而探查地质结构的方法。微动谱比法也被称为单点谱比法、H/V谱比法、单点H/V法、HVSR法等，广义微动谱比法是结合了瞬态面波法、微动台阵法（被动源面波）的微动谱比法，也称为多源频率地震勘探技术。

* + 1. 地脉动测试 microseism test

通过地脉动测量和分析，可以从中获取由气象、海洋、地壳构造活动等自然因素及交通、人类活动等人为因素引起的地球表面固有的微弱振动信息的测试技术。

* + 1. 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。

* + 1. 面波速度 surface wave velocity

面波在介质中传播的平均相速度。

* + 1. 台阵 array

检波器拾取微动的排列组合方式。

* + 1. 观测台阵 observation Array

拾取微动信号的检波器测量系统。

* + 1. 最大观测半径 radius of survey

检波器与测点之间的最大距离。

* + 1. 频散谱 dispersive spectrum

微动数据进行空间自相关法计算，获得的不同频率对应的速度色谱图像。

* + 1. 特征曲线 characteristic curve

微动信号中能反映地下地层特征的曲线，主要有频散曲线和谱比曲线两种。

* + 1. 面波频散曲线 dispersion curve

面波的频率与波速间关系的曲线。

* + 1. 谱比曲线 spectrum ratio curve

三分量微动信号中水平分量和垂直分量的振幅谱比值与频率的关系曲线。

* 1. 符号
		1. 频率域地震波法的常用观测参数符号和计量单位有：

D，探测深度，m, km (米，千米)

R，观测半径，m (米)

* + 1. 频率域地震波法的常用信号特征符号和计量单位有：

f ，频率， Hz(赫［兹］)

T，周期， s(秒)

λ，波长， m (米)

ψ，相位， °(度) 或 mrad(毫弧度)

k，波数，m-1

* + 1. 频率域地震波法的常用地层属性符号和计量单位有：

Vr，面波相速度，m/s (米/秒)

Vx，视S波速度，m/s (米/秒)

Vs，横波速度，m/s (米/秒)

ρ，密度，g/cm³(克/厘米³)

1. 基本规定
2.
3. 1. 一般规定
		1. 频率域地震波法的适用范围有：

1 探查覆盖层厚度，划分地层层序，划分基岩风化带；

2 探测断层、破碎带、岩溶洞穴、地下管道（廊）及地下建（构）筑物等不均匀体；

3 评价路基基床质量和地基整治加固效果，条件适宜时可用于求取地层的横波速度等；

4 探测其他有波阻抗差异的目标体；

5 建筑场地评价。

* + 1. 频率域地震波法的使用应符合下列条件：

1 目标体与周围岩土体应存在明显波阻抗差异。

2 目标体应有足够的尺度能在地表引起可分辨的异常。

3 地形地貌和场地条件应满足测点布设要求，且地形变化产生的异常畸变，不显著改变探测对象的异常形态或可以进行校正。

4 存在振动干扰时，探测对象的异常应能够从干扰背景中区分出来。

5 观测数据质量应满足本规程的要求。

* + 1. 频率域地震波法测网布置应符合下列规定：

1 测网应根据探测目的布置，实际测线位置可根据地质任务、工作性质、勘查对象和地形地貌合理选择；

2 测网密度应能良好反映目标地质体的尺度，应保证异常的连续、完整和便于追踪；

3 测线方向宜垂直或大角度相交于探测对象或已知异常的走向，避开地形及其它干扰的影响；

4 测线长度应保证异常的完整和足够的正常背景；

5 工区内或附近有已知钻孔，测线尽可能穿过钻孔或测线附近进行试验。

* + 1. 频率域地震波法测量应符合下列规定：

1 测线的控制基点、起讫点、转折点、测线上每相距100m的测点、地形突变点、非均匀分布的物探测点、重要的物探异常点及建议验证的点位，应进行坐标测量；

2 测网的控制基点应与已知的测量基点联测，高程和点位的误差应符合Ⅱ级导线测量要求，采用全球导航卫星系统（GNSS）测量，应符合D级测量要求；

* + 1. 采用频率域地震波法进行勘察前，应收集相关资料，包括下列内容：

1 勘察任务书；

2 场地线位或场地构筑物的平面图文件；

3 已有工程勘察资料；

* + 1. 采用频率域地震波法进行勘察前，应制定勘察方案，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 勘察场地的地形地质及地球物理条件；

3 勘察方法原理；

4 采用的仪器设备；

5 采用的数据处理方法；

6 资料解释原则和方法；

7 工作计划安排，包括人员安排及测线布置；

8 安全、质量保证及环境保护措施；

* 1. 仪器设备
		1. 频率域地震波法仪器应符合下列规定：

1 必须满足性能稳定、结构合理、构件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性良好等要求，仪器应定期检查、标定和保养。

2 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；

3 模/数转换的数据位不低于24位；

4 动态范围不宜低于120dB，输入阻抗不小于3kΩ；

5 有可调、范围较大的采样率，最小采样间隔不大于1ms；

6 通道具有良好的一致性，各道振幅相对误差不应大于±10%，相位相对误差不应大于±5%；

7 有良好的可调带通性能及较宽的频率响应；

8 主机面板各端口采用标准接插口。

* + 1. 频率域地震波法的电缆、检波器应符合以下条件：

1 电缆不得有破损、断道、串道、短路现象，绝缘电阻应大于1MΩ；

2 应根据探测目标选用合适主频的高灵敏度检波器，检波器自然频率不宜大于4.5Hz；

3 检波器振幅相对误差不应大于±10%；

4检波器相位相对误差不应大于±15%。

5 检波器应具有能与地面良好耦和的部件；

6 在地形起伏较大或障碍物较多的地区，宜采用无缆检波器。

* + 1. 频率域地震波法的检波器安置应符合以下条件：

1 应按类型规定方向布置检波器，且与探测面完全耦合；

2 应按设计位置安置检波器，安置困难时可移动，应同时记录实际偏移量；

3 测点周围的杂草等易引起检波器震动之物应清除，在风力较大的条件下工作，检波器应挖坑埋设；

4 检波器安置点位于虚土、干沙、砂石层等松软面时，应压实后布置或挖坑埋设。

* 1. 现场采集
		1. 频率域地震波法工作参数选择与数据采集应符合下列规定：

1 工作参数应通过外业试验的方式验证和确认，宜按以下原则实施；

1）技术试验剖面应选择在地质情况比较清楚、有代表性的地段；

2）试验点应选择在地形平坦、地质条件相对简单的区域，在条件许可时宜在已知地质剖面上的钻孔旁进行；

3）通过实测测区地震信号，分析场地规则震动干扰情况；计算提取频散谱、特征曲线，分析场地频率特征，判断可达到的效果。

2 采用频率域地震波法实施地质勘探时，应符合以下规定：

1）应根据具体地质任务的要求，结合方法有效性试验的成果，详细分析与评价测区内的有效勘探深度、最小和最大分辨率，判定方法的有效性；

2）宜根据探测目标，在有效性分析的基础上，通过技术试验确定数据采集参数；

3）数据采集参数应满足勘探要求，需充分考虑现场实际作业条件和各种干扰因素；

3 数据采集工作前，应进行仪器检查和一致性测试；

4 数据采集工作后，应及时进行数据存储备份，并对数据进行复核。

* + 1. 频率域地震波法原始数据质量应符合下列规定：

1 地震波形数据出现削波现象应视为坏道；

2 多道数据中坏道超过10%应视为不合格记录；

3 原始记录出现强烈背景干扰振动时应视为不合格记录；

4 不合格记录，应进行补测。

* + 1. 频率域地震波法外业工作质量的检查应符合下列规定：

1 质量检查工作量不少于工点工作总量的5%；

2 检查记录相较于原始记录应无明显变化及异常；

3 观测精度不符合5%的规定时，检查工作量应增加到工作总量的20%，仍不符合规定时应重新观测；

4 检查点在测区均匀分布，异常与可疑地段应重点检查；

5 检查观测与原始观测应在不同的时间进行；

6 质量检查资料与最终资料一起提交审核。

* 1. 资料处理与解释
		1. 在分析各项物性参数的基础上，按从已知到未知、先易后难、点面结合、反复认识、定性指导定量的原则进行。
		2. 各方法解释应相互补充、相互印证，解释结果不一致时应分析原因，并说明推断的前提条件。
		3. 探测结论应明确描述目标体的形态、产状、延伸等要素特征。
		4. 充分利用其它方法的成果，有验证钻孔时，应分析钻孔资料验证的规律，对解释结果进行修正。
	2. 报告编写
		1. 报告编写应根据任务书、设计书、设计批复意见及有关标准和要求进行。
		2. 报告编写应在系统收集、分析、整理工作区所需地质、水文等有关资料的基础上编写。
		3. 报告应详细、完整反映探测过程,数据真实、内容完整、结构严谨、结论准确;报告附图、附件目的明确、配置合理、美观整洁。
		4. 成果报告宜包括：任务来源和要求，地形、地质和物性特征，物探方法的选择及采取的技术措施，测网布置和数据采集、外业数据的质量评价，资料处理与解释，结论建议和成果图件图表。
		5. 成果图件图表宜包括：工作平面图、成果平面图、各种定性分析和定量解释图件、平/纵断面成果图及数据表、观测质量检查数据与评定表。
		6. 成果图件的比例应符合工程需要；
		7. 成果平面图与工作平面图可合并绘制，内容宜包括地形、主要地物、物探测网、异常分布位置、推断地质界线和建议验证钻孔等内容。
	3. 资料校审与归档
		1. 报告编写后，应结合工程需要对报告成果进行复核和审查，并出具审查意见。
		2. 报告校审后，应根据意见对其进行修改，将正式的成果报告和资料应存档。
1. 稳态面波法
2.
3.
4. 1. 一般规定
		1. 稳态面波法可探查覆盖层厚度、松散地层沉积层序、基岩风化带；探测洞穴、采空区、沉陷带、大口径管道或箱涵等不良地质体和构筑物；评价路基基床质量和地基整治加固效果；条件适宜时可用于求取地层的横波速度等。
		2. 稳态面波法的应用除应符合本规程第3.1.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 探测地层应能在震源的激励下产生瑞雷波；

2 宜在平坦地形条件下开展工作；

3 观测时应避免机械、车辆、钻机等周边的强震干扰。

* 1. 仪器设备
		1. 稳态面波采集仪器设备的技术指标应符合本规程第3.2.1条的规定外，还应符合下列规定：

1 仪器放大器的通频带应能满足震源激发频率范围的要求，其通频带低频端不宜高于0.5Hz；

2 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；

3 仪器采样时间间隔应能满足不同周期面波的时间分辨率；仪器采样时间长度应能满足在最大源检距采集最大周期面波的需要；

4 仪器应具有频率与幅值一致性的自检功能。

* + 1. 稳态面波法检波器的技术指标应符合本规程第3.2.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 应采用竖直方向或含垂直分量的速度型检波器；

2 检波器的通频带范围应能够满足接收激振器激发的所有频率；

3 同一排列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不应大于5%。

4 作业的各检波器应具有相同的频响特性，在满足自然频率不高于4.5Hz的前提下，具体检波器自然频率$f\_{0}$应按下式估算：

$f\_{0}\leq β\_{t}∙{V\_{R}}/{H}$ （4.2.2）

式中：$f\_{0}$——检波器自然频率，单位Hz；

$H$——需要探测的最大深度，单位m；

$V\_{R}$——探测深度范围内预计平均瑞雷波相速度的最小值，单位m/s；

$β\_{t}$——波长深度转换系数，无量纲参数。

* + 1. 稳态面波震源应符合下列规定：

1 稳态面波应采用变频可控震源单端或两端激发，震源可采用机械式激振器和电磁式激振器，应根据勘察任务要求和场地条件合理选择震源；

2 震源激振器的激发频率范围应满足勘探深度的要求；

3 震源激振器的激发频率稳定，频率步长可控，应满足采集勘探精度的需要。

* 1. 现场采集
		1. 稳态面波法的测线布置应符合本规程第3.1.3条的规定外，还应符合下列规定：

1 测点附近的地形相对平坦，无临空面；

2 测点间距应根据任务要求和场地条件确定；

3 偏移距应根据探测深度的要求试验确定。

* + 1. 稳态面波现场正式工作前，应进行现场试验，试验工作应符合下列规定：

1 现场试验主要内容应包括仪器各道和检波器的频率与幅值一致性检查和采集试验工作；

2 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和采集参数，包括偏移距、道间距、排列长度、记录长度、激发频率步长等；

* + 1. 稳态面波法工作参数选择与数据采集应符合本规程第3.3.1条的规定外，还应符合下列规定：

1 观测方式可为点测量和剖面测量，宜采用纵观测系统的剖面测量, 即激振点和接收检波器在一条直线上，采用线性等道间距排列方式；

2 应采用可控变频震源单端或两端激发；

3 道间距应小于最小探测深度（最大激发频率）所需波长的二分之一，宜为1～5米，可与选择激发频率范围中部频率信号的波长相当；

4 偏移距的大小应满足勘探深度的要求；

5 信号采样率宜选择高于最高激发频率2倍；

6 记录长度宜不小于最低激发频率的2倍周期。

* + 1. 稳态瑞雷波法原始数据质量应符合本规程第3.3.2条的规定外，原始数据还应能提取稳定频率相速度值，否则应视为不合格记录。
		2. 稳态瑞雷波法外业工作质量的检查除应符合本规程第3.3.3条的规定外，还应符合下列规定：

1 曲线的形态和频散特征无明显改变；

2 “之”字形拐点和曲率变化的位置无明显位移；

3 重要异常及畸变曲线应重复观测，两次观测结果差别较大时应多次观测，并选择面波能量强、干扰小、重复性好的曲线作为有效观测结果。

* 1. 资料处理与解释
		1. 稳态面波法的资料整理应符合下列规定：

1 外业结束后应对现场资料进行整理，包括纸质记录和数据记录；

2 纸质记录包括试验记录、仪器自检记录、测量记录和检查记录等，纸质记录整理完毕后应归档；

3 数据记录包括稳态面波采集记录和测点的高程记录，应符合下列规定：

1）面波原始记录应按任务范围、测线编号进行分类存储，不得修改和删除；

2）测点的高程记录应形成标高文件；

3）数据记录整理完毕后应归档。

* + 1. 稳态面波法的数据处理应符合下列规定：

1 当存在多次观测记录时，应选择面波能量强、干扰小、频散曲线重复性好的记录进行资料处理；

2 频散曲线宜结合相邻测点综合对比分析。

3 应在反演前剔除频散曲线上的畸变点和干扰点，单条频散曲线的剔除点数不应大于频点总数的1/3。

5 可采用经验公式或反演获取地层横波速度分布，并绘制成果图。

6 频散曲线的反演计算应符合下列规定：

1）横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；

2）宜结合钻探资料、频散曲线曲率变化特征构建初始模型，计算地层横波速度和层厚；

7 成果图应符合下列规定：

1）频散曲线上不合理的数据点应剔除；

2）宜根据地形文件进行地形校正；

3）成果剖面应标注距离比例尺和波速比例尺；

4）频散曲线图宜采用频率-横波速度显示。

* + 1. 稳态面波法成果的分析解释除应符合本规程第3.4条的规定外，还应符合下列规定：

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，反演结果应视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，反演结果应视为排列中点位置至地层界面法向深度的波速分布。

2 地质解释应结合既有资料、频散曲线特征、横波速度剖面进行综合对比分析；

3 速度剖面图的分析应从整体上分析正常与异常的速度值，然后从局部上分析异常特征，综合分析异常所反映目的体（断层、岩层接触带、岩溶等）的性质。

4 应对推断的前提条件和结论进行说明；

5 基于获得的横波速度可计算地层动剪切模量、动弹性模量和泊松比：

1）地层的动剪切模量应按下式计算：



式中：—动剪切模量（Pa）；—地层的剪切波波速（m/s）；—质量密度（kg/m3）。

2）地层的动弹性模量应按下式计算：

$$E\_{d}=2\left(1+μ\_{d}\right)ρv\_{s}^{2}$$

式中：—动弹性模量（Pa）。

3）地层的泊松比应按下式计算：



式中：—地层的压缩波波速（m/s）。

6 利用横波速度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速。

* 1. 报告编写
		1. 稳态面波勘察报告除应符合本规程第3.5条的规定外，还应符合下列规定：

1 应包含稳态面波的方法原理、仪器设备、激震与接收方式及工作布置等；

2 应包含资料的解释分析；

3 应包含结论与建议。

1. 瞬态面波法
2.
3.
4.
5. 1. 一般规定
		1. 瞬态面波法可探查覆盖层厚度、松散地层沉积层序、基岩风化带；探测洞穴、采空区、沉陷带、大口径管道或箱涵等不良地质体和构筑物；评价路基基床质量和地基整治加固效果；条件适宜时可用于求取地层的横波速度等。
		2. 瞬态面波法的应用除应符合本规程第3.1.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 探测地层应能在震源的激励下产生瑞雷波；

2 宜在平坦地形条件下开展工作；

3 观测时应避免机械、车辆、钻机等周边的强震干扰。

* 1. 仪器设备
		1. 瞬态面波法采集仪器设备的技术指标除应符合本规程第3.2.1条的规定外，还应符合下列规定：

1 仪器的通频带应能满足震源激发频率范围的要求，其通频带低频端不宜高于0.5Hz；

2 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；

3 仪器采样时间间隔应能满足不同周期面波的时间分辨率；仪器采样时间长度应能满足在最大源检距采集最大周期面波的需要；

4 仪器应具有频率与幅值一致性的自检功能，宜具有现场处理、分析和解释的功能；

5 仪器放大器的通道数不应少于12通道。

* + 1. 瞬态面波法检波器的技术指标除应符合本规程第3.2.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 各检波器应具有相同的频响特性；

2 应采用竖直方向或含垂直分量的速度型检波器；

3 检波器的通频带范围应能够满足接收到激振器激发的有效频率；

4 同一排列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不应大于5%。

5 作业的各检波器应符合本规程第4.2.2条第4款的规定。

* + 1. 瞬态面波法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；

4 单斜地层宜在地层下倾方向激振；

* + 1. 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，目标体上有足够的频散点，满足勘探要求；

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。

* 1. 现场采集
		1. 瞬态面波法的测线布置除应符合本规程第3.1.3条的规定外，还应符合下列规定：

1 测点附近的地形相对平坦，无临空面；

2 测点间距应根据任务要求和场地条件确定，一条测线不得少于3个测点；

3 偏移距应根据探测深度的要求试验确定；

4 观测参数应通过试验确定，地质情况变化时应及时调整。

* + 1. 瞬态面波现场正式工作前，应进行现场试验，试验工作应符合下列规定：

1 现场试验主要内容应包括仪器各道和检波器的频率与幅值一致性检查和采集试验工作，仪器设备系统的频响与幅值的一致性检查，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4.2节的要求。

2 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和采集参数，包括偏移距、道间距、排列长度、记录长度等；

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。

* + 1. 瞬态面波法工作参数选择与数据采集除应符合本规程第3.3.1条的规定外，还应符合下列规定：

1 宜采用纵观测系统的剖面测量, 即激振点和接收检波器在一条直线上，采用线性等道间距排列方式，个别检波器需要移动安置时宜在垂直排列的方向上移动，允许移动距离为道间距的1/5；

2 宜采用瞬态震源单端或两端激发；

3 道间距应小于最小探测深度（最大激发频率）所需波长的二分之一，宜为1～5米，可与选择激发频率范围中部频率信号的波长相当；检波道数不宜小于12道，排列长度应大于预期面波最大波长的一半，三参数综合考虑后确定；

4 偏移距的大小应满足勘探深度的要求；

5 信号采样率宜选择高于最高有效频率的2倍；

6 记录长度宜不小于最低有效频率的2倍周期。

7 多次覆盖观测宜采用单边激发多次覆盖连续观测系统，覆盖次数不小于3次；

8 应按设计的位置等间隔安置检波器，个别检波器需要移动安置时宜在垂直排列的方向上移动，允许移动距离为道间距的1/5；

9 排列的中点应为面波勘探记录点。

* + 1. 瞬态瑞雷波法原始数据质量除应符合本规程第3.3.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 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；

2 记录中的基阶面波应为强势波，否则应视为不合格记录。

* + 1. 瞬态瑞雷波法外业工作质量的检查除应符合本规程第3.3.3条的规定外，还应符合下列规定：

1 曲线的形态和频散特征无明显改变；

2 “之”字形拐点和曲率变化的位置无明显位移；

3 重要异常及畸变曲线应重复观测，两次观测结果差别较大时应多次观测，并选择面波能量强、干扰小、重复性好的曲线作为有效观测结果。

* 1. 资料处理与解释
		1. 瞬态面波法的资料整理应符合下列规定：

1 外业结束后应对现场资料进行整理，包括纸质记录和数据记录。

2 纸质记录包括试验记录、仪器自检记录、测量记录和检查记录等，纸质记录整理完毕后应归档。

3 数据记录包括面波原始记录和测量记录，整理应符合下列规定：

1）现场采集面波记录应根据工区、测线分类存储备份；

2）测量记录包括测点的坐标和高程，整理复核后应与面波原始记录统一保存；

3）数据记录整理完毕后应归档；

4）留作存档的数据记录不得修改和删除。

* + 1. 瞬态面波法的数据处理应符合本规程第4.4.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 根据面波数据采集方式的不同，频散谱分析法可采用面波谱分析法（SASW）、波场变换法（FK、FV、FP）以及共中心点互相关法(CMPCC)；

2 频散曲线提取应符合下列规定：

1）相位差面波数据应采用面波谱分析法提取频散曲线；

2）多道面波（MASW）数据宜采用波场变换法在FK域、FV域、FP域提取频散曲线；

3）在水平层状条件下，可采用共中心点互相关法(CMPCC)提取频散曲线；

4）二维滤波应突出基阶面波能量。

* + 1. 瞬态面波法成果的分析解释应符合本规程第5.4.3条的规定。
	1. 报告编写
		1. 瞬态面波勘察报告除应符合本规程第3.5条的规定外，还应符合下列规定：

1 应包含瞬态面波的方法原理、仪器设备、激震与接收方式及工作布置等；

2 应包含资料的解释分析；

3 应包含结论与建议。

1. 微动勘探法
	1. 一般规定
		1. 微动勘探法可用于探查覆盖层厚度，划分地层层序，划分基岩风化带，探测断层、破碎带、岩溶洞穴、地下管道（廊）及地下建（构）筑物等不均匀体，评价路基基床质量和地基整治加固效果等。
		2. 微动勘探法包含微动台阵法和微动谱比法，应用中除应符合本规程第3.1.2条的规定外，探测地层中应存在随机来源的微动信号，且探测目标具有一定规模。若场地条件允许，微动谱比法可结合微动台阵法、瞬态瑞雷面波法开展多源频率地震勘探。
	2. 仪器设备
		1. 应选用专业微动探测设备除应符合本规程第3.2.1条的规定外，仪器设备应满足如下要求：

1 数据采集宜采用分布式设备，应具备多台授时同步功能，时间漂移应小于1ms/10h，记录时长应≥15min；

2 通频带宜为0.5Hz～1000Hz；

3 应具备低功耗性能，续航宜不小于24小时；

4 宜具有实时数据监控功能；

5 数据采集宜支持无线通讯方式和盲采方式。

* + 1. 微动勘探法检波器的技术指标应符合本规程第3.2.2条的规定外，微动台阵法应使用垂直分量低频检波器，微动谱比法应使用相互正交的三分量低频检波器，且应具有水平调节功能；
	1. 现场采集
		1. 微动勘探法测线的布置除应符合本规程第3.1.3条的规定外，还应符合下列规定：

1 测点附近的地形相对平坦，无临空面；

2 微动台阵法应根据探测深度确定观测半径，探测深度小于或等于100m时，观测半径不宜小于探测深度的1/10；探测深度大于100m时，观测半径宜为探测深度的1/3～1/5；应测量各观测点的位置；

3 微动谱比法数据采集时可采用单点模式和多点联合采集模式，采用多点模式时，宜不小于12道。

4 观测参数应通过试验确定，地质情况变化时应及时调整。

* + 1. 微动台阵法工作参数选择与数据采集除应符合本规程第6.3.1条的规定外，还应符合下列规定：

1 台阵装置应进行有效性试验，宜采用二维台阵观测型式，有效性试验适宜时可直线型观测方式。

2 同一台阵数据采集装置范围内，地形起伏最大高程差宜小于观测半径的1/5；

3 装置内最小道间距应小于有效最小探测深度所需波长的二分之一；

4 信号采样率宜选择高于最高有效频率2倍，记录长度宜不小于15min；

5 采用分布式采集时，应先进行装置时间同步。

* + 1. 微动谱比法工作参数选择与数据采集应符合本规程第6.3.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 检波器应为相互垂直的三分量检波器，水平埋设，水平角应小于2°，同一装置内的不同检波器水平方位保持方向一致；

2 多测点联合采集时，应保持各检波器方向一致，可统一沿某一方向安置；

3 宜实时监测微动原始波形和谱比曲线；

4 记录时长应≥10min。

* + 1. 微动勘探法外业工作质量的检查除应符合本规程第3.3.3条的规定外，检查观测和原始观测主要对比测点的波形（幅值、相位）、频散谱、频散曲线和谱比曲线特性，两次观测采用相同参数得出的频点的面波速度的允许均方相对误差为±10%，并满足以下规定：

1 两次观测采用相同参数得出的频点的面波速度的允许均方相对误差为±10%；

2 采用微动台阵法时，应采用当前测点的频散曲线均方根误差进行质量评价。设检查观测并参与统计的频点数为N，mi为第i个频点的面波速度值（Vx）相对误差，均方根误差按下列公式计算：

 M=$\pm \sqrt{\frac{1}{n}\sum\_{i=1}^{n}m\_{i}^{2}}$.................................................. (6.3.4-1）

3 采用微动谱比法时，应采用当前测点的谱比值均方根误差进行质量评价。设时窗个数为N，$x\_{i}(f）$为第i个时窗的频率$f$时的谱比值，$μ$为所有时窗频率$f$时的谱比平均值，$f\_{0}$为中心频率, 均方根误差按下列公式计算：

 $M\left(f\right)=\pm \sqrt{\frac{1}{n}\sum\_{i=1}^{N}\left[x\_{i}\left(f\right)-μ\right]^{2}}$.............................. (6.3.4-2）

* 1. 资料处理与解释
		1. 微动勘探法资料整理应符合下列规定：

1 及时按工区、测线、测点整理外业观测班报。

2 根据观测装置将各采集站同一时间采集的数据提取出来。

3 若为线性装置滚动采集模式，则根据需要提取小排列数据。

* + 1. 微动勘探法数据处理应符合下列规定：

1 应剔除原始微动数据中的强干扰信号，剔除干扰后的有效信号时长应不小于总时长的1/2，否则该点不参与数据处理。

2 将提出干扰信号的平稳噪声信号根据窗口长度进行分窗。

3 微动台阵法宜采用SPAC法或F-K法提取面波相速度频散曲线；微动谱比法宜采用水平分量功率谱比垂直分量功率谱得到谱比曲线。

4 应在反演前剔除频散曲线上的畸变点和干扰点，单条频散曲线的剔除点数不应大于频点总数的1/3。

5 频散曲线建模、反演和成图按4.4.2条第5、6、7款执行。

6 存在两种特征曲线时，可建立两种特征曲线的联合目标函数进行曲线反演获得地层横波速度结构，也可针对两种特征曲线分步反演获得地层横波速度结构；

* + 1. 微动勘探法成果的分析解释除应符合本规程第4.4.3条的规定外，还应符合下列规定：

1 地质解释应结合既有资料、频散曲线特征、谱比曲线特征、横波速度剖面进行综合对比分析；

2 微动谱比法在获得反演结果后，无钻孔资料参考情况下，可根据经验公式获得谱比曲线峰值频率对应深度的反演横波速度，以此速度作为土石界面的解释标准。

* 1. 报告编写
		1. 微动勘探法报告除应符合本规程第3.5条的规定外，还应符合下列规定：

1 应包含微动勘探法的方法原理、仪器设备与接收方式及工作布置等；

2 应包含资料的解释分析；

3 应包含结论与建议。

1. 地脉动测试
	1. 一般规定
		1. 地脉动测试可用于建筑场地评价，为建筑物抗震和隔震设计提供场地的卓越周期和地脉动幅值，确定场地土类别。
		2. 测点宜选择在天然地基土上，传感器应按东西、南北、竖向三个方向布设。特殊情况下也可在井中进行，测点深度应根据工程需要进行布置。
		3. 地脉动测试的卓越周期计算应符合下列规定：

1 卓越频率的确定应按频谱图中最大峰值所对应的频率确定。

2 当频谱图中出现多峰且各峰的峰值相差不大时，可在频谱分析的同时进行相关或互相关谱分析，以便对卓越频率进行综合评价。

3 卓越周期应根据卓越频率确定，并按下列公式计算：



式中：场地卓越周期（s）

场地卓越频率（Hz）

* + 1. 地脉动测试的地脉动幅值应符合下列规定：

1 地脉动测试记录的物理量可根据场地土的动力特性和观测仪器的灵敏度，采用位移、速度或加速度。对基岩或坚硬土，宜采用速度或加速度；对软弱土宜采用位移或速度。

2 振幅取值时，应排除人为干扰信号的影响，并注明观测期间的环境条件。

3 振幅值应按下列公式确定：



式中：东西、南北两个水平方向振幅值

竖向方向振幅值

4 振幅值的量取宜用峰值，当记录长度足够长时，可简单地采用最大振幅值。

* 1. 仪器设备
		1. 地脉动测试采集仪器设备的技术指标除应符合本规程第3.2.1条的规定外，还应符合下列规定：

1 放大器应采用具有低通滤波功能的多通道放大器，其各通道幅值一致性偏差应小于3%，各通道相位一致性偏差应小于0.1ms，折合输入端的噪声水平不高于1μV，电压增益不小于80dB。

2 放大器宜具备多通道，且一致性良好，可同时测量孔中和地面不同方位的振动；

3 孔中拾振器下孔电缆线应防水、绝缘，提升线应有足够抗拉强度且质地柔软，有条件时可用导线与钢丝绳合股提升电缆。

* + 1. 地脉动测试检波器的技术指标应符合本规程第3.2.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 通频带在1Hz-40Hz之间，信噪比不低于80dB；

2 具有良好的低频响应特性，其下限不低于0.3Hz/s。

3 非测量状态时必须锁紧仪器以防损伤。

4 孔中测量时应采用孔中拾振器，通频带应在1Hz～25Hz之间，同时应具有自动调整水平和方位的功能。

5 为防止风、沙、尘土、雨的突然袭击，地面测量时宜将拾振器用透明有机玻璃罩住，并用重物将拾振器输出端的导线固定于地面，以防摆动。

* 1. 现场采集
		1. 地脉动测试测点的布置除应符合本规程第3.1.3条的规定外，还应符合下列规定：

1 测点数量应根据设计需要、建筑重要性、地基复杂程度等确定；

2 在一个场地上不应少于2个测点，每个测点需布置东西、南北、竖向三个测量方向。

3 各测点的三个方向拾振器相互垂直放置在天然地基土上或浅坑底面，每个拾振器相互之间的距离不得大于10m。

4 测点应远离人为振动干扰点，在距离测点100m范围内，应无人为振动干扰。

* + 1. 地脉动测试工作参数选择与数据采集应符合下列规定：

1 测量时间应选择场地环境最安静的时刻，宜在夜间进行。

2 每个测点的观测次数不得少于3次，每次观测连续时间不得少于15min，两次观测的时间间隔不得少于10min；

3 应根据所需频率范围设置低通道滤波频率和采样频率，采样频率宜取50~100HZ；

4 在人为振动干扰强烈的场地应重复测试，重复测试宜隔日进行。

* + 1. 孔中测试地脉动测试应符合本规程第7.3.2条的规定外，还应符合下列规定：

1 当拟建建筑物为高耸建筑物或精密仪器厂房时，对该场地宜同时进行地面和孔中地脉动测试。

2 孔中测点的深度视工程设计要求或地质构造的复杂程度而定，一般应在2～3个深度点测量，孔中拾振器的拾振方位与地面拾振器的拾振方位应保持一致，方便对照。

3 为便于与地面测量对比分析，孔中测点的地面投影与地面测点的水平距离不得大于1.0m。

4 施测钻孔的深度应略大于预定最深测点的深度，其孔径以能顺利升降孔中拾振器为准，不宜过大。

5 孔中拾振器及电缆线在下孔前必须检查是否密封，导线有无短路、漏电现象。经检查一切正常后，将拾振器下到预定深度，并将其固定于孔壁，方可进行测量。

* 1. 资料处理与解释
		1. 对地脉动测试数据的处理，宜采用功率谱分析法。
		2. 在频率域处理地脉动信号时，频域平均次数不宜少于32次，并应进行加窗处理。
		3. 在频率域处理地脉动信号时，频谱图上幅值最大的那一根谱线所对应的频率即为所测地脉动信号的卓越频率，并由此计算出卓越周期。
		4. 当频谱图上出现多峰点、且每个峰的幅值相差不大、无法从谱峰上确定卓越周期时，可在进行谱分析的同时，进行相关分析、互谱分析，对地脉动信号的卓越周期进行综合评价。
		5. 确定地脉动信号幅值时，应排除人为干扰信号影响，脉动幅值应取实测地脉动信号的的最大幅值。
		6. 当需要了解地面上测点和孔中测点的相互关系时，可进行传递函数或互功率谱分析。
		7. 根据地脉动记录及其卓越周期、频谱曲线，场地土评价可分为四类：

1 以基岩或坚硬土层为代表的坚硬场地土，其主要的周期成分为0.1～0.2s；

2 以洪积层为代表的硬而厚的场地土，其主要的周期成分为0.2～0.4s；

3 以冲积层为代表的软而较厚的场地土，其主要的周期成分为0.4～0.6s；

4 以人工回填土和淤泥质土为代表的异常松软而很厚的场地土，其主要的周期成分为0.6～0.8s。

* + 1. 不具备观测条件且有实测横波资料时，卓越周期可按下式计算：



式中 h——第i层地层厚度（m）；

 vs——第i层地层横波速度（m/s）；

 n——测试深度内地层的层数。

* 1. 报告编写
		1. 地脉动测试报告除应符合本规程第3.5条的规定外，还应符合下列规定：

1 应包含地脉动测试的方法原理、仪器设备与接收方式及工作布置等；

2 应包含资料的解释分析；

3 应包含卓越周期、卓越频率等结论与建议。

* + 1. 地脉动测试报告书的图表宜包括如下内容：

1 测点平面布置图；

2 测点地脉动时程曲线；

3 测点频谱图；

4 测试成果表；

5 其他有关成果图表。

**本规程用词说明**

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

（1）表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不”、“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用词：

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词，采用“可”。

**《频率域地震波法探测规程》条文说明**

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在问题以及在执行中

应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

2.1.6 本规程所述面波法指瑞雷面波法，即通过分析所接收记录的瑞雷面波频散特征实现地下介质勘探的方法。按数据源产生的方式不同，面波法分为稳态面波法和瞬态面波法。

3.1.4 采用GNSS测量时，控制网的野外观测仪器应应满足D级测量的要求，野外观测仪器要求如表3.1.4-1所示，野外观测基本技术要求如表3.1.4-2所示，相邻点间基线长度精度用式3.1.4表示。

表3.1.4-1 D级GNSS控制网野外观测仪器要求表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 级别 | 接收机类型 | 观测量 | 同步观测接收机数 | 标称精度 |
| D级 | 单频或双频 | 载波相位 | 大于等于2 | ≤（10mm+5 x 10-6x d） |

表3.1.4-2 D级GNSS控制网野外观测基本技术要求表

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | D级 |
| 卫星截止高度角（°） | ≥15 |
| 同时观测有效卫星数 | ≥4 |
| 有效观测卫星总数 | ≥4 |
| 平均重复设站数 | ≥1.6 |
| 时段长度（min） | ≥60 |
| 采样间隔（s） | 15 |
| 时段中任一卫星有效观测时间（min） | ≥15 |

$σ=\pm \sqrt{a^{2}+\left(b\*d\right)^{2}}$ （式3.1.4）

式中，$σ$-标准差（基线向量的弦长中误差mm）；a-固定误差=5mm；b-比例误差系数=1ppm；d-相邻点间距离（km）。

3.3.3 一般情况下，频率域地震波法外业工作质量的观测精度以特征曲线允许相对均方误差计算获得，单个测点的特征曲线允许均方相对误差ε按下式计算：

  （3.3.3-1）

其中：  （3.3.3-2）

式中： *n* —— 参与计算的读数点总数；

—— 第*i*点两次观测的相对误差；

*ρsi*——第*i*频点基本观测值；

*ρsi’*——第*i*频点检查观测值。

工点的特征曲线允许相对均方误差M按下式计算：

  （3.3.3-3）

式中 *εi* ——单个测点的相对均方误差；

 *n* ——参与计算的测点数。

4.4.2 实际工程应用中，岩土体的分层一般依据频散曲线的拐点、斜率及频散点疏密等特征综合确定，期中用于计算地层速度的频散曲线应具有明显的收敛特征。

采用经验公式法获取地层横波速度时，有多种方案，一般采用式6.5.8计算视S波速度，通过对剖面上各点的视S波速度进行内插，绘制视S波速度剖面图后进行地质构造推断解释。

$V\_{x,i}=(\frac{t\_{i}∙V\_{R,i}^{4}-t\_{i-1}∙V\_{R,i-1}^{4}}{t\_{i}-t\_{i-1}}）^{^{1}/\_{4}}$................................. (4.4.2）

式中：$V\_{R}$ —— 瑞雷波相速度，单位m/s； t —— 时间，单位s；

5.3.3 一般情况下，瞬态面波法同一排列的道距应一致，在现场测点布置时若需变观，测点移动量优先在垂直排列的方向上移动，最大偏差一般不大于道间距的1/5；若无法在垂直排列安置可在测点周边任一点安置，最大偏差一般不大于道间距的1/10；

工程勘探中，最小偏移距一般取4～20m之间，道间距取1～5m之间，检波道数不小于12道，具体参数的选取需要综合考虑三个参数的协调。

通常情况下，在确保最高有效频率采样的前提下降低采样率值，以实现最小数据量获得最合理范围，工程勘探中采样率一般为4～10ms之间。记录长度要满足大于2倍最小有效频率周期时长的要求，同时要考虑最大偏移距处获得有效面波时长的要求，工程勘探中一般不小于500ms，推荐1s的记录时长。采样率一般要满足高于最高激发频率2倍的要求，保证各道采集到基阶瑞雷面波。

多次覆盖观测是指针对CMPCC采集处理方式中按类似地震反射勘探中的一种数据采集方法。

6.1.2 微动台阵法：是以多点垂直单分量微动信号为原始数据源，在此基础上提取对应的微动特征曲线（频散曲线），对该特征曲线进行反演最终获得地层横波速度的勘探技术。实施该方式时，需要在一定范围内布置多个单分量低频传感器形成特定装置，所获得的横波速度为整个装置范围内地层的平均值。

微动谱比法：是以单点三分量微动信号为原始数据源，在此基础上提取对应的微动特征曲线（谱比曲线），对该特征曲线进行反演最终获得地层横波速度的勘探技术。该技术所获得的横波速度反映的是当前测点附近一定范围内地层的平均值，横向分辨率比微动台阵法法更高。结合了瞬态面波法、微动台阵法（被动源面波）的微动谱比法也称为广义微动谱比法，也称为多源频率地震勘探技术。受建筑或道路阻碍严重时，优先采用微动谱比法开展微动勘探工作。



图6.1.2多源频率域地震勘探技术流程图

微动台阵法和微动谱比法在数据采集、数据处理和解释方面具有高度相似性，在复杂环境中采用两种方法联合勘探，充分发挥微动台阵法的速度稳定性和微动谱比法的高精度、高分辨率、单点场地适应性特征。瞬态瑞雷面波法与微动台阵法均是基于频散曲线进行地层反演，原始数据采集方式存在差异，数据处理与解释采用统一流程。实际作业过程中，一般融合瞬态面波法、微动台阵法（被动源面波）和微动谱比法开展多源频率域地震勘探，处理流程如图6.1.2所示。

6.3.1 微动勘探法的工程勘探中，微动勘探法应用于探查覆盖层厚度（强-弱风化层界线）、土石界线附近岩溶时点距一般为5米，应用于探查岩性界线、断层时点距一般为10米。

微动台阵法的观测半径是指所采用装置内最大检波点距离的一半。铁路工程勘探中采用线性排列时，观测半径一般为排列长度的一半，采用同心圆装置时一般为最外侧圆的半径，采用不规则装置时一般为最外侧三检波点成圆的半径。

6.3.2 微动台阵法的装置类型，是指同一时间用于观测数据的检波器空间关系，常用装置类型有圆形、内嵌三角形、L型、T型、十型、矩阵等规则形式或任意二维形式，如图6.3.2所示。起伏地形条件下，应避免同一排列跨过山谷或山脊，若按规则测线布置出现该情况，一般将排列数据拆分为符合“避免同一排列跨过山谷或山脊”条件的小排列装置。

**** ****

（1）三角形观测台阵 （2）十字形观测台阵

**** ****

（3）圆形观测台阵 （4）L形观测台阵

****

（5）线形观测台阵

图6.3.2微动台阵法常用装置类型

6.3.3 通常情况下，微动谱比数据的记录时长应现场试验后根据谱比曲线最长稳定时间确定。谱比曲线的峰值频率大于2Hz时记录时长不低于10min，峰值频率大于1.5Hz且不大于2Hz时记录时长不低于20min，峰值频率大于1Hz且不大于1.5Hz时记录时长不低于30min，峰值频率不大于1Hz时记录时长不低于60min。

6.3.4 微动勘探法外业工作质量检查时，频点数一般根据探测的深度采用算术平均来确定，勘查目标区域可加密频点。

6.4.2 实施过程中，微动台阵法和微动谱比法在提取特征曲线阶段略有不同：微动台阵法需要基于多个测点的垂直分量计算频散曲线，而微动谱比法是基于单个测点的三分量微动信号进行谱比曲线提取，最后进行特征曲线反演。

6.4.3 在成果资料解释时，应依据频散曲线拐点、斜率及频散点疏密等特征，结合钻孔资料进行地质解释。