



# 中华人民共和国煤炭行业标准

MT/T 1209—2024

## 煤矿掘进巷道随掘地震探测技术

Seismic-while-tunnelling detection technology in coalmine excavating  
roadway

2024-12-25 发布

2025-06-25 实施

国家能源局 发布  
中国标准出版社 出版



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 资料收集 .....	2
5 观测系统设计 .....	2
6 采集设备 .....	3
7 设备安装及数据采集 .....	4
8 数据处理 .....	4
9 地质解释 .....	7
10 提交成果 .....	7
附录A(资料性) 随掘地震探测日(周)报表 .....	9
附录B(资料性) 掘进巷道随掘地震探测成果报告大纲 .....	10



## 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。

本文件由中国煤炭工业协会提出。

本文件由煤炭行业煤矿专用设备标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中煤科工西安研究院(集团)有限公司、鄂尔多斯市华兴能源有限责任公司、国家能源集团乌海能源有限责任公司、山西天地王坡煤业有限公司、淮河能源控股集团有限责任公司、中国矿业大学(北京)、安徽理工大学。

本文件主要起草人：王保利、程建远、覃思、王云宏、金丹、崔伟雄、段建华、宋孝忠、张庆庆、王季、王江宏、刘海东、陈超、陈建、程久龙、张平松、张哲。



# 煤矿掘进巷道随掘地震探测技术

## 1 范围

本文件规定了在煤矿井下开展掘进巷道随掘地震探测的资料收集、观测系统设计、采集设备、设备安装及数据采集、数据处理、地质解释、提交成果等要求。

本文件适用于煤矿井下掘进工作面前方有效探测范围内的断层、陷落柱、采空区、破碎带等地质异常体及巷道应力异常的随掘地震实时动态探测。

## 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 3836.1 爆炸性环境 第1部分:设备 通用要求
- GB/T 3836.2 爆炸性环境 第2部分:由隔爆外壳“d”保护的设备
- GB/T 3836.4 爆炸性环境 第4部分:由本质安全型“i”保护的设备
- GB 51145 煤矿电气设备安装工程施工与验收规范
- SY/T 7449 模拟地震检波器通用技术规范
- ANSI/TIA-568-C.2 平衡双绞线通信电缆及其组件的标准(Balanced twisted-pair telecommunications cabling and components standard)

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 随掘地震探测 **seismic-while-tunnelling detection**

利用掘进机、盾构机等截割煤壁或岩壁时产生的震动信号,在掘进巷道布设检波器阵列采集信号,通过数据处理、分析,实现对掘进巷道前方有效探测范围内地质异常体的探测。

### 3.2

#### 有效地震波场 **effective seismic wave field**

利用地震干涉技术从掘进机、盾构机等震源所激发出的震动信号中提取出的虚震源等效波场,包括直达波场与散射波场,可为纵波、横波或者槽波。

### 3.3

#### 迎头距 **heading-face distance**

测线上的检波器与掘进工作面的最短距离。

注:最短距离见图1中迎头距。

### 3.4

#### 应力异常指标 **stress abnormal indicator**

局部波速减平均波速的差值除以平均波速,反映局部应力偏离平均应力的程度。

4 资料收集

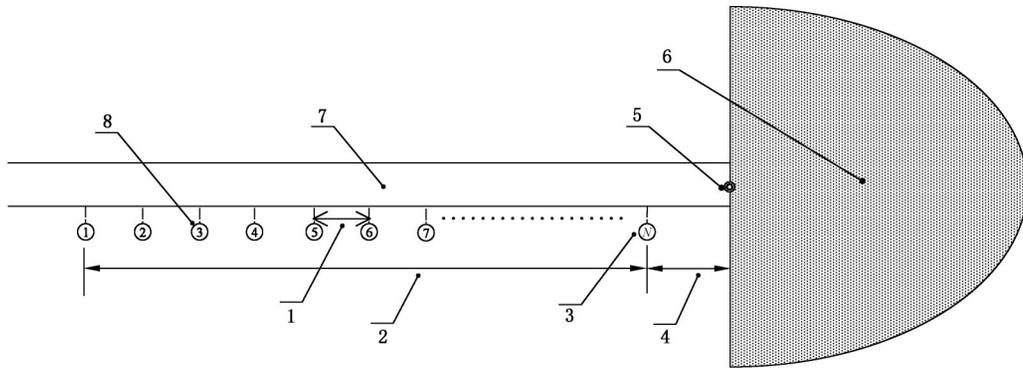
收集掘进巷道所在地层的地质、相邻采区巷道揭露和钻探等资料。包括但不限于以下资料：

- a) 掘进工作面地质说明书；
- b) 相邻工作面或巷道实测平剖面图；
- c) 采掘工程平面图；
- d) 构造纲要图；
- e) 钻孔等其他相关地质资料。

5 观测系统设计

5.1 观测系统布置

随掘地震观测系统平面布置示意图见图 1。主要参数包括道间距、有效探测范围、测线长度、道数、迎头距、随掘震源。根据实际情况与探测任务,完成观测系统设计后,以采掘工程平面图为底图,绘制随掘地震探测的工程布置平面图。



- 标引序号说明：
- 1——道间距；
  - 2——测线长度；
  - 3——道数；
  - 4——迎头距；
  - 5——随掘震源；
  - 6——有效探测范围；
  - 7——掘进巷道；
  - 8——检波器。

图 1 随掘地震观测系统平面布置示意图

5.2 道间距

道间距应满足空间采样定理,按公式(1)计算。

$$\Delta d < \frac{V}{2F_m} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- $\Delta d$ ——道间距,单位为米(m)；
- $V$ ——有效地震波场速度,单位为米每秒(m/s)；

$F_m$ ——有效地震波场主频,单位为赫兹(Hz)。

有效波可为纵波、横波或者槽波,其速度、主频可通过数据分析获得。通常道间距不大于 20 m,一般采用 10 m 或更小。

### 5.3 有效探测范围

有效探测范围指随掘地震对地质异常体的有效探测距离,受煤层地质条件与掘进机截割力度影响,一般最大可达 100 m~200 m。

### 5.4 测线长度

测线长度按公式(2)计算。

$$L \geq 2D \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$L$ ——测线长度,单位为米(m);

$D$ ——有效探测范围,单位为米(m)。

为实现 5.3 中有效探测范围,测线长度  $L$  应不小于 200 m。

### 5.5 道数

道数按公式(3)计算。

$$N = \frac{L}{\Delta d} + 1 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$N$ ——道数。

道数应不少于 20 道。

### 5.6 迎头距

迎头距不宜超过有效探测范围,取值范围 0 m~200 m。

## 6 采集设备

### 6.1 检波器

检波器应符合 GB/T 3836.1 和 GB/T 3836.4 的规定。此外,还应满足以下要求:

- a) 检波器的频率响应范围包含 10 Hz~500 Hz;
- b) 检波器的信号线具有电磁干扰屏蔽功能;
- c) 检波器的性能指标应符合 SY/T 7449 的规定。

### 6.2 采集站

采集站应符合 GB/T 3836.1 和 GB/T 3836.4 的规定。此外,还应满足以下要求:

- a) 采集站动态范围不低于 120 dB,道畸变不大于 0.000 5%,增益可调;
- b) 采集站之间时间同步误差小于最小采样间隔的 1/4;
- c) 采样频率不小于 1 kHz;
- d) 具备参数配置、连续采集、数据存储、实时传输的功能,每秒最大数据传输量应大于每秒数据采集量的 2 倍。

### 6.3 电源

电源隔爆性能应符合 GB/T 3836.2 的规定。

### 6.4 数据传输

数据可采用有线或无线方式传输。当采用有线传输时,数据传输线缆可选择铜芯信号线、网线、光缆,均应符合 GB/T 3836.4 的规定。此外,还应满足以下要求:

- a) 铜芯信号线或网线带电磁屏蔽层;
- b) 铜芯信号线固有衰减 $\leq 1$  dB/km,网线符合 ANSI/TIA-568-C.2 中规定的 CAT-6 类及以上双绞线标准;
- c) 使用网线传输时距离不超过 100 m,使用铜芯信号线传输时距离不超过 2 km;
- d) 超过 2 km 的长距离数据传输,应采用光缆作为传输介质。

## 7 设备安装及数据采集

### 7.1 设备安装

设备安装应符合 GB 51145 的规定,还应满足以下要求:

- a) 检波器安装在巷道一侧侧帮壁上,位置宜靠近巷道侧帮中部、避开钻窝和探巷等;
- b) 在条件允许下,采集站、信号传输线缆、检波器宜避开动力电缆、大功率用电设备等强电磁干扰源;
- c) 检波器可安装在煤壁或岩壁锚固稳定的锚杆上,安装应稳固。效果不好时宜打孔安装,孔深应穿过松动圈,孔内安装应耦合良好,孔口用隔音材料封堵;
- d) 若使用单分量检波器,所有检波器的敏感轴安装方向保持一致,或平行巷道,或垂直侧帮,或竖直向上;
- e) 若使用三分量检波器,所有检波器三轴安装方向保持一致,一轴平行巷道、一轴垂直侧帮、一轴竖直向上;
- f) 设备安装后应悬挂标识牌。

### 7.2 采集质量控制

数据采集质量应满足下列要求:

- a) 各采集站之间时间同步误差满足 6.2 b) 的要求;
- b) 各道信号无反极性;
- c) 对信号质量低的道,检查检波器安装质量,对安装松动的道重新紧固耦合;对电磁屏蔽未到位的道,重新连接屏蔽线,或调整检波器安装位置,或更换检波器;
- d) 根据数据采集质量,及时巡检设备。

### 7.3 测线滚动

随着巷道推进,应及时将测线朝掘进工作面方向挪移,使迎头距满足 5.6 要求。

## 8 数据处理

### 8.1 处理要求

数据处理应当由软件实时自动完成,以满足探测的时效性要求。

## 8.2 分段处理

将连续信号按时间分段处理,分段时间长度应按公式(4)计算。

$$\Delta T \leq \frac{V}{2F_m \overline{V_c}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$\Delta T$ ——分段时间长度,单位为秒(s);

$\overline{V_c}$ ——掘进工作面平均推进速度,单位为米每秒(m/s);

$V$ ——有效地震波场速度,单位为米每秒(m/s);

$F_m$ ——有效地震波场主频,单位为赫兹(Hz)。

## 8.3 数据筛选

### 8.3.1 舍弃停掘时段数据

分别选取掘进机、盾构机等工作时段和非工作时段数据,计算相应时段的平均能量,取二者的均值确定阈值,阈值按公式(5)计算。

$$\epsilon = \frac{1}{2} \times \left( \frac{\sum_{j=1}^J x_j^2}{J} + \frac{\sum_{k=1}^K y_k^2}{K} \right) \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

$\epsilon$ ——阈值;

$x_j$ ——工作时段数据振幅值;

$J$ ——工作时段数据样点总数;

$y_k$ ——停掘时段数据振幅值;

$K$ ——停掘时段数据样点总数。

根据阈值判定掘进机、盾构机等工作状态,数据平均能量大于阈值为工作时段数据,小于阈值为停掘时段数据。

### 8.3.2 压制噪声数据

通过频谱分析确定有效波频带范围,用带通滤波或小波变换等方法,去掉工作时段数据中有效波频带范围以外的噪声。

## 8.4 有效地震波场提取

随掘地震有效地震波场用互相关、反褶积等方法提取。当采用互相关方法时,对 8.3 节筛选的数据,以  $\Delta T$  时间长度逐段将所有道信号与参考道信号按公式(6)运算,提取出有效地震波场。

$$C(t) = cor(x(t), y(t)) \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

$C(t)$ ——提取的有效地震波场;

$x(t)$ ——给定的参考信号;

$y(t)$ ——接收信号;

$cor(x(t), y(t))$ —— $x(t)$  与  $y(t)$  的互相关函数。

三分量数据与单分量数据的有效波提取方法相同。

8.5 掘进工作面定位

8.5.1 掘进工作面定位方法

可通过掘进机、盾构机等集控系统获取掘进工作面的实时位置,或人工测量,或利用反射声波计算定位。

8.5.2 反射声波定位法

对每个工作时段数据,利用反射声波定位掘进工作面位置,通过以下步骤实现:

- a) 对采集数据分别进行去野值、去零漂和低通滤波等预处理;
- b) 对任意两道数据利用公式(7)的反褶积干涉技术分别计算地震干涉记录。

$$\tilde{X}_{mn}(\omega) = \frac{\tilde{X}_m(\omega) \cdot \tilde{X}_n^*(\omega)}{X_n(\omega)} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$\tilde{X}_{mn}(\omega)$ ——第  $m$  道与第  $n$  道的频域干涉记录;

$\tilde{X}_m(\omega)$  ——频率域第  $m$  道数据;

$\tilde{X}_n(\omega)$  ——频率域第  $n$  道数据;

“\*” ——表示共轭。

- c) 对干涉记录按公式(8)作如下相位校正。

$$\tilde{Y}_{mn}(\omega) = \tilde{X}_{mn}(\omega) e^{i\omega \frac{L_n}{340}} \dots\dots\dots(8)$$

式中:

$\tilde{Y}_{mn}(\omega)$ ——相位校正后的频域干涉记录;

$L_n$  ——第  $n$  个检波器距离巷口最近检波器的距离;

$e$  ——表示自然底数。

- d) 利用校正后的干涉记录按公式(9)计算出声波震源函数。

$$\tilde{Z}_m(\omega) = \sum_{n=1}^N \tilde{Y}_{mn}(\omega) \dots\dots\dots(9)$$

式中:

$\tilde{Z}_m(\omega)$ ——第  $m$  道数据的声波震源函数。

- e) 按公式(10)将声波震源函数傅立叶反变换到时间域。

$$z(t) = \int \tilde{Z}_m(\omega) e^{i\omega t} d\omega \dots\dots\dots(10)$$

式中:

$z(t)$ ——声波时域波形。

- f) 以图 1 中①号检波器的坐标作为声波震源位置,利用一维反射波成像方法,得到最强反射界面位置。

8.6 反演成像

8.6.1 直达波初至拾取

可采用极值法、能量比法、波形互相关法拾取有效地震波场中的直达波初至时间。

### 8.6.2 直达波平均速度计算

利用直达波初至时间及检波器坐标,计算直达波平均速度。

### 8.6.3 散射能量成像

利用 8.4 提取的有效地震波场,及 8.6.2 计算的直达波平均速度,基于散射成像方法对掘进工作面前方成像,叠加所有时段的散射能量成像图,得到实时散射能量成像图。

### 8.6.4 巷道波速演化

根据 8.6.1 获得的直达波初至时间,结合各测点坐标,计算测线展布范围内平均直达波波速及各相邻测点间的直达波波速。

对每一段通过质量评价的分段数据,均进行上述计算,形成随时间变化的巷道波速演化数据。

## 9 地质解释

### 9.1 地质异常解释

在 8.6.3 的散射能量成像图上,根据能量的强弱、形态,结合已有的地质资料,圈定异常位置、范围,判定异常类型,绘制异常解释平面图。

### 9.2 应力异常带解释

根据 8.6.4 获得的巷道波速演化数据,以平均直达波波速为基准,按公式(11)计算巷道应力异常指标,圈定巷道易失稳区域。

$$W = \frac{V - \bar{V}}{\bar{V}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$W$  ——应力异常指标;

$V$  ——波速,单位为米每秒(m/s);

$\bar{V}$  ——平均波速,单位为米每秒(m/s)。

按应力异常指标,划分应力异常带:

- a)  $|W| < 5\%$ , 无应力异常;
- b)  $5\% < |W| < 15\%$ , 弱应力异常;
- c)  $15\% < |W| < 25\%$ , 中等应力异常;
- d)  $|W| > 25\%$ , 强应力异常;

根据应力异常分级结果,制作巷道应力异常带分布图。

## 10 提交成果

### 10.1 日报成果

正常掘进期间,每日(周)提交随掘地震探测日(周)报表,或根据约定情形提交报表,报表内容及格式见附录 A。

## 10.2 最终成果

### 10.2.1 成果报告

巷道掘进完毕后,编制掘进巷道随掘地震探测成果报告,报告大纲见附录 B。

### 10.2.2 附图

附图包括但不限于:

- a) 随掘地震探测工程布置平面图;
- b) 地质异常解释平面图;
- c) 巷道应力异常带分布图。

### 10.2.3 附表

附表包括但不限于:

- a) 随掘地震探测日(周)报表;
- b) 探掘对比表。

附录 A  
(资料性)  
随掘地震探测日(周)报表

随掘地震探测日(周)报表,见表A.1。

表 A.1 ××××煤矿××巷道随掘地震探测日(周)报表

日期	××年××月××日	位置	提交单位
概述	描述掘进巷道及所在工作面基本信息、煤层及所在工作面地质构造概况		
地质异常动态预报平面图	a) 清晰标注掘进巷道名称、测线位置及其他必要信息; b) 对预报异常按顺序统一编号,并按比例标注异常体的范围、距掘进工作面距离等信息		
巷道应力异常带分布图	a) 清晰标注巷道名称,巷道进尺坐标,测线位置等信息; b) 根据应力异常指标,标出应力异常较强的区域		
异常分析说明	分别对解释的地质异常和应力异常较强的区域进行详细分析说明,并提出生产指导建议		
验证情况说明	如有揭露异常,与之前的预报做验证对比情况说明		
提交人		审核人	技术负责人

## 附 录 B

(资料性)

### 掘进巷道随掘地震探测成果报告大纲

#### B.1 项目概况

##### B.1.1 地质任务

简述项目来源、目的及地质任务。

##### B.1.2 工作面地质概况

简述随掘地震探测巷道的所在位置、地层、煤层、顶底板、构造等发育特征及主要控制因素等。

##### B.1.3 以往地质、物探工作

扼要叙述巷道及其相邻区域在以往地质勘查期间的主要成果。

##### B.1.4 项目实施依据

列出探测项目各项工作所执行的国家或行业标准规范及其合同中有关技术要求。

##### B.1.5 项目完成情况

简述探测项目起止日期、完成的工作量、统计历次预测预报的准确率概况、考核指标完成情况等。

#### B.2 预测预报与揭露验证

##### B.2.1 探测成果总结

基于探测成果,对施工矿井的地质异常及应力异常进行总结分析。

##### B.2.2 地质异常预报与验证

详细描述并总结日报中的历次地质异常体的预报、验证情况。

##### B.2.3 巷道应力异常预报与验证

详细描述并总结日报中的历次巷道应力异常区的预报、验证情况。

#### B.3 结论与建议

阐述主要探测成果和认识及对周边工作面采掘探测建议。

#### B.4 附图及附表

根据地质任务提供相应的成果附图及附表。