|  |  |
| --- | --- |
| ICS  | 73.020 |
|  |

|  |
| --- |
|   |

D 10 |

团体标准

T/CGS XXX—2021

煤矿井下回采工作面折射波探测技术标准

Standards for detection technology of refracted wave in coal mining face

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2021年11月20日）

2021 - XX - XX发布

2021 - XX - XX实施

中国地球物理学会  发布

目次

[前言 II](#_Toc88124481)

[引言 III](#_Toc88124482)

[1 范围 1](#_Toc88124483)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc88124484)

[3 术语和定义 1](#_Toc88124485)

[4 总则 2](#_Toc88124486)

[5 工程准备 3](#_Toc88124487)

[6 数据采集 4](#_Toc88124488)

[7 数据处理 6](#_Toc88124489)

[8 资料解释 7](#_Toc88124490)

[9 报告编制 9](#_Toc88124491)

[附录A （规范性） 设计书、成果报告的编写内容及推荐的计算方法 10](#_Toc88124492)

[附录B （资料性） 井下班报格式 15](#_Toc88124493)

1. 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。

本文件由中国地球物理学会提出。

本文件由中国地球物理学会归口。

本文件起草单位：华阳新材料科技集团有限公司、中煤科工集团西安研究院有限公司、长安大学、淮北矿业（集团）有限责任公司、中国矿业大学、安徽惠洲地质安全研究院股份有限公司、神华集团有限责任公司、晋能控股集团。

本文件主要起草人：刘最亮、王季、李刚、李艳芳、吴国庆、陈同俊、张继锋、金学良、王勃、王振荣。

本文件为首次发布。

1. 引言

煤矿井下槽波地震勘探已成为地质构造精细探测的有效技术途径之一。震源在煤层中激发时，采集到的井下地震数据中包含有槽波、折射波和声波等多种波场信号。作为另一种井下地震勘探方法，折射波探测采用与槽波探测相似的施工方式，可实现采煤工作面内断层、陷落柱、顶板破碎带等地质异常的探测，与地面三维地震勘探和井下槽波探测相结合，能进一步提高探测精度与准确性。目前，与折射波相同和相似的波有多种称谓，如震波、直达波、界面波、P型导波等。这些波在激发方式、接收方式和应用方面有一定的差异，容易混淆，且对于折射波的应用目前无统一的标准。为了明确探测模式，标准化采集和处理过程，提高解释精度，更好地发挥折射波的作用，按照国家团体标准的编制要求，系统总结可操作性的数据采集、处理和解释方法，编制成为文件，便于推荐给相关单位参考使用。

煤矿井下回采工作面折射波探测技术标准

* 1. 范围

本文件规定了煤矿井下回采工作面折射波探测技术的术语和定义、总则、工程准备、数据采集、数据处理、资料解释、报告编制等技术要求。

本文件适用于煤矿井下回采工作面折射波探测。

* 1. 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 12950—1991 地震勘探爆炸安全规程

GB 3836.1 爆炸性环境  第1部分：设备 通用要求

GB 3836.2 爆炸性环境  第2部分：由隔爆型“d”保护的设备

GB 3836.3 爆炸性环境  第3部分：由增安型“e”保护的设备

GB 3836.4 爆炸性环境  第4部分：由本质安全型“i”保护的设备

GB/T 20004.1—2016 团体标准化 第1部分 良好行为指南

GB/T 20004.2—2018 团体标准化 第2部分 良好行为评价

DZ/T 0069—1993 地球物理勘查图图式图例及用色标准

DZ/T 0300—2017 煤田地震勘探规范

MT 470—1996 矿井地震勘探仪

NB/T 51034—2015 煤矿掘进巷道地震反射（槽）波超前探测方法

NB/T 51035—2015 回采工作面煤层槽波地震探测方法

《煤矿安全规程》

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

* + 1. 折射波 Refracted wave

地震波传播过程中在由低速层进入高速层的弹性界面上，当入射角达到临界角（使透射角为90°）时，透射波将沿界面滑行，又引起界面低速层质点振动并传回低速层的弹性波。

* + 1. 煤岩层间折射波 refracted wave between coal and rock strata

具体到含煤地层中，煤岩层折射波是震源在煤层中激发后，弹性波在进入煤层与顶板岩层，以及煤层与底板岩层的分界面时，当入射角达到或超过临界角后，沿煤层顶底界面滑行并回传至煤层内的弹性波。本文件中“煤岩层间折射波”简称为“折射波”。

* + 1. 折射波成像 imaging of refracted wave

对煤岩层间折射波采集数据进行处理，按照一定的物理和数学关系反演回采工作面内部动力学参数，利用计算机图像重建技术，获得回采工作面内部二维图像。

* + 1. 折射波初至时间 first arrival time of refracted wave

 煤岩层间折射波具有周期性，其初至时间是指折射波首波到达时间。

* + 1. 折射波速度 refracted wave velocity

由折射波初至时间得到折射P波速度和折射S波速度，对煤岩层间折射波而言，折射P波速度和折射S波速度分别近似于岩层的P波速度和S波速度。

* + 1. 折射波振幅衰减系数 amplitude attenuation coefficient of refracted wave

煤岩层间折射波在传播过程中其振幅随传播距离*x*增大呈指数关系*e-αx*衰减，其中*α*为振幅衰减系数，它反映了传播介质对折射波的衰减作用。

* 1. 总则
		1. 方法原理

煤岩层内的折射波主要在煤岩分界面传播，具有速度高、周期性强等易于识别的特征。煤层与顶底板围岩具有较大的波阻抗差异，煤层的纵、横波速度和密度均小于围岩。当震源在煤层中激发后，一方面主要能量在顶底界面上产生多次全反射后形成槽波；另一方面，仍有部分能量沿煤层与顶底板的界面传播形成折射波（图1）。折射波传播时间与煤岩波阻抗差异有关，从而可以对断层、陷落柱、煤层变薄区等煤层内地质异常进行识别和定位。



1. 煤岩层内槽波与折射波的传播示意图
	* 1. 观测系统

激发点布置在煤层工作面巷道内，数据采集站布置在工作面的另一条巷道或切眼内，接收来自激发点激发的全部信息，在单炮记录中拾取折射波，用于探测煤层内地质异常，如图2所示。



1. 折射波探测示意图
	* 1. 适用条件和环境
2. 煤矿井下回采工作面内探查地质异常体。
3. 在槽波较强的工作面中，折射波与槽波联合完成探测任务。
4. 在槽波较弱或者无槽波的工作面中，折射波单独完成探测任务。
	1. 工程准备
		1. 方案设计
5. 施工设计前，应收集探测区域的相关地质资料及已有物探资料，并安排专人对井下施工条件进行现场踏勘和详细记录。
6. 根据探测目的、工作面地质条件和干扰波特点来设计观测系统的类型。要充分考虑工作面内构造发育情况、可利用巷道长度等因素来设计观测系统。
7. 根据探测区的通风条件、运输条件、机电状况、风流瓦斯状况和积水条件等因素来设计观测系统，这是提高探测效率的关键。根据探测目标设计探测区的网度，网格单元尺度小于或等于二分之一的最小目标体，且不大于5 m。根据探测区构造复杂程度确定射线密度，网格内射线交叉点密度应大于2个。
8. 接收点间距一般3 m~20 m，激发点间距一般10 m~30 m，重点区域可以适当加密激发点或接收点，保证足够的射线覆盖密度。
9. 激发点孔深一般2 m~3 m，原则上应超过巷道松动圈0.5 m以上；采用炸药震源时，激发药量80 g～300 g，必要时可视试验结果调整。
10. 应尽可能多地增加覆盖区域范围和道炮密度；尽可能多地采用多次叠加的方式来探测构造，以提高信号的信噪比。
11. 在完成探测任务和确保施工效率的前提下，尽可能使测线包围工作面。
12. 施工设计编制内容参见附录A.1的要求执行。
	* 1. 数据采集仪器

数据采集的仪器应满足如下要求：

1. 仪器装备应符合GB 3836.1~4和MT 470—1996的要求。
2. 动态范围：不小于120 dB。
3. 采样频率：500 Hz～4000 Hz。
4. 道间一致性：振幅一致性不大于0.5%，相位一致性不大于0.1°。
5. 道间串音：不大于-100 dB。
6. 同步时间差：不大于0.5 ms。
	* 1. 传感器仪器参数

数据采集的传感器应满足如下要求：

1. 应符合GB 3836.1~4的要求。
2. 频带范围：10 Hz～100 Hz。
3. 灵敏度：不小于30 V/( m·s-1) 。
4. 失真度：不大于0.2%。
	* 1. 仪器的使用和保养应符合DZ/T 0300-2017的要求。
		2. 仪器的检验方法应符合MT 470—1996的要求。
	1. 数据采集
		1. 测量要求
5. 测量人员在进行井下点位标定时，严格按照施工设计布置测点，用红色喷漆标示激发点位，白色喷漆标示接收点位。
6. 确保激发点、接收点准确无误，每一个激发点和接收点都必须有唯一编号。
7. 测量精度要求：激发点、接收点与设计点平面误差不大于5 m，高程误差不大于0.3 m。
8. 个别孔位确因井下设施因素需作较大偏移时，须征得现场技术人员的同意，并在班报中注记，处理时按激发点偏移后的实际坐标。
	* 1. 打孔要求
9. 打孔人员严格按照标定点位，定点打孔。
10. 钻孔打在巷道壁靠近煤层中部，激发点孔深2 m~3 m，孔径42 mm，倾角为俯角±5°。
11. 采用孔中接收传感器采集时，接收点孔深1.5 m～2.0 m，倾角为俯角±5°。
12. 所有钻孔在装入炸药之前，应先将钻孔中煤粉排除干净，以便顺利将炸药装到孔底。
	* 1. 仪器准备

仪器准备应做到如下要求：

1. 在使用地震仪前应对仪器的功能进行测试，确保仪器正常工作，确保仪器电量充足。
2. 必须用专用充电器在地面安全环境下充电，充电期间禁止加电工作。
3. 使用时避免猛烈碰撞、淋水和强电干扰，禁止在机车通过时测量。
4. 将地震仪器与接收传感器、发爆器或启动装置通过仪器专用连接线连接。
5. 通过背景数据采集监测环境噪声干扰，并排除强干扰源。
6. 定期对检波器进行一致性检测。
	* 1. 孔中接收传感器推送
7. 单点接收的传感器用推送杆推入孔内。
8. 多点接收的传感器可采用牵引滑轮和手动绞车将传感器拉入孔内。
9. 对每个传感器气囊充气后，可加固和压实传感器。
10. 工作完毕后，拉出电缆与钢丝绳用于下次使用。
	* 1. 锚杆接收传感器连接
11. 将传感器与专用转接装置组合连接，再把组合装置对接到锚杆露头上，用螺母固定好。
12. 根据锚杆直径，选用适合的转接装置，与锚杆紧密连接。
13. 使用单分量检波器时，要保证每一道检波器的方位一致，纵波检波器要与铅垂方向一致，横波检波器的水平仪要保证水平一致，施工人员要逐一调准方位。
	* 1. 班报填写

按照附录B的格式进行班报填写。

* + 1. 激发要求

在煤层中激发震源有两类：一类是机械震源，另一类是炸药震源。

* + - 1. 机械震源激发要求
1. 机械震源激发点位置布置在煤层中部。
2. 巷道锤击、可控机电一体化的机械震源等，锤击方式可采用人工抡锤法，震源装备满足GB 3836。
3. 激发后，应做好班报记录工作。
	* + 1. 爆炸震源激发要求
4. 爆炸震源激发点位置布置在煤层中部。
5. 炮孔装药后，应采用炮泥封堵，封堵长度不小于1 m，对于高瓦斯或者突出矿井，可用水炮泥封堵。
6. 激发所用雷管必须是同段雷管，且为同一批次，以保证雷管延时一致。
7. 激发所用炸药必须是煤矿安全许用的铵梯炸药或乳胶炸药，爆速不低于3000 m/s。
8. 井下放炮必须符合煤矿“一炮三检”的要求，发现异常情况须及时处理，井下作业必须遵守《煤矿安全规程》和GB 12950—1991。
9. 根据煤层及顶底板岩性、探测前方距离和仪器的灵敏度等决定炸药量，一般药量选择在80 g～300 g。
10. 在施工作业时安检人员及瓦斯检查员负责安全检查工作，确保瓦斯含量低于2%，井下作业必须遵守《煤矿安全规程》和GB 12950—1991。
11. 激发后，应做好班报记录工作。
12. 哑炮处理按照《煤矿安全规程》执行。
	* 1. 接收要求
13. 接收传感器可为单分量、双分量或三分量。
14. 接收传感器可安装在钻孔内或煤壁上，在钻孔内安装时，需紧贴孔壁；在煤壁上安装时，需要通过加长尾椎或锚杆进行耦合。
15. 测量接收点实际位置，与设计点位置偏差应小于0.5 m。
16. 三分量接收传感器安装时需使用水平仪和铅垂线。
	* 1. 数据采集要求
17. 根据勘探激发接收间距确定采样频率及采样点数等。
18. 根据激发能量与激发接收间距，调整增益，确保波形记录完整。在背景噪声较大时，突出有效波的强度，采用降低仪器增益，加大药量以增大激发能量。
19. 采用炸药震源时，从起始激发点开始，一炮一放至最后激发点结束，每次放炮结束后，仪器操作人员保存对应的地震记录。采用机械震源时，采用多次垂直叠加或相关叠加方式。
20. 施工人员记录现场激发点、接收点及巷道实揭地质异常位置等。
21. 对废炮及时补炮，以确保原始记录质量，并尽量避开或降低施工环境中的高频噪声。
22. 设立专人做好班报、原始数据和监视记录整理工作，对每天的激发点和接收点位置展在平面图上。做好仪器班报、观测系统等野外基础资料的检查验收工作。
23. 班报上需记录激发点、接收点周围环境影响，如水泵、风机、变电设备等。
	* 1. 原始资料质量要求
24. 地质条件简单工作面，记录甲级率应不低于80%。
25. 地质条件一般工作面，记录甲级率应不低于70%。
26. 地质条件复杂工作面，记录甲级率应不低于60%。
	* 1. 折射波质量评价

折射波数据质量的评价分甲级品、乙级品、废品三级。

1. **甲级品记录应满足以下各项要求：**

1）爆炸信号准确。

2）具有明显的P波、S波波列。

3）各记录道的波形、振幅及振动延续度相似。

4）观测方法正确，激发点、接收点位置符合设计要求。

5）井下机械设备等干扰源的影响范围不超过仪器接收道数的1/10。

6）坏道数不超过仪器接收道数的1/24。

1. **废品**

凡有下列缺陷之一者评为废品记录：

1）计时信号不准。

2）未按设计要求施工。

3）爆炸延迟时间大于10 ms。

4）P波、S波波列难以辨认。

5）不正常工作道超过仪器接收道数的1/12。

6）废品率高于5%要重新采集。

1. **乙级品记录**

凡达不到甲级，又不是废品的记录评为乙级品记录。

* 1. 数据处理
		1. 处理准备
1. 对班报整理，将纸质班报电子化输入并归档。
2. 将原始数据备份，编录。
3. 建立统一坐标系，对照测量结果，将接收点和激发点坐标输入计算机并归档。
4. 检查施工设备的运行记录。
5. 将原始采集数据从设备自动导入计算机并备份保存。
6. 从原始数据中截取单炮记录，并检查爆炸时间与班报是否一致。
7. 填写道头信息。
8. 将采集数据转换成常用地震数据处理软件支持格式。
	* 1. 数据预处理
9. 时延校正：逐炮计算激发时间，截取数据使各炮记录中爆炸时间均为零时刻。
10. 剔除废炮和爆炸时延大于10 ms的单炮记录。
11. 剔除坏道和不正常道。
	* 1. 数据处理
			1. 工频干扰压制

采集时应充分进行电磁屏蔽，若所采数据依然残留有工频干扰，可使用陷波滤波器、梳状滤波器或者时频域方法消除工频干扰。

* + - 1. 旋转与极化滤波

对数据逐道进行极化分析，结合巷道倾角与走向对三分量数据进行旋转和极化滤波，得到准确的三分量数据。

* + - 1. 频散分析
1. 采用短时傅立叶变换、多次滤波、小波变换、S变换等方法，提取地震的频率-速度谱。
2. 根据频散曲线的特征，在频率-速度谱上区分槽波与折射波。
3. 提取折射波的速度范围和频率范围。
	* + 1. 折射波增强
4. 在共炮集上进行带通滤波，提高折射波信噪比。
5. 使用反褶积方法压缩折射波，减少折射波旁瓣。
	* + 1. 速度分析
6. 根据增强后折射P波与折射S波形态，选取折射P波和折射S波时长。
7. 采用前后振幅比法求出各道折射P波初至。
8. 根据频散分析结果对折射S波进行带通滤波，在滤波后数据上拾取折射S波初至。
	* 1. 层析成像
			1. 折射波速度层析成像
9. 对照速度分析结果，通过交互方式修改每道的折射P波和折射S波初至时间。
10. 采用ART等算法对成像区域进行折射P波与折射S波速度的CT成像。
11. 将速度成像结果分别绘制在工作面二维平面图上。
	* + 1. 折射波振幅衰减系数层析成像
12. 由平均折射P波到时和折射P波时长，求出各道的折射P波平均振幅；同样由平均折射S波到时和折射S波时长，求出各道的折射S波平均振幅。
13. 求出每炮中震源附近地震道上的折射P波振幅和折射S波振幅。
14. 采用ART等算法对成像区域进行折射P波与折射S波振幅衰减系数的CT成像。
15. 将振幅衰减系数成像结果绘制在工作面二维平面图上。
	1. 资料解释
		1. 基础地质资料
16. 煤层顶、底板岩性综合柱状图。
17. 掘进工作面地质说明书。
18. 回采工程平面布置图。
19. 回采工作面巷道地质素描图。
20. 探测区域内所有地质钻孔资料的柱状图。
	* 1. 解释原则
21. 充分收集、整理、分析地质、物探、钻探及巷道掘进的资料，遵从已知到未知、从点到面、从简单到复杂、从局部到全区的解释原则。
22. 在共激发点、共接收点、共偏移距等道集记录解释的基础上，结合层析成像结果，进行综合地质解释。
23. 应结合探测区的地质规律与井巷揭露资料，开展探测资料的对比分析与地质解释。
24. 在后续的探采对比分析中，可进行资料再次处理、井下实地观察，不断提高资料地质解释的精度。
25. 折射波与槽波探测成果相结合进行综合分析。
	* 1. 解释方法
			1. 断层
26. 根据单炮记录中折射波波列的中断、畸变及振幅变化等现象，初步判断异常的存在，利用层析成像结果中条带状的异常特征，进行断层平面位置的解释。
27. 根据折射波层析成像图并结合共激发点道集上折射波的振幅强弱，判断断层落差与煤层厚度的相对关系。
	* + 1. 陷落柱

根据折射波是否存在振幅明显变弱、甚至消失等特征识别陷落柱，结合折射波层析成像图中的圈闭状特征，圈定陷落柱发育的平面范围。

* + - 1. 破碎带

对比折射波与槽波波形及成像结果，对折射波振幅衰减程度远高于槽波的异常区域可解释为顶底板破碎带。

* + - 1. 其他地质异常体

对采空区等地质异常体的发育情况，可以结合已知地质信息，根据折射波的单炮记录、层析成像结果等予以推断，在平面图上圈出其异常范围，以供进一步验证。

* + - 1. 成果评价

对断层、陷落柱、破碎带及其他地质异常体解释的可靠程度，评价标准如下：

1. 可靠：在原始炮集记录、层析成像结果上反映清晰，或有井巷工程、钻探结果控制。
2. 较可靠：在原始炮集记录、层析成像结果上有反映，但不够清晰，其他物探结果有异常显示。
3. 控制较差：仅在个别单炮或在层析成像结果上有微弱显示，但不清晰。
	* + 1. 图件制作

折射波解释提供的图件包括：

1. 实际材料图和地质剖面图。
2. 折射波探测成果平面图：在采掘工程平面图的基础上，绘制折射波探测的解释成果，并附层析成像图。
3. 勘探前后构造对比图：在折射波探测成果平面图的基础上，将勘探前/后构造、其他地质异常体同时绘出，并以不同颜色加以区分；如果勘探前后变化不大，则可把勘探前资料放在折射波探测成果平面图上，不另做此图。
4. 图件应符合DZ/T 0069—1993的要求。
	1. 报告编制
		1. 折射波成果报告编制内容参见A.2要求执行。
		2. 文字报告一般命名原则：矿井(盘区)+工作面号+折射波探测报告。
		3. 折射波成果报告审批与验收，由项目来源单位组织。
		4. 折射波原始数据的保存、处理数据体及成果报告的存档时间，按DZ/T 0300—2017执行。
5.
6. （规范性）
设计书、成果报告的编写内容及推荐的计算方法
	1. 设计书
		1. 文字说明书

文字说明书格式如下：

第一章 概况

叙述项目来源、地质任务、工作范围等。

第二章 地质及地震地质条件

第一节 地质概况

第二节 地震地质条件

第三节 以往地质、物探工作

第三章 施工方法及工程量

第一节 试验工作

第二节 工程布置及工程量

第三节 质量要求

第四节 测量工作及精度要求

第四章 资料处理、解释和报告提交

第一节 资料处理

第二节 资料解释及精度要求

第三节 报告提交

第五章 主要技术措施

分析折射波探测的技术难点，并提出相应的针对性技术措施。

第六章 施工组织、工期及质量控制措施

* + 1. 设计附图

设计附图包括：

1. 探测工程布置图（含煤层小柱状、煤层底板等高线等）。
2. 综合柱状图。
3. 工作面巷道剖面图。
4. 其他有关图件。
	1. 成果报告
		1. 文字说明书

序言

第一章 概况

第一节 地质任务

第二节 勘探区位置、交通和自然地理条件

第三节 以往地质、物探工作

第二章 地质及地震地质条件

第一节 矿区地质概况

矿区内的地层、煤层、构造、岩浆岩等条件和分布情况

第二节 工作面地质概况

工作面地层、煤层及其顶底板、构造、陷落柱、岩浆岩等条件和分布情况

第三节 地震地质条件

工作面煤层折射波发育条件、地质构造条件等

第四节 以往地质、物探工作

第三章 资料采集

第一节 工程布置

第二节 资料采集方法及技术措施

第三节 野外工作量完成情况及质量评述

第四节 测量工作

第四章 资料处理

第一节 原始资料特征分析

第二节 资料处理流程和参数

第三节 处理成果质量评述

第五章 资料解释

第一节 断层解释

第二节 陷落柱的解释

第三节 破碎带的解释

第四节 其他地质异常体的解释

第六章 地质成果

第一节 断层

第二节 陷落柱、采空区

第三节 破碎带

第四节 其他地质成果

第五节 探测前后对比

第七章 结论

第一节 主要地质成果及评价

第二节 存在的问题及下一步工作建议

* + 1. 附图

附图包括：

1. 折射波探测实际材料图。
2. 折射波探测成果平面图。
3. 折射波探测前后构造对比图。
4. 其他图件。
	* 1. 附表
5. 测量成果及精度统计表。
6. 工程量及质量评价一览表。
7. 断层控制一览表。
8. 陷落柱控制一览表。
9. 其他附表。
	1. 推荐的计算方法
		1. 信噪比计算方法

煤矿井下激发和接收的地震波中主要有折射P波、折射S波和槽波，在计算单炮记录的信噪比时需要将这三种波全部统计在内。对一个*M*道*N*个采样点的脉冲化记录，直达波信噪比为：

  (A.)

式中：

*SNR* ——信噪比；

*di*(*t*) ——第*i*道地震数据；

*tp* ——折射P波到时；

*Tp* ——折射P波时窗长度；

*ts* ——折射S波到时；

*Ts* ——折射S波时窗长度；

*tc* ——槽波到时；

*Tc* ——槽波时窗长度；

* + 1. 前后振幅比法

求出某一时刻*t*前后一段时间内地震信号的平均振幅之比，通过寻找使得前后振幅比最大的时刻来得到地震波的初至时间。设地震波的时窗长度为*Tw*，则*t*时刻地震道*s*(*τ*)的前后振幅比为：

  (A.)

式中：

*R(t)* ——前后振幅比；

*Tw*——地震波的时窗长度；

*s(τ)* ——*t*时刻地震道；

* + 1. 折射波速度CT算法

折射波的速度反演可表述为：

 (A.)

式中：

***A*** ——模型矩阵，其每一行代表一条射线，每一列代表一个区域，每个元素代表该射线在该区域上的长度；

***b*** ——拾取出的初至时间；

 ——需要反演的速度模型；

ART算法是解决这一问题的常用方法，采用以下迭代算法求解以上方程：

 (A.)

 (A.)

式中：

*i* ——当前射线的序号；

*m* ——迭代次数；

***a***(*i*) ——*A*的第*i*行；

***λ*** ——松弛因子；

*β* ——可根据迭代次数调整的常数。

在ART算法中，***λ***由上式计算得出，与每次迭代的反演结果(*m*)无关，这就导致在整个迭代过程中***λ***是一个常数，不能根据误差的大小调整，造成收敛速度慢且反演结果与实际值存在较大误差。

对于这一问题，我们将***λ***的计算方法改进为：

 (A.)

式中：



这样，松弛因子***λ***随当前模型的重建结果*x*改变，可明显提高收敛速度和反演结果的一致性。

* + 1. 振幅衰减系数CT算法

设在一条射线上，折射波激发时振幅为*Es*，透过工作面后被传感器接收时振幅为*Er*。若射线长度为*x*，则有：

 (A.7)

式中：

*Es* ——激发时振幅；

*Er* ——接收时振幅；

*β* ——折射波在这条射线上总的能量衰减系数；

如果将整个工作面分成*N*个大小相等的小块，射线穿过第*n*小块时形成的路径长度为。当这条射线不通过第*n*小块时，*xn*为0。设第n小块内折射波的衰减系数为，则上式可以写成：

  (A.8)

式中：

——路径长度；

——折射波的衰减系数；

每个小块的衰减系数与这块区域内的岩性有关，是要求出的未知量。*xn*可由观测系统中计算出，*Es*与*Er*从采集的数据中获得。由这些已知量反演出，就可以获得工作面内各个小区块对折射波的衰减作用，从而判断地质异常体的位置与形态。

上式是一条射线满足的方程，对于所有射线，可写成矩阵形式：

 (A.9)

式中：

*A* ——一个*M*×*N*的矩阵，表示*M*条射线在*N*个网格中的传播距离；

*b* ——一个*N*维向量；

*e* ——一个*M*维的矢量；

 (A.10)

 (A.11)

式中：

 (A.12)

式中：

*Esm* ——第*m*条射线上槽波激发点的槽波振幅；

*Erm* ——在接收点上采集到的槽波振幅；

通过求解公式上述线性方程组，就可以求出工作面内各小区块的折射波振幅衰减系数，从而获得工作面的成像结果。求解方法与折射波速度反演相似，可采用附录A.3.3中的ART方法计算。

1. （资料性）
井下班报格式

煤矿名称 记录员 施工日期

工作面编号 仪器型号 传感器型号

起始点桩号 开工时间（ 时： 分） 收工时间（ 时： 分）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 道间距 m | 炮距 m | 采样间隔 ms | 道间距 m | 炮距 m | 采样间隔 ms |
| 炮次 | 激发点桩号 | 激发时刻 | 孔深 | 药量 | 首道 | 尾道 | 炮次 | 激发点桩号 | 激发时刻 | 孔深 | 药量 | 首道 | 尾道 |
| 1 |  |  |  |  |  |  | 26 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  | 27 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  | 28 |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  | 29 |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  | 30 |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  | 31 |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  | 32 |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  | 33 |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  | 34 |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  | 35 |  |  |  |  |  |  |
| 11 |  |  |  |  |  |  | 36 |  |  |  |  |  |  |
| 12 |  |  |  |  |  |  | 37 |  |  |  |  |  |  |
| 13 |  |  |  |  |  |  | 38 |  |  |  |  |  |  |
| 14 |  |  |  |  |  |  | 39 |  |  |  |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |  |  | 40 |  |  |  |  |  |  |
| 16 |  |  |  |  |  |  | 41 |  |  |  |  |  |  |
| 17 |  |  |  |  |  |  | 42 |  |  |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |  |  | 43 |  |  |  |  |  |  |
| 19 |  |  |  |  |  |  | 44 |  |  |  |  |  |  |
| 20 |  |  |  |  |  |  | 45 |  |  |  |  |  |  |
| 21 |  |  |  |  |  |  | 46 |  |  |  |  |  |  |
| 22 |  |  |  |  |  |  | 47 |  |  |  |  |  |  |
| 23 |  |  |  |  |  |  | 48 |  |  |  |  |  |  |
| 24 |  |  |  |  |  |  | 49 |  |  |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |  |  | 50 |  |  |  |  |  |  |
| 生产记录 张 | 甲级 乙级 废品 | 仪器日检 | 操作员 |
| 试验记录 张 | 合格记录 张 | 炸药 kg | 雷管 发 | 技术负责 |

