

# 团 体 标 准

T/QGCML 5076—2025

## 微动法探测地下电力管线技术标准

Technical standard by using the micro-motion method to detect underground power pipelines

2025-12-09 发布

2025-12-24 实施

全国城市工业品贸易中心联合会 发布

## 目 次

前言 .....	11
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本规定 .....	3
5 技术准备 .....	4
6 地下电力管线详查 .....	5
7 地下电力管线精确探测 .....	6
8 地下电力管线测量 .....	13
9 数据处理与成果编制 .....	15
10 质量检查与验收 .....	18
附录 A (资料性) 微动探测台阵示例 .....	20
附录 B (规范性) 微动探测方案设计提纲 .....	22
附录 C (规范性) 微动探测数据采集野外记录班报模板 .....	23
附录 D (规范性) 微动探测原始记录质量评级表 .....	26
附录 E (规范性) 野外工作总结报告提纲 .....	27
附录 F (规范性) 二维微动剖面及地质解释成果图模板 .....	28
附录 G (规范性) 微动探测成果报告提纲 .....	29
参考文献 .....	30

## 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。

本文件由上海茗川测绘技术有限公司提出。

本文件由中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司归口。

本文件起草单位：国网上海电力公司电缆分公司、上海茗川测绘技术有限公司、中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司、江苏通湍建设工程有限公司。

本文件主要起草人：王敬堂、李海、叶志豪、薛育、陈华顺、赵元浩、卢焱、杨益锋、杨春柳、王竟成、徐一旻。

本文件为首次发布。

# 微动法探测地下电力管线技术标准

## 1 范围

本文件规定了微动探测的技术设计、仪器设备、野外施工、数据处理与解释、报告编写与资料汇交等工作的技术要求。

本文件适用于工程勘察、地质调查、资源勘探、防灾减灾、城市物探等领域中采用微动探测技术的工作。

## 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/T 24356 测绘成果质量检查与验收  
GB 50026—2020 工程测量标准  
CJJ/T 8 城市测量规范  
CJJ 61—2017 城市地下管线探测技术规程  
CJJ/T 73 卫星定位城市测量技术标准  
DG/TJ 08—2097 地下管线探测技术标准  
DZ/T 0153 物化探工程测量规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**地下电力管线探测** *detection of underground electric power pipelines*  
确定地下电力管线空间位置、空间关系和属性过程。

3.2

**地下电力管线精细探测** *accurate detection of underground electric power pipelines*  
为满足工程建设规划、设计、施工需要，满足地下电力管线防侵入管理，采用相应技术措施提高探测精度和获取资料完整性的地下电力管线探测。

3.3

**地下电力管线详查** *detailed survey of underground electric power pipelines*  
为满足工程建设要求，采用适当技术方法，对指定区域内的地下电力管线进行详细探测的过程。

3.4

**地下电力管线精确探测** *specific detection of underground electric power pipelines*  
根据工程需要，在地下电力管线详查成果基础上，对指定区域内地下电力管线或地下电力管线包裹体进行专项探测。

3.5

**三维轨迹惯性定位测量** *3D trajectory inertial positioning of underground pipelines*  
将惯性定位仪置于地下管道内，并使其沿管道移动的同时进行实时定位测量，进而获取管道三维轨迹坐标的测量技术。

3.6

**地质雷达探测** *geological radar detection*  
采用高分辨地质雷达对测区扫面探测，确定异常区域。

3. 7

**微动探测法 micro-motion detection**

微动探测技术是一种基于地球表面微小振动（微动）进行地下介质结构探测的地球物理方法，通过捕捉和分析微动信号的传播特性，可反演地下介质的物理性质达到精确探测目的。

3. 8

**微动 microtremor**

一种由自然界和人类活动产生的振幅只有几微米到几十微米的微弱振动。

3. 9

**微动探测 microtremor survey**

从微动信号中提取面波频散曲线或横纵谱比曲线等信息，通过数据处理与分析，推断地下构造形态和岩土层物理性质的地球物理勘探方法。

3. 10

**基阶瑞雷波 fundamental mode Rayleigh wave**

频散现象是同一频率  $f$  的瑞雷波具有多个传播速度  $V_r$ ，瑞雷波具有不同传播速度的状态称之为瑞雷波的不同模态。相速度最小的瑞雷波模态称为基阶（模态）瑞雷波。

3. 11

**面波频散 surface wave dispersion**

面波在非均匀介质（如层状介质）中传播的速度随频率变化而变化的现象。

3. 12

**频散曲线 dispersion curve**

表示面波的频率（或波长、周期）与波速（相速度或群速度）间关系的曲线。

注：微动探测主要利用微动信号中的瑞雷波（Rayleigh wave）信号提取相速度频散曲线进行后续分析。本文件中未做特别说明的“频散曲线”皆为基阶瑞雷波相速度频散曲线。

3. 13

**拾震器 receiver**

检波器，用于接收微动数据的仪器。

3. 14

**观测半径 observation radius**

圆形观测台阵的半径。

3. 15

**道间距 trace space**

阵列采集中任意两台拾震器之间的距离。

3. 16

**相速度 phase velocity**

波的相位在空间的传播速度。

注：本文件中未做特别说明的“相速度”皆为瑞雷波基阶相速度。在非均匀介质中，由于频散现象的存在，不同频率对应不同的相速度，且同一频率通常对应多阶相速度，常用的微动探测技术多利用不同频率对应的基阶相速度。

3. 17

**视 S 波速度 apparent S-velocity**

由瑞雷波相速度换算得到的一种速度。

3. 18

**观测阵列 survey array**

根据探测目的，结合野外条件，多个拾震器按照一定形状排列的采集方式。

3. 19

**阵列微动探测 array microtremor survey**

基于阵列设备采集微动信号，通过数据处理提取频散曲线，获得阵列下方介质速度特征，推断其地质结构的微动探测技术。

3. 20

**单台微动探测 single station microtremor survey**

利用单台三分量拾震器接收微动信号, 通过频谱分析等数据处理方法提取H/V谱比曲线用于地质分析的微动探测技术。

3.21

**密集台阵微动探测 dense seismic array**

一次性布设较多数量拾震器, 以整个阵列下方介质速度结构为目标输出的不规则阵列微动探测技术。

3.22

**微动测深法 microtremor sounding method**

从单个台阵的观测数据提取瑞雷波频散曲线, 通过对频散曲线反演, 获得台阵中心点下方的横波速度结构。

3.23

**二维微动剖面法 (视 S 波速度剖面) 2D microtremor profile method**

通过单个台阵获得勘探点的频散曲线后, 采用速度变换方法将相速度转换成视 S 波速度, 再通过测线上多个勘探点的视 S 波速度曲线的内插和光滑计算, 得到的二维视 S 波速度剖面。

3.24

**空间自相关法 ( SPAC 法) spatial autocorrelation method ( SPAC )**

一种从圆形观测台阵采集的微动数据中提取频散曲线的数据处理方法。

3.25

**扩展空间自相关法 ( ESPAC 法) extended spatial autocorrelation method ( ESPAC )**

空间自相关法的一种扩展方法, 既适用于圆形也适用于非圆形等不规则台阵的微动数据处理。

3.26

**频率-波数法 ( F-K 法) frequency-wavenumber spectral method ( F-K )**

通过傅里叶变换把时间域的微动信号转换到频率一波数域, 拾取频率-波数谱的最大值从而获得面波频散曲线的方法。

## 4 基本规定

### 4.1 地下电力管线精细探测分类

地下电力管线精细探测按探测需求分为地下电力管线详查和地下电力管线精确探测。

### 4.2 地下电力管线探测计划

在工程实施前或防侵入前应进行地下电力管线详查或地下电力管线精确探测。

### 4.3 地下电力管线精确探测

当工程需要获取重点管线、特殊管线、需要保护管线及包裹体、防侵入需要等准确空间数据, 而地下电力管线详查无法满足要求时, 应开展地下电力管线精确探测。

### 4.4 地下电力管线精细探测基本程序

地下电力管线精细探测的基本程序: 接受任务、资料收集、现场踏勘、探测仪器检验和方法试验、编写技术设计书、地下电力管线精细探测、地下电力管线测量、数据处理、地下电力管线图编绘、编写技术总结报告、成果质量检查验收。

### 4.5 搜集资料

地下电力管线精确探测实施前, 应由建设单位出面联系管线管理单位提供探测区域相关调绘资料。

### 4.6 坐标系统

地下电力管线精确探测工程坐标系统采用上海坐标系或与施工设计图坐标系统保持一致。

### 4.7 成图比例

地下电力管线精确探测编制成果图时, 比例尺小于1:500, 根据需要满足成果表达和使用要求。

#### 4.8 单位标准

地下电力管线管径以毫米（mm）为单位，坐标及埋深以米（m）为单位。

#### 4.9 成果交底

地下电力管线精确探测工程完成后，探测单位应参加建设单位组织的探测成果交底。

#### 4.10 地下电力管线精确探测精度要求

地下电力管线精确探测精度要求按下表执行：

- a) 地下电力管线详查精度执行 CJJ61—2017 的要求；
- b) 地下电力管线精确探测按 DG/TJ 08—2097 执行。

表 1 地下电力管线箱涵体探测基本精度要求

箱涵体中心埋深（m）	箱涵体边界限差 $\delta_{th}$ （m）	箱涵体顶底板限差 $\delta_{th}$ （m）
$h \leq 1$	0.10	0.15
$h \geq 1$	0.1 0h	0.15 h

注：以中误差作为衡量地下管线探测精度的标准，二倍中误差作为地下管线探测极限误差（简称限差）。

### 5 技术准备

#### 5.1 技术准备内容

开展地下电力管线精确探测应进行技术准备，技术准备工作、资料收集、现场踏勘、探测仪器检验和方法试验、编写技术设计书。

#### 5.2 资料收集

资料收集内容应包括以下部分内容：

- a) 测区内已有地下电力管线资料；
- b) 测区内地形图和测量控制资料；
- c) 测区内地下工程资料；
- d) 测区内地质、水文资料；
- e) 工程实施需要的其他资料。

#### 5.3 权属单位现场指认

地下电力管线精确探测，宜邀请管线权属单位熟悉管线情况的人员现场指认，并做好现场记录。

#### 5.4 资料整理

应对搜集的资料进行分类、整理，根据工程需要可编绘地下管线现况调绘图以指导探测工作。

#### 5.5 现场踏勘

现场踏勘内容应包括以下部分内容：

- a) 了解测区地形地貌及其历史变迁、交通、地上建构筑物和可能的干扰源情况；
- b) 了解实地明显管线点分布情况；
- c) 核查已搜集资料的现势性、完整性、可信度和可利用程度。

#### 5.6 探测方法的选择

探测方法应根据工程要求、现场管线情况、地球物理及水文地质条件、工作环境和干扰因素等选择。

#### 5.7 有效性试验

地下电力管线探测工作开始前应对拟采用的设备进行有效性试验，以确定探测方法和工作参数。

#### 5.8 设备校验

探测设备均应按要求进行校验,确认仪器的稳定性和精度符合要求,经校验不合格的仪器不得投入使用。

### 5.9 地下电力管线精确探测技术设计书

地下电力管线精确探测技术设计书应按 CJJ 61—2017 要求编制,探测技术设计书应说明拟实施精确探测的电力管线及探测方法。

### 5.10 手续流程

技术设计书经委托方审批确认后方可实施。

## 6 地下电力管线详查

### 6.1 一般规定

6.1.1 地下电力管线详查范围宜包括施工区域和受施工影响的区域宜在施工区域外扩,外扩距离不宜小于 30 m。

6.1.2 地下电力管线详查应在充分搜集和分析已有相关资料的基础上,采用实地调查与仪器探测相结合的方式。

6.1.3 电力管线点设置应以能够准确地反映地下电力管线特征及空间变化为原则,在工程关键节点应按设计或施工方的要求加密设置管线点。

6.1.4 明显电力管线点应采用实地调查方法获取其属性信息、位置及埋深;隐蔽电力管线点应采用仪器探测的方法探测电力管线点平面位置及埋深。

### 6.2 明显电力管线点调查

6.2.1 实地调查应详细调查明显地下电力管线上的各种管线建(构)筑物和附属设施,具体可参照 CJJ 61—2017 相关规定。

6.2.2 实地调查应查明地下电力管线类别、材质、埋设方式和埋深,并根据建设工程需要调查其相应的属性项目和建(构)筑物信息,具体可参照 CJJ 61—2017 相关规定。

6.2.3 在明显电力管线点上量测管线规格应符合下列规定:

- a) 管道及管廊(沟)应量测其断面尺寸。断面应量测其公称直径;管廊(沟)、沟道应量测矩形断面内壁的宽和高,并根据建设工程需要调查管沟侧墙厚、顶板厚、底板厚;
- b) 电缆管块(组)应量测其外廓的宽和高;单根直埋电缆宜量测线缆直径;多孔管组、多根直埋电缆规格量测最大直径电缆,断面尺寸宜大不宜小。

6.2.4 地下电力管线检查井等附属构筑物因积水、淤积或埋没等原因难以调查时,应在报告及成果表中进行说明,并应根据需要开展地下电力管线精确探测。检查井积水、淤积专项调查可根据实际情况开展降水、清淤等探测,埋没检查井应根据实际情况采用井盖探测仪、金属探测仪、探地雷达或示踪法等开展探测、开挖后调查。

### 6.3 隐蔽电力管线点探测

6.3.1 隐蔽电力管线点探测首选微动、探地雷达等经济合理、快速高效的方法,并根据探测结果选定异常区,根据需要开展电力管线精确探测。

6.3.2 隐蔽地下电力管线点探测应探明电力管线的特征点,其特征点分为管线本体特征点与管线附属物特征点两大类,具体内容如下:

6.3.3 管线本体特征点(构成管线路径骨架的基本点):

- a) 起点与终点:管线的起始井(或端头)和终止井(或端头);
- b) 转折点/拐点:管线平面方向发生明显改变的位置;

- c) 变坡点：管线纵断面坡度发生变化的点，涉及埋深改变；
- d) 分支点/三通点：一条管线分出两条或以上支管的位置；
- e) 上杆/下地点：电缆从地下引出至电杆或由电杆引入地下的位置；
- f) 变深点：管线埋设深度（通常指管顶或缆顶至地面的垂直距离）发生突变的位置；
- g) 变径点：管道或管块截面尺寸发生变化的位置；
- h) 出地/入地点：管线从地下引出至地面设备（如箱变、环网柜）或由地面设备引入地下的位置；
- i) 穿越点：管线穿越重要地物（如道路、河流、铁路、围墙）的起止点。

#### 6.3.4 管线附属设施特征点（管线系统中具有特定功能或结构的重要节点）：

- a) 检查井/工井：包括直线井、转角井、三通井、四通井等，需测定井盖中心及井内管线出/入口点；
- b) 接线箱/分支箱：地下电缆的连接或分接装置位置；
- c) 电缆接头点：特别是高压电缆的中间接头、绝缘接头位置，这对安全维护至关重要；
- d) 标石/标志桩：管线管理部门设置的永久性或临时性地面标识下方对应的管线点；
- e) 接地装置点：电缆的接地箱、交叉互联箱等接地设施位置；
- f) 补偿器/伸缩节安装点（对于管沟或排管）：可能指示管线结构特殊处。

#### 6.3.5 地下电力管线有空管道的，优先使用三维轨迹惯性定位测量，具备高效、快捷、准确优点。

#### 6.3.6 地下电力管线没有空管道的，埋藏条件复杂，采用微动探测法和地质雷达探测法。

### 6.4 质量检查

#### 6.4.1 地下电力管线详查应按本文件第 6.1、6.2、6.3 条的规定，采用明显电力管线点重复调查量测、隐蔽电力管线点重复探测或开挖方式进行质量检查。

#### 6.4.2 检查应由不同人员完成，检查内容应包括连接关系、走向、精度检查和属性调查检查。

#### 6.4.3 质量检查的比例和方式宜按施工区域、受施工影响的区域以及为查明地下电力管线需要的区域分别确定。其中施工区域内的重要电力管线应 100% 检查，其他电力管线可进行抽查，抽查比例应符合 GB/T 24356 的相关规定。

#### 6.4.4 明显电力管线点应检查量测管线埋深和规格，隐蔽电力管线点应检查探测平面位置和埋深。管线点探测精度应符合本文件的全部规定。

#### 6.4.5 检查明显电力管线点的属性调查结果应对照探测成果表逐项实地核对，并应核对电力管线点间连接关系。属性调查结果不应出现漏项、错项，发现遗漏、错误应及时进行补充、更正。

#### 6.4.6 隐蔽电力管线段首先应采用连续追踪的方法检查管线的走向及连接关系，发现漏探、错探应根据本文件第 6.3 条的规定重新探测。隐蔽电力管线段走向及连接关系、管线规格、探测精度等有疑问时，应开挖验证。

#### 6.4.7 建设工程地下电力管线详查应编写探测质量检查报告，质量检查报告内容应包括工程概况、质量检查工作概述、问题及处理措施、精度统计和质量评价、需要开展地下电力精确探测的管线。精度统计和质量评价方法见 CJJ 61-2017 相关规定。

## 7 地下电力管线精确探测

### 7.1 一般规定

#### 7.1.1 地下电力管线精确探测应在地下管线详查的基础上，结合工程设计方案，在工程建设的关键位置，准确查明特定管线的空间状态。

#### 7.1.2 地下电力管线精确探测宜依据管线的不同特点、环境，选择合适的方法，达到目的。

#### 7.1.3 采用精确管线探测技术，需编制工作方案，阐述原理、技术方法、设备、成果精度等，并提请项目建设方批准，探测完成后应编写管线专项探测报告。

7.1.4 地下电力管线精确探测的管线点设置密度应根据委托方需求确定。

## 7.2 地下电力管线精确探测技术方法

### 7.2.1 地质雷达探测

7.2.1.1 本方法适用于探测深度范围在 0.1 m~3.0 m 的浅层高精度探测场景；不适用于埋深>3 m 或强电磁干扰 (>100 dB  $\mu$  V/m) 环境。

7.2.1.2 目标深度在 0.5 m~3.0m 时，推荐使用频率 100 MHz~300 MHz 雷达；目标深度<0.5m 时，推荐使用频率 400 MHz~900 MHz 雷达。

7.2.1.3 时窗选择值 (ns)，应取  $1.3 \times \text{目标深度 (m)} / \text{介电常数}^0.5$ 。

7.2.1.4 高压电缆区工作电压检测 $\geq 10$  kV 时应暂停作业。

7.2.1.5 燃气共存区应使用本安型雷达 (Ex ib IIC T4 级)。

7.2.1.6 探测时电磁辐射强度应 $\leq 10$  V/m (距天线 0.5 m 处)。

7.2.1.7 测线方向标记与管线走向要正交 (夹角 $\geq 75^\circ$ )。

7.2.1.8 结合其他方法，平面定位误差应 $\leq \pm 0.05$  h cm；埋深测量误差应 $\leq \pm 0.075$  h cm，(h 为埋深，单位 cm，不足 1 m 时，按照 1 m 算)。

7.2.1.9 雷达探测为微动精确探测辅助手段。

### 7.2.2 三维轨迹惯性定位测量法

7.2.2.1 本方法适用于有出入检查井并有空管的电力管线，且管线出入口之间可以贯通。

7.2.2.2 通过三维轨迹惯性定位的路径测量，需赋予出入口端点坐标，通过计算沿途线各点三维坐标，最终确定埋地电力管线的平面位置及深度。

7.2.2.3 实施三维轨迹惯性定位法时应符合下列规定：

- a) 必须满足相应的使用条件，保证三维轨迹检测系统可以在管（块）中往返运行；
- b) 待测管道的出入口端点坐标必须通过测量技术获取；
- c) 管道（块）路径上，路径点间距不应大于 1 m；
- d) 同一管道（块）必须往返两次（至少 2 组数据），且一致性良好；
- e) 不同管道（块）必须分别检测；
- f) 利用专用软件对采集数据进行数据处理，成果资料包含管道（块）路径 CAD 数据、数据表格、数据文本、管道轨迹的三维图和二维视图；
- g) 三维轨迹惯性定位测量法仅提供单管空间数据，电缆组及包裹体需要微动法精确探测。

### 7.2.3 微动探测法

#### 7.2.3.1 技术设计

##### 7.2.3.1.1 资料收集与现场踏勘

- a) 施工方案设计前，应系统收集测区相关地质、钻探及物探等已知资料，分析测区探测程度和存在问题；
- b) 收集测区地层纵波速度、横波速度、密度等资料，分析测区地层和探测对象的地球物理特征，掌握探测对象与围岩的物性差异，了解开展微动探测的地球物理基础及技术难点；
- c) 现场踏勘，查看测区地形地貌、植被、交通、居民点等工况条件，了解野外数据采集作业的施工环境及条件。对于工况复杂、交通流量大（或交通要道）的城镇测区，宜选择夜间施工。

##### 7.2.3.1.2 台阵形式确定

通常，“直线型”台阵在该领域应用上是最为快捷、高效的常规台阵，但有时受场地环境、场地大小、周边噪声影响及埋地箱涵体自身大小规格、覆土回填介质等综合因素影响，也可使用“L型”台阵

或“双重圆”台阵进行探测作业，我们需要根据实际情况进行专项的技术方案制定，在此按照常用微动台阵罗列以下信息：

- a) “直线型”台阵最常用；
- b) “十字型”“L型”台阵偏重测深探测目的或周边干扰大，较圆形台阵高效，抗干扰性低于圆形台阵，一般不常用；
- c) “双重圆”台阵在干扰较大地区或特别安静区域适用，用以压制噪声或提高信号质量实现提升信噪比达到高质量探测结果而采用，一般亦适用于大深度探测（地热、断层等构造探测），抗干扰性极强，效率很低，基本不用；
- d) “复合型双重圆”台阵是“双重圆”台阵的高效版，兼具中等效率与极强抗干扰性，但数据处理相对低效、易错，可以尝试使用，不建议无经验尝试。

表 2 常见微动台阵的基本信息一览

台阵类型	台阵数量限制或要求	优点	缺点	一般适用场景
“直线型”	无	高效、快捷、经济	容易受噪声干扰	一般安静场地
“L型”	布设中心点的两侧设备数量需一致，道间距需一致，可不完全垂直	一定抗干扰性，成果精度较“直线型”有所提升	效率一般	更适用单点测深 场地无法满足直线形布设有围墙等不可跨越场景
“十字型”	以中心点对称布设，四侧设备数量需一致，道间距需一致，尽量垂直布设	抗干扰性强 成果精度高	效率一般	同上
“双重圆”	单测点固定7台设备，道间距有特殊需求，需要根据探测需求预实验拟定最小半径，几何对称布设	极强抗干扰性 成果精度最高	效率很低 采集时间长 成果处理麻烦	场地存在挖机等强干扰，单边性（强）干扰，高精/深度地震成果需求
“复合型双重圆”	测点数N则布设数量需要 $4N+3$ 台，道间距需要根据探测需求预实验拟定最小半径，共设备点作业	极强抗干扰性 成果精度最高	中等效率，采集时间长，外业布设操作难度大，成果处理麻烦	场地有一定布设面积，周边存在较强干扰，高精/深度地震成果需求

#### 7.2.3.1.3 采集参数试验

采集参数试验应按照以下各项进行：

- a) 通过试验确定放大倍数和采样率等参数；
- b) 根据记录仪器的增幅情况确定合适的放大倍数，确保微动波形记录完整，振幅适中；
- c) 采样率一般不低于 100 Hz。

#### 7.2.3.1.4 观测系统设计

观测系统设计应按照以下各项进行：

- a) 关于埋地电力管线箱涵体的微动探测法观测系统宜采用二维微动剖面法；
- b) 在采用微动剖面法时建议使用天然源及主动源激振二者结合，进行精度提升。其中天然源微动剖面法适用于所有工况下，主动源激振仅适用于无强干扰工况；
- c) 微动剖面法应根据探测任务要求设计测线、勘探点间距。勘探点间距应根据横向分辨率（探测目标体的水平尺度）确定，一般应小于探测目标体宽度之半。以勘探点作为台阵的中心点确定台阵形式和观测半径，考虑精度误差及效率问题，推荐使用 0.10 m—0.30 m 道间距的直线型台阵作为适宜场地的首选方案；
- d) 在测区平面图上确定勘探点及台阵观测点的位置。当遇到建筑物、水塘（河流）等障碍物时，可调整观测点位置。原则上，圆形台阵上的观测点可沿圆周整体转动，观测点位置的调整幅度应小于观测半径的 1/20。

#### 7.2.3.1.5 微动探测方案设计

微动探测方案设计应按照以下各项进行：

- a) 在现场踏勘和采集方法试验基础上，编制《微动探测方案设计》，设计书提纲见附录 B；

b) 设计书编写应以本规范及相关技术规范为依据,结合需要解决的具体电力箱涵体问题,分析已有资料情况,论证项目实施的可行性,分析存在的风险。设计书应明确项目的探测目的,有针对性地提出项目实施的技术方案、路线及参数,预期探测成果,项目的组织保障措施,经费预算及施工进度等。

### 7.2.3.2 仪器设备

#### 7.2.3.2.1 基本要求

基本要求应符合以下各项要求:

- a) 应选用微动探测专用仪器,不宜采用锤击、电火花或爆炸等人工源作为激发震源的工程地震仪;
- b) 仪器符合一致性要求;
- c) 拾震器宜采用速度型传感器,电压输出灵敏度  $\geq 2 \text{ V} \cdot \text{cm/s}$ ,固有频率应满足勘探深度要求,自重  $< 3 \text{ kg}$ ;
- d) 模/数转换不宜低于 24 位,采样时间间隔  $\leq 10 \text{ ms}$ ,动态范围不宜小于 128 dB;
- e) 仪器折合到输入端的噪声水平应低于  $1 \mu \text{V}$ ;
- f) 各台站(记录仪)之间的时间同步误差小于 0.5 个采样间隔;
- g) 记录仪连续工作时长不宜低于 24 h;
- h) 仪器设备的防水等级在 IPX4 以上,避免观测期间突然下雨导致仪器出现故障。

#### 7.2.3.2.2 仪器一致性测试

仪器一致性测试应按照以下各项进行:

- a) 野外实测施工前,同一台阵的观测仪器需进行一致性测试。只有一致性测试结果达标才能正式开始施工;
- b) 将全部仪器放置在同一场地,同步采集 10 min~20 min 的微动数据。计算微动数据的功率谱、功率谱之比、相干系数和相位差。在有效的工作频率范围内,要求仪器的一致性优于 95%;
- c) 日常施工过程中,每天对实测微动数据进行波形回放,检查仪器是否具有较好的一致性。如出现波形异常,需重新进行仪器一致性测试。

### 7.2.3.3 野外工作

#### 7.2.3.3.1 测量放点

测量放点应符合以下各项要求:

- a) 勘探点及台阵各观测点宜采用高精度定位仪测量放点,并符合 DZ/T 0153 的要求;
- b) 对于小半径的观测台阵,除勘探点外,台阵各测点可采用钢尺或测绳测量放点;
- c) 根据设计的采集台阵和观测系统进行测网布设。当遇到水域、高架桥、陡崖等特殊地形地貌的场地时,可适当调整台阵形式,重新布置观测点,避开障碍,并记录实际点位坐标。

#### 7.2.3.3.2 数据采集

数据采集应符合以下各项要求:

- a) 野外数据采集按《项目施工方案设计书》执行。调整施工方法需经甲方技术人员同意;
- b) 仪器放置到勘探点/观测点位,拾震器调平放稳,应与地面保持最佳的耦合状态;
- c) 台阵中各台仪器应都设置好、进入正常工作状态后,才能开始采集数据,每个勘探点采集时长 15 min~30 min。微动采集时长与观测台阵形式、勘探深度和噪声环境有关;
- d) 详细记录仪器采集参数设置和野外现场工作环境,野外记录班报参考附录 C。要求字迹清楚,不应出现涂改;
- e) 仪器进入正常工作状态后,保持周围环境相对安静,尽量避免人为振动干扰;
- f) 收工后应及时读取当天采集微动数据,检查确认采集数据是否有效,并存盘备份。

#### 7.2.3.3.3 野外工作质量检查与评价

为保证野外数据采集质量,采取任务分解、责任落实到专人的质保措施,施工过程中宜建立“自检、互检及抽检”的三级质量监管、保障体系:

- a) 每天野外数据采集工作完成后,现场技术人员对当天施工质量、实测数据进行“自检”:
  - 1) 回放微动波形记录,检查实测数据质量。若发现异常波形,达不到质量要求,应重新补测;
  - 2) 对微动数据进行初步处理,检查中间结果(如 SPAC 系数)是否符合要求。若不符合要求,应重新补测;
- b) 现场项目组成员对当天野外工作质量的“互检”:
  - 1) 确认初步检查结果正确与否;
  - 2) 对每个勘探点的原始记录质量进行评级(见附录 D);
  - 3) 按技术要求每天填写野外施工班报、质量自检、互检表;
  - 4) 保存和备份原始数据。现场原始资料(班报、质量自检、互检表等)交项目组专人保管
- c) 项目负责人不定期抽检,对项目组现场组织、生产管理、安全措施等情况进行全面检查,重点检查观测数据质量,以确保全部观测数据合格、可靠有效;
- d) 实测数据的随机抽样复测检查。对每条测线随机抽取部分勘探点进行重复观测,以检验观测数据的可重复性。抽样复测率宜不少于总勘探点数的 5%;
- e) 对以上各项质量检查、监管中发现的施工质量、组织及安全等问题,都及时通知项目组整改。确保野外采集的微动数据合格率达 100%,优良率达到 95%以上。

#### 7.2.3.3.4 野外采集数据的质量评价

评级原始微动数据记录质量评价宜分为优良和合格两个等级:

- a) 满足以下条件的可评为优良记录:实测波形整体平稳、形态正常,振幅均在正常显示范围内,无超幅、限幅现象,无不正常道。SPAC 系数符合要求,最大值不低于 0.8;
- b) 满足以下条件的宜评为合格记录:以三重圆形台阵为例,实测波形整体较为平稳、形态基本正常,勘探点(台阵中心点)波形正常。同一圆周上的三个台站中不正常波形不多于 1 道,整个台阵中不正常道总数宜少于 3 道。SPAC 系数基本符合要求,最大值不低于 0.8;
- c) 野外采集的微动数据合格率宜达到 100%,优良率 $\geq 95\%$ 。

#### 7.2.3.3.5 野外工作结束需提交的资料

外工作结束后,项目组需提交规范、齐全的实测数据和成果资料:

- a) 项目施工方案(含施工实际材料图);
- b) 野外工作总结(验收)报告;
- c) 实测数据,包括:仪器一致性测试数据及结果,实测微动数据,测点实测资料(测点坐标、高程数据);
- d) 野外工作原始资料,包括:野外工作班报;野外工作质量自检、互检表;
- e) 其他与项目相关的资料。

#### 7.2.3.3.6 野外工作验收及评价

项目委托方对野外工作的设计、施工、组织管理及实际完成情况进行验收评价,形成验收意见。

### 7.2.3.4 数据处理

#### 7.2.3.4.1 一般规定

微动数据处理包括微动测深法、二维微动剖面法及微动谱比法(H/V 法)三大类。微动数据处理软件应具有瑞雷波频散特性分析、频散曲线反演、速度剖面成像和微动谱比计算等功能。

#### 7.2.3.4.2 微动测深法

- a) 微动测深法数据处理包括瑞雷波频散特性分析、频散曲线正反演,可以获得地层介质分层结果(地层 S 波速度结构);

- b) 瑞雷波频散特性分析方法包括空间自相关法（SPAC 法）、扩展空间自相关法（ESPAC 法）和频率-波数法（F-K 法）。推荐使用 SPAC 法或 ESPAC 法；
- c) SPAC 法/ESPAC 法的计算步骤为空间自相关系数计算、频散曲线提取和 S 波速度估算；
- d) 空间自相关系数计算：
  - 1) 预处理。剔除干扰明显的数据段，将微动信号按相同的时间长度分成若干段，允许每段数据有部分重叠；
  - 2) 对每段数据进行快速傅里叶变换，计算功率谱和互功率谱，按照如下公式（1）计算台阵中任意两个台站的空间自相关函数  $C_{ij}$ ：

$$C_{ij} = \frac{S_i S_j^*}{\sqrt{S_i S_i^* S_j S_j^*}} \dots \quad (1)$$

式中：

$S_i$ ——第  $i$  个台站的微动信号傅里叶谱;

$S_j$ ——第  $j$  个台站的微动信号傅里叶谱;

\*———表示复数共轭；

3) 对每段数据, 按如下公式 (2) 将两台站间距离相同方向不同的所有空间自相关函数进行方位平均, 得到空间自相关系数  $p$ :

式中：

$\omega$ ——角频率;

$\theta$  ——方位角;

Real ——表示取复数实部;

将所有时间段的空间自相关系数叠加平均，并计算标准差；

- 4) 空间自相关系数要绘制成图, 便于查看是否合格, 并留档备查;
- e) SPAC 法/ESPAC 法提取频散曲线: 根据空间自相关法的理论推导, 空间自相关系数  $\rho$  满足如下公式 (3) ;

$$\rho(\omega, r) = J_0(rk) = J_0(2\pi fr/V_r(f)) \dots \dots \dots \quad (3)$$

式中：

$\omega$ ——角频率;

$$\omega = 2\pi f f \text{——频率} ;$$

$k$ ——波数；

$v_r(f)$ ——瑞雷波的相速度；

$J_0$ ——第一类零阶 Bessel 函数;

应用 SPAC 法/ESPAC 法求解公式 (3) 获得瑞雷波相速度频散曲线;

- f) 单个半径的圆形台阵采集的数据采用空间自相关法 (SPAC 法)，多重圆形台阵采集的数据采用扩展空间自相关法 ( ESPAC 法)。空间自相关系数在低频段 (频率低于第一个零值的部分) 的最大值不宜小于 0.8 。采用扩展空间自相关法进行贝塞尔函数拟合时，修正的拟合优度应大于 0.8 ；
- g) 十字形台阵采集的数据应使用扩展空间自相关法 ( ESPAC 法)。台站对间距不宜少于 3 组；各半径空间自相关系数在低频段 (频率低于第一个零值的部分) 的最大值不宜小于 0.8 。采用扩展空间自相关法进行贝塞尔函数拟合时，修正的拟合优度应大于 0.8 ；
- h) 估算 S 波速度：
  - 1) 通过对频散曲线反演以估算台阵下方地层介质的横波速度结构，用于地层分层；

2) 反演初始模型参数包括层数  $n$ 、地层厚度  $h$ 、纵波速度  $V_p$ 、密度  $\rho$  和 S 波速度  $V_s$ ，应参考测点附近或邻近测区的钻孔资料建立初始模型；

i) 对于成层性较好的地层介质，可使用全局寻优的分歧型遗传算法等反演方法。给定  $V_s$  和  $h$  的搜索范围，不断调整  $V_s$  和  $h$  值计算理论频散曲线，直至与实测频散曲线达到最佳拟合效果；

j) 对于复杂地层介质（如含有软硬夹层、不良地质体），微动测深法难以得到可靠的分层结果，宜采用微动剖面法。

#### 7.2.3.4.3 二维微动剖面法

7.2.3.4.3.1 沿测线获得多个勘探点的频散曲线 ( $V_r \sim f$  曲线) 后，将相速度  $V_r$  变换成视 S 波速度  $V_x$ ，再将相速度频散曲线转换成  $V_x$  随深度的变化曲线 ( $V_x \sim h$  曲线)，通过内插、光滑得到二维视 S 波速度剖面（二维微动剖面）的方法。

7.2.3.4.3.2 视 S 波速度对岩性（界面）变化敏感，能更直观反映埋地电力箱涵体的顶底板起伏形态、空间构造、边界位置，便于探清埋地电力管线箱涵体的地下空间位置分布情况；

a) 计算视 S 波速度  $V_x$ ；

采用如下公式（4）经验公式计算视 S 波速度：

$$V_{x,i} = \left( \frac{t_i V_{r,i}^4 - t_{i-1} V_{r,i-1}^4}{t_i - t_{i-1}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

式中：

$V_r$ ——相速度 (m/s)；

$t_i$ ——周期 (s)；

$i$ ——表示第  $i$  个点；

b) 用如下公式（5）估算勘探深度  $H$ ：

$$H = \alpha \frac{V_r}{2f} \quad (5)$$

式中：

$\alpha$  为校正系数，一般情况下  $\alpha = 1$ 。有条件的工区可通过与已知钻孔资料的对比，获得符合工区实际情况的  $\alpha$  值，从而提高视 S 波速度剖面解释地层深度的精度。

#### 7.2.3.5 成果资料解释

##### 7.2.3.5.1 一般规定

通常针对上海市地质情况浅部没有岩石，以土层为主、波速在不同土层和电缆包裹体传播速度根据不同区域位置，波速大致在 300 m/s-500 m/s 范围左右。

##### 7.2.3.5.2 资料解释原则

尽可能收集已知地质、钻孔和其它物探资料，从已知到未知。

##### 7.2.3.5.3 定性解释

7.2.3.5.3.1 参考剖面附近的钻探资料，以微动剖面  $V_x$  速度变化特征为主要依据，追踪、勾画出岩性界面。

7.2.3.5.3.2 分析视 S 波速度 ( $V_x$ ) 剖面特征，依据  $V_x$  剖面的背景值、速度及其梯度变化等综合因素，识别并勾画圈定速度异常的范围。再对速度异常进行地质解释，判断并确定埋地电力管线箱涵体的位置及形态。

##### 7.2.3.5.4 定量解释

7.2.3.5.4.1 尽可能利用测线上/测线旁钻探资料对剖面进行标定，以提高确定界面深度的精度。

7.2.3.5.4.2 总结测区岩性与  $V_x$  的关系, 对速度异常做出物探解释, 精确勾画出埋地电力管线箱涵体的边界, 对分布范围、形态做出定量解释。

#### 7.2.3.5.5 条测线综合解释

测区多条测线成果资料的综合解释, 确定埋地电力管线箱涵体的空间分布范围。

#### 7.2.3.5.6 二维成果图

解读部分应当结合设计规范(电力箱涵尺寸)和微动解读法形成解读软件(软著)开展工作, 二维微动剖面解释及成果图模板参见附录 G。

#### 7.2.3.6 成果报告编写

7.2.3.6.1 按附录 H 要求编写“成果报告”。

7.2.3.6.2 成果报告应内容全面、结构完整、重点突出、文字简明、图件齐全、结论明确、建议合理。

#### 7.2.3.7 成果报告评审验收

7.2.3.7.1 报告评审需提交的成果资料:

- a) 项目合同;
- b) 项目施工设计;
- c) 野外工作总结报告;
- d) 成果报告(含各项成果图件)。

7.2.3.7.2 项目承担单位内部评审验收及验收意见书。

7.2.3.7.3 项目承担单位提出成果验收申请。

7.2.3.7.4 项目委托单位组织验收评审、出具验收意见。

7.2.3.7.5 项目承担单位根据验收评审意见对成果报告做出修改后正式提交。

#### 7.2.3.8 资料归档

7.2.3.8.1 项目成果资料归档根据项目委托方要求执行。

7.2.3.8.2 归档资料一般包括:

- a) 实测数据类: 测点坐标, 实测微动数据;
- b) 中间资料: 施工方案、野外工作总结报告(以及相关资料);
- c) 成果资料类: 成果报告(含成果图件);
- d) 技术管理文件类: 招标文件、中标通知书、项目合同、任务书、工作方案评审意见书、野外工作验收意见书、成果报告验收意见、验收人员名单等。

### 8 地下电力管线测量

#### 8.1 一般规定

8.1.1 地下电力管线测量工作内容应包括控制测量、管线点测量及测量成果的检查与验收。

8.1.2 地下电力管线测量应收集、分析已有的控制点和地形图资料。

#### 8.2 控制测量

8.2.1 地下电力管线控制测量应在高等级控制点基础上布设。当高等级控制点不满足管线点测量要求, 应按 CJJ/T8 和 CJJ/T73 的要求加密等级控制点。

8.2.2 图根控制点精度: 图根控制点相对于邻近控制点和高程最弱点中误差应不大于 50 mm。

8.2.3 图根平面测量可采用电磁波测距导线、卫星导航定位实时动态测量技术(GNSSRTK)、三角网、

自由设站等方法测量。

8.2.4 利用电磁波测距导线方式布设图根导线时, 其技术要求应按 CJJ/T8 的规定执行。

8.2.5 采用 GNSS RTK 加密图根控制点时应符合下列规定：

- a) 利用 GNSS RTK 加密图根控制点时, 有效的观测卫星数不应少于 5 颗; 卫星高度角不应小于  $15^{\circ}$ ; PDOP 值不应大于 6; 并且持续显示固定解时, 方可进行定位测量;
- b) 应持续显示固定解后开始观测, 每点均应独立初始化三次。测回间的平面坐标分量较差不应超过 20 mm, 垂直分量较差不应超过 30 mm。

8.2.6 利用三角网及自由设站方式布设图根时,其技术要求应按 GB 50026—2020 的规定执行。

8.2.7 图根高程测量优先选用水准测量方法测量,也可采用卫星导航定位实时动态测量技术高程测量、电磁波测距三角高程导线等方法测量。

8.2.8 图根水准测量应起闭于不低于四等水准精度的控制点上, 可沿图根控制点布设成附合路线、闭合环或结点网。对起闭于一个水准点的闭合环, 应先行检测该点高程的正确性。高级点间附合路线或闭合环线长度应不大于 8 km, 结点间路线长度应不大于 6 km, 支线长度应不大于 4 km。应使用精度不低于 DS10 级的水准仪 ( $i$  角应小于  $30''$ ) 及普通水准标尺单程观测, 估读至厘米。水准路线闭合差不应超过  $\pm 10\sqrt{N}$  mm 或  $\pm 40\sqrt{L}$  mm (  $n$  为测站数, 不应大于 100;  $L$  为路线长度, 单位为 km )。

8.2.9 采用 GNSS 高程测量施测图根控制点高程时, 每点均应独立初始化三次。采用 GNSS 高程测量施测图根控制点高程首先应测出待测点的大地坐标系坐标, 选择利用城市似大地水准面模型的方法获取待测点正常高; 无城市似大地水准面模型时, 高程拟合法可作为 GNSS RTK 高程测量的补充方法。

8.2.10 高程控制采用电磁波测距三角高程导线测量时, 其技术要求应按 CJJ/T8 的规定执行。

### 8.3 电力管线点测量

8.3.1 电力管线点测量精度：平面位置测量中误差不应大于 50 mm（相对于该管线点起算点），高程测量中误差不应大于 30 mm（相对于该管线点起算点）。

8.3.2 电力管线点的平面坐标和高程可采用导线串测法或极坐标法等方法测定，并应符合下列规定：

- a) 采用导线串测法测量管线点平面坐标的作业方法和要求应符合现行标准 CJJ/T8 的规定;
- b) 使用全站仪采用极坐标法测量管线点平面坐标和高程时, 水平角和垂直角可观测半测回, 测距长度不宜超过 150 m, 定向边宜采用长边, 仪器高和觇牌高量至毫米;
- c) 采用水准测量法测定电力管线点的高程时, 管线点可作为转点; 管线点密集时可采用中视法观测。

## 8.4 质量检查

8.4.1 测量成果质量检查应在过程控制的基础上, 检查地下电力管线点测量精度。质量检查应符合下列规定:

- a) 检查点应在测区内均匀分布、随机抽取, 数量不得少于测区内电力管线点总数的 5%;
- b) 检查时应复测电力管线点的平面位置和高程, 并按如下公式 (6)、(7) 分别计算管线点的平面位置测量中误差  $m_{cs}$  和高程测量中误差  $m_{ch}$ ;

$$m_{cs} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta s_i^2}{2n}} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

式中：

$\Delta S_i$  ——重复测量管线点平面位置较差；

$\Delta h_{ci}$  ——重复测量管线点高程较差；

N ——重复测量点（或边）数。

8.4.2 测量成果质量检查还应符合 GB/T 24356 的相关规定。

## 9 数据处理与成果编制

### 9.1 一般规定

9.1.1 数据处理与成果编制的内容应包括数据仓库建立、数据检查与修改、数据文件生成、地下电力管线图编绘、电力管线成果表编制。

9.1.2 地下电力管线数据处理应在地下管线探测外业工作完成后并经检查合格要求的基础上进行。在数据处理完成经检查合格的基础上建立电力管线数据库，电力管线数据库应包括图形数据库和属性数据库。

9.1.3 地下电力管线图应依据地下电力管线探测野外采集的数据进行编绘。地下电力管线图编绘应在数据处理完成检查合格的基础上，采用计算机完成。编绘工作应包括：

- 比例尺选定；
- 地形图和电力管线图导入；
- 注记编辑；
- 图形检查；
- 成果输出等。

9.1.4 专业电力管线图、横纵断面图、电力管线局部放大图应采用彩色绘制，地形图按灰色绘制。

### 9.2 数据处理

#### 9.2.1 电力管线数据库建立

9.2.1.1 电力管线数据库应在需求分析的基础上进行设计，在满足 CJJ 61-2017 的基础上，还应符合下列规定：

- a) 专业电力管线数据库应相对独立；
- c) 数据结构应包括电力管线点、电力管线段、附属物边界线、其他数据表等内容；
- d) 数据空间参考系应符合平面坐标系和高程系统的规定；
- e) 几何数据和属性数据的内容应完整、全面，精度应符合规程相关要求；
- f) 数据存储的命名统一规范、存储方式符合要求。

9.2.1.2 电力管线数据库平台应具有数据库检查、数据转换、空间分析、数据接口服务等功能。

9.2.1.3 电力管线图形数据库建设应用图形数据库与电力管线数据库建立关联，实现图库一致性。

9.2.1.4 三维电力管线数据库应建立关联属性数据库，并建立二、三维一体化数据库；除应对电力管线特征点、附属设施建立三维模型外，还应对与电力管线相关的基础设施、建（构）筑物建立三维模型以及排水箱涵、综合管廊建立真三维建模。

9.2.1.5 形成的电力管线数据库应对原有的数据库进行更新，更新时应保留历史数据，形成历史数据库。

#### 9.2.2 电力管线数据检查

9.2.2.1 电力管线检查内容应包括图形和数据库检查。图形检查主要包括电力管线成图和电力管线图检查；数据库检查包括数据结构及内容检查、数据逻辑和接边检查。

9.2.2.2 电力管线成图检查要求：成图比例尺应符合规范；管点、电力管线、注记、地下井室和地面建（构）筑物边界线等的绘制应正确、无遗漏。

9.2.2.3 电力管线图检查要求：图层、颜色、线型、符号、注记装饰、图形应符合规范要求，图形与数据库记录应一致。

9.2.2.4 数据结构及内容检查应符合下列要求：

- a) 数据结构检查：数据表名、字段结构、格式应符合规范；数据记录应进行唯一性检查；数值范围、非空字段合理性检查；电力管线编码正确性检查等；
- g) 数据内容检查：电力管线属性信息应与探测原始记录一致，电力管线属性项内容正确，必填项属性值无遗漏。

9.2.2.5 数据逻辑检查应符合下列要求：

- a) 点线、线点的对应检查，管材与管径接口方式对应检查，边界线中心点对应检查；
- b) 特征、附属物、建（构）筑物的一致性检查；注记一致性检查等；
- c) 电力管线超长、埋设方式、变径变材变坡、多通分支检查、管线连通性；检修井各属性不能为空检查。

9.2.2.6 接边检查要求：数据库中接边点和接边线无缝接边检查。

9.2.2.7 电力管线数据经检查发现问题，应经现场核验修改后，重新提交数据。

### 9.2.3 数据文件生成

9.2.3.1 数据文件在经过 100% 检查合格的基础上，利用专业软件自动生成，且文件命名、文件内容、格式符合有关要求。

9.2.3.2 数据库文件结构宜按电力管线点、管段、边界线、其他等内容分类设置，数据库结构、字段命名、字段类型和字段宽度要正确。数据库文件的信息应与地下管线的原始记录保持一致。

9.2.3.3 数据图形文件包括分幅图数据文件和总图数据文件，且内容保持完全一致。

9.2.3.4 地下电力管线详查时，数据文件宜以测区为单位；地下电力管线精确探测时，数据文件宜以任务区域为单位。

## 9.3 成果编制

### 9.3.1 探测成果要求

9.3.1.1 电力管线点应设置地面标志，并在点位附近注明电力管线点编号。电力管线点编号应采用“管线类别代号+管线点顺序号”形式，并应保持其同一测区内的唯一性。不便设置地面标志的电力管线点，应记录其与邻近固定地物的距离和方位，并应绘制位置示意图。

9.3.1.2 地下电力管线详查应在作业现场记录探测结果，并根据项目需求增减记录项，记录方式可为纸质记录或电子记录。纸质记录表应使用墨水钢笔或铅笔填写，电子记录可按规定格式导出记录表。原始记录不得随意更改，确需更改时，应在纸质记录表上注记原因，或在电子记录手簿上经核对后修订。

9.3.1.3 地下电力管线详查应现场绘制纸质或电子的探测草图，草图应详细标注各种电力管线的走向、连接关系、电力管线点编号。

9.3.1.4 电力管线点实地编号、探测记录表、探测草图的对应信息应一致。

9.3.1.5 探测成果图应反映已有电力管线及电力管线附属物。

9.3.1.6 疑难、未查明的电力管线，用虚线表示。

9.3.1.7 探测精度不满足要求的电力管线，电力管线图上选用特定线形表示，颜色随层，管段线、管线点应增加注释。

### 9.3.2 地下电力管线图编绘

9.3.2.1 电力管线图应包括综合地下管线图、专业地下电力管线图、横断面图、局部放大图。

9.3.2.2 电力管线图使用的符号、颜色、线型及图面、图廓整饰等符合样图的要求外, 可对重要地段及电力管线凸出显示及相应文字说明, 但应单独设立图层和单独存储文件。

9.3.2.3 电力管线图应反映已有电力管线、电力管线附属物及建(构)筑物, 编绘内容除应符合 CJJ61—2017 中 7.3 节的规定外, 还应符合以下规定:

- a) 电力管线图按工程特点和工程内容的要求, 除电力管线及电力管线附属物编绘外, 还应对建(构)筑物进行编绘;
- b) 暗沟除按规定绘制边线及标注电力管线规格尺寸外, 还应注记地面和管底标高、电力管线分段长度、明暗渠分界线;
- c) 电力管线在综合管廊(沟)的边线依比例尺绘制, 管廊中的电力管线应在直线段采用断面图绘制, 对分支地段、突变地段采用局部放大图进行绘制;
- d) 对于预埋且未穿线缆的电力管沟除按虚线编绘外, 还应加注“空管”;
- e) 对于非开挖大埋深电力管线除按虚线编绘外, 还应加注“非开挖”;
- f) 当电力管线密集或上下重叠时, 应选用注记选择、断面图、扯旗、文字说明等综合方式编制。

9.3.2.4 专业电力管线图按专业绘制, 也可按相近专业组合编绘除按本文件综合图编制有关规定外, 还应符合以下规定:

- a) 专业电力管线图的编绘应根据专业电力管线特点和工程要求进行编绘, 原则上对电力管线进行详细注记, 不宜采用选择注记;
- b) 对预埋、非开挖、疑难重点电力管线应重点凸显, 加粗加重颜色编制;
- c) 满足设计需要的电力管线应标注管线地面高程和管顶高程及管底高程;
- d) 满足工程施工需要的电力管线还应标注相邻管线水平和垂直距离, 以及与周边固定物[建(构)筑物]距离;
- e) 专业电力管线特殊要求探测(检测)时还应按等级分段标注相关信息。

9.3.2.5 电力管线断面图编绘时应符合以下规定:

- a) 电力管线横断面图应垂直城市道路, 比例尺的选定应按图上不做取舍和移位能清楚地表示上述内容为原则, 图上应标注比例尺;
- b) 一般情况下, 断面图的水平比例为 1:200, 垂直比例为 1:100;
- c) 电力管线横断面图应采用数据处理软件自动生成或在数据库中提取;
- d) 对于施工、改造项目设计阶段提供的断面图, 按设计要求进行编绘;
- e) 对于大型箱涵宽度或深度大于 5 m 箱涵, 应单独按工程设计要求 5 m~10 m 间隔独立成图。

9.3.2.6 编制局部放大图时, 局部放大图编绘内容和要求与电力管线图的有关规定相同。放大的比例尺按图面内容不做任何取舍和移位, 按能表示清楚的原则进行选定。

### 9.3.3 地下电力管线成果表编制

9.3.3.1 地下电力管线成果表的编制应以绘图数据文件及地下管线调查记录、地下管线的探测成果为依据进行, 其管线点号应与图上点号相对应。

9.3.3.2 编制成果表时, 在规定编制内容的基础上, 可增加工程性质、探测手段、质量评价等内容。

9.3.3.3 成果表应以 1:500 图幅为单位, 按管线类型分装成册(不装订)。成果表分装成册后应在封面标注图号、主要道路名称。特殊工程可按工程项目为单位, 应在封面标注工程名称、工作区域名称。

9.3.3.4 电力管线成果表应经过 100% 检查合格, 相关信息应与地下管线探测原始记录一致。电力管线成果表中的数据项内容应完整、正确。

### 9.3.4 报告书编写

9.3.4.1 地下电力管线探测报告应包括下列内容:

- a) 工程概况：工程的依据、目的和要求，工程的地理位置、地球物理和地形条件，开竣工日期，投入的人力资源和仪器设备，实际完成的工作量等；
- b) 作业技术依据；
- c) 已有资料利用情况；
- d) 探测的过程和措施；
- e) 针对特殊管道使用精确探测技术的方法和效果；
- f) 质量评述：各级质量检查情况与评价、精度统计与评定；
- g) 对存在问题的处理措施；
- h) 结论与建议；
- i) 提交的成果资料清单；
- j) 有关附图、附表。

9.3.4.2 报告书中质量评定的结论应以各工序质量检验报告为依据。

9.3.4.3 报告书应突出重点、条理清晰、表达清楚、结论明确。

## 10 质量检查与验收

### 10.1 一般规定

10.1.1 成果验收应在作业单位检查合格、成果质量检查合格的基础上实施。

10.1.2 成果验收应依据项目任务书或合同、技术设计书、本文件及有关技术标准进行。

10.1.3 成果通过验收后按任务要求提交。

10.1.4 采用专项探测手段取得的成果，应在成果报告中明确所采用的探测手段。

10.1.5 地下电力管线详查项目应实行两级检查、一级验收制度；地下电力管线精确探测项目可与委托方协商制定检查与验收方式。

10.1.6 地下电力管线数据处理不得使用未经检查或经检查不合格的数据。

### 10.2 质量检查

10.2.1 质量检查的样本抽取、检查内容应符合 GB/T 24356 的相关规定。

10.2.2 质量检查应重点检查电力管线探测的准确性和精度，检查成果质量控制过程是否按精细探测要求实施。

10.2.3 当质量检查发现不符合项时，应立即提出处理意见，返回作业部门进行纠正。纠正后的成果应重新进行质量检查，直至符合要求。

10.2.4 质量检查完成后，应编制质量检查报告。质量检查报告内容应包括检查工作概况、项目成果概况、检查依据、检查内容及方法、主要质量问题及处理情况、质量评价结论等。

### 10.3 成果验收

#### 10.3.1 提交验收的资料

10.3.1.1 任务书或合同书、技术设计书。

10.3.1.2 所利用的已有成果资料、坐标和高程的起算数据文件以及仪器的检验、校准记录。

10.3.1.3 探测草图、外业调查记录表、控制点和电力管线测量的观测记录和计算资料、各种检查和相片及权属单位审图记录、现场验证记录等。

10.3.1.4 项目技术总结、电力管线探测平面图、电力管线探测成果表（管线特征点成果表）、电力管线剖面图、数据文件、数据库等。

10.3.1.5 质量检查报告。

### 10.3.2 验收合格的标准

- 10.3.2.1 提交的成果资料齐全，符合归档要求。
- 10.3.2.2 完成合同规定的各项任务，成果经质量检查符合质量要求。
- 10.3.2.3 各项记录和计算资料完整、清晰、正确。
- 10.3.2.4 采用的过程与技术措施符合标准规范要求。
- 10.3.2.5 成果精度指标达到技术标准、规范和技术设计书的要求。
- 10.3.2.6 问题描述清晰、处理方式合理。
- 10.3.2.7 总结报告内容齐全，能反映工程的全貌，结论明确。

### 10.3.3 验收报告包含的内容

- 10.3.3.1 验收目的。
- 10.3.3.2 验收组织：组织验收部门、参加单位、验收组成员。
- 10.3.3.3 验收时间及地点。
- 10.3.3.4 成果验收意见。
- 10.3.3.5 发现处理情况。
- 10.3.3.6 验收结论。
- 10.3.3.7 验收组成员签名表。

### 10.4 成果提交

- 10.4.1 项目成果应按任务书或合同约定向建设方提交经验收合格的最终成果资料，并按有关要求归档。
- 10.4.2 成果移交应列出清单或目录，逐项清点，并办理交接手续。

## 附录 A

### (资料性) 微动探测台阵示例

A.1 微动探测是通过多个台站组成的台阵来采集微动信号, 不同台阵布设方式将影响数据采集质量和探测效果。应用空间自相关法( SPAC 法)要求观测台阵布设成圆形, 并在圆心处布设 1 个、圆周上至少布设 3 个观测台站。圆形观测台阵的半径称为观测半径。观测半径与探测深度密切相关, 半径越大, 探测深度越深, 半径越小, 探测深度较浅。通常情况下, 微动台阵的探测深度大约是观测半径的 3~5 倍。为了满足探测深度要求, 可采用多个观测台阵组成的多重观测系统进行组合观测。目前最常用的采集台阵为多重圆形台阵(如图 A.1 所示的双重圆形台阵)。当场地条件受限难以布置成圆形台阵时, 也可布置成直线形、L 形和十字形台阵(图 A.2 与图 A.3)。结合场地条件和背景噪声特点, 建议选择直线型台阵或双重圆台阵。

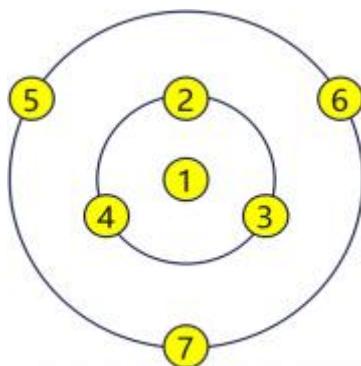


图 A.1 双重圆观测台阵示意图

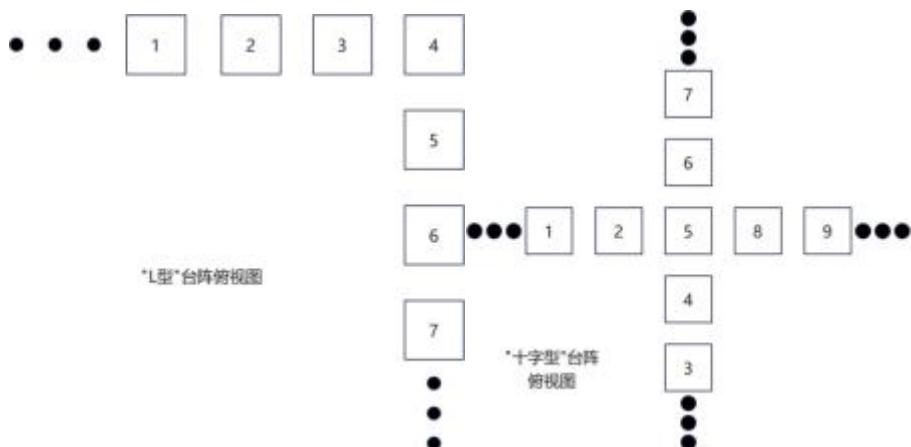


图 A.2 ‘L’型与‘十字型’观测台阵示意图



图 A.3 ‘L’型与‘十字型’观测台阵示意图

A.2 除单点微动探测外, 常用方式为二维微动剖面探测。图 A.2 为二维微动剖面观测系统。根据探测目标合理布置剖面观测系统的测线位置、走向和点距。在完成第一个点  $O_1$  的单点微动观测后, 台阵仪器平移到第二个点  $O_2$  观测, 以此类推, 直至整条剖面测量完成。

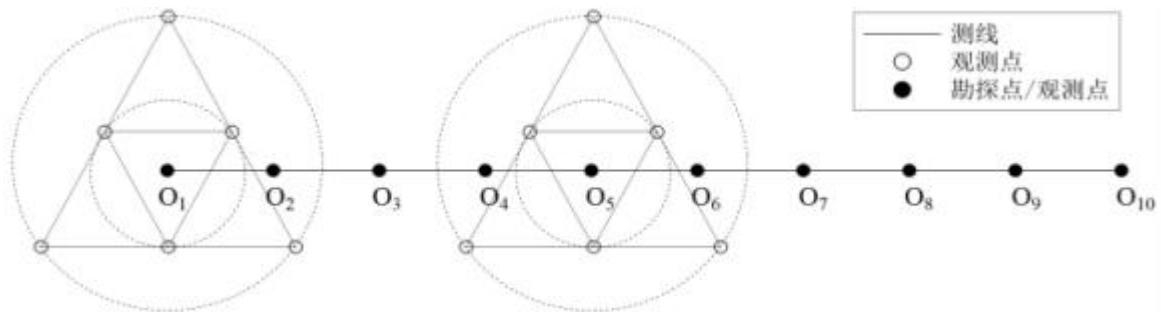


图 A.4 二维微动剖面观测系统

A.3 以少量设备为例, 双重圆存在高效的重叠布置方法, 依托共用设备数据实现多个双重圆同时布设的方法, 具体如下:

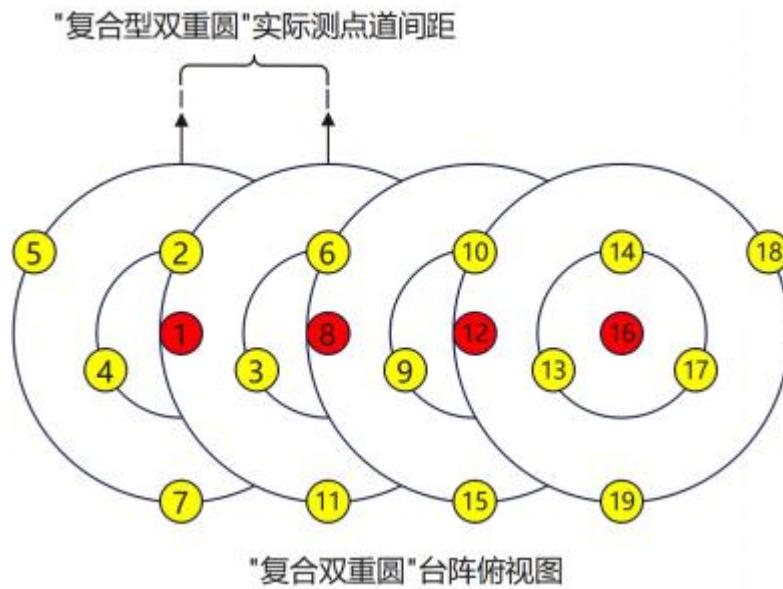


图 A.5 台阵俯视图

## 附录 B

(规范性)

微动探测方案设计提纲

### B. 1 项目概况

工程概况、自然地理与交通位置、任务、目的与要求等等。

### B. 2 工作区概况

工区场地条件、地形地貌，以及地球物理特征、以往工作程度及评述等。

### B. 3 工作内容及进度安排

现场踏勘情况、测线测点布置、采集方法试验、仪器设备、观测方式、技术参数、预计工作量、进度计划等。

### B. 4 预期提交成果资料

### B. 5 质量和安全措施

### B. 6 经费预算

### B. 7 其他需要说明及注意的问题

### B. 8 附图及附表

**附录 C**  
 (规范性)  
**微动探测数据采集野外记录班报模板**

**C. 1 微动探测数据采集野外记录班报模板**

**表 C. 1 微动探测数据采集野外记录班报模板**

施工日期: 天气: 仪器操作员:

项目名称			施工地点	
测线-测点号:				
现场描述:				
观测半径:				
放大倍数:				
各仪器所用道数:				
台阵布置示意图:				
班组长签字:				

## C. 2 各测点详细信息记录表

表 C. 2 各测点详细信息记录表

测点：道间距：记录员：

开始时间 (UTC)：

结束时间 (UTC)：

仪器编号	观测时间	X	Y	Z	备注
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

班组长签字：

### C. 3 微动探测数据采集野外班报汇总表

表 C.3 微动探测数据采集野外班报汇总表

项目名称： 施工单位：

工区：负责人：

第页 共页

**附录 D**  
 (规范性)  
**微动探测原始记录质量评级表**

**D. 1 微动探测原始记录质量评级表**

**表 D. 1 微动探测原始记录质量评级表**

<b>微动探测原始记录质量评级表</b>						
工区:						
测线测点号:		记录员:	检查员:			
编号	评价内容		是	否	评价结果	备注
1	仪器检查记录是否合格		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	合 格 <input type="checkbox"/>	1-6中任意一项为“否”，则原始记录不合格，全为“是”，则原始记录为合格。
2	观测系统和采集台阵是否正确		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3	野外记录表格是否正确和齐全		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4	观测台阵内是否存在强烈的方位性干扰噪声，导致数据无法使用		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5	采用 SPAC 法时中心道记录是否正常		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
6	频带范围是否能满足勘探需要		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
7	原始记录信号是否整体平稳，无明显零值漂移		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	优 良 <input type="checkbox"/>	1-6项全为“是”，且 7-10 项全为“是”，则原始记录为优良。
8	同一半径各道记录有无明显方位性干扰，或明显方位性干扰时长是否大于采集时长的5%		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
9	有无不正常记录		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
10	野外记录是否规范整洁		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

## 附录 E

(规范性)

### 野外工作总结报告提纲

- E. 1 项目概况
- E. 2 野外工作概况
- E. 3 设计规定任务与指标完成情况

设计规定任务与指标完成情况应包含以下内容:

- a) 设计规定任务与指标;
- b) 工作量情况。

- E. 4 初步成果
- E. 5 存在问题与建议
- E. 6 野外工作提交成果资料清单

野外工作提交成果资料清单应包含以下内容:

- a) 《项目施工方案（含施工实际材料图）》；
- c) 《野外工作总结（验收）报告》；
- d) 实测数据，包括一致性测试数据及结果，实测微动数据，测点施测资料（测点坐标、高程数据）；
- e) 野外工作成果资料；
- f) 其他与项目相关的资料。

## 附录 F

(规范性)

### 二维微动剖面及地质解释成果图模板

F.1 二维微动剖面法探测获得微动剖面成果图(视S波速度剖面图)(图G.1)。对二维微动剖面进行物探解释应包括以下内容,最终获得埋地电力管线箱涵体空间位置分析表(表G.1)。

- a) 圈划异常区域,勾画位置信息;
- g) 识别相关速度异常并做出标识;
- h) 如测区有多条测线,需逐条完成微动剖面的物探解释,并获得测区平面成果图。

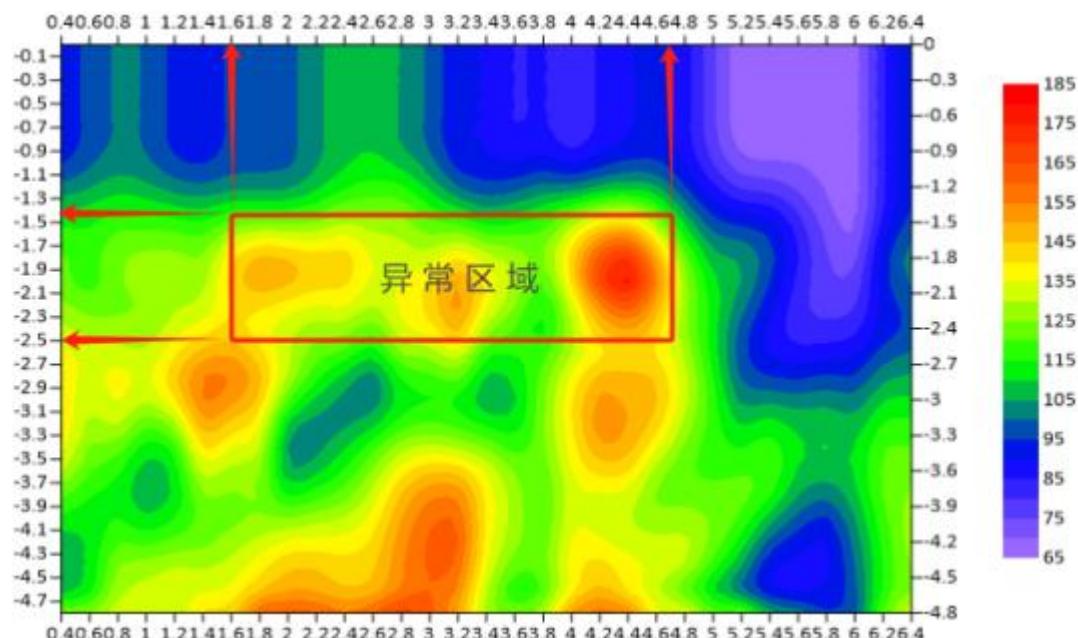


图 F.1 二维微动剖面及物探解释成果图

表 F.1 埋地电力管线箱涵体空间位置分析表

顶板埋深 (m)	底板埋深 (m)	边界位置 (m)	箱涵宽度 (m)	箱涵厚度 (m)
1.45	2.50	1.60~4.70	3.10	1.05

## 附录 G

(规范性)

微动探测成果报告提纲

### G. 1 前言

前言应包含以下内容:

- 1) 项目来源、工作任务及目的等;
- 2) 工区概况;
- 3) 遵循的规范与标准;
- 4) 工作完成情况及主要成果。

### G. 2 工区地质及地球物理特征

- 1) 既有工作;
- 2) 地质概况;
- 3) 地球物理特征。

### G. 3 工作方法与技术

- 1) 方法原理;
- 2) 仪器设备及参数;
- 3) 测线布置;
- 4) 现场工作方法与技术;
- 5) 数据处理方法。

### G. 4 工作完成情况及质量评述

### G. 5 资料解释推断

- 1) 异常判识原则;
- 2) 二维微动剖面成果解释。

### G. 6 结论和建议

### G. 7 附件

附件包含以下内容:

- 1) 实测点坐标;
- 2) 微动探测成果图。

## 参 考 文 献

[1] Suqun Ling, Research on the estimation of phase velocity of surface waves in microtremors. Ph. D. thesis (in Japanese). Hokkaido University, 1994.

[2] Okada H. 《The microtremor survey method》. Society of Exploration Geophysicists, Geophysical Monographs Series Vol. 12, translated by Koya Suto. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 2003.

[3] 凌甦群, 三轮滋, 瞬态面波法和微动勘探法在日本新潟县中越地震灾区地质调查中的应用。《工程物探新技术》, 80~85, 北京: 地质出版社。2006.

[4] 徐佩芬, 李传金, 凌甦群, 张胤彬, 侯超, 孙勇军, 2009, 利用微动勘察方法探测煤矿陷落柱, 地球物理学报, 52(7):1923~1930。

[5] 徐佩芬, 侍文, 凌苏群, 郭慧丽, 李志华, 2012, 二维微动剖面探测“孤石”：以深圳地铁 7 号线为例, 地球物理学报, 55(6):2120~2128。

[6] Peifen Xu, Suqun Ling, Chuanjin Li, Jianguo Du, Dengming Zhang, Xueqiu Xu, Kangming Dai, and Zuohong Zhang, 2012, Mapping deeply-buried geothermal faults using microtremor array analysis. *Geophys. J. Int.* 188(1), 115~122, doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05266.x.

[7] Peifen Xu, Suqun Ling, Weiyang Ran, Qingxiao Liu, Jingguang Liu, 2013, Estimating Cenozoic thickness in the Beijing plain area using array microtremor data, *Seismol. Res. Lett.*, 84(6):1039~1047.

[8] 徐佩芬, 李世豪, 凌甦群, 郭慧丽, 田宝卿, 2013, 利用 SPAC 法估算地壳 S 波速度结构, 地球物理学报, 56(11):3846~3854, doi:10.6038/cjg20131126。

[9] 李传金, 徐佩芬, 凌甦群, 2016, 微动勘探法圆形阵列台站数量和分布方式研究, 科学技术与工程, 16(7):27~30。

[10] 杜亚楠, 徐佩芬, 凌甦群, 2018, 土石混合滑坡体微动探测: 以衡阳拜殿乡滑坡体为例, 地球物理学报, 61(4):1596~1604, doi:10.6038/cjg 2018L0057。

[11] 张若晗, 徐佩芬, 凌甦群, 杜亚楠, 游志伟, 王志辉, 孙成禹, 2020, 基于微动H/V谱比法的土石分界面探测研究—以济南中心城区为例, 地球物理学报, 63(1):339~350, doi:10.6038/cjg2020M0678。

[12] 徐佩芬, 杜亚楠, 凌甦群, 游志伟, 姚金, 张华, 2020, 微动多阶瑞雷波SPAC系数反演方法及应用研究, 地球物理学报, 63(10):3857~3867, doi:10.6038/cig202000148。

[13] Peifen Xu, Suqun Ling, Gang Long, Gaoqian Qian, Qiuyue Shen, Jin Yao, Hua Zhang, 2021, ESPAC-based 2D mini-array microtremor method and its application in urban rail transit construction planning. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 115(3), 104070.

[14] 乔高乾, 徐佩芬, 龙刚, 凌甦群, 2021, 微动剖面探测法在城市轨道交通勘察中的应用及效果: 以广州地铁十号线为例, 科学技术与工程, 21(20):8582~8591。

[15] 杜亚楠, 龚雪, 徐佩芬, 凌甦群, 李传金, 2021, 微动勘探中噪声场分布的不均匀性对圆形和直线形台阵的影响研究, 地球物理学进展, 37(3):1007~1012。

[16] 王磊. 建筑工程的发展趋势分析[J]. 江西建材, 2015(2):111~112。

[17] 张雷. 分析土木工程中微动勘探技术的应用[J]. 数字技术与应用, 2018(5):45~45。

[18] 孟爱青. 微动勘测技术在土木工程领域的应用分析[J]. 山西建筑, 2016, 42(4):48~49。

[19] 车爱兰、程成、陈梦等, 土木工程墙板结构损伤检测的微动测试方法与系统。

[20] 赵本. 场地微动作用下防微振平台的振动分析[D]. 同济大学, 2016。