

ICS

点击此处添加中国标准文献分类号

中华人民共和国能源行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

地热资源微动探测技术规程

Technical regulation for microtremor survey in geothermal exploration

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2019-09-16）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX

国家能源局 发布

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和缩略语 1

 3.1 术语 1

 3.2 缩略语 1

4 总则 2

 4.1 探测目的 2

 4.2 应用条件 2

 4.3 阶段划分 2

5 技术设计 2

 5.1 资料收集与踏勘 2

 5.2 观测系统设计 2

 5.3 工作精度 3

 5.4 生产前试验 3

 5.5 设计书编写 4

6 野外工作 4

 6.1 仪器设备 4

 6.2 一致性试验 4

 6.3 数据采集 4

 6.4 安全保障 5

 6.5 原始资料质量检查与评价 5

 6.6 野外资料验收 6

7 数据处理与解释 6

 7.1 数据处理 6

 7.2 资料解释 7

8 报告编写与资料汇交 7

 8.1 报告编写 8

 8.2 报告评审 8

 8.3 资料归档 8

附 录 A （资料性附录） 微动数据采集阵列方式 9

附 录 B （规范性附录） 微动探测野外采集记录本模板 12

附 录 C （资料性附录） SPAC 法提取频散曲线和基于遗传算法反演 S 波速度原理 15

附 录 D （规范性附录） 单点微动探测成果图册模板 17

参考文献 18

地热资源微动探测技术规程

1 范围

本标准规定了地热资源微动探测的技术设计、数据采集、数据处理与解释、报告编写等要求。
本标准适用于地热资源勘查中的微动探测技术。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 11615 地热资源地质勘查规范

DZ/T 0069 地球物理勘查图式图例及用色标准

3 术语和缩略语

下列术语、定义适用于本标准。

3.1 术语

3.1.1 微动 Microtremor

微动是一种没有特定振源（震源）、任何时间和地点都可以观测到的微弱振动，其形变位移量一般只有几微米到几十微米，也被称为被动源面波（Passive surface）、环境随机振动（Ambient vibration）等，主要由地震、潮汐、气候等自然现象的变化引起的长周期信号。

3.1.2 微动探测 Microtremor survey

基于阵列设备采集地面微动信号，通过数学计算及相关的数字处理技术提取其垂直分量中面波信号（主要为瑞雷波）的相速度频散曲线，经反演计算获得阵列下方介质S波速度结构，进而推断其地质结构的一种地球物理探测方法。

3.1.3 面波频散 Surface wave dispersion

面波在地层介质中传播的速度随频率变化而变化的现象。

3.1.4 频散曲线 Dispersion curve

表示面波的频率（或波长、周期）与波速（相速度）间关系的曲线。

3.1.5 观测阵列 Observation array

根据探测目的，结合野外条件，多个拾震器（检波器）按照一定的排列组合形成的采集方式，如圆形、十字、不规则方式等。

3.1.6 视 S 波速度

根据经验公式（见7.1.4.2），由面波相速度换算得到的近似横波速度。

3.2 缩略语

3.2.1 SPAC

Spatial autocorrelation（空间自相关）。

3.2.2 ESPAC

Extended spatial autocorrelation（扩展空间自相关）。

3.2.3 F-K

Frequency-Wavenumber（频率-波数法）。

4 总则

4.1 探测目的

4.1.1 地热储层埋藏深度探测；

4.1.2 盖层岩性、厚度及组合特征探测；

4.1.3 控热断裂构造位置及产状探测；

4.1.4 热储盆地结构探测。

4.2 应用条件

4.2.1 目标体与围岩之间存在明显的速度差异；

4.2.2 采集阵列内地形无剧烈起伏变化、无较强振动干扰；

4.2.3 工作现场应具备足够空间，能布置探测装置。

4.3 阶段划分

4.3.1 地热资源微动探测工作阶段依据 GB/T 11615，可分为调查、可（预可）行性和开采阶段，按工作模式，可划分为单点微动测深、剖面或面积性微动探测。

4.3.2 调查、可（预可）行性勘查阶段以面积性或剖面探测工作为主，需进行技术设计。

4.3.3 开采阶段，针对拟钻井开展论证的勘查或物探工作量较少的项目，可简化技术设计，或与野外施工同时完成。

5 技术设计

5.1 资料收集与踏勘

5.1.1 系统收集整理已有地球物理、区域地质、水文地质、钻探等工作成果资料，分析已有资料的工作程度和存在的问题。

5.1.2 收集工作区主要岩石、地层纵波速度、横波速度、泊松比等物性资料。

5.1.3 现场踏勘工作区地形、地貌、植被、交通、气象、居民点等条件，了解野外作业施工条件。

5.1.4 选择已知条件较好的地段开展方法有效性试验，确定仪器设备、观测方式及技术参数等。

5.2 观测系统设计

5.2.1 单点微动测深应布置在已知孔位及拟钻井预布设孔位附近。

5.2.2 面积性或剖面性微动探测应根据地质任务、勘查对象和地形地貌等情况，按照既能满足地质任务所要求的详细程度和精确程度，又经济合理的原则进行设计[参照 GB/T 11615]，地热资源微动探测常用比例尺参照表 1，测网密度参照表 2。

表1 工作比例尺表

勘查阶段		调查	预可行性勘查	可行性勘查	开采
热田勘查类型	层状热储	1:100 000		1:50 000	1/1万
	带状热储	1:50 000		1:25 000	1/5000

表2 测网密度表

工作比例尺	线距/km	点距/km
1:100 000	10.00~20.00	5.00~10.00
1:50 000	5.00~8.00	2.50~4.00
1:25 000	2.50~4.00	1.25~2.00
1:10 000	1.00~2.00	0.50~1.00
1:5 000	0.50~0.80	0.25~0.40

5.2.3 测点的平面点位误差，在相应工作比例尺成果图上应不大于 5mm。高程误差，当勘查对象的最小埋深超过 100m 时不得超过最小埋深的 5%；当勘查对象的最小埋深不足 100m 时应小于 5m。

5.2.4 面积性测量按规则测网布设，主测线应能控制区内主要地质体，若施工环境不允许，可适当调整测线，点、线距调整不超过 20%。测线距离不大于 1km，点距不大于 500m。

5.2.5 剖面测量测线方向应垂直于探测地质目标体的走向，每个剖面微动探测点应不少于 5 个。

5.2.6 测线尽可能与已有的地质、物化探勘探线和钻孔位置重合。

5.2.7 测点、测线号编排规则：测线左端为小号、右端为大号，点线号自西向东、自南向北增大的顺序编号。

5.2.8 采集阵列可设计为圆形阵列、嵌套三点圆形阵列、十字阵列、菱形阵列、L 型阵列和不规则密集阵列等（参见附录 A）。需根据地质任务、地形地貌、工作区地质构造特征、噪声特征、仪器设备性能、现场方法试验，选择合适的采集阵列。

5.2.9 采用嵌套三点圆形阵列探测的，应根据探测深度要求，初步估算观测半径。估算公式为： $r \geq (1/3 \sim 1/5) H$ （ r 为最大观测半径， H 为勘探深度）。探测深度小于等于 500m 时，最大观测半径不应小于探测深度的 1/5；探测深度大于 500m 时，最大观测半径不应小于探测深度的 1/3。应设计多个采集半径，开展现场试验，根据实测频散曲线的反演计算结果，对比分析试验数据，确定最佳采集半径。

5.2.10 探测点应尽量避免断裂带等地层速度剧烈变化地带，避免跨构造单元布设。在地质情况不清楚的空白区域，单点微动测量点数不宜少于 3 个。

5.3 工作精度

5.3.1 工作精度应根据地质勘查任务、干扰强度及其他因素进行设计。

5.3.2 工作精度分两级：

- I 级：频散曲线重复性好，平均相对偏差不大于 5%，低频段频点密度高。
- II 级：频散曲线重复性较好，平均相对偏差不大于 10%，低频段频点密度较高。

5.4 生产前试验

在应用条件不明或工作区地质条件比较复杂时，应选择有代表性的地段进行方法试验，确定合适的采集阵列和半径。在条件许可时，可在已知地热井旁进行试验。

5.5 设计书编写

5.5.1 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地质问题，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。根据以往工作程度及存在问题，在现场踏勘基础上，编制工作设计，明确工作内容和初步技术参数，说明预期成果、组织保障措施和经费预算等。

5.5.2 设计书主要内容包括：

- a) 项目概况：来源、目的、任务、实物工作量；
- b) 工作区概况：地质、地球物理特征，以往工作及评述；
- c) 工作部署：现场踏勘情况，测线测点布置，现场方法有效性试验、仪器设备、观测方式、技术参数，精度设计，进度计划等；
- d) 数据处理与解释；
- e) 预期成果；
- f) 保障措施；
- g) 经费预算；
- h) 附图及附表。

6 野外工作

6.1 仪器设备

6.1.1 拾震器宜采用速度型传感器，电压输出灵敏度不宜小于 2V/cm/s 。勘探深度不大于 1000m 时，自然频率不宜高于 1Hz ；勘探深度为 $1000\text{--}2000\text{m}$ 时，自然频率不宜高于 0.5Hz ；勘探深度大于 2000m 时，自然频率不宜高于 0.2Hz ；有效频带范围内，频谱曲线应变化平缓。

6.1.2 记录仪应自带内置卫星导航定位信号接收装置，且具有实时时间校正和多台传感器同步、连续记录功能。时间精度（包括时钟精度和校正精度）为 24 小时误差宜在 $\pm 2.5\text{ms}$ 以内。模/数转换不宜低于 24 位，采样率不应大于 10ms ，动态范围不宜小于 120dB 。

6.1.3 通道幅值一致性偏差不应大于 1% ，通道相位一致性偏差不应大于最小采样间隔的一半，折合输入端噪声水平应低于 $1\mu\text{V}$ ，电压增益应大于 80dB 。

6.1.4 记录仪数据存储容量不宜低于 8GB ，充分蓄电后，持续工作时长不宜少于 24 小时。

6.2 一致性试验

6.2.1 野外工作前，必须进行仪器一致性试验。将全部仪器放置在同一点处，同步记录 $10\sim 20\text{min}$ ，计算各套仪器的功率谱、功率谱之比、相干系数和相位差，选择某一台拾震器记录数据为标准记录，分别与其余拾震器记录进行比较，一致性不应小于 95% 。

6.2.2 每日施工前，应对参与施工的仪器进行检验和一致性测试。仪器检验应按说明书进行。一致性测试将全部仪器放置在同一点处，同步记录 5min ，通过数据回放检查原始记录是否具有较好的一致性，应无坏道等仪器本身导致的异常。

6.3 数据采集

6.3.1 一般阵列，微动探测点为阵列中心点；L 形阵列，微动探测点为 L 形拐点。

6.3.2 各阵列点坐标均需使用高精度定位仪测量，定位平面中误差不大于阵列点最小间距的 10% 。

6.3.3 根据设计的采集阵列和观测系统进行测网布设，当阵列点遇水域、高架桥、陡崖等特殊地形地貌的场地时，可适当调整采集阵列，避开障碍，并记录实际点位坐标。

6.3.4 采用圆形阵列时，同一阵列内拾震器平面位置移动距离不宜超过所在半径的 $1/10$ ，若仍无法避开障碍，可将测点（即整个阵列）整体移动。

6.3.5 圆形阵列需 $n+1$ 道检波器同时观测（ $n \geq 3$ ），将一个检波器布设在中心点，另外 n 个检波器均匀布设在某一采集半径的圆周上。可依次进行各半径的数据观测，在检波器数量足够多的情况下，也可一次性完成各半径的数据观测。观测半径不宜少于 3 个。

6.3.6 野外观测应尽可能采用圆形阵列，当障碍物较多时，可采用 L 型阵列、三角形阵列、不规则密集阵列等，检波器数量不少于 10 个。

6.3.7 数据采集前，确保各检波器与地面耦合良好，检波器处于水平状态。对于便携式无缆检波器，需精确授时，时间校正精度应 $\leq 1\text{ms}$ 。

6.3.8 观测时长不应少于 30 分钟，干扰严重地区应延长采集时间或夜间作业。根据现场方法试验确定合理的观测时长。

6.3.9 详细记录仪器采集参数设置和野外现场工作（附录 B），野外记录本须用 3H 及以上硬度铅笔记录，字迹清楚，少涂改。记录内容包括阵列类型、检波器编号及位置、采集开始和结束时间等信息，同时记录观测点（检波器埋置点）附近典型的地形地貌，尤其是可能引起噪声的干扰源。

6.3.10 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。

6.3.11 收工后应及时将当天采集数据传入计算机，检查确认采集数据是否有效，并存盘备份。

6.4 安全保障

6.4.1 严格执行国家有关安全法规、标准、规范、规程的要求。坚持“安全第一、预防为主、综合治理”的方针。

6.4.2 随时观察天气情况，及时通讯，靠近山区施工，要注意观察地形地貌和警示标志，远离山洪、泥石流易发区。

6.5 原始资料质量检查与评价

6.5.1 每天测量完成后，操作人员应通过回放等方式，第一时间检查原始记录有无不正常道等明显异常。并将原始记录进行初步整理，交由室内组（或专人）进行检查和初步验收，并作出评价。发现重大问题及时通知操作人员，并提出改进建议。

6.5.2 原始记录质量评价分为优良、合格和不合格三个等级。

6.5.3 同时满足以下条件为优良记录：

- a) 仪器检查记录合格；
- b) 观测系统和采集阵列正确，符合设计要求；
- c) 野外记录表格正确、齐全、整洁；
- d) 原始记录信号整体平稳，无明显零值漂移；
- e) 同一半径各道记录无明显的方位性干扰记录，或明显的方位性干扰记录时长不大于采集时长 5%；
- f) 同一阵列内无不正常道记录；
- g) 频带范围满足勘探需要。

注：方位性干扰记录指异常记录如记录幅值突然增大数倍以上，且同一半径拾震器中只有某个方位的记录存在该情况；不正常道是指原始记录存在由仪器本身导致的异常，如记录幅值为零等。

6.5.4 有下列缺陷之一者为不合格记录：

- a) 无仪器检查记录或仪器检查记录不合格的全部记录；
- b) 观测系统不正确或仪器处于不正常状态所获得的记录；
- c) 野外记录表格信息不正确或不齐全，导致不能利用的记录；
- d) 同一半径内某道数据存在强烈的方位性干扰噪声，导致数据无法使用；
- e) 中心道记录不正常或同一阵列内存在 2 个及以上不正常道记录；
- f) 频带范围不能满足勘探需要；

6.5.5 不够优良条件，又不属于不合格的记录为合格记录。

6.5.6 对于不合格记录需重新采集，优良记录不应低于 70%。

6.6 野外资料验收

6.6.1 原始资料应包括以下内容：

- a) 野外观测记录本（详见附录 B）；
- b) 仪器一致性试验原始数据记录；
- c) 测量点采集数据原始记录波形（电子文档）；

6.6.2 基础资料应包括以下内容：

- a) 质量检查点误差统计表及曲线；
- b) 实际材料图；
- c) 野外工作手图；
- d) 野外工作小结；
- e) 其他相关资料。

6.6.3 项目承担单位先组织内部验收，形成内部验收意见，合格后向项目委托单位提交验收申请，委托单位组织专家对野外资料进行验收，并形成最终验收意见。

6.6.4 野外资料验收合格后，方可结束野外工作，并按要求向项目委托方提交原始资料。

7 数据处理与解释

7.1 数据处理

7.1.1 数据处理软件应具有 SPAC、ESPAC 或 F-K 域分析功能。

7.1.2 面波频散曲线提取

7.1.2.1 有中心点的规则阵列（阵列中心布设有拾震器）采集的数据建议使用空间自相关法（SPAC）（详见附录 A）。各半径空间自相关系数在低频段（第一个零值频率以低）不宜小于 0.8；贝塞尔函数拟合差不宜大于 10%。

7.1.2.2 无中心点的阵列（阵列中心未布设拾震器）采集的数据应使用扩展空间自相关法（ESPAC）。半径划分不宜少于 3 个，尽量使拾震器均匀分布在各半径内；各半径空间自相关系数在低频段（第一个零值频率以低）不宜小于 0.8；贝塞尔函数拟合差不宜大于 10%。

7.1.2.3 拾震器数量较多（不少于 10 个）的非规则阵列采集的数据，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，宜使用频率-波数法（F-K）。频率波数谱的峰值能量应具有较好收敛性。

7.1.2.4 处理软件应具有不局限于贝塞尔函数零值、峰值点拾取的功能。

7.1.3 视 S 波速度计算

7.1.3.1 面积性测量、剖面测量或者测点较密集可连成 2D 测线的情况下，微动频散曲线可直接计算视 S 波速度 V_x ，再内插形成视 S 波速度平面或剖面图，直接进行地质构造推断解释。

7.1.3.2 视 S 波速度计算公式见下式。式中： V_r 为相速度（m/s）； t_i 为周期（s）。

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

7.1.3.3 勘探深度估算公式如下，式中： H 为勘探深度， V_x 为 S 波速度， f 为频率， α 为校正系数，有条件的工作区可与已知钻孔资料对比，做深度校正，提高深度解释的精度。

$$H = \alpha V_x / 2f$$

7.1.3.4 面积性或剖面测量提供面波速度等值线断面图。

7.1.4 S 波速度反演

7.1.4.1 频散曲线可经反演获得阵列下方介质的横波速度结构，从垂向上解释推断地层结构。也可对反演后的 S 波速度结构数据进行内插，形成 S 波速度平面或剖面图，从平面或剖面上进行地质解释。

7.1.4.2 应利用测点附近的钻孔资料或位于同一个构造单元的钻孔资料提供初始模型信息，主要参数包括地层厚度、纵波速度、密度和初始 S 波速度。若缺少钻孔资料，可基于区域地质资料或邻近微动测深点反演成果建立初始模型结构；在地质背景资料空白区，可用细分法将目的反演深度等分为多个地层，浅部采用较小间隔，深部采用较大间隔。

7.1.4.3 对于成层性较好的沉积地层，可使用基于模型的遗传反演算法（附录 C）；对于非层状异常体（如岩体等）或介质 S 波速度横向变化较大时，可使用层析成像反演。

7.2 资料解释

7.2.1 遵循从已知推断未知的原则，必要时对重点异常进行现场踏勘。

7.2.2 根据工作区及其邻近工作区已知地质、地球物理及钻探等资料建立的地质-地球物理概念模型，对处理后的数据异常进行类比解释推断。以地质理论为指导，采用平面解释和剖面解释相结合的方法，二者互为补充和约束，使推断成果更合理。

7.2.3 地热资源可（预可）行性勘查阶段，主要利用区域性视 S 波速度平面图件，对地热田及其外围地层构造及岩浆活动情况进行初步解释推断；通过重点区域的视 S 波速度剖面图件，基本查明热储的埋藏深度、岩性和厚度分布特征，为地热资源开发规划及井群布局提供依据。

7.2.4 地热资源开采阶段，主要利用重点区域视 S 波速度结构对地热田或工作区内的地质构造、热储岩性、厚度、分布范围及其埋藏条件进行详细解释推断，为地热地质概念模型建立提供基础信息。

7.2.5 编制地质-地球物理综合解释成果图，同时对解释成果质量进行评估，说明可能存在的问题与不足。

8 报告编写与资料汇交

8.1 报告编写

8.1.1 编写要求

报告编写应内容全面，重点突出，论述及推断有理有据，文字简练，逻辑严密，插图清楚，结论客观明确。附图、附表和附件应图幅美观，布局合理，内容准确、清晰、齐全、实用，符合DZ/T 0069-1993的要求。

8.1.2 报告主要内容

8.1.2.1 前言

前言应包含以下内容：

- a) 项目来源、工作任务及目的等；
- b) 工作区范围和自然地理条件等；
- c) 工作完成情况及主要成果。

8.1.2.2 以往工作程度及评价

8.1.2.3 地质及地球物理特征

8.1.2.4 工作方法与技术

- a) 野外工作方法
- b) 数据处理与解释方法

8.1.2.5 工作完成情况及质量评述

8.1.2.6 解释推断

8.1.2.7 结论和建议

8.1.2.8 参考文献

8.1.3 图件

8.1.3.1 实际材料图，图面要素应包括地理底图、测点位置、检查点位置、图名、图例、责任表等。

8.1.3.2 微动数据处理解释成果图，单点测量应包括频散曲线图、反演S波速度结构图、反演S波速度统计表格（附录D）等；剖面测量和面积性测量还应包括视S波速度断面图。

8.1.3.3 地质推断成果图（如推断地层柱状图、推断地质剖面图等）。

8.1.3.4 其他成果图件。

8.2 报告评审

立项报告或可研报告、成果报告应进行专家评审，根据专家组的评审意见修改后提交。

8.3 资料归档

归档内容包括合同或任务书、立项报告、工作设计、过程控制文件、原始资料、成果报告及附图附表、评审意见等。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/556021031235010050>