三分量VSP地震勘探规范

3-Component VSP Seismic Exploration Group Standard

(征求意见稿)





团 体 标 准GROUPSTANDARD团 体 标 准GROUPSTANDARD

 T/CGS XXX—2021

**目录**

[前言 V](#_Toc82634344)

[1 范围 1](#_Toc82634345)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc82634346)

[3 条文说明与一般规定 2](#_Toc82634347)

[4 施工设计 3](#_Toc82634348)

[4.1 资料收集 3](#_Toc82634349)

[4.2 现场踏勘 4](#_Toc82634350)

[4.3 采集参数设计 4](#_Toc82634351)

[4.3.1 观测系统设计原则 4](#_Toc82634352)

[4.3.2 激发点布设 5](#_Toc82634353)

[4.3.3 激发参数 7](#_Toc82634354)

[4.3.4 接收点距 7](#_Toc82634355)

[4.3.5逆VSP 7](#_Toc82634356)

[4.3.5 仪器系统因素 7](#_Toc82634357)

[4.4 表层结构调查及静校正 8](#_Toc82634358)

[4.4.1 表层结构调查 8](#_Toc82634359)

[4.4.2 静校正 8](#_Toc82634360)

[4.5 试验方案 8](#_Toc82634361)

[4.5.1 井试验目的及内容 8](#_Toc82634362)

[4.5.2 试验方案的编制 9](#_Toc82634363)

[4.5.3 试验要求 9](#_Toc82634364)

[4.6 深度考核方案 9](#_Toc82634365)

[4.6.1 考核目的 9](#_Toc82634366)

[4.6.2 考核方法 9](#_Toc82634367)

[4.7 施工方案 9](#_Toc82634368)

[4.7.1 施工方案编制内容 9](#_Toc82634369)

[4.8 设计报告编写 10](#_Toc82634370)

[4.8.1 设计报告编写 10](#_Toc82634371)

[5资料采集 11](#_Toc82634372)

[5.1 测量工作 11](#_Toc82634373)

[5.1.1 零井源距VSP和非零井源距VSP 11](#_Toc82634374)

[5.1.2 Walkaround VSP，Walkaway VSP和3D VSP 11](#_Toc82634375)

[5.2 设备检查 11](#_Toc82634376)

[5.2.1 地面仪器和震源检查 11](#_Toc82634377)

[5.2.2 井下电缆检查 11](#_Toc82634378)

[5.2.3 井下检波器检查 12](#_Toc82634379)

[5.2.4 井下震源检查 12](#_Toc82634380)

[5.3 井场准备及井处理 12](#_Toc82634381)

[5.4 采集方法试验要求 12](#_Toc82634382)

[5.5 采集工作要求 13](#_Toc82634383)

[5.6 质量控制 13](#_Toc82634384)

[5.6.1 设备质量控制 13](#_Toc82634385)

[5.6.2 检波器深度控制 13](#_Toc82634386)

[5.6.3 激发深度和位置控制 13](#_Toc82634387)

[5.6.4 现场资料分析及质量控制 13](#_Toc82634388)

[5.6.5 室内资料检查 14](#_Toc82634389)

[5.7 HSE管理及要求 14](#_Toc82634390)

[5.8 采集记录质量评价 14](#_Toc82634391)

[5.8.1 评价原则 14](#_Toc82634392)

[5.8.2 合格 14](#_Toc82634393)

[5.8.3 不合格 15](#_Toc82634394)

[5.9 施工总结 15](#_Toc82634395)

[5.9.1 施工总结报告 15](#_Toc82634396)

[5.9.2 报告附件 15](#_Toc82634397)

[5.10 采集资料整理 16](#_Toc82634398)

[5.10.1 测量资料 16](#_Toc82634399)

[5.10.2 表层调查资料 16](#_Toc82634400)

[5.10.3 仪器、缆车和震源系统资料 16](#_Toc82634401)

[5.10.4 班报 16](#_Toc82634402)

[5.10.5 监视记录 16](#_Toc82634403)

[5.10.6 数据光盘/磁带 17](#_Toc82634404)

[5.10.7 采集资料验收 17](#_Toc82634405)

[5.10.8 采集资料上交 17](#_Toc82634406)

[6 三分量VSP地震数据处理 17](#_Toc82634407)

[6.1 基本处理流程 17](#_Toc82634408)

[6.2 主要处理工序与技术要求 18](#_Toc82634409)

[6.2.1 预处理 18](#_Toc82634410)

[6.2.2 三分量一体化部分振幅补偿 19](#_Toc82634411)

[6.2.3 噪音压制 19](#_Toc82634412)

[6.2.4 矢量波场分离 19](#_Toc82634413)

[6.2.5 多波初至拾取 19](#_Toc82634414)

[6.2.6 地层参数求取 20](#_Toc82634415)

[6.2.7 多波波场校正 20](#_Toc82634416)

[6.2.8 反褶积 20](#_Toc82634417)

[6.2.9 速度建模 21](#_Toc82634418)

[6.2.10 双程时校正/叠加/成像 21](#_Toc82634419)

[6.2.11 后期处理 21](#_Toc82634420)

[6.3 处理成果 21](#_Toc82634421)

[6.4 质量控制及过程评价 22](#_Toc82634422)

[6.4.1 质量控制 22](#_Toc82634423)

[6.5.2 处理过程评价 22](#_Toc82634424)

[7 多波联合资料解释 22](#_Toc82634425)

[7.1 资料解释流程 22](#_Toc82634426)

[7.2 资料解释内容与技术要求 23](#_Toc82634427)

[7.2.1 零井源距VSP解释 23](#_Toc82634428)

[7.2.2 非零井源距VSP、Walkaway VSP、Walkaround VSP、3D VSP 24](#_Toc82634429)

[7.2.3 综合解释 25](#_Toc82634430)

[7.3 多波解释成果 25](#_Toc82634431)

[7.3.1 零井源距VSP 25](#_Toc82634432)

[7.3.2 非零井源距VSP、Walkaway VSP 25](#_Toc82634433)

[7.3.3 Walkaround VSP、3D VSP 25](#_Toc82634434)

[7.4 解释技术要求及成果检查 26](#_Toc82634435)

[7.4.1 解释技术要求 26](#_Toc82634436)

[7.4.2 成果检查 26](#_Toc82634437)

[8 成果报告 27](#_Toc82634438)

[8.1 报告内容 27](#_Toc82634439)

[8.2 报告附图 27](#_Toc82634440)

[8.2.1 零井源距VSP 27](#_Toc82634441)

[8.2.2 非零井源距VSP、Walkaway VSP 27](#_Toc82634442)

[8.2.3 Walkaround VSP、3D VSP 28](#_Toc82634443)

[8.2.4 其他图件 28](#_Toc82634444)

[8.3 报告附表 28](#_Toc82634445)

[8.4 成果归档 28](#_Toc82634446)

[8.4.1 归档成果 28](#_Toc82634447)

[8.4.2 归档要求 29](#_Toc82634448)

[**附录 A** 30](#_Toc82634449)

[**附录 B** 36](#_Toc82634450)

[**附录 C** 37](#_Toc82634451)

[**附录 D** 38](#_Toc82634452)

[**附录 E** 39](#_Toc82634453)

# 前言

本标准依据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》的有关要求编写。

本标准由中国地球物理学会提出。

本标准起草单位：中国地质大学（北京）、中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司西南物探分公司、中国石油化工股份有限公司石油物探技术研究院、中海油研究总院有限责任公司、中国矿业大学、煤炭科学研究总院西安研究院、中国煤炭地质总局地球物理勘探研究院。

本标准起草人：芦俊、蔡志东、王赟、陈林、杜向东、薛东川、巫芙蓉、秦俐、潘冬明、程建远、李林元、林建东、孟凡彬。

**三分量VSP地震勘探规范**

# 1 范围

本文件规定了三分量垂直地震剖面法（VSP）的资料采集、处理、解释的技术内容和质量规范。

本文件规定了陆地和海上二维以及三维三分量VSP地震勘探的主要技术内容，包括井中接收或井中激发的VSP或逆VSP技术；井地联合三分量、三分量微测井、三分量井间地震及光纤传感VSP勘探可参照执行。

# 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 3685 陆上地震勘探数据处理技术规程

SY/T 5171 陆上石油物探测量规范

SY/T 5314 陆上石油地震勘探资料采集技术规范

SY/T 6156 气枪震源使用技术规范

SY/T 6246 可控震源使用与维护

SY/T 6276 石油天然气工业健康、安全与环境管理体系

SY/T 5331 石油地震勘探解释图件要素规范

SY/T 5453 地震数据交换记录格式

SY/T 5454 井中地震资料采集技术规程

SY/T 7450 井中地震资料处理解释技术规程

SY/T 5481 地震勘探资料解释技术规程

SY/T 5928 地震勘探资料归档规范

SY/T 5933 地震反射层地震地质层位代号确定原则

Q/HS 1086-2018 空气枪震源设计指南

Q/HS 1001-2019 海上拖缆三维地震资料采集设计规范

Q/HS 1-2020 海底电缆三维地震资料采集设计规范

SYT 7003-2014 海底电缆地震勘探数据处理技术规程

SY/T 10020-2018 海上拖缆地震勘探数据处理技术规程

# 3 条文说明与一般规定

**无特殊规定，本文件中的VSP特指三分量VSP。**

**垂直地震剖面法（vertical seismic profiling, VSP）**

借助井筒进行地震波采集的观测方式，通常指在近地表激发地震波，沿井筒不同深度接收的一种地震勘探方法。

**井源距（offset）**

地面震源点位置偏离观测井井口的水平距离。

**零井源距VSP（zero-offset VSP）**

震源点位置位于观测井井口附近，井源距一般不超过150米，沿井筒不同深度接收的一种地震勘探方法，该方法井源距对于数据处理与解释可忽略不计。

**非零井源距VSP（offset VSP）**

震源点在离观测井井口有相当大距离的位置，沿井筒不同深度接收的一种地震勘探方法，用于获得井源距方向的地震走廊叠加成像成果。

**直线变井源距VSP（walkaway VSP）**

在地表经过观测井井口沿某一方向按不同的井源距布置激发点，沿井筒不同深度接收的一种地震勘探方法。

**环形固定井源距VSP（walkaround VSP）**

在以井为中心井源距固定的环形测线上激发地震波，沿井筒不同深度接收的一种地震勘探方法。

**环形三维VSP（3D walkaround VSP）**

在以井为中心、不同井源距的地表均匀排布的多个环形测线上激发地震波，沿井筒不同深度接收的一种地震勘探方法。

**束状三维VSP（3D bunched VSP）**

在地表线束状三维地震测线上激发地震波，沿井筒不同深度接收的一种地震勘探方法。

**三维三分量VSP（3D3C VSP）**

在以井为中心的多个环形测线或者线束状测线上激发地震波，沿井筒不同深度用三分量检波器接收的一种地震勘探方法。

**逆VSP（reverse VSP）**

井中激发地震波，地面布置检波器接收的一种地震勘探方法。

**随钻VSP（VSP while drilling, VSP-WD）**

钻井过程中利用钻头震动产生的信号作为震源进行逆VSP测量，称为随钻VSP。

**时移VSP（time-shift VSP）**

在不同时间进行多次VSP测量，称为时移VSP。

**井地联合三分量地震（joint VSP and ground three-component seismic）**

井地联合三分量地震是地面地震和VSP测量结合起来形成的一种地震勘探方法，以同步采集、同步处理和联合解释为目标。

**G因子（G factor）**

为量化非零井源距VSP、Walkaway VSP、Walkaround VSP、3D VSP等最佳偏移距范围的选择，定义**G因子=**同类波与转换波的反射系数绝对值的比，将所需G因子对应的偏移距范围作为最佳偏移距范围。

**双程时校正剖面（two-way time aligned section of zero-offset VSP up-going wave）**

零井源距VSP资料按初至时间进行双程传播时间校正，上行波校正到双程旅行时的剖面。

**走廊叠加（corridor stack）**

将零井源距VSP资料按初至波时间进行双程传播时间校正后，取初至以下一定时间或深度范围内的各道叠加。

**VSP-CDP变换（vertical seismic profiling-common depth point transformation, VSP-CDP transform）**

将非零井源距VSP、**Walkaway VSP、Walkaround VSP、3DVSP等**的上行纵波场数据的每个采样点，从深度-时间域变换到反射点偏移距-纵波T0时间的处理。

**VSP-CCP变换（vertical seismic profiling-common conversion point transformation, VSP-CCP transform）**

将非零井源距VSP、**Walkaway VSP、Walkaround VSP、3DVSP等**的上行转换波数据的每个采样点，从深度-时间域变换到转换点偏移距-转换波T0时间的处理，转换波包括PS波、SP波等发生模式转换的波场。

**VSP桥式标定（VSP bridge calibration）**

利用零井源距VSP上行波双程时校正剖面、VSP走廊叠加剖面将深度域的测井资料、岩性资料与时间域地面地震剖面进行对比，建立起地质层位与地震反射界面对应关系的过程。

# 4 施工设计

## 4.1 资料收集

施工设计前应收集资料包括：

1. 地理资料：包括地形图、气候资料、地貌资料、交通状况、文物景点、地面和地下设施、地下水资料等；海上VSP还涉及海水资料、海底地貌以及沉积物等资料。
2. 地质资料：包括表层岩性结构、厚度变化、速度变化，潜水面深度、工区地质背景资料、主要目的层沉积与构造特征等。
3. 钻井资料：主要包括完井报告、钻井地质综合柱状图、井身结构图、井轨迹图、固井质量报告、钻井液参数、目标层井段资料、井底温度及压力参数、有害物质（如硫化氢）含量等。
4. 测井资料：主要包括声波测井、横波测井、密度测井、中子测井、伽马测井、声幅测井、FMI成像等测井曲线及数据。
5. 生产资料：主要包括油气、煤炭或者金属矿等的测试和开采状况、射孔段分布、套管现状、附近井生产状况等。
6. 地震资料：主要包括工区内的二维或三维地震勘探资料。
7. 其他资料：包括相邻井的VSP地震采集、处理、解释成果报告和HSE资料等。

## 4.2 现场踏勘

编写设计前应对井场及其周围进行踏勘，踏勘范围包括施工所涉及的全部区域，明确落实技术方案和施工方案的影响因素，尤其注意震源点位置的选择，绘制踏勘简图，并形成详细的踏勘报告。

## 4.3 采集参数设计

### 4.3.1 观测系统设计原则

**4.3.1.1 零井源距VSP主要包含以下内容：**

1. 观测井段应全井段观测，在浅部由于固井质量不良、外界干扰等原因，造成原始资料信噪比不能满足地质任务需求时，或深部内套管形变、射孔、桥塞等影响仪器无法下放至井底时，可以舍弃部分观测井段。
2. 观测井是直井时，井源距宜小于150m。
3. 激发点应选择激发条件较好且有利于降低井筒波干扰的位置。
4. 观测井是大斜度位移井时，激发点应与井轨迹保持在同一个垂直平面内，激发点沿水平方向移动，且保持激发点在接收点上方150m范围内。

**4.3.1.2 非零井源距VSP主要包括以下内容：**

1. 根据地质任务需求确定观测井段，应从井底开始施测，浅部资料由于固井质量不良、外界干扰等原因，造成原始资料信噪比不能满足地质任务需求时，可以舍弃部分浅部观测井段。
2. 观测井是直井时，井源距宜小于目的层深度。
3. 观测井是位移井时，激发点应与井轨迹保持在同一个垂直平面内水平方向排列。
4. 多点非零井源距VSP布设时，激发点宜等井源距、对称分布，激发点与井口联线宜呈直线、十字线等形状，当等井源距激发点多于8个时应定义为Walkaround VSP。

**4.3.1.3 Walkaway VSP主要包括以下内容：**

1. 激发点应在一条过井的测线上，最大井源距宜大于井深。
2. 以提取井驱处理参数为目的时，观测井段应覆盖目的层段，以成像为目的时，观测井段应大于井深的三分之一。
3. 当以层位和断层构造等大尺度地质体作为勘探目标时，测线应沿垂直或平行主构造走向布设，当测线上遇到大型障碍物时，可在原测线方位基础上整体适当旋转，旋转角度应小于5°；当以井周裂缝发育情况为勘探目标时，应在了解区域断裂构造和地应力场特征的基础上，沿与主构造方向或最大水平主应力方向夹15°～75°角的范围内布设接收（逆VSP）或激发线（VSP）。
4. 位移井的激发点应与井轨迹保持在同一个垂直平面内；当主构造走向与位移方向不垂直时，应借助模型正、反演等分析手段进行分析，综合判断选择最佳观测方式，当论证无法获得预期成果时，应终止采集。

**4.3.1.4 Walkaround VSP主要包括以下内容：**

1. 4.3.1.2a)和b), 4.3.1.3b)规定的内容。
2. 激发点应在一个或多个相同井源距的环线上。
3. 观测井段应覆盖目的层段。
4. 不同半径环线上应尽量均匀布设激发点（VSP）或检波点（逆VSP），有条件的施工区域应以方位角等间隔剖分为原则，一般不大于30°；且半径越大的环线，方位角布设应该适当加密以保证相对统一的面元覆盖次数。

**4.3.1.5 3D VSP主要包括以下内容：**

1. 4.3.1.2a)和b), 4.3.1.3b)规定的内容。
2. VSP检波器级数宜大于15级，激发点重复次数宜小于3次。
3. 激发点密度和范围应满足目的层VSP偏移成像要求；有条件的工区应采用放射状环线三维采集，与地面地震联合采集时应适当兼顾大偏移距范围内接收或激发点的加密。

### 4.3.2 激发点布设

**4.3.2.1 零井源距VSP**

零井源距VSP主要包括：

1. 直井零井源距VSP的井源距设计按4.3.1.1b）的要求执行。
2. 位移井零井源距VSP井源距设计按4.3.1.1d）的要求执行。

**4.3.2.2 非零井源距VSP**

1. 非零井源距VSP井源距应根据模型论证目的层成像范围和覆盖次数等参数，结合地质任务要求及地表条件的具体情况确定。对于位移井应将激发点布设在井轨迹的方向或井轨迹的反方向。
2. 根据模型正演结果确定井源距大小，目的层段尽可能避免广角反射的产生。
3. 井源距大小的确定应考虑三分量检波器上的波型泄露问题：P波、S波在三个分量上偏振投影的强弱以及矢量波场分离的可实现性；当井源距较大时，应通过模型的正演，确保上行P波的主要偏振投影被Z分量接收、上行S波的主要偏振投影被X、Y分量接收。

**4.3.2.3 Walkaround VSP**

Walkaround VSP主要包括：

1. Walkaround VSP井源距设计参照4.3.2.2规定的内容。
2. Walkaround VSP激发点应在一个或多个以井为中心的圆环上，以一定的方位间隔均匀布设，且激发点间隔宜小于30°。

**4.3.2.4 Walkaway VSP**

* 1. Walkaway VSP井源距设计参照4.3.2.2规定的内容。
	2. Walkaway VSP最大井源距应根据模型正演结果确定井源距大小，目的层段尽可能避免广角反射的产生；应考虑最终成像测线的长度是否符合任务需求。
	3. 在以成像为目的时，最大井源距应考虑目的层入射角与反射系数的关系，兼顾纵波与横波（或转换波）的有效反射段，可用G因子来确定入射角，兼顾三分量上的波型泄露。

**4.3.2.5 3D VSP**

3D VSP主要包括：

1. 3D VSP最大井源距选择可参照4.3.2.4规定的内容。
2. 激发测线方位宜与构造方位垂直，测线数量根据地质任务而定。
3. 激发点距应根据模型正演结果和覆盖次数等参数确定，覆盖次数应根据研究的主要地质任务目标、资料品质、震源类型和经济效益等因素综合确定。
4. 面元大小由纵向和横向距离决定，应根据具体的处理需求来确定，兼顾纵波、横波以及转换波在面元内的覆盖次数。
5. 激发点布设的形状包括圆形、矩形、射线型等，海上宜采用圆形、射线或螺旋形布设，陆上宜采用矩形布设，具体布设方式以完成地质任务为原则。
6. 针对裂缝型储层，宜采用宽方位或者全方位采集。

### 4.3.3 激发参数

VSP激发参数主要包括：

1. 炸药震源激发参数执行SY/T 5314的规定。
2. 可控震源激发参数执行SY/T 6246的规定。
3. 气枪震源激发参数执行SY/T 6156的规定。
4. 采用电火花震源时，应充电到额定电压；并保证震源激发头周围有水。

### 4.3.4 接收点距

1. 接收点距应满足空间采样定理，防止空间假频出现，按公式（1）计算：

 （1）

式中：

——接收点距，单位为米（m）；

*v*min——目标地层最小层速度，单位为米每秒（m/s）；

*f*max——期望最高频率，单位为赫兹（Hz）。

1. 在整个观测井段中，宜保持相等观测间距，依据地质任务需求，可在含油气层段加密观测点，采用分段相等间距方式。
2. 接收点距应综合考虑纵波与横波（或转换波）在面元内的覆盖次数，可采用正演模型确定接收点距。

### 4.3.5逆VSP

逆VSP采集时，地面检波器布置参照VSP的震源布置，井中震源布置参照VSP的井中检波器的布置，采用三分量检波器时需统一检波器的方向。

### 4.3.5 仪器系统因素

仪器系统因素主要包括：

1. 应根据地表条件、采集方法、技术要求和井况条件等选择相应类型的VSP地震仪器。
2. 应根据勘探开发目标、地震信号特征、仪器能力等合理地选择VSP地震仪器工作参数。
3. 记录长度应满足最深目的层成像需求，观测记录长度应大于模型论证中目的层上行波最大反射时间的2倍。
4. 时间采样间隔应满足时间采样定理，按公式（2）计算：

  （2）

式中：

——采样间隔，单位为秒（s）；

*f*max——期望最高频率，单位为赫兹（Hz），对于PP波、PS波与SS波等，取其总的期望最高频率。

## 4.4 表层结构调查及静校正

### 4.4.1 表层结构调查

收集工区内以往所做的表层结构调查资料，没有表层结构资料时，应进行表层结构调查。调查点的密度视表层结构复杂程度而定。

1. 零井源距VSP和非零井源距VSP应在激发点附近做表层结构调查；
2. Walkaround VSP大于20°时逐点调查；
3. Walkaway VSP项目应不低于500米一个点；
4. 3D VSP项目应不低于每0.25平方千米一个点；
5. 复杂地区相应加密，施工范围的周边应布点；
6. 表层结构调查的采集，在不影响VSP采集的前提下应与VSP同期进行；
7. 调查方法按SY/T 5314的规定执行。

### 4.4.2 静校正

VSP资料静校正应选择水平基准面，宜选择井口或激发点平均海拔作为VSP处理基准面。需绘制工区内地面高程图、高速层顶面深度图和静校正量平面图。

VSP采集主要进行激发点P波静校正，包括高程和低降速带校正；

逆VSP和微测井主要进行P波和S波检波点静校正，包括高程和低降速带校正。

## 4.5 试验方案

### 4.5.1 井试验目的及内容

试验目的及内容宜包括：

1. 采集因素试验的目的是明确井区内地质与地球物理特征，为正确选择最佳工作方法和采集参数提供依据。
2. 试验应根据试验的目的、地质任务、工区地震地质条件、以往资料存在的问题而拟定；试验内容包括干扰和环境噪声调查、地层响应特性、观测井段的固井质量、激发因素、仪器因素和观测系统等。
3. 试验项目、内容应明确，试验参数应具体。应对室内分析无法确定的施工参数和对采集质量有影响的施工参数进行重点试验。
4. 对试采集的三分量波场进行分析，确定所需目标波场以及其它干扰波的发育情况，对采集参数进行优化。

### 4.5.2 试验方案的编制

试验方案编制内容宜包括：

1. 充分消化以往的资料，在速度建模、数值模拟分析和方法论证的基础上进行。
2. 试验点的选择应具有代表性。
3. 零井源距VSP和非零井源距VSP试验应将检波器放在目的层段。
4. Walkaway VSP、Walkaround VSP和3D VSP试验点的位置和多少视工区的复杂程度而定。
5. 试验方案设计编写内容包括试验的任务、目的、试验要求和工作量等。

### 4.5.3 试验要求

试验应目的明确，针对性强，试验因素单一。各种因素的试验应在相当于生产情况下进行。试验资料应进行数据处理和定量分析，并编写试验工作总结。

## 4.6 深度考核方案

### 4.6.1 考核目的

通过考核点与生产点初至时间对比，监控井下检波器深度定位是否准确。

### 4.6.2 考核方法

考核方法如下：

1. VSP采集在检波器下井过程中进行深度考核，相邻两个考核炮的井下检波器排列间距宜在300m~500m，且与生产炮的激发参数保持一致。
2. 考核点与生产点的初至时差应不大于1ms。
3. 对三分量响应的一致性进行考核，任意两个分量间影响时差应不大于1ms。

## 4.7 施工方案

### 4.7.1 施工方案编制内容

根据参数论证和试验结果编制施工方案。施工方案应包括下列内容：

1. 施工前期准备；
2. 施工工序；
3. 设备及人员配备；
4. 质量控制措施；
5. 健康、安全、环保(HSE)措施；
6. 预计占井时间；
7. 施工后井场等方面的处理；
8. 施工附图；
9. 工作量统计等。

## 4.8 设计报告编写

技术设计报告编写内容应包括：

1. 地质任务：主要包括项目来源、项目部署依据、地质任务及相应的观测项目；
2. 工区概况：包括地理概况、地震地质概况、观测井井况等；
3. 技术难点及对策：通过收集到的资料及踏勘情况，分析项目采集中存在的技术难点，针对项目存在的难点，制定拟采取的技术对策；
4. 采集参数论证：震点的布设、观测井段、观测点距、激发因素、仪器系统接收因素（记录长度、采样间隔等），宜基于模型正演论证采集参数；
5. 表层结构调查：包括调查方法、调查密度和静校正方法等；
6. 施工方案：包括试验方案、考核方案、生产方案等；
7. 采集技术要求：包括执行的技术标准、质量指标、仪器工作和现场处理要求等；
8. 质量控制：质量管理小组人员构成、质量控制措施、质量保障措施等；
9. HSE管理及要求：野外施工设计报告的HSE内容和要求，按SY/T 6276的规定进行编写；
10. 项目保障措施：保障措施包括组织保障、资源配置（设备及人员配备）、生产组织管理措施和后勤保障措施等；
11. 项目运行计划：包括项目的资料采集时间。

# 5资料采集

## 5.1 测量工作

测量工作的有关技术要求按SY/T 5171的规定执行。需要注意的是，鉴于处理技术发展和施工成本要求，以及地震观测装备技术的进步，三分量地震采集在检波器的方向与方位角、水平埋设方面不做特殊要求，确保定位坐标准确即可。

### 5.1.1 零井源距VSP和非零井源距VSP

测量工作应满足以下要求：

1. 实测激发点和子波井的坐标、高程，提交它们与观测井井口的水平距离、方位、高差等数据。
2. 绘制1：10000比例的井场平面图，标明激发点和子波检波器的位置及其与观测井的关系。

### 5.1.2 Walkaround VSP，Walkaway VSP和3D VSP

测量工作应满足以下要求：

1. 根据总体设计算出工区全部激发点的理论坐标(保留至精度达0.01m)，并绘制不小于1:10000比例尺测线展开图。
2. 遇各种障碍无法放样布设激发点时，测线确定后激发点位置在径向方向(沿炮线方向)最大偏移宜小于激发点距的1/4；在垂直炮线方向的最大偏移宜小于激发点距的1/2；对于地表条件复杂的工区，在横向方向随井源距的增大可按角度适当放宽，应控制在5°范围内，并准确记录调整过程和调整后的激发点坐标位置。
3. 应按设计的坐标位置对激发点进行放样测量，相邻激发点之间的距离以及激发线之间的距离, 其实测值与理论值之差不得大于l/10。
4. 放样点应设立明显、易保存的标志。
5. 当一条线测量工作结束，经计算、检查无误，精度达到地质任务要求，应展绘出测线物理点位置图，画出详细地物图。

## 5.2 设备检查

### 5.2.1 地面仪器和震源检查

按SY/T 5314的规定执行。

### 5.2.2 井下电缆检查

1. 在地面用兆欧表检查电缆(包括马笼头)，各芯之间及各芯对外壳的绝缘阻值均不小于500Ω•m。
2. 施工前，电缆深度计数系统宜使用光电系统或马达系统。
3. 每年应对深度计数系统进行一次检测校准，生产中深度考核不合格或计深系统维修后应重新检测。

### 5.2.3 井下检波器检查

1. 检查检波器外壳及部件紧固螺丝，不应有松动。
2. 井下检波器在下井之前，应在地面进行联机测试，测试结果应符合相应标准要求。
3. 对于机械推靠式井下检波器应在地面应做推靠性能测试，每个检波器的推收臂工作均应正常。
4. 中途更换和检修设备，应重新进行测试。

### 5.2.4 井下震源检查

1. 井下震源下井之前，应在地面进行联机测试，测试结果应符合相应技术指标；
2. 结合井壁和井液情况，下井后进行激发试验和井筒安全性评估；
3. 与仪器同步误差稳定，且误差绝对值小于采样间隔。

## 5.3 井场准备及井处理

井处理过程主要包括：

1. 洗井作业；
2. 通井作业及测试；
3. 清蜡作业（有射孔时）；
4. 测量套管变形测试；
5. 降液面作业（对于零井源距VSP项目）；
6. 桥塞封堵作业（必要时）；
7. 井控措施与预案。

## 5.4 采集方法试验要求

1. 进行激发因素和仪器因素试验，了解整个观测井段的能量衰减规律，在现场最终确定工作方法。
2. 初至波起跳干脆，信噪比应达到20dB以上。
3. 有效波能量、频带宽度达到设计要求。
4. 试验完成后，分析试验结果后提出施工方案，经审批后方可实施。

## 5.5 采集工作要求

1. 采集工作应按检波器从深到浅提升的方式进行。
2. 根据确定的激发因素、仪器因素、测点间距等参数进行生产。
3. 资料采集宜采用同种激发方式和记录仪器系统。
4. 生产过程中，监视井下检波器的工作状态，静态噪声较大时应查明原因，排除干扰后恢复生产。
5. 采集参数在施工过程中应保持一致。
6. 逐炮填写仪器班报的各项内容，对可能影响资料采集、处理和综合研究的情况应在班报中进行备注；Walkaway VSP和3D VSP班报应对空激发点和激发点移动等情况做详细的记录和说明。仪器班报格式参见附录A。
7. 现场观测初至时间的逐点变化，监视深度，应对质量进行控制。
8. 测井开始后，应连续进行作业；若中断测井，待恢复作业时，应有三个重复观测点记录，确保观测深度的准确；重复观测记录时差应小于1ms。清晰、明确记录作业过程，以便后期三分量极化、旋转等数据处理。
9. 出现废品记录应及时对该激发点重新采集。

## 5.6 质量控制

### 5.6.1 设备质量控制

定期对采集仪器系统和辅助设备、震源系统进行检査和维修。每日放炮前对采集仪器系统和震源一致性进行检査，确认合格后方可进行生产。

### 5.6.2 检波器深度控制

每个观测系统采集完成后，将检波器提到井口进行深度归零的检查程序，深度的相对误差应小于0.1%，三分量检波器响应一致。

### 5.6.3 激发深度和位置控制

使用井口检波器的初至时间(即τ值)监控激发深度，激发点位应在测量坐标位置上进行施工。

### 5.6.4 现场资料分析及质量控制

现场资料分析及质量控制包括以下几个方面

1. 仪器参数设置符合设计要求；
2. 初至时间和时差合理；
3. 抽取共激发点或共接收点道集，进行频谱、信噪比等分析，检查剖面质量；
4. 道工作状态及激发能量情况检查：对于大阵列检波器垂直分量，非正常工作道应小于总道数的5%，不应出现连续两道及以上非正常工作道，三分量响应应一致；
5. 深度考核点与生产点记录时差应小于1ms；
6. 检波器下井前在深度参考点置零，作业完成后将检波器提到井口进行深度归零；
7. 分析记录品质的变化原因；
8. 对记录质量进行初评，发现问题提出注意事项和改进措施，对不合格的资料应及时补炮。

### 5.6.5 室内资料检查

施工质量的室内资料检查应符合以下要求：

1. 对照仪器班报检查记录因素；
2. 对照仪器班报、爆炸班报、激发点平面位置图核对文件号；
3. 检查激发点位置的正确性；
4. 资料频谱和干扰波分析，对资料质量情况做出评价；
5. 每条测线空炮率小于3%，工区总空炮率小于1.5%；
6. 检查反射层品质，当记录变坏时应分析其原因，及时提出整改或转入试验的意见；
7. 对班报上所有项目内容应检查核对，必要时做出注解；
8. 磁带/盘标签应正确、牢固，并与班报一致；
9. 测量数据的检查：绘制出平面图，对任何偏离设计位置的点进行检查；野外改动的激发点位置应正确地反映在平面图上并列表说明；应对测量成果数据进行核对检查，并编写责任表。

## 5.7 HSE管理及要求

野外施工现场作业的HSE工作按SY/T 6276的规定执行。

## 5.8 采集记录质量评价

### 5.8.1 评价原则

采集记录评价按采集项目分类进行评价，评价分为合格和不合格两级。零井源距VSP纵波以垂直分量为准，零井源距VSP横波以两个水平分量为准；非零井源距VSP，Walkaround VSP，Walkaway VSP，3D VSP以三个分量为准。由于固井质量问题造成的套管谐振和裸眼井造成的资料品质下降不参与资料评价。

### 5.8.2 合格

合格品应符合下列条件：

1. 各种测井设备检测合格；
2. 激发信号、起跳时间准确，监控子波记录合格；
3. 三分量响应一致；
4. 纵波、横波以及转换波初至波清晰、初至前无明显抖动，纵波、横波可分辨初至的道数不低于95%，转换波可分辨初至的道数不低于85%；
5. 主要目的层反射波不受干扰波的严重影响；
6. 观测点深度准确，激发深度误差1%，接收点的深度误差小于0.1%；
7. 空炮率符合要求；
8. 测量成果符合技术要求；
9. 班报记录的参数与实际数据文件中的要求一致；
10. 原始数据室内解编正确无误。

### 5.8.3 不合格

不符合5.8.2规定的任意一条为不合格品

## 5.9 施工总结

施工总结报告应有封面、扉页、目次、内容和附图。

### 5.9.1 施工总结报告

施工总结报告应包括：

1. 项目来源和地质任务；
2. 工区概况：包括地理位置及地表主要设施、交通、通信及气象特征、井况数据；
3. 地质概况：包括构造位置、构造特征和地震地质条件；
4. 试验工作；
5. 施工方法；
6. 观测系统及采集参数：包括观测系统、激发参数、采集仪器参数等；
7. 施工组织：包括组织措施（项目组）、施工难点分析及对策、资源配置、培训；
8. HSE管理；
9. 质量完成情况；
10. 完成工作量及时效分析；
11. 采集效果分析：实际完成质量指标、采集效果分析等。

### 5.9.2 报告附件

报告附件应包括以下内容：

1. 采集项目验收意见书；
2. 测量工作总结报告；
3. 采集报告的附图；
4. 其他附件。

## 5.10 采集资料整理

### 5.10.1 测量资料

测量资料整理执行SY/T 5171的规定。

### 5.10.2 表层调查资料

表层调查资料整理执行SY/T 5314的规定。

### 5.10.3 仪器、缆车和震源系统资料

仪器、缆车和震源系统资料整理包括以下内容：

1. 年检验记录合格后应有具备资质的仪器负责人验收签字；
2. 地面仪器、编译码器、检波器的月检验项目和技术指标按本型号仪器标准执行，月检验记录合格后应有仪器操作员验收签字，项目经理签字认可；
3. 采集系统日检验项目和技术指标按相关标准执行，日检验记录合格后应有仪器操作员验收签字，项目经理签字认可；
4. 爆炸机、可控震源、气枪震源和井下震源的检验项目和技术指标按相关标准执行。

### 5.10.4 班报

班报整理主要包括：

1. 按记录的时间顺序整理班报，使其与采集的数据文件一致；
2. 不同日期的内容不应填入同一张班报；
3. 按电子文档和纸质文档保存并提供给用户；
4. 仪器班报格式参见附录A。

### 5.10.5 监视记录

监视记录整理主要包括：

1. 监视记录按数据文件存档，凡通过垂直叠加满足质量要求的，将叠加后的结果作为监视记录存档，其中需标注叠加次数等参数；
2. 数据文件中的记录头内容包括：工作日期、队号、施工井号、文件号、激发深度、观测点深度及范围；
3. 有关监视记录的信息可填在仪器班报上，包括工作日期、队号、施工井号、当日震（炮）次、文件号、激发和观测点深度、叠加次数，资料评价、评估说明。

### 5.10.6 数据光盘/磁带

生产数据制作光盘/磁带，辅助数据电子文档等制作光盘；磁带标签填写内容包括施工井号、盘号、文件号、队号、日期；以上资料应认真填写，不应涂改。

### 5.10.7 采集资料验收

资料验收应达到以下要求：

1. 设备测试资料齐全、符合规定；
2. 测量资料完整齐全；
3. 试验工作符合设计要求；
4. 仪器班报、井况资料、档案卡等内容填写认真，主要内容完整；
5. 施工方法、施工因素和采集工作量符合设计要求；
6. 监视记录、质量评估、考核点等资料可靠并符合设计要求；
7. 原始资料回放正确无误，与班报等资料一致。

### 5.10.8 采集资料上交

资料上交包括但不限于以下内容：

1. 测量资料；
2. 可控震源、井下震源工作质量监控资料；
3. 野外施工设计；
4. 仪器班报；
5. 数据光盘/磁带(SEG-Y格式)；。
6. 表层调查资料；
7. 试验资料；
8. 施工总结；
9. 其他图件。

# 6 三分量VSP地震数据处理

## 6.1 基本处理流程

VSP三分量一体化基本处理流程见图1。



图1 VSP三分量一体化基本处理流程

## 6.2 主要处理工序与技术要求

### 预处理

1. 将VSP地震数据格式正确解编或转换为VSP地震数据处理系统使用的数据格式；
2. 定义激发点和接收点坐标、高程和深度；观测系统、激发点分布、接收点平面位置应符合野外施工实际情况；对于深度误差大于1/2道间距的检波点进行重新定位，精度控制在1/4道间距内且满足总体测量误差要求；
3. 三分量解编，确保三分量定义正确；
4. 检查三分量响应的一致性，对非一致性响应进行校正；
5. 极性确定：VSP地震数据处理中通常规定使用正常极性，即下行波初至上跳（负值）；
6. 剔除不正常的炮、道和异常振幅值；
7. 两分量旋转：对于零井源距VSP，将X、Y分量旋转至R、T分量；旋转后R、T分量上初至归位正确；
8. 三分量旋转：斜井零井源距VSP、非零井源距VSP、Walkaway VSP、Walkaround VSP、3D VSP应进行三分量旋转处理；在检波器位置不动时，多炮统计水平分量旋转角度重叠率达到85%以上，三分量旋转后波场特征一致、极性一致、波形连续；对非重叠的样点重新进行检波方位校准；所有检波点方位校正精度不得低于坏道率。

### 三分量一体化部分振幅补偿

1. 将三分量炮集记录组成矢量地震道，进行一体化球面扩散的同时补偿。
2. 可采用的方法有指数补偿法、线性补偿法等；三个分量的参数选择应一致。
3. 振幅补偿确保三分量振幅相对关系与矢量特征不被破坏。

### 噪音压制

1. 压制井筒波、套管波、套管谐振、电缆波等采集噪声；噪声衰减后的VSP地震数据，信噪比应有提高，去掉的噪声数据中无明显有效信号。
2. 将三分量炮集记录组成矢量地震道，进行一体化矢量去噪；可采用的方法有：四元数矢量去噪、t-f-k域极化滤波、矢量中值去噪等；
3. 确保去噪后的有效信号高、低频能量得到保持，且三分量相对振幅关系与矢量特征不被破坏。

### 矢量波场分离

1. 三分量上、下行波的分离：在三个分量上分别分离出上、下行波偏振投影，其中下行波包括：P波、SV波、SH波模式的初至波、透射波、透射转换波以及多次波等；上行波包括：P波、SV波、SH波模式的一次反射波、多次波以及多次转换波等；根据波场特点及试验结果确定波场分离方法和参数。
2. 纵、横波的矢量分离与合成：将三个分量上的上、下行波各自分别分离出P波、SV波、SH波模式；然后将不同模式的三分量偏振投影合成纯波矢量，得到具有真实波矢量特征的P波、SV波、SH波模式上行波与下行波；波场分离后的有效波组特征清楚，信噪比应得到提高，不同模式的上、下行波记录上无明显不同波型的串扰现象。
3. 横波分裂波场分离：在纯SV波与SH波模式的上、下行波上分别识别横波分裂现象，对S1波与S2波矢量进行分离。
4. 波场分离可采用的方法包括：f-k域波场分离法、中值滤波波场分离法、波矢叠加法、仿射坐标系波场分离法、矢端图分析波场分离法、Alford旋转法、奇异值分解法、特征向量-特征值分解法等。

### 多波初至拾取

1. 利用VSP地震三分量初至波形拾取直达波到达旅行时间，垂直分量能量较弱时应考虑在三分量合成的模数道上拾取初至；
2. 根据VSP地震资料横波或转换横波发育情况，进行横波或转换横波速度求取或成像时，应在水平分量旋转的基础上拾取下行横波或转换横波初至时间；
3. 下行分裂横波发育时，若预测裂缝，可考虑拾取快慢横波初至时间；
4. 多波波场校正后应该对拾取的初至进行检查与调整；
5. 初至时间曲线应平滑、连续、渐变。

### 地层参数求取

1. 零井源距VSP资料应求取地层时深关系、平均速度、层速度、纵横波真振幅恢复因子TAR和纵横波品质因子Q；VSP速度与地层埋深及岩性变化特征吻合；TAR估算之前应对前述6.2.2三分量一体化部分振幅补偿处理进行反补偿处理，真振幅恢复TAR值拟合线性规律较好，TAR值一般应大于1且小于3；地层品质因子Q应符合地层变化规律；
2. Walkaway VSP和3D VSP资料应在静校正基础上根据走时估算地层的VTI参数（Thomsen参数η、δ和ε等）；各向异性速度动校正精度高于各向同性速度动校正；
3. Walkaround VSP资料应在静校正基础上根据不同方位走时与振幅的变化估算地层的方位各向异性参数（如：裂缝密度、裂缝方位等），不同模式波场估算的方位各向异性参数应具有一致性，且与地质资料揭示的区域地应力场、构造、裂缝信息或成像测井揭示的裂缝信息吻合。

### 多波波场校正

1. 对前述6.2.2三分量一体化部分振幅补偿处理进行反补偿处理；
2. 静校正：包含激发点静校正、剩余静校正，静校正后共深度点道集同相轴连续、平滑；
3. 振幅补偿：依据TAR值进行球面扩散振幅补偿处理；转换波要考虑上、下行波采用不同的TAR值进行球面扩散振幅补偿；对震源的能量、地表条件的非一致性进行补偿；补偿后，浅、中、深层有效波的能量应基本均衡，炮间和道间无明显能量差异；应当对1%～3%的样点进行矢端图质控分析，以保障振幅补偿未破坏三分量地震波场的矢量特征；
4. 子波校正：采用不同震源施工的工区，应对不同震源的资料进行子波整形处理；VSP重复激发子波差异较大时，应进行子波整形处理；子波整形处理后炮间子波基本一致，炮间振幅、时差、频率及相位差异得到校正；SV波与SH波或者S1波与S2波要保证子波整形不破坏子波类型的一致性。

### 反褶积

1. VSP反褶积一般包括下行子波反褶积和上行波预测反褶积；下行子波反褶积算子从分离的下行波中提取，上行波预测反褶积算子从上行波统计获得；纵、横波分别采用各自匹配的上、下行波提取反褶积算子；
2. 反褶积处理后应达到压制多次纵波、多次转换波，提高子波一致性和分辨率的目的。

### 速度建模

1. VSP成像时应结合零井源距VSP速度与各向异性参数、地面地震速度场与层位信息、测井资料建立速度模型；零井源距VSP速度计算准确，利用正演对比方法验证最大剩余时差小于采样间隔；
2. 速度模型要使得不同位置成像道集的动校正效果较好，远近偏移距均能校平；
3. 不同模式上行波时间域成像应该采用各自T0时间域的速度模型；成像剖面在不同T0时间域内都能匹配成像；
4. 深度域速度模型应该能够满足不同模式上行波的深度域匹配成像。

### 双程时校正/叠加/成像

1. 零井源距VSP应进行双程时校正、走廊选取和叠加处理，地层倾角较大时，应进行地层倾角时差校正或进行井旁小范围成像；走廊选取时窗（或深度窗）应根据多次波发育情况进行选取，走廊记录上不含多次波和强干扰波；
2. 不同模式波场的双程时校正应采用与之匹配的T0时间；
3. 非零井源距VSP、Walkaway VSP、Walkaround VSP和3D VSP应进行成像处理，成像方法一般包括VSP-CDP、VSP-CCP成像和偏移成像；偏移成像剖面上特征清晰，反射波、断面波合理归位，绕射波收敛，无空间假频及其他干扰；VSP成像在井点位置的反射特征与走廊叠加剖面基本一致；
4. 偏移成像应该针对矢量波场分离的单一模式波场进行，而不是尚未波场分离的上行波Z、X、Y或者Z、R、T分量。

### 后期处理

后期处理包括：

1. 依据VSP地震与地面地震处理基准面差异和层位标定结果，对VSP地震资料进行基准面校正处理；
2. 根据解释要求对VSP地震数据进行匹配滤波处理；
3. 对叠加和偏移后的数据，可适当进行提高信噪比和分辨率的处理；
4. 根据资料解释要求进行时深转换处理。

## 6.3 处理成果

1. 预处理后Z、R、T分量数据；
2. 矢量波场分离后的上、下行多波数据；
3. 多波初至拾取成果；
4. 预测的地层参数成果；
5. 反褶积后上行多波数据；
6. 多波速度成果资料，包括各向异性参数；
7. 上行波双程时排齐数据、走廊叠加、成像数据。

## 6.4 质量控制及过程评价

### 6.4.1 质量控制

VSP地震资料处理质量检查内容参见附录B。对质量控制点的内容进行检查，达到第6.2规定的技术要求。质量控制检查的主要图件及数据包括：

1. 观测系统图；
2. 零井源距VSP时深关系、速度、TAR、Q、各向异性参数和反褶积算子；
3. Walkaway VSP或3D VSP共激发点和共接收点初至曲线绘图；
4. 三分量旋转、振幅补偿、矢量波场分离等处理前后有代表性的炮集（或共接收点道集）对比绘图；
5. 反褶积前后有代表性的炮集（或共接收点道集）数据和振幅谱图；
6. 上行波双程时排齐剖面与多波走廊叠加剖面绘图；
7. 多波偏移速度场速度剖面，3D VSP时选取代表性速度剖面或切片绘图；
8. 多波成像剖面与走廊叠加剖面镶嵌绘图；

### 6.5.2 处理过程评价

地震数据处理过程评价以井为单位按合格品、不合格品评价。合格品应满足以下条件：

1. 流程和方法能够满足处理设计要求；
2. 每个工序的质控达到6.2的处理要求；
3. 走廊叠加剖面、成像剖面反射特征清晰，波组特征符合地震地质认识；
4. 处理成果齐全。

# 7 多波联合资料解释

## 7.1 资料解释流程

VSP多波地震资料联合解释基本流程见图2。



图2 VSP多波地震资料联合解释基本流程

## 7.2 资料解释内容与技术要求

### 7.2.1 零井源距VSP解释

**7.2.1.1 基准面校正**

1. 将VSP不同模式波场走廊叠加剖面（成像）校正到与之匹配的地面地震基准面上；
2. 对VSP进行深度校正，与录井、钻井、测井等资料保持一致；
3. VSP多波的T0时间域转换关系与地面多波的T0时间域转换关系一致；

**7.2.1.2 速度及岩石物理参数**

1. 制作时深关系以及多波平均速度、层速度、地质分层层速度等曲线，结合岩性资料分析地层垂向速度变化规律；
2. 制作纵横波速度比、泊松比等参数曲线，分析储层物性特征，用于含油气性预测、地震反演等；
3. 对横波分裂时差进行识别，预测裂缝发育情况。

**7.2.1.3 声波曲线校正**

对比分析VSP与声波时深关系，差异大时应利用VSP速度对声波曲线背景速度进行校正，并通过校正前后合成记录与VSP走廊叠加剖面的对比进行质控。

**7.2.1.4 层位标定**

1. 对井旁时间域地面多波地震资料进行波场类型相匹配的VSP桥式标定，确定多波地震反射层与地质层位的对应关系，分析不同地层的地震反射特征；
2. 根据要求对井旁深度域地面多波地震成果进行VSP深度域走廊镶嵌对比，分析地面地震不同层位的深度误差。

**7.2.1.5 多波层位匹配**

1. 对关键地质层位的多波地震层位进行匹配；对于纵波源VSP，至少完成PP波与PS波的层位匹配；对于横波源VSP，至少完成SP波与SS波的层位匹配；对于三分量震源，至少完成九分量波场的层位匹配；
2. 双程时校正、走廊叠加剖面以及成像剖面压缩或者拉伸至其它模式波场的T0时间域时，多波层位的匹配良好，没有明显的波型畸变现象；
3. 横波分裂波场的层位匹配要区分一次分裂以及同一地层内以及不同地层间的多次分裂横波。

**7.2.1.6 未钻遇地层深度预测**

根据技术要求及资料品质分析选用速度拟合、邻井速度填充、多波交会等方法预测未钻遇地层深度。

**7.2.1.7 多次波识别**

1. 利用VSP反褶积前后波场、宽窄走廊叠加剖面等资料对比识别地震多次波；
2. 多次波识别包括多次转换波的识别。

**7.2.1.8 属性分析**

提取VSP上行多波波场或走廊叠加剖面的振幅、频率、相位等属性，优选出岩性、物性敏感属性。

### 7.2.2 非零井源距VSP、Walkaway VSP、Walkaround VSP、3D VSP

**7.2.2.1 基准面校正、层位标定与多波层位匹配**

与零井源距VSP相应解释内容以及技术要求一致。

**7.2.2.2 构造解释**

1. 依据井点VSP层位标定结果进行构造解释，Walkaround VSP及3D VSP资料应进行平面构造解释；层位、断层解释及其特征分析按照SY/T5481的规定执行；
2. 以PP波构造解释为主，其它模式数据体转换至PP波T0时间域后辅助构造解释；
3. 对比VSP成像与地面地震剖面的波组特征、地层产状、断裂系统等的差异，结合录井、钻井、测井等资料检查VSP构造解释的合理性。

**7.2.2.3 储层及流体预测**

1. 根据地质任务和实际情况选取合适的反演方法进行地震反演，VSP多波成像资料宜进行纵横波联合反演；若成像道集的入射角范围较宽，至少达到20°入射角，宜采用多波联合AVO反演；若成像道集的入射角范围较窄，如入射角范围只有10°宽度，宜采用叠后平均入射角多波联合反演；
2. 依据零井源距VSP属性分析结果，开展叠前或叠后VSP资料地震属性分析；
3. 若出现横波分裂现象，要进行层剥离法裂缝预测；
4. 对于Walkaround VSP，应综合利用纵横波资料进行裂缝预测；
5. 结合测井解释成果、试油试气成果、VSP属性及反演成果，描述井旁储层的几何形态，包括储层的顶、底界面形态及厚度等储层特征，Walkaround VSP及3D VSP应描述储层的平面分布及横向厚度变化特征。

### 7.2.3 综合解释

根据不同地质任务要求，在VSP多波资料解释工作完成后，结合地面地震、地质、录井、钻井、测井及其它地球物理资料进行综合地质解释，提供勘探开发部署建议。

## 7.3 多波解释成果

### 7.3.1 零井源距VSP

根据地质任务要求包括：

1. VSP综合速度（时深关系、纵横波层速度与平均速度、泊松比等）；
2. 校正后的纵横波测井数据；
3. VSP多波联合桥式标定图；
4. 波场模式相同的时间域VSP走廊叠加剖面与过井地面地震剖面镶嵌对比；
5. 时间域VSP走廊叠加剖面与过井地面地震剖面镶嵌对比；
6. 深度域VSP走廊叠加剖面与过井地面地震剖面镶嵌对比；
7. 未钻遇地层深度预测成果；
8. 其他解释成果。

### 7.3.2 非零井源距VSP、Walkaway VSP

根据地质任务要求包括：

1. VSP多波成像与零井源距VSP走廊叠加剖面标定成果；
2. VSP多波剖面与相应地面地震剖面镶嵌对比；
3. VSP资料构造解释剖面；
4. VSP资料反演及属性分析剖面；
5. 勘探部署建议；
6. 其他解释成果。

### 7.3.3 Walkaround VSP、3D VSP

根据地质任务要求包括：

1. 过井VSP多波成像剖面与零井源距VSP走廊标定成果；
2. VSP重点剖面与相应地面地震剖面镶嵌对比；
3. 多波层位及断层解释成果数据；
4. 重点多波层位及目的层构造图；
5. VSP资料反演及属性分析剖面；
6. 储层平面分布图；
7. 勘探部署建议；
8. 其他解释成果。

## 7.4 解释技术要求及成果检查

### 7.4.1 解释技术要求

1. 桥式标定图宜包括VSP波场排齐剖面、走廊叠加剖面、多波合成记录、地面地震剖面、岩性剖面、测井曲线（主要包括纵横波时差、伽马、密度等）；
2. 地震反射层命名执行SY/T 5933的规定；多波反射层位的命名要用后缀表明波场模式；
3. VSP多波走廊叠加剖面与相对应的地面地震资料的相位特征应一致，频带高于或者接近于地面地震；
4. 观测井为斜井时，零井源距VSP走廊叠加剖面应沿井轨迹与地面地震剖面镶嵌对比标定；
5. 主要目的层时间域标定和地面地震解释层位误差小于1/4周期；多波的层位时间应压缩至PP波T0时间域；
6. 主要目的层深度域标定和地面地震解释层位误差小于1/4波长；
7. 纵横波速度校正后合成记录标定误差小于1/4周期；
8. 未钻遇地层深度预测距离宜小于钻头前方1000m，钻头前深度预测误差应小于2%；
9. 裂缝解释以分裂横波波场为主，纵波辅助解释，裂缝预测结果宜得到地质资料佐证；
10. 构造解释、储层预测及综合解释等内容的技术要求参照SY/T5481执行；
11. 构造图等图件制作要求执行SY/T 5331的规定；
12. 对多于8个方位观测的VSP资料，宜进行平面解释；
13. 根据不同的地质任务，对VSP资料进行相应的目标解释。

### 7.4.2 成果检查

1. 按照7.4.1的要求进行解释成果质量检查，检查内容参见附录C。
2. VSP地震资料综合解释成果评价结果分为合格成果、不合格成果：满足7.4.1要求的成果为合格成果；不满足7.4.1要求的为不合格成果。
3. 对检查出的问题按具体情况决定整改或返工，并在整改或返工完成后进行复查。达到标准的按合格成果计算，仍存在问题达不到合格标准的，写出处理意见。

# 8 成果报告

## 8.1 报告内容

报告内容应包括：

1. 项目概况（项目来源、地质任务、工区位置、采集因素等）；
2. 原始资料情况分析；
3. 处理方法、流程及质控；
4. 处理成果及效果分析；
5. 多波解释方法及流程；
6. 多波综合解释成果；
7. 结论及建议。

## 8.2 报告附图

### 8.2.1 零井源距VSP

零井源距包括：

1. 关键处理环节的成果图件；
2. 不同模式上行波双程时排齐剖面；
3. 多波走廊叠加剖面；
4. 纵横波综合速度图；
5. VSP多波桥式标定图；
6. VSP多波走廊叠加剖面与地面地震剖面镶嵌图。

### 8.2.2 非零井源距VSP、Walkaway VSP

非零井源距VSP、Walkaway VSP包括：

1. 关键处理环节的成果图件；
2. VSP多波成像剖面；
3. VSP多波成像剖面与地面地震剖面对比图；
4. 多波层位解释图件；
5. 构造解释剖面；
6. 属性分析及反演剖面。

### 8.2.3 Walkaround VSP、3D VSP

Walkaround VSP、3D VSP包括：

1. 关键处理环节的成果图件；
2. VSP多波成像剖面；
3. VSP多波成像剖面与地面地震剖面对比图；
4. 多波层位解释图件；
5. 构造解释剖面；
6. 属性分析及反演剖面；
7. 重点层位构造图；
8. 重点层位属性切片图；
9. 储层预测平面图。

### 8.2.4 其他图件

其他图件包括：

1. 施工工区位置图；
2. 井身结构图；
3. 观测系统图；
4. 过井地震测线位置图及相应的地震剖面图；
5. 处理解释质控图件。

## 8.3 报告附表

报告附表包括：

1. 以VSP深度为索引的多波双程反射时间、速度、地层品质因子等综合数据表，具体格式参见附录D；
2. 以VSP深度或多波双程反射时间为索引的各向异性参数，具体格式参见附录E。

## 8.4 成果归档

### 8.4.1 归档成果

归档成果包括：

1. 5.10中所要求的采集成果；
2. 6.3中所要求的处理成果；
3. 7.3中所要求的解释成果；
4. 处理解释成果报告、电子文档。

### 8.4.2 归档要求

归档要求包括：

1. 归档数据宜用SEG-Y记录格式，应满足SY/T5453、SY/T5928的要求；
2. 归档文本数据宜为\*.xlsx、\*.txt、\*.docx等常用数据格式；
3. 归档宜用光盘、硬盘等可长期保存的介质，并粘贴牢固的标签。

**附录 A**

**（资料性附录）**

**仪器班报格式**

仪器班报格式参见表A.1至表A.6。

**表A.1 井中地震资料采集数字仪器班报头**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 工区： | 井号： | 施工日期：年月日至年月日 |
| 观测系统 | 观测方式及主要参数： | 接收因素 | 地面仪器型号： | 仪器前放增益：dB | 低截滤波： Hz |
| 井下检波器型号： | 检波器前放增益：dB | 高截滤波： Hz |
| 观测井段：m至m | 检波器级数： | 记录长度：s | 陷波器： Hz |
| 观测点距：m | 检波器间距：m | 采样率：ms | 记录格式： |
| 激发方式 |  | 震源型号及主要参数： | 文件号：至 |
| 井下仪器级数 | 第1级（首级） | 第级（末级） | 子波型号： | 其他辅助道 | 地表类型： |
| 井下仪器分量 | Z | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Ref | TB |  | 电缆拉伸： m  |
| 道序号 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 对零位置： |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

委托方：施工单位：施工队号：页数：（第册共册）

**表A.2 井中地震资料采集数字仪器班报（炸药）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 炮序号 | 原始文件号 | 炮点编号/井中源深度 | 首级深度m | 激发井深m | 药量Kg | 雷管个 | Τ值 | 岩性 | 初评 | 复评 | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 井号：测线号：操作员：施工员：施工日期：年月日天气：第页 |

**表A.3井中地震资料采集数字仪器班报（可控震源）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 炮序号 | 原始文件号 | 炮点编号/井中源深度 | 首级深度m | 激发井深m | 药量Kg | 雷管个 | Τ值 | 岩性 | 初评 | 复评 | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 井号：测线号：操作员：施工员：施工日期：年月日天气：第页 |

**表A.4井中地震资料采集数字仪器班报（气枪）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 炮序号 | 原始文件号 | 炮点编号/井中源深度 | 首级深度m | 激发井深m | 药量Kg | 雷管个 | Τ值 | 岩性 | 初评 | 复评 | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 井号：测线号：操作员：施工员：施工日期：年月日天气：第页 |

**表A.5井中地震资料采集数字仪器班报（电火花）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 炮序号 | 原始文件号 | 炮点编号/井中源深度 | 首级深度m | 激发井深m | 药量Kg | 雷管个 | Τ值 | 岩性 | 初评 | 复评 | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 井号：测线号：操作员：施工员：施工日期：年月日天气：第页 |

**表A.6 井中地震资料采集数字仪器班报（重锤）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 炮序号 | 原始文件号 | 炮点编号/井中源深度 | 首级深度m | 激发井深m | 药量Kg | 雷管个 | Τ值 | 岩性 | 初评 | 复评 | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 井号：测线号：操作员：施工员：施工日期：年月日天气：第页 |

1.
2.

**附录 B**

VSP三分量一体化地震数据处理检查内容见表**B**

表**B** VSP三分量一体化地震数据处理检查表

井名: 工区位置: 观测系统：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 处理流程 | 技术要求 | 是否合格 | 存在问题 | 检查人及日期 | 复查结果 | 整改检查人及日期 |
| 1 | 预处理 | 1、观测系统、激发点和接收点平面位置应符合野外施工实际情况。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2、三分量定义正确，响应一致，不正常道被剔除。 |  |  |  |  |  |
| 3、分量旋转后极性正确，不同模式的初至波归位正确。 |  |  |  |  |  |
| 2 | 部分振幅补偿 | 1、三分量振幅相对关系保持较好。 |  |  |  |  |  |
| 2、浅、中、深部能量均衡较好。 |  |  |  |  |  |
| 3 | 噪音压制 | 1、信噪比较高，井筒波、套管波、套管谐振、电缆波等采集噪声得到有效压制，去掉的噪声数据中无明显有效波。 |  |  |  |  |  |
| 2、去噪后的有效信号高、低频能量得到保持，且三分量振幅相对关系不被破坏。 |  |  |  |  |  |
| 4 | 矢量波场分离 | 1、根据波场特点及试验结果确定波场分离方法和参数，不低于两种以上的方法对比试验。 |  |  |  |  |  |
| 2、波场分离后的有效波组特征清楚，信噪比应得到提高。 |  |  |  |  |  |
| 3、不同模式的上、下行波记录上无明显不同波型的串扰现象，横波分裂发生的论证合理、证据明确。 |  |  |  |  |  |
| 5 | 多波初至拾取 | 1、零井源距VSP初至拾取误差小于1/10采样间隔，其他观测方式初至拾取误差小于1个采样间隔。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2、初至时间曲线应平滑、连续、渐变。 |  |  |  |  |  |
| 6 | 波场校正 | 1、静校正后共深度点道集同相轴连续、平滑。 |  |  |  |  |  |
| 2、振幅补偿后，浅、中、深层有效波的能量应基本均衡，炮间和道间无明显能量差异。 |  |  |  |  |  |
| 3、子波整形处理后炮间子波基本一致，炮间振幅、时差、频率及相位差异得到校正。 |  |  |  |  |  |
| 7 | 地层参数求取 | 1、VSP速度与地层埋深及岩性变化特征吻合。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2、每种矢量波场真振幅恢复TAR值拟合线性规律较好。 |  |  |  |  |  |
| 3、地层品质因子Q应符合地层变化规律，数值与地层对应良好。 |  |  |  |  |  |
| 4、各向异性速度动校正精度高于各向同性速度动校正。 |  |  |  |  |  |
| 5、不同模式波场解译的方位各向异性拟合较好，与其它地质资料能够相互印证。 |  |  |  |  |  |
| 8 | 反褶积 | 1、反褶积处理方法得当，参数合理，多次波得到明显压制。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2、反褶积后波组特征清晰，分辨率得到提高，子波旁瓣有效压制，频带得到拓宽。 |  |  |  |  |  |
| 9 | 速度建模 | 1、零井源距VSP速度计算准确，利用正演对比方法验证最大剩余时差小于1ms。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2、速度模型要使得不同位置成像道集的动校正效果较好，远近偏移距均能校平。 |  |  |  |  |  |
| 3、速度模型能够是不同模式波场成像剖面在不同T0时间域内都能匹配成像。 |  |  |  |  |  |
| 10 | 双程时校正/叠加/成像 | 1、走廊选取时窗（或深度窗）应根据多次波发育情况进行选取，走廊记录上不含多次波和强干扰波。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2、偏移成像剖面上特征清晰，反射波、断面波合理归位，绕射波收敛，无空间假频及其他干扰。 |  |  |  |  |  |
| 3、VSP成像在井点位置的反射特征与走廊叠加剖面基本一致，符合地质认识。 |  |  |  |  |  |
| 11 | 后期处理 | 1、提高分辨率处理后的剖面，波组特征应清晰，应具备一定的信噪比。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2、后期处理后的VSP地震数据有利于资料综合解释。 |  |  |  |  |  |

1.
2.

**附录 C**

VSP多波联合资料解释质量检查内容见表**C**

表**C**VSP多波联合资料解释质量检查表

井名: 工区位置: 观测系统：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 检查要求 | 是否合格 | 存在问题 | 检查人及日期 | 复查结果 | 整改检查人及日期 |
| 1 | 基准面校正 | 1、时间域不同模式波场VSP数据与对应的地面地震基准面校正。2、VSP与录井、钻井、测井等资料的深度校正。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2 | 速度及岩石物理参数分析 | 1、计算公式、回归关系准确。2、速度及其他参数变化符合岩性变化、埋深及含油气性等特征吻合。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 3 | 层位标定 | 1、桥式标定图要素齐全。2、地震反射层地质层位标注准确。3、VSP走廊叠加剖面与地面地震资料的相位特征应一致，频带相当。4、主要目的层时间域标定和地面地震解释层位误差小于1/4周期。5、主要目的层深度域标定和地面地震解释层位误差小于1/4波长 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
|
| 4 | 多波层位匹配 | 1、不同模式波场在压缩或者拉伸至相同T0时间域后层位匹配良好，没有出现波型畸变。2、至少完成两种不同模式波场的层位匹配。 |  |  |  |  |  |
| 4 | 未钻遇地层深度预测 | 1、选取预测方法合适。2、钻头前深度预测误差小于预测深度的2%。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
|
| 5 | 构造解释 | 1、井点层位标定准确。2、层位解释合理，符合地质规律，追踪相位一致，测线交点闭合。3、断层断点清楚，小断层识别精细。4、平面图制作过程准确，等值线及断层符合地质规律，标注等齐全，符合SY/T5481的要求。 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
|
| 6 | 储层、流体预测 | 1、储层预测方法选用合适。2、参数选用合理，操作流程准确。3、井点预测成果与录井、钻井、测井成果吻合。 |  |  |  |  |  |
| 7 | 综合解释 | 1、解释成果满足地质任务要求。2、提供的勘探开发部署和优化方案合理，建议可实施。 |  |  |  |  |  |

1.
2.

**附录 D**

VSP地震地层参数见表**D**

表**D**VSP地震地层参数表（波场类型： ）

1. 井名:
2. 井名:

井名：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测深m | 垂深m | 初至时间ms | 地表双程时ms | 地面地震基准面双程时ms | 平均速度米/秒 | 层速度m/s | 地层品质因子 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 波场类型：包括PP波、PS波、SS波、SP波等；测深：从地表算起的测量深度；垂深：从地表算起的垂直深度；初至时间：激发点起算的纵波初至时间；地表双程时：地表起算的纵波垂直双程时间；地面地震基准面双程时：地面地震基准面起算的纵波垂向双程时间；平均速度：纵波平均速度（地表起算）；层速度：纵波层速度（地表起算）。 |

1.
2.

**附录 E**

VSP地震资料各向异性参数见**E**

表**E**VSP地震资料各向异性参数表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测深m | 垂深m | 地表双程时ms | 地面地震基准面双程时ms | η | δ | ε |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 测深：从地表算起的测量深度；垂深：从地表算起的垂直深度；地表双程时：从地表算起的垂直双程时间；地面地震基准面双程时：地面地震基准面起算的纵波垂向双程时间；η、δ、ε：Thomsen参数。 |

**中国地球物理学会团体标准《三分量VSP地震勘探规范》**

**编制说明**

（征求意见稿）

**一、工作简况**

**1、 任务来源**

根据中国地球物理学会球会字（2021）第20号文件“关于开展《三分量VSP地震勘探规范》团体标准制定的通知”要求，由中国地质大学（北京）主编该标准的制定,计划完成时间为2021年。由中国地球物理学会归口。

**2、 主要工作过程**

（1）计划下达后，由中国地质大学（北京）担任主要编制工作，成立标准编制工作组，确定工作方案，提出进度安排；中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中国石油化工股份有限公司石油物探技术研究院、中海油研究总院有限责任公司、中国矿业大学（徐州）四家单位参加编写。标准编制工作组对国内外三分量VSP地震勘探技术的现状与发展情况进行了全面调研，同时广泛搜集和检索了国内外三分量VSP地震勘探的技术资料，并参考SY/T 5454《井中地震资料采集技术规程》、SY/T 7450《井中地震资料处理解释技术规程》及相关标准，经过大量的研究分析、资料查证工作，结合实际应用经验，全面地总结和归纳，于2021年3月下旬形成《三分量VSP地震勘探规范》（草案稿）；

（2）2021年7月23日，由中国地球物理学会在北京组织召开了《三分量VSP地震勘探技术规范》编制工作组会议。来自产、学、研、用的11名专家对《三分量VSP地震勘探技术规范》（草案稿）逐条进行了细致、深入的讨论，提出修改意见。会后标准编制工作组对与会专家提出的意见进行多次研讨和认真修改，于2021年10月19日形成了征求意见稿，报至标委会。

**二、标准编制原则和主要内容**

**1、标准编制原则**

1. 贯彻我国相关的法律法规和强制性国家标准，与我国现行标准协调一致。
2. 满足行业发展需求，提升标准技术水平，适应产业发展需要。
3. 满足市场需要，保证产品质量，规范市场秩序。
4. 积极向国际标准靠拢，力求做到标准内容的先进性。
5. 根据国内企业具体情况，力求做到标准的合理性、经济性与实用性。
6. 编写格式符合GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准文件的结构和起草规则》。
7. 标准的编制注重科学性、准确性，同时要在不违背原则的前提下，保留行业内已流行的某些提法。

**2、标准主要内容**

本标准为新制定标准，将主要包括如下章节内容：

第1章：标准的适用范围。规定了三分量垂直地震剖面法（VSP）的资料采集、处理、解释的技术内容和质量规范；规定了陆地和海上二维以及三维三分量VSP地震勘探的主要技术内容，包括井中接收或井中激发的VSP或逆VSP技术。

第2章：规范性引用文件，为本标准的参考资料，以不同行业和企业采用的三分量VSP地震采集、处理和解释中的共性技术要点为核心；不同行业或企业的技术规范或标准应是在此标准的基础上，针对具体行业应用和企业运行的更为具体、细化的标准，但不得违反本技术规范规定的内容。

第3章：条文说明与一般规定。对三分量VSP勘探中常见的术语与条文进行了规定。

第4章：三分量VSP施工设计，对资料搜集、现场踏勘、采集参数设计、表层结构调查及静校正、试验方案、深度考核方案、施工方案以及设计报告编写的规范进行了规定。

第5章：三分量VSP资料采集，对资料采集过程中的测量工作、设备检查、井场准备及井处理、采集方法试验要求、采集工作要求、质量监控、HSE管理及要求、采集记录质量评价、施工总结以及采集资料整理的规范进行了规定。

第6章：三分量VSP数据处理，给出了VSP三分量一体化基本处理流程，对主要处理工序与技术要求、处理成果以及质量控制及过程评价进行了规定。

第7章：三分量VSP数据解释反演，给出了VSP多波地震资料联合解释的基本流程，对资料解释内容与技术要求、多波解释成果以及解释技术要求及成果检查进行了规定。

第8章：成果报告，规定了报告的撰写内容、附图、附表、成果归档的要求。

最后一部分为各种辅助文件，包括野外仪器班报和低速、降速带调查结果。

**3、解决的主要问题**

本标准为制订项目，充分纳入和反映了三分量VSP地震勘探的先进技术成果，保证标准的时效性，为三分量VSP地震勘探的推广应用提供技术支撑，对规范市场，指导生产，提高三分量VSP地震勘探的地质效果、安全可靠性及可持续性，更好地满足市场和使用需要，提升我国三分量VSP地震勘探技术水平具有十分重要的作用。本标准将对三分量VSP地震勘探施工设计、采集、处理和解释起到更好的指导作用。

**三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果**

本标准的发布能规范三分量VSP地震勘探的实施过程，对促进我国三分量VSP地震勘探的健康发展起到积极作用，加速国内具有三分量VSP地震勘探实施能力地球物理企业的国际化进程。

三分量VSP虽然得到大规模采集，但是数据的处理与解释，既缺乏配套的专用技术，也没有合理的、可以参照的统一标准。这已成为制约三分量VSP技术向前发展与推广应用的主要瓶颈之一。因此，目前急需立项制定三分量VSP地震勘探的团体标准，以规范、推动该项技术在不同行业、领域的应用。

**四、与国际、国外同类标准水平的对比情况**

本标准具有国际间领域通用性，兼容于现有的常规纵波VSP地震技术相关规范和标准。本标准的制定将在如下标准基础之上起草：

GB/T 3685 陆上地震勘探数据处理技术规程

SY/T 5171 陆上石油物探测量规范

SY/T 5314 陆上石油地震勘探资料采集技术规范

SY/T 6156 气枪震源使用技术规范

SY/T 6246 可控震源使用与维护

SY/T 6276 石油天然气工业健康、安全与环境管理体系

SY/T 5331 石油地震勘探解释图件要素规范

SY/T 5453 地震数据交换记录格式

SY/T 5454 井中地震资料采集技术规程

SY/T 7450 井中地震资料处理解释技术规程

SY/T 5481 地震勘探资料解释技术规程

SY/T 5928 地震勘探资料归档规范

SY/T 5933 地震反射层地震地质层位代号确定原则

Q/HS 1086-2018 空气枪震源设计指南

Q/HS 1001-2019 海上拖缆三维地震资料采集设计规范

Q/HS 1-2020 海底电缆三维地震资料采集设计规范

SYT 7003-2014 海底电缆地震勘探数据处理技术规程

SY/T 10020-2018 海上拖缆地震勘探数据处理技术规程

相对于快速、成熟发展的三分量VSP观测仪器和观测技术，国内外3C-VSP相关专业技术的发展与标准的制定并不成熟。目前除了《SY/T 7450—井中地震资料处理解释技术规程》石油行业标准有对三分量的旋转、横波速度的提取做了简单的标准制定，现有VSP领域的技术规程基本沿用了石油行业针对常规P波VSP的标准，缺乏针对三分量VSP完整技术流程的专用标准。

本标准专门针对三分量VSP勘探的过程进行详细的规范，突出三分量联合采集、处理与解释过程中的保振幅矢量的技术特征，综合利用多波信息实现对地下介质属性的解译，将能够促进弹性波地震技术的发展与应用。

**五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系**

本标准力求与其他现行国家标准的有关要求相协调，兼顾标准的可操作性和对技术要求的全面性。经分析，本标准与现行相关法律、法规、规章无不协调之处，且贯彻了我国的有关法律、法规和强制性国家标准，符合中国地球物理学会对于团体标准的有关规定。

**六、重大分歧意见的处理经过和依据**

本标准编制过程中无重大分歧意见。

**七、标准性质的建议说明**

建议本标准作为推荐性团体标准发布。

**八、贯彻团体标准的要求和措施建议**

建议本标准发布之日起3个月后实施。

**九、废止现行有关标准的建议**

本标准为新制定标准，无废止相关标准的建议。

**十、其他应予说明的事项**

无。

中国地球物理学会团体标准《三分量VSP地震勘探规范》编制工作组

2021年10月19日

**中国地球物理学会团体标准《三分量VSP地震勘探规范》征求意见稿**

**征求意见反馈表**

共 页 第 页 填表日期： 年 月 日

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 专家姓名（请手签） |  | 联系电话 |  |
| 工作单位 |  | 电子邮箱 |  |
| 序号 | 章条号 | 意见内容 | 理由 |
| 1 |  |  |  |
| 2 |  |  |  |
| 3 |  |  |  |
| …… |  |  |  |

注： 请务必于2021年12月2日前返回，如无意见，亦应复函说明。