



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116520435 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 12

(21) 申请号 202310710863.7

G01V 1/28 (2006.01)

(22) 申请日 2023.06.15

G01V 1/20 (2006.01)

G01V 1/137 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116520435 A

(56) 对比文件

CN 101046516 A, 2007.10.03

CN 110579792 A, 2019.12.17

US 2008159075 A1, 2008.07.03

(43) 申请公布日 2023.08.01

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

审查员 郭清

(72) 发明人 刘晓宇 赵颖

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责

任公司 11251

专利代理师 孔伟

(51) Int. Cl.

G01V 1/52 (2006.01)

G01V 1/42 (2006.01)

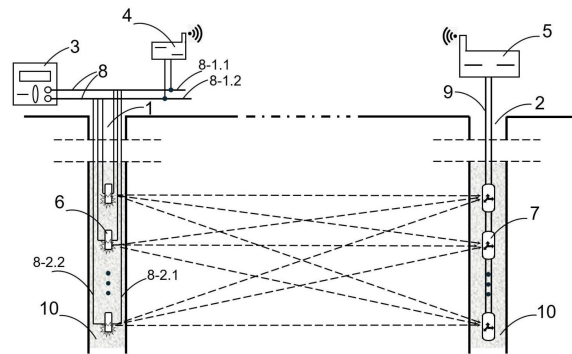
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

一种探测浅层精细构造的井间地震观测系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种探测浅层精细构造的井间地震观测系统及方法,包括高能脉冲起爆器、起爆通讯设备、地震采集设备、爆裂管阵列、检波器阵列;高能脉冲起爆器、起爆通讯设备布置在震源井外,通过起爆线与等间距埋在震源井中的爆裂管阵列连接;地震采集设备布置在接收井外,通过数据线与等间距埋在接收井中的检波器阵列连接。观测时,高能脉冲起爆器起爆,爆裂管阵列从深至浅连续激发地震波;起爆通讯设备实时捕获起爆线中的脉冲高压,即时无线发送起爆信号;地震采集设备实时无线接收到起爆信号,即时驱动检波器阵列同步采集井间地震数据。本系统激发能量强,观测成本低,观测周期短,操作简便安全,适用于大井距、浅部地层小构造的精细探测。



1. 一种探测浅层精细构造的井间地震观测系统,其特征在于,包括高能脉冲起爆器、起爆通讯设备、地震采集设备、爆裂管阵列、检波器阵列、起爆线;

所述高能脉冲起爆器、起爆通讯设备布置在震源井外,所述爆裂管阵列埋设在震源井中;

所述地震采集设备布置在接收井外,所述检波器阵列埋设在接收井中;

所述爆裂管阵列通过多道起爆脚线,分别与所述高能脉冲起爆器、起爆通讯设备有线连接;其中,起爆线包括起爆脚线;

所述检波器阵列通过两条数据总线,与所述地震采集设备有线连接;

爆裂管按照1-3米的炮间距、等间隔布设,组成所述爆裂管阵列;

所述爆裂管选用液态二氧化碳型爆裂管,通过将液态二氧化碳瞬间相变气化,急剧膨胀产生高压冲击波的方式,激发地震波;或者选用液体甲烷型爆裂管、活化剂型爆裂管;

检波器按照1-3米的道间距、等间隔布设,组成所述检波器阵列;

所述检波器为MEMS数字三分量检波器,包括微处理器、三轴数字MEMS加速度计、校时模块、通信模块、存储器;

所述MEMS数字三分量检波器的微处理器操控MEMS数字三分量检波器的校时模块、三轴数字MEMS加速度计、通信模块和存储器;

所述MEMS数字三分量检波器的校时模块通过时钟同步总线,接收地震采集设备广播下发的标准时钟信号,通过锁相环技术,使得本地时钟与标准时钟保持同步;

所述MEMS数字三分量检波器的三轴数字MEMS加速度计,按照本地时钟提供的采样间隔,同步采集地震波质点振动加速度的三个分量,转换成数字信号;

所述MEMS数字三分量检波器的通信模块通过数据传输总线,接收地震采集设备广播下发的录波指令,上传三轴数字MEMS加速度计采集到的井间地震数据;

所述MEMS数字三分量检波器的存储器保存三轴数字MEMS加速度计采集到的井间地震数据;

所述起爆通讯设备包括微处理器、起爆监听模块、无线收发模块;

所述起爆通讯设备的微处理器操控起爆通讯设备的起爆监听模块和无线收发模块;

所述起爆通讯设备的起爆监听模块,实时捕捉起爆线中的脉冲高压;

所述起爆通讯设备的无线收发模块,与所述地震采集设备进行无线通讯。

2. 根据权利要求1所述的井间地震观测系统,其特征在于,所述地震采集设备包括微处理器、无线收发模块、时钟同步模块、数据传输模块、存储器;

所述地震采集设备的微处理器操控地震采集设备的无线收发模块、时钟同步模块、数据传输模块、存储器;

所述地震采集设备的无线收发模块与所述起爆通讯设备进行无线通讯;

所述地震采集设备的时钟同步模块通过时钟同步总线,向检波器阵列广播下发标准时钟信号;

所述地震采集设备的数据传输模块通过数据传输总线,向检波器阵列广播下发录波指令,接收检波器阵列上传的井间地震数据;

所述地震采集设备的存储器保存检波器阵列上传的井间地震数据。

3. 一种探测浅层精细构造的井间地震观测方法,其特征在于,所述方法的具体步骤为:

a. 按照1-3米的炮间距、等间隔布设方式布设爆裂管构成爆裂管阵列,将爆裂管阵列由深到浅地逐次沉放到震源井设计深度,爆裂管阵列不共用起爆脚线,每道起爆脚线仅连接一只爆裂管;

b. 按照1-3米的道间距、等间隔布设方式布设检波器构成检波器阵列,将检波器阵列由深到浅地逐次沉放到接收井设计深度,检波器阵列共用时钟同步总线 and 数据传输总线;

c. 将高能脉冲起爆器和起爆通讯设备布设在震源井外,通过起爆母线将两类设备连接;其中,起爆线包括起爆母线和起爆脚线;

d. 将地震采集设备布设在接收井外,通过时钟同步总线 and 数据传输总线,与检波器阵列连接;

e. 开启起爆通讯设备,使起爆通讯设备处于捕捉脉冲高压状态;

f. 开启地震采集设备,使地震采集设备处于接收起爆信号状态,同时通过时钟同步总线广播下发标准时钟信号;

g. 检波器阵列接收标准时钟信号,同步采集周围岩土体三分量加速度响应;

h. 从爆裂管阵列中选择未起爆、且炮点位于接收井最深处的爆裂管,将连接该只爆裂管起爆脚线与连接高能脉冲起爆器起爆母线相连;

i. 启关高能脉冲起爆器,为爆裂管提供起爆冲能,引爆爆裂管,激发地震波;

j. 起爆通讯设备实时监听起爆线,当捕获脉冲高压后,即时向地震采集设备无线发送起爆信号;

k. 地震采集设备实时监听无线通讯网,当接收到起爆信号后,即时通过数据传输总线广播下发录波指令;

1. 检波器阵列接收录波指令,将采集到的周围岩土体的三分量加速度响应记录在本地存储器中,录波时长为1秒钟,完成录波后,检波器阵列将记录在本地存储器的井间观测数据,通过数据传输总线逐一上传至地震采集设备;

m. 地震采集设备接收检波器阵列上传的井间观测数据,保存在本地存储器中,完成所有检波器数据的接收存储后,地震采集设备向起爆通讯设备无线发送应答信号;

n. 起爆通讯设备接收到应答信号,通过控制面板上的液晶屏,提示本轮激发采集工作完成,

o. 转至步骤h,进入下一轮激发采集,直至完成所有炮点的激发采集;

p. 关闭并回收高能脉冲起爆器、起爆通讯设备、地震采集设备,完成现场井间地震观测;

q. 将地震采集设备带回办公室,通过地震采集设备的USB或以太网接口,读取保存在地震采集设备存储器中的井间地震资料,进一步开展目标区域层析成像和反射波成像工作。

4. 根据权利要求3所述的井间地震观测方法,其特征在于,所述爆裂管阵列在震源井中的位置固定,沉放到位后不再移位;采用回填物填充震源井,以便减少爆裂管周围介质与围岩之间的声阻抗差,弱化激发能量衰减,消除管波影响。

5. 根据权利要求3所述的井间地震观测方法,其特征在于,所述检波器阵列在接收井中的位置固定,沉放到位后不再移位;采用回填物填充接收井,以便在无需推靠装置情况下,实现检波器与井周介质紧密耦合以及良好的波阻抗耦合。

6. 根据权利要求3所述的井间地震观测方法,其特征在于,同一接收井中检波器阵列连

续接收多口震源井中爆裂管阵列激发的地震波,或者同一震源井中爆裂管阵列激发的地震波由多口接收井中检波器阵列同时接收。

7.根据权利要求3所述的井间地震观测方法,其特征在于,当钻孔勘探工作结束后,钻孔充当震源井和接收井,用于井间地震观测。

## 一种探测浅层精细构造的井间地震观测系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及地震勘探以及工程地质技术领域,特别是涉及一种探测浅层精细构造的井间地震观测系统及方法。

### 背景技术

[0002] 浅部地层精细构造探测的主要技术难题是如何查明落差几米的小断层及其他小尺度的隐伏地质异常体,特别是分布第四纪松散沉积层内的小型地质构造。受到地表低速带对地震信号高频成分吸收的影响以及地表各种干扰波的影响,常规地面地震勘探方法信噪比低,对于规模较小的断层及构造异常体的成像特征不明显,难以有效识别小尺度的构造地质体。

[0003] 井间地震是在一口井内放置震源,激发地震波,在另一口井中用检波器接收,并对记录下来的地震数据进行处理,以获得井间地质剖面的技术。由于激发和接收都在井中的目标层位和邻近地段内进行,井间地震有效避开了上覆疏松地层对地震波能量的吸收以及地面的强烈干扰源,提高了地震资料的信噪比。并且,井间地震信号的主频通常是地面地震的数倍甚至更高,波场信息包含直达波(初至波)、折射首波、反射波、绕射波、转换波、散射波、导波等,其成像结果能清晰地揭示两井之间的地质结构,精确识别小规模断层及构造异常体。因此,与地面地震相比,井间地震技术更适于浅层地质单位的精细探测,是高精度地震勘探技术发展的新方向。

[0004] 然而,现有的井间地震观测系统及其观测方法主要面向油气勘探领域,在进行浅层精细构造探测时,存在如下问题:1) 观测成本高。井间地震通常采用电火花脉冲震源、机械脉冲可控震源或压电陶瓷可控震源,价格昂贵。三分量多级检波器能够记录井壁粒子运动形成的矢量波场,资料用途广泛,性能优于多级水听器,但需要借助机械推靠装置将检波器与井壁紧贴耦合,机构复杂,购置成本很高;2) 观测流程复杂。井间地震主要采用共炮点采集或共接收点采集方式,需要不断移动检波器和震源以扩展观测范围。检波器组在完成一个深度段的采集后,会移动到另一个深度段继续采集。震源在井中完成一个炮点激发后,也会移动到另一个炮点以实现连续激发。这导致整个观测流程复杂,周期长,工作效率低。3) 管波影响难以消除。震源井和接收井中经常充满泥浆,在受到地震波扰动时,井中流体柱将以管波的形式沿井筒内的流体传播,导致检波器采集的地震资料常包含有震源井管波和接收井管波,将有效地震信号淹没,影响地下地层和构造的成像效果。

### 发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明提供了一种探测浅层精细构造的井间地震观测系统及方法,可以有效地降低观测成本,简化观测流程,消除管波影响,实现浅部地层小构造的精细探测。具体技术方案如下:

[0006] 一种探测浅层精细构造的井间地震观测系统,包括高能脉冲起爆器、起爆通讯设备、地震采集设备、爆裂管阵列、检波器阵列;所述高能脉冲起爆器、起爆通讯设备布置在震

源井外,所述爆裂管阵列埋设在震源井中;所述地震采集设备布置在接收井外,所述检波器阵列埋设在接收井中;所述爆裂管阵列通过多道起爆脚线,分别与所述高能脉冲起爆器、起爆通讯设备有线连接;所述检波器阵列通过两条数据总线,与所述地震采集设备有线连接。

[0007] 进一步,所述井间地震观测系统的爆裂管按照1~3米的炮间距、等间隔布设在震源井中,组成爆裂管阵列,实施目标层全域地震波连续激发;所述爆裂管可选用液态二氧化碳型爆裂管,通过将液态二氧化碳瞬间相变气化,急剧膨胀产生高压冲击波的方式,激发地震波;根据实际观测需要,爆裂管也可选用其他脉冲型爆裂装置,如液体甲烷型爆裂管、活化剂型爆裂管。

[0008] 进一步,所述井间地震观测系统的检波器按照1~3米的道间距、等间隔布设在接收井中,组成检波器阵列(多级检波器),实施目标层全域地震信号采集;所述检波器为MEMS数字三分量检波器,包括微处理器、三轴数字MEMS加速度计、校时模块、通信模块、存储器。

[0009] 进一步,所述MEMS数字三分量检波器的微处理器操控MEMS数字三分量检波器的校时模块、三轴数字MEMS加速度计、通信模块和存储器;所述MEMS数字三分量检波器的校时模块通过时钟同步总线,接收地震采集设备广播下发的标准时钟信号,通过锁相环技术,使得本地时钟与标准时钟保持同步;所述MEMS数字三分量检波器的三轴数字MEMS加速度计,按照本地时钟提供的采样间隔,同步采集地震波质点振动加速度的三个分量,转换成数字信号;所述MEMS数字三分量检波器的通信模块通过数据传输总线,接收地震采集设备广播下发的录波指令,上传三轴数字MEMS加速度计采集到的井间地震数据;所述MEMS数字三分量检波器的存储器保存三轴数字MEMS加速度计采集到的井间地震数据。

[0010] 进一步,所述井间地震观测系统的起爆通讯设备包括微处理器、起爆监听模块、无线收发模块。

[0011] 进一步,所述起爆通讯设备的微处理器操控起爆监听模块和无线收发模块;所述起爆通讯设备的起爆监听模块实时捕捉起爆线中的脉冲高压;所述起爆通讯设备的无线收发模块通过无线通讯网络,与所述地震采集设备进行无线通讯。

[0012] 进一步,所述井间地震观测系统的地震采集设备包括微处理器、无线收发模块、时钟同步模块、数据传输模块、存储器。

[0013] 进一步,所述地震采集设备的微处理器操控无线收发模块、时钟同步模块、数据传输模块、存储器;所述地震采集设备的无线收发模块通过无线通讯网络,与所述起爆通讯设备进行无线通讯;所述地震采集设备的时钟同步模块通过时钟同步总线,向检波器阵列广播下发标准时钟信号;所述地震采集设备的数据传输模块通过数据传输总线,向检波器广播下发指令,接收检波器阵列上传的井间地震数据;所述地震采集设备的存储器保存检波器阵列上传的井间地震数据。

[0014] 本发明还提供一种探测浅层精细构造的井间地震观测方法,所述方法的具体步骤为:

[0015] 步骤1,按照1~3米的炮间距、等间隔布设方式,将爆裂管阵列由深到浅地逐次沉放到震源井设计深度,爆裂管阵列不共用起爆脚线,每道起爆脚线仅连接一只爆裂管;

[0016] 步骤2,按照1~3米的道间距、等间隔布设方式,将检波器阵列由深到浅地逐次沉放到接收井设计深度,检波器阵列共用时钟同步总线和数据传输总线;

[0017] 步骤3,将高能脉冲起爆器和起爆通讯设备布设在震源井外,通过起爆母线将两类

设备连接；

[0018] 步骤4,将地震采集设备布设在接收井外,通过时钟同步总线 and 数据传输总线,与检波器阵列连接；

[0019] 步骤5,开启起爆通讯设备,使起爆通讯设备处于捕捉脉冲高压状态；

[0020] 步骤6,开启地震采集设备,使地震采集设备处于接收起爆信号状态,同时通过时钟同步总线广播下发标准时钟信号；

[0021] 步骤7,检波器阵列接收标准时钟信号,同步采集周围岩土体三分量加速度响应；

[0022] 步骤8,从爆裂管阵列中选择未起爆、且炮点位于接收井最深处的爆裂管,将起爆脚线(连接该只爆裂管)与起爆母线(连接高能脉冲起爆器)相连；

[0023] 步骤9,启关高能脉冲起爆器,为爆裂管提供起爆冲能,引爆爆裂管,激发地震波；

[0024] 步骤10,起爆通讯设备实时监听起爆线,当捕获脉冲高压后,即时向地震采集设备无线发送起爆信号；

[0025] 步骤11,地震采集设备实时监听无线通讯网,当接收到起爆信号后,即时通过数据传输总线广播下发录波指令；

[0026] 步骤12,检波器阵列接收录波指令,将采集到的周围岩土体的三分量加速度响应记录在本地存储器中,录波时长为1秒钟。完成录波后,检波器阵列将记录在本地存储器的井间观测数据,通过数据传输总线逐一上传至地震采集设备；

[0027] 步骤13,地震采集设备接收检波器阵列上传的井间观测数据,保存在本地存储器中。完成所有检波器数据的接收存储后,地震采集设备向起爆通讯设备无线发送应答信号；

[0028] 步骤14,起爆通讯设备接收到应答信号,通过控制面板上的液晶屏,提示本轮激发采集工作完成；

[0029] 步骤15,转至步骤8,进入下一轮激发采集,直至完成所有炮点的激发采集；

[0030] 步骤16,关闭并回收高能脉冲起爆器、起爆通讯设备、地震采集设备,完成现场井间地震观测；

[0031] 步骤17,将地震采集设备带回办公室,通过地震采集设备的USB或以太网接口,读取保存在地震采集设备存储器中的井间地震资料,进一步开展目标区域层析成像和反射波成像工作。

[0032] 进一步,步骤1中,爆裂管阵列在震源井中的位置固定,沉放到位后不再移位；采用填充物回填震源井,以便减少爆裂管周围介质与围岩之间的声阻抗差,弱化激发能量衰减,消除管波影响。

[0033] 进一步,步骤2中,检波器阵列在接收井中的位置固定,沉放到位后不再移位；采用填充物回填接收井,以便在无需推靠装置情况下,实现检波器与井周介质紧密耦合以及良好的波阻抗耦合。

[0034] 进一步,步骤1和步骤2中,震源井与接收井的数量及布置方式不做限制,同一接收井中检波器阵列可连续接收多口震源井中爆裂管阵列激发的地震波,同一震源井中爆裂管阵列激发的地震波也可由多口接收井中检波器阵列同时接收。

[0035] 进一步,步骤1和步骤2中,井间地震观测可以与工程地质钻探配合使用。当钻孔勘探工作结束后,钻探孔可充当震源井和接收井,用于井间地震观测。

[0036] 进一步,步骤17中,可以综合工程地质钻探资料与井间地震资料,构建更为精细的

浅部地层地质模型。

[0037] 与现有技术相比,本发明结合浅层精细构造探测的业务特点,研发专门用于探测浅层精细构造的井间地震观测系统及方法,具有以下突出特点和优点:

[0038] 1、本发明提供的井间地震观测系统可以降低浅部地层精探测的观测成本。首先,本发明将高能脉冲起爆器及液态二氧化碳、液体甲烷、活化剂等类型的爆裂管阵列组合构成连续震源,不仅激发能量强,而且购置成本远低于电火花脉冲震源、机械脉冲可控震源、压电陶瓷可控震源等传统井间地震震源装置,可以低成本完成300-500m大井距、数十炮点地震波的连续激发;其次,本发明使用的MEMS数字三分量多级检波器采用埋设方式,不需要配备机械推靠装置进行检波器与井壁紧贴耦合,购置成本也大大低于传统的推靠式三分量多级检波器。

[0039] 2、本发明提供的井间地震观测方法可以简化浅部地层精探测的现场观测流程,提高井间地震资料的质量。首先,本发明将爆裂管阵列和检波器阵列一次性埋设在井下,在激发和采集过程中不再对震源设备和检波器设备进行井中移动,从而极大地简化观测流程,缩短观测周期,提高工作效率。其次,本发明将爆裂管阵列和检波器阵列在目标层段全域布设,每个炮点激发的地震波,均被布设目标层的所有检波器所接收,实现共炮点道集的最大化,提高井间地震资料的质量。

[0040] 3、本发明提供的井间地震观测系统及方法可以消除管波的影响,提高检波器接收高频地震信号的能力。本发明采用回填物填充方式将爆裂管阵列和检波器阵列埋设在井下,一方面确保震源井和接收井中没有流体填充,完全消除震源井管波和接收井管波影响,另一方面实现检波器与井周介质紧密耦合以及良好的波阻抗耦合,有效提高检波器接收高频地震信号的能力。

## 附图说明

[0041] 图1为本发明井间地震观测系统结构示意图;

[0042] 图2为起爆通讯设备内部结构示意图;

[0043] 图3为地震采集设备内部结构示意图;

[0044] 图4为MEMS数字三分量检波器内部结构示意图;

[0045] 图5为本发明井间地震观测方法流程图。

[0046] 附图标记:1、震源井,2、接收井,3、高能脉冲起爆器,4、起爆通讯设备,4-1、微处理器,4-2、起爆监听模块,4-3、无线收发模块,4-4、外置天线,4-5、控制面板,5、地震采集设备,5-1、微处理器,5-2、无线收发模块,5-3、时钟同步模块,5-4、数据传输模块,5-5、存储器,5-6、外置天线,5-7、控制面板,6、爆裂管阵列,7、检波器阵列,7-1、微处理器,7-2、三轴数字MEMS加速度计,7-3、校时模块,7-4、通信模块,7-5、存储器,8、起爆线,8-1.1、起爆母线A,8-1.2、起爆母线B,8-2.1、起爆脚线A,8-2.2、起爆脚线B,9、数据线,9-1、时钟同步总线,9-2、数据传输总线,10、回填物。

## 具体实施方式

[0047] 下面利用实施例对本发明进行更全面的说明。本发明可以体现为多种不同形式,并不应理解为局限于这里叙述的示例性实施例。



[0048] 如图1所示,本实施例中的井间地震观测系统,包括高能脉冲起爆器3、起爆通讯设备4、地震采集设备5、爆裂管阵列6、检波器阵列7、起爆线8和数据线9。

[0049] 高能脉冲起爆器3布置在震源井1外,可以选用市场上成熟的、内置专用储能电容器的起爆器;高能脉冲起爆器3配备一道起爆母线A8-1.1和一道起爆母线B8-1.2;该起爆母线A8-1.1和起爆母线B8-1.2在震源井1外延伸敷设,其中的一端分别与高能脉冲起爆器3上的两根“起爆”接线柱连接。

[0050] 爆裂管阵列6由若干只爆裂管构成,布置在震源井1中的目标层位处,可以选用市场上成熟的、液态二氧化碳型爆裂管;爆裂管阵列6采用等间距布置,使用回填物10填充埋设;每只爆裂管配备一道起爆脚线A8-2.1和一道起爆脚线B8-2.2;每道起爆脚线A8-2.1和起爆脚线B8-2.2的一端与一只爆裂管连接,另一端延伸出震源井1外,分别与起爆母线A8-1.1和起爆母线B8-1.2连接。

[0051] 起爆通讯设备4布置在震源井1外,需要定制开发;起爆通讯设备4配备一道起爆母线A8-1.1和一道起爆母线B8-1.2;该起爆母线A8-1.1和起爆母线B8-1.2的一端与起爆通讯设备4连接,另一端分别与起爆脚线A8-2.1和起爆脚线B8-2.2连接。

[0052] 地震采集设备5布置在接收井2外,需要定制开发;地震采集设备5配备两条数据线9;这两条数据线9的一端与地震采集设备5连接,另一端延伸到接收井2下,与检波器阵列7连接。

[0053] 检波器阵列7由若干只检波器构成,布置在接收井2中的目标层位处,需要定制开发;检波器阵列7采用等间距布置,使用回填物10填充埋设;每只检波器都与两条数据线9连接。

[0054] 如图2所示,起爆通讯设备4还包括微处理器4-1、起爆监听模块4-2、无线收发模块4-3、外置天线4-4、包括液晶屏&功能键&指示灯&数据接口的控制面板4-5。

[0055] 微处理器4-1由STM32单片机及其外围电路构成,操控起爆监听模块4-2、无线收发模块4-3、外置天线4-4、控制面板4-5,自主完成起爆线脉冲高压的实时捕获、起爆信号的即时发送、应答信号的接收与显示。

[0056] 起爆监听模块4-2通过外置端口与起爆母线A8-1.1和起爆母线B8-1.2连接,实时监听起爆脚线中的电压;当感知到脉冲高压时,起爆监听模块4-2即时通知微处理器4-1;微处理器4-1随即向无线收发模块4-3发送起爆信号。

[0057] 无线收发模块4-3由LoRa射频收发芯片及其外围电路构成,外接外置天线4-4;通过物联网低功耗广域无线网络,无线收发模块4-3将微处理器4-1下发的起爆信号无线发送给地震采集设备5;通过物联网低功耗广域无线网络,无线收发模块4-3无线接收地震采集设备5发送的应答信号,并通知微处理器4-1。

[0058] 液晶屏、功能键、指示灯、数据接口安装在起爆通讯设备4的控制面板4-5上,具体包括液晶屏、开关键、工作指示灯、传输指示灯、RS232接口等;当微处理器4-1收到应答通知后,将在液晶屏上进行展示,提示本轮激发采集工作已完成。

[0059] 如图3所示,地震采集设备5还包括微处理器5-1、无线收发模块5-2、时钟同步模块5-3、数据传输模块5-4、存储器5-5、外置天线5-6、包括液晶屏、功能键、指示灯、数据接口的控制面板5-7。

[0060] 微处理器5-1由STM32单片机及其外围电路构成,操控无线收发模块5-2、时钟同步

模块5-3、数据传输模块5-4、存储器5-5、控制面板5-7,自主完成起爆信号的无线接收、标准时钟信号的下发、驱动检波器阵列7的同步采集、井间地震数据的接收与存储、应答信号的无线发送。

[0061] 无线收发模块5-2由LoRa射频收发芯片及其外围电路构成,外接外置天线5-6;无线收发模块5-2通过物联网低功耗广域无线网络,实时监听起爆通讯设备无线发送的起爆信号;当接收到起爆信号时,无线收发模块5-2即时通知微处理器5-1;当微处理器5-1完成所有检波器数据的接收存储后,微处理器5-1通过无线收发模块5-2,借助物联网低功耗广域无线网络,向起爆通讯设备4无线发送应答信号。

[0062] 时钟同步模块5-3外设总线端口,与时钟同步总线9-1的一端连接,为主时钟节点。检波器阵列7也与该时钟同步总线9-1连接,为从时钟节点;时钟同步模块5-3利用内置的温度补偿型石英晶体谐振器,提供全温度范围内高精度标准时钟;微处理器5-1将主时钟节点提供的标准时钟通过时间同步数据帧方式,向时钟同步总线9-1上的所有从时钟节点广播下发标准时钟信号。

[0063] 数据传输模块5-4外设总线端口,与数据传输总线9-2的一端连接,为主数据节点。检波器阵列7也与该数据传输总线9-2连接,为从数据节点;微处理器5-1在获得无线收发模块5-2的起爆通知时,通过数据传输模块5-4,向数据传输总线9-2上的所有从数据节点广播下发录波指令;数据传输模块5-4接收检波器阵列上传的井间观测数据,通过微处理器5-1保存在存储器5-5中。

[0064] 存储器5-5选用大容量的固态硬盘,用于保存检波器阵列7上传的井间地震数据。

[0065] 液晶屏、功能键、指示灯、数据接口安装在起爆通讯设备5的控制面板5-7上,具体包括液晶屏、开关键、工作指示灯、传输指示灯、RS232接口、USB接口、以太网接口。

[0066] 如图4所示,检波器阵列7中的检波器为MEMS数字三分量检波器,还包括微处理器7-1、三轴数字MEMS加速度计7-2、校时模块7-3、通信模块7-4、存储器7-5。

[0067] 微处理器7-1由STM32单片机及其外围电路构成,操控三轴数字MEMS加速度计7-2、校时模块7-3、通信模块7-4、存储器7-5,自主完成标准时钟信号的接收、录波指令和回传指令的接收、本地时钟的校时、三轴加速度信号的采集、井间地震数据的录波与上传。

[0068] 三轴数字MEMS加速度计7-2选用低噪声、低漂移、低功耗3轴MEMS加速度计,按照校时模块7-3提供的本地时钟,采集三轴数字MEMS加速度计7-2周围岩土体三分量加速度信号,转换成数字量,发送给微处理器7-1。

[0069] 校时模块7-3与时钟同步总线9-1连接,为从时钟节点;校时模块7-3通过时钟同步总线9-1,接收地震采集设备5下发的标准时钟信号;校时模块7-3利用内置的温度补偿型石英晶体谐振器,提供全温度范围内高精度本地时钟;校时模块7-3通过时钟同步总线9-1,接收地震采集设备5下发的标准时钟信号;校时模块7-3通过锁相环技术,将本地晶体谐振器输出的本地时钟与时钟同步总线9-1下发的参考时钟保持同步。当参考时钟的频率或相位发生改变时,锁相环会检测到这种变化,并且通过其内部的反馈系统来调节输出频率,直到两者重新同步。

[0070] 通信模块7-4与数据传输总线9-2连接,为从数据节点;通信模块7-4通过数据传输总线9-2,接收地震采集设备5广播下发的录波指令,并发送给微处理器7-1;当微处理器7-1接收到录波指令后,即时将三轴数字MEMS加速度计7-2发送来的数字三分量加速度记录在

存储器7-5中,默认录波时长为1秒钟;完成录波后,微处理器7-1将记录在本地存储器的井间观测数据,通过通信模块7-4及数据传输总线9-2,上传至地震采集设备5。

[0071] 如图5所示,具体工作时按如下:

[0072] 1) 前期准备

[0073] 在井间地震观测区域,布置一口震源井1和一口接收井2。井间地震观测可以与工程地质钻探配合使用,将钻孔勘探遗留的钻孔充当震源井1和接收井2,以降低观测成本。

[0074] 按照1~3米的炮间距、等间隔布设方案,定制一组爆裂管阵列6:准备指定数量的爆裂管,并为每只爆裂管配备一道起爆脚线A8-2.1、一道起爆脚线B8-2.2;每道起爆脚线A8-2.1和起爆脚线B8-2.2的一端与对应的爆裂管连接;确保起爆脚线有足够长度,当爆裂管阵列6布设到震源井1内指定位置后,起爆脚线能够延伸出震源井1外。

[0075] 按照1~3米的道间距、等间隔布设方案,定制一组检波器阵列7:准备指定数量的MEMS数字三分量检波器,并配备一条时钟同步总线9-1、一条数据传输总线9-2;按照设计间距,检波器等间距地串接在两条数据总线上;确保数据总线有足够长度,当检波器阵列7布设到接收井2内指定位置后,数据总线能够延伸出接收井2外。

[0076] 2) 现场施工

[0077] 将预制完成的爆裂管阵列6、检波器阵列7及其辅助安装装置,可重复使用的高能脉冲起爆器3、起爆通讯设备4、地震采集设备5及其配件运输到井间地震观测现场。

[0078] 采用由深到浅的沉放顺序(越靠近孔底越先沉放),利用井口机具、吊索等辅助装置,逐个将爆裂管阵列6中各只爆裂管及其连接的起爆脚线一并沉放到震源井1中指定布设位置处;对震源井井口外各道起爆脚线的端头进行标记和保护;选用细沙作为回填物10,对震源井1进行回填。

[0079] 采用由深到浅的沉放顺序,利用井口机具、吊索等辅助安装装置,逐个将检波器阵列7中各只检波器及其连接的两条数据总线一并沉放到接收井2中指定布设位置处;对接收井井口外两条数据总线的端头进行标记和保护;选用细沙作为回填物10,对接收井2进行回填。

[0080] 将高能脉冲起爆器3及与其匹配的起爆母线A8-1.1、起爆母线B8-1.2布置在震源井1外;将起爆母线A8-1.1和起爆母线B8-1.2在震源井1外延伸敷设,并将起爆母线一端的端头分别与高能脉冲起爆器3上的两根“起爆”接线柱连接。

[0081] 将起爆通讯设备4及其配备的起爆母线A8-1.1、起爆母线B8-1.2布置在震源井1外;将起爆母线A8-1.1和起爆母线B8-2.2的一端与起爆通讯设备4的起爆监听模块4-2的外置端口连接,另一端分别与起爆脚线A8-2.1和起爆脚线B8-2.2连接。

[0082] 将地震采集设备5布置在接收井2外;将放置在接收井井口外、串接检波器阵列7的时钟同步总线9-1、数据传输总线9-2的端口分别与地震采集设备5的时钟同步模块5-3外设总线端口、地震采集设备5的数据传输模块5-4外设总线端口连接。

[0083] 开启起爆通讯设备4,使得起爆通讯设备4处于实时捕捉与之连接的起爆脚线中脉冲高压的状态。

[0084] 开启地震采集设备5,使地震采集设备5处于实时接收起爆信号状态,同时通过时钟同步总线9-1广播下发标准时钟信号。检波器阵列7接收标准时钟信号,同步采集周围岩土体三分量加速度响应。

[0085] 3) 现场观测

[0086] 从爆裂管阵列6中选择未起爆、且炮点位于接收井最深处的爆裂管,将该只爆裂管的起爆脚线 A 8-2.1端头、起爆脚线 B 8-2.2端头分别与起爆母线 A 8-1.1、起爆母线 B 8-1.2连接。

[0087] 启关高能脉冲起爆器3,为爆裂管提供起爆冲能,引爆爆裂管,激发地震波。

[0088] 起爆通讯设备4实时捕获到脉冲高压,即时向地震采集设备5无线发送起爆信号;地震采集设备5实时接收到起爆信号,即时广播下发录波指令。

[0089] 检波器阵列7接收录波指令,将采集到的周围岩土体的三分量加速度响应记录在本地存储器7-5中,录波时长为1秒钟。完成录波后,检波器阵列7将记录在本地存储器7-5中的井间观测数据,逐一上传至地震采集设备5。

[0090] 地震采集设备5接收检波器阵列7上传的井间观测数据,保存在本地存储器5-5中。完成所有检波器数据的接收存储后,地震采集设备5向起爆通讯设备4无线发送应答信号。

[0091] 起爆通讯设备4接收到应答信号,显示在控制面板4-5的液晶屏上,提示本轮激发采集工作完成。

[0092] 进入下一轮激发采集,直至完成所有炮点的激发采集。

[0093] 4) 后期处理

[0094] 关闭高能脉冲起爆器3、起爆通讯设备4、地震采集设备5,对上述设备及附属装置进行回收,完成现场井间地震观测。

[0095] 将地震采集设备5带回办公室,通过地震采集设备5的USB或以太网接口,读取保存在地震采集设备存储器5-5中的井间地震资料,进一步开展目标区域层析成像和反射波成像工作。

[0096] 上述示例只是用于说明本发明,除此之外,还有多种不同的实施方式。例如,可采用多口井激发、一口井接收的多井组井间观测方式。这些实施方式都是本领域技术人员在领悟本发明思想后能够想到的,故,在此不再一一列举。

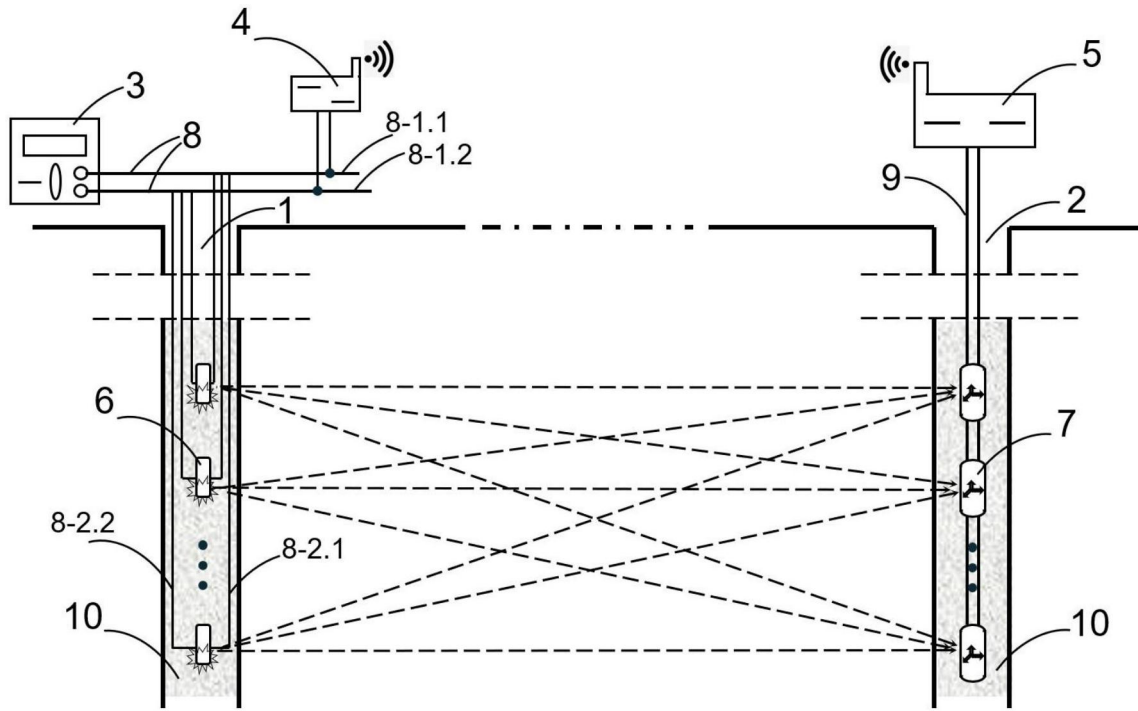


图1

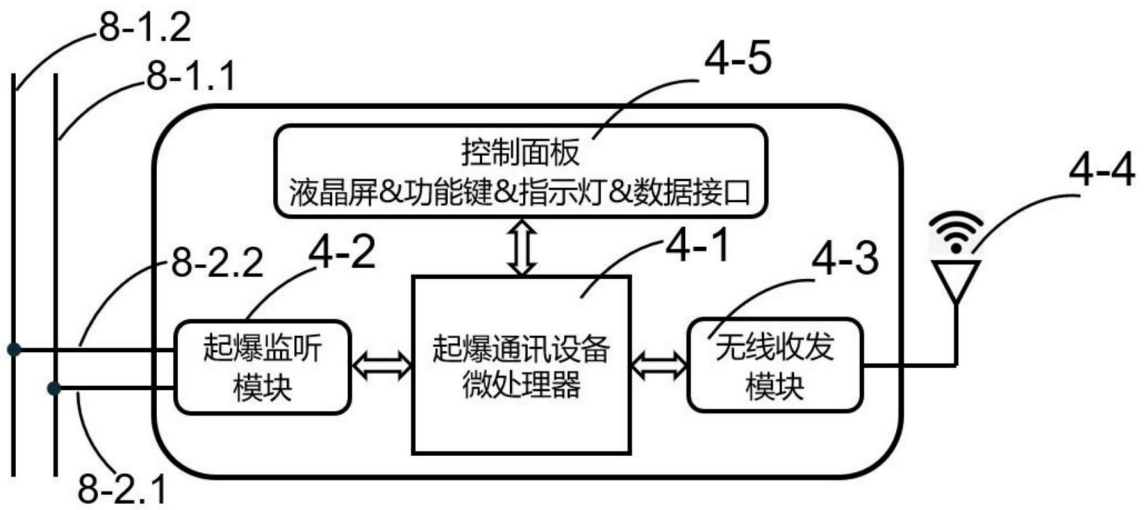


图2

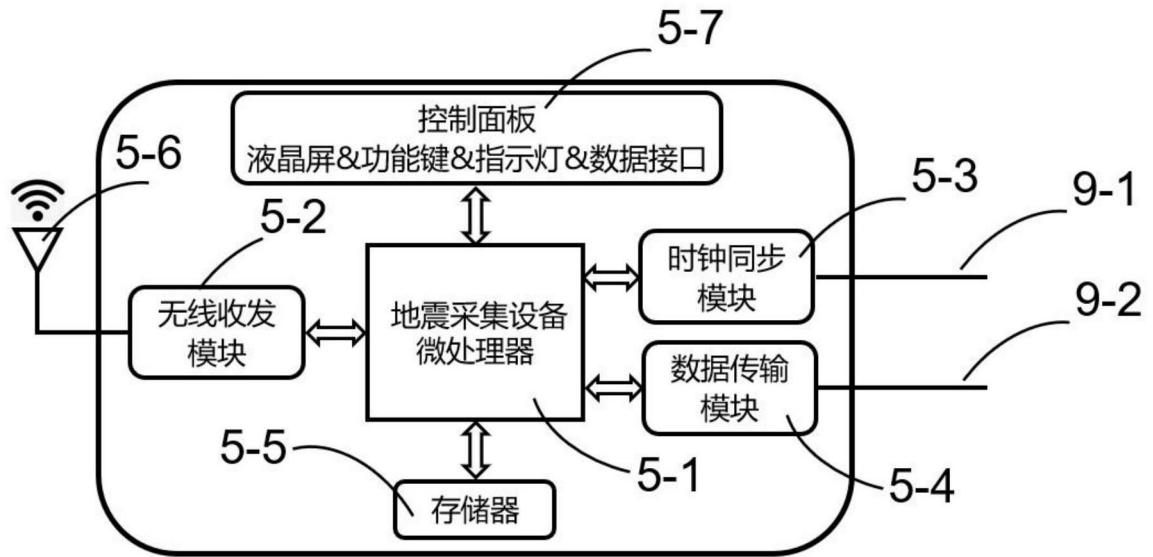


图3

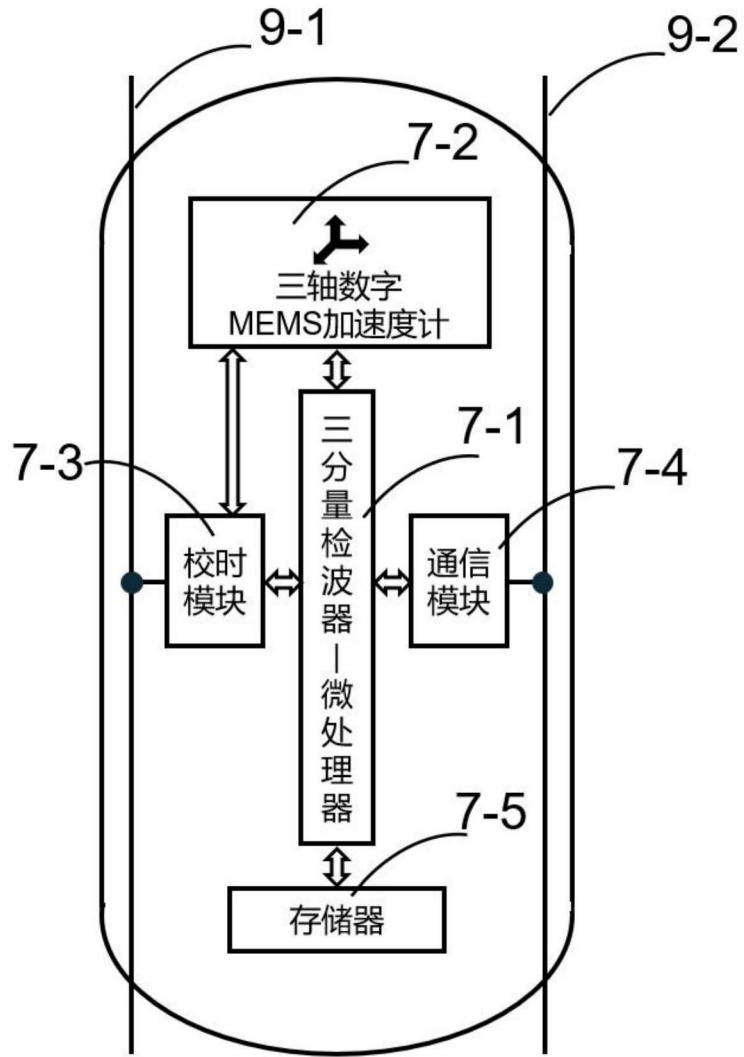


图4

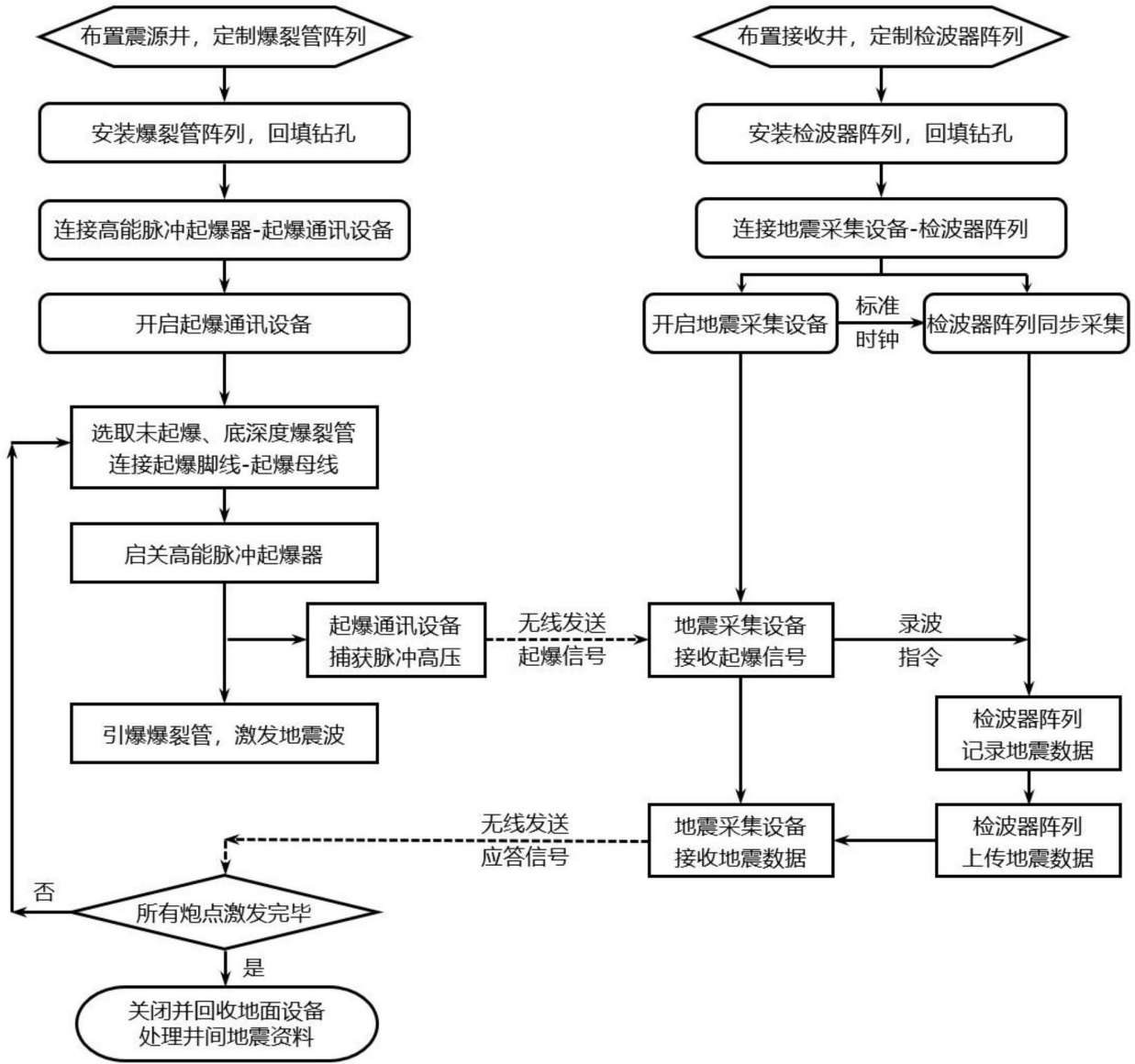


图5