



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115437014 A

(43) 申请公布日 2022.12.06

(21) 申请号 202210861467.X

(22) 申请日 2022.07.20

(71) 申请人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

(72) 发明人 张琼 汪洋 高建华 李欧焱

(74) 专利代理机构 电子科技大学专利中心
51203

专利代理师 闫树平

(51) Int. Cl.

G01V 1/52 (2006.01)

G01N 23/20008 (2018.01)

G01N 23/203 (2006.01)

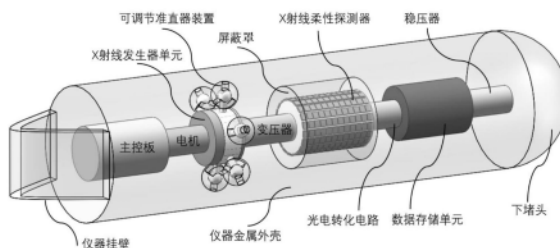
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置

(57) 摘要

本发明公开了一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,属于油气勘查技术领域。本发明包括壳体,壳体内依次连接有主控板、电机、X射线发生器单元、变压器、X射线柔性探测器、光电转化电路、数据储存单元和稳压器。本发明采用可弯曲的X射线柔性探测器代替传统平板探测器后,减小了探测器所占仪器面积,同时提高了对有弧度不规则物体的X射线能量获取。



1. 一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,包括壳体,依次连接于壳体内的主控板、电机、X射线发生器单元、变压器、X射线柔性探测器、光电转化电路、数据储存单元和稳压器;壳体上位于稳压器一端的端部连接有下堵头,稳压器穿过壳体与下堵头连接;壳体上位于主控板一端的端部设有仪器挂壁;其特征在于:

所述X射线发生器单元包括X射线发射源谱和等距离环设在X射线发射源谱上的n个准直器装置,X射线发射源谱内设有n个控制准直器开启或关闭的阀门,阀门与准直器一一对应连接;

所述X射线柔性探测器包括环状柔性基板及设置在柔性基板上的探测器晶体阵列,探测器晶体阵列是由多个探测器晶体依次紧密排布而成;X射线柔性探测器外套设有用于隔离柔性探测器与X射线源的屏蔽罩,X射线源的屏蔽罩的内壁与X射线柔性探测器之间设有间隙。

2. 根据权利要求1所述的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,其特征在于:上述基于X射线背向散射的柔性探测器成像测井装置还连接有图像处理与重建单元,图像处理与重建单元连接数据存储单元;根据数据存储单元提供的能量分布信息推导出被探测井壁地层密度以及元素含量,将其转换为数字图像后,形成用于测井分析的井壁成像信息。

3. 根据权利要求1所述的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,其特征在于:所述准直器为可调节准直器,由一个大球、一个小球和一个柱状准直棒组成;大球套设在小球外壁,并以小球为轴转动,且转动密封小球;小球上设有第一开口和第二开口,第二开口设置在第一开口的相对面并与第一开口贯通,用以在大球旋转过程中形成出射粒子通道;柱状准直棒的一端插入第一开口中并与第一开口口径相匹配,另一端插入X射线发射源谱内。

4. 根据权利要求3所述的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,其特征在于:所述第一开口为圆形开口,第二开口为 150° 的方形口,通过两个不同形状的开口设置实现连续X射线沿着第二开口方向角度可调。

5. 根据权利要求1所述的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,其特征在于:所述柔性基板选用材料聚乙烯醇(PVA)、聚酯(PET)、聚酰亚胺(PI)或聚萘二甲酯乙二醇酯(PEN),所述探测器晶体选用CsPbBr₃、Cs₂TeI₆、Ni-DABDT或PbI₂。

6. 根据权利要求1所述的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,其特征在于:所述探测器晶体阵列尺寸 480×1640 ;每个探测器为方形,其像素大小为 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,其特征在于:所述探测器晶体的阵列过程中,单个测器晶体的空间位置应符合:

$$\text{Vector}_{x,y,z} = ((R_1 + 0.5 * \text{cryst}_{dz}) * \cos(d\text{phi}_{i,j}), (R_1 + 0.5 * \text{cryst}_{dz}) * \sin(d\text{phi}_{i,j}), i * \text{cryst}_{dx})$$

其中 $\text{Vector}_{x,y,z}$ 表示单个测器晶体的空间位置, R_1 表示柔性探测器的内径, cryst_{dx} 、 cryst_{dy} 、 cryst_{dz} 分别表示单个探测器晶体的长、宽、高, $d\text{phi}_{i,j}$ 表示单个晶体的旋转角度, i, j 表示第*i*行*j*列个探测器晶体。

8. 根据权利要求1所述的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,其特征在于:所述通过屏蔽罩采用铍窗制作而成。

9. 根据权利要求1~7任一项所述的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,其特征在于:所述n的取值范围为 $4 \leq n \leq 12$ 。

一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置

技术领域

[0001] 本发明属于油气勘查技术领域,涉及一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置。

背景技术

[0002] 在X射线反散射成像中:X射线具有能量不能被光学聚焦、传输时不受在物质密度影响,辐射不会因其通过的流体密度变化而发生折射,也不会被小的气泡或水、油的混合物所折射等特点,对井下的使用非常有益。一束X射线被准直,形成一束窄的光束在目标物体上产生一个精细的光点照明,通过探测器阵列系统实现数据收集。X射线源和探测器都位于被探测物体的同一侧,光子就会穿过屏障,从物体散射,再次穿过屏障进入探测器。X射线后向散射图像的对比度来自于感兴趣的物体与背景物体散射的光子数量的差异,当感兴趣的物体散射强烈而背景材料不发生散射时,后向散射成像效果最好,例如空气中的金属或有机物体。传统的井眼和井下套管中的矿屑形成、微生物诱导的腐蚀和材料缺陷的评估和检查过程是复杂的、耗时的,而且非常昂贵的,为了能够获得更多有效的信息,通过反散射成像装置批量获取井下图片信息,从而进一步分析井下地层的结构组成。

[0003] 现有技术的X射线背向散射成像测井装置,其X射线发生装置的源准直器采用固定且单向发射结构,通过电机旋转沿井壁四周发出连续X射线,与井壁发生物理反应。首先由于传统的平板探测器无法弯曲折叠的限制,一个探测器无法制作成圆柱形状来探测井壁四周,一般使用多个平板探测器以一定方式拼接成圆柱状探测器阵列,后期通过各个探测器采集的信息计算得到相关图像。因此,目前的X射线背向散射成像测井装置中源准直器的方向无法调节,进而无法自动调整准直器与井壁、探测器之间的最佳角度,这限制了不同井下环境的成像质量。其次,传统的平板探测器在拼接过程中交界处存在明显的折痕,这导致了拼接处散射更加严重,不利于曲面或者不规则目标物的三维X射线成像。此外,如今测井装置中的X射线探测器由于在玻璃基板上制造,使得整体质量大,容易断裂,并且难以运输,这制约了小口径井下环境的精确测量。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于:提供一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,以解决传统测井装置存在的探测范围有限,结构复杂、物体成像失真等技术问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,包括壳体,依次连接于壳体内的主控板、电机、X射线发生器单元、变压器、X射线柔性探测器、光电转化电路、数据储存单元和稳压器;壳体上位于稳压器一端的端部连接有下堵头,稳压器穿过壳体与下堵头连接;壳体上位于主控板一端的端部设有仪器挂壁;

[0007] 所述X射线发生器单元包括X射线发射源谱和等距离环设在X射线发射源谱上的n个准直器装置,X射线发射源谱内设有n个控制准直器开启或关闭的阀门,阀门与准直器一

一对应连接；

[0008] 所述X射线柔性探测器包括环状柔性基板及设置在柔性基板上的探测器晶体阵列，探测器晶体阵列是由多个探测器晶体依次紧密排布而成；X射线柔性探测器外套设有用于隔离柔性探测器与X射线源的屏蔽罩，X射线源的屏蔽罩的内壁与X射线柔性探测器之间设有间隙。

[0009] 进一步的，上述一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置还连接有图像处理与重建单元，图像处理与重建单元连接数据存储单元；根据数据存储单元提供的能量分布信息推导出被探测井壁地层密度以及元素含量，将其转换为数字图像后，形成用于测井分析的井壁成像信息。

[0010] 进一步的，所述准直器为可调节准直器，由一个大球、一个小球和一个柱状准直棒组成；大球套设在小球外壁，并以小球为轴转动，且转动密封小球；小球上设有第一开口和第二开口，第二开口设置在第一开口的相对面并与第一开口贯通，用以在大球旋转过程中形成出射粒子通道；柱状准直棒的一端插入第一开口中并与第一开口口径相匹配，另一端插入X射线发射源谱内。

[0011] 更进一步的，所述第一开口为圆形开口，第二开口为150°的方形口，通过两个不同形状的开口设置实现连续X射线沿着第二开口方向角度可调。

[0012] 进一步的，所述柔性基板选用材料聚乙烯醇(PVA)、聚酯(PET)、聚酰亚胺(PI)或聚萘二甲酯乙二醇酯(PEN)，所述探测器晶体选用CsPbBr₃、Cs₂TeI₆、Ni-DABDT或PbI₂。

[0013] 更进一步的，所述探测器晶体阵列尺寸480×1640；每个探测器为方形，其像素大小为100×100μm²。

[0014] 进一步的，在保证探测效果的同时减小柔性探测器的整体尺寸最小，成本更低。所述探测器晶体阵列过中，单个测器晶体的空间位置应符合：

[0015] $Vector_{x,y,z} = ((R_1 + 0.5 * cryst_{dz}) * \cos(dphi_{i,j}), (R_1 + 0.5 * cryst_{dz}) * \sin(dphi_{i,j}), i * cryst_{dx})$

[0016] 其中 $Vector_{x,y,z}$ 表示单个测器晶体的空间位置， R_1 表示柔性探测器的内径， $cryst_{dx}$ 、 $cryst_{dy}$ 、 $cryst_{dz}$ 分别表示单个探测器晶体的长、宽、高， $dphi_{i,j}$ 表示单个晶体的旋转角度， i, j 表示第*i*行*j*列个探测器晶体。

[0017] 进一步的，所述屏蔽罩采用铍窗制作而成，通过铍窗的使用，有效减少X射线背向散射中源直接到达探测器的能量。

[0018] 进一步的，所述n的取值范围为4≤n≤12。

[0019] 采用上述技术方案后，本发明具有了如下有益效果：

[0020] 1、用可弯曲的X射线柔性探测器代替平板探测器，减小探测器所占仪器面积，同时提高了对有弧度不规则物体的X射线能量获取。

[0021] 2、X射线发生器单元，其X射线发射源谱内设有n个控制准直器开启或关闭的阀门，阀门与准直器一一对应连接，通过控制阀门可以根据实际测井需求控制准直器开启的范围。

[0022] 3、X射线发生器单元的准直器为可调准直器，采用这种特有的准直器结构既能实现仪器围绕井下环状探测，又可以通过左右旋转控制发射角度，与探测器阵列“对焦”背向散射最佳角度，达到更好的成像效果。

附图说明

- [0023] 图1是X射线背散射仪器的可旋转准直装置设计图:(a)是多方向X射线准直装置的装配图,(b)、(c)是不同角度可旋转示意;
- [0024] 图2是纳米级环形柔性X射线探测器阵列建模示意图;
- [0025] 图3是本发明的柔性探测器成像测井装置结构示意图;
- [0026] 图4是实施例终端上位机图像处理与数据分析界面图;
- [0027] 图5是实施例X射线背散射柔性探测器井下传送装置示意图;
- [0028] 图6是实施例X射线反散射成像装置流程图;
- [0029] 图7是实施例柔性探测器模拟井下物体成像结果图;
- [0030] 图8是不同柔性晶体材料的探测效率对比图。

具体实施方式

[0031] 下面结合附图和实施例对本发明做详细说明。

[0032] 图3是本发明的柔性探测器成像测井装置结构示意图。如图3所示,本实施例提供的一种基于柔性探测器多维度成像的测井装置,包括壳体,壳体内依次连接有主控板、电机、X射线发生器单元、变压器、X射线柔性探测器、光电转化电路、数据储存单元和稳压器;壳体上位于稳压器一端的端部连接有下堵头,稳压器穿过壳体与下堵头连接;壳体上位于主控板一端的端部设有仪器挂壁。

[0033] 图1是X射线背散射仪器的可旋转准直装置设计图:(a)是多方向X射线准直装置的装配图,(b)、(c)是不同角度可旋转示意。如图1所示,,X射线发生器单元包括X射线发射源谱和等距离环设在X射线发射源谱上的6个准直器装置,X射线发射源谱内设有6个控制准直器开启或关闭的阀门,6个阀门与6个准直器一一对应连接。准直器为可调节准直器,由一个大球、一个小球和一个柱状准直棒组成;大球套设在小球外壁,并以小球为轴转动,且转动密封小球;小球上设有第一开口和第二开口,第二开口设置在第一开口的相对面并与第一开口贯通,以在大球旋转过程中形成出射粒子通道;柱状准直棒的一端插入第一开口中并与第一开口口径相匹配,另一端插入X射线发射源谱内。小球上设置的两个开口形状不同,其中第一开口为圆形开口,第二开口为150°的方形口,通过外接一个准直舵机控制左右方向旋转角度。

[0034] 本实施例的准直器装置解决常规准直装置发射方向单一的弊端,在使用时,通过转动大球实现了仪器围绕井下环状探测的同时,还可以通过左右旋转控制发射角度,与探测器阵列“对焦”背向散射最佳角度。实施时,环设在X射线发射源谱上的n个准直器工作状态通过与之相连的阀门进行控制。通常情况下,单周期内准直器越多,采集成像信息越精细,可以获得更多的二维图片,从而有助于后期三维重建。受施工工艺及成本影响,准直器的个数应该控制在大于等于4,小于等于12,本实施例优选6。

[0035] 图2是纳米级环形柔性X射线探测器阵列建模示意图。如图2所示,所述X射线柔性探测器包括环状柔性基板及设置在柔性基板上的探测器晶体阵列,探测器晶体阵列尺寸为 480×1640 。由多个探测器晶体依次紧密排布而成,每个探测器为方形,其像素大小为 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ 。其柔性基板选用材料聚乙烯醇(PVA)、聚酯(PET)、聚酰亚胺(PI)或聚萘二甲酯乙二醇酯(PEN),所述探测器晶体选用CsPbBr₃、Cs₂TeI₆、Ni-DABDT或PbI₂均可。本实施例中是以

聚酯 (PET, C10H8O4 1.38g/cm³) 或者聚酰亚胺 (PIs, C35H28N2O7 1.47g/cm³) 作为衬底。利用有机材料实现角度上的弯曲将其制作成环形,使其轴向上均能与准直器进行对应。探测器晶体选用CsPbBr₃,制作时,通过化学工艺将其喷涂在衬底上即可。实施例时,为使X射线柔性探测器尺寸最小、成本最低,且具有最优探测效果,需要对单个探测器晶体的空间位置做出要求。具体的:

[0036] X射线柔性探测器的整体尺寸与单个探测器晶体阵列相对排列位置、探测器的弯曲角度、单个晶体的尺寸大小有关。设单个晶体的三维尺寸分别为dx,dy,dz,探测器矩阵尺寸为m×n.当柔性探测器弯曲角度为θ时,为了实现紧密排列,对应的每个像素需要旋转的角度为dphi_{i,j}:

$$[0037] \quad d\phi_{i,j} = \theta_{\text{start}} + j * \theta / n \quad (1)$$

[0038] 由于晶体具有一定的厚度,探测器弯曲的曲面对应的内径和外径大小分别为R₁和R₂。通过计算,可以根据弯曲角度和晶体的尺寸得到对应的曲面内外半径:

$$[0039] \quad R_1 = 0.5 * \frac{\text{cryst}_{dy}}{\tan\left(0.5 * \left(\frac{\theta}{n}\right)\right)} \quad (2)$$

$$[0040] \quad R_2 = \frac{R_1 + \text{cryst}_{dz}}{\cos\left(0.5 * \left(\frac{\theta}{n}\right)\right)} \quad (3)$$

[0041] 由于阵列依次排列,从而单个晶体在一个完整的探测器阵列中的空间位置可以用公式(4)表示:

$$[0042] \quad \text{Vector}_{x,y,z} = ((R_1 + 0.5 * \text{cryst}_{dz}) * \cos(d\phi_{i,j}), (R_1 + 0.5 * \text{cryst}_{dz}) * \sin(d\phi_{i,j}), i * \text{cryst}_{dx}) \quad (4)$$

[0043] 本实施例在X射线柔性探测器外套设一个屏蔽罩,将探测器与X射线源隔开,通过隔离X射线源和柔性探测器的方式,有效减少X射线背向散射中源直接到达探测器的能量。上述基于柔性探测器多维度成像的测井装置还连接有图像处理与重建单元,图像处理与重建单元连接数据存储单元;根据数据存储提供的能量分布信息推导出被探测井壁地层密度以及元素含量,然后将其转换为数字图像后,形成用于测井分析的井壁成像信息。本实施例的图像处理与重建单元是由上位机终端完成。图4为本实施例上位机终端图像处理与数据分析界面图。如图4所示,数据存储单元提供过来的信息在上位机终端上经过系列图片进行切片处理,最终通过重建算法实现完整井壁的图像重建。

[0044] 图6展示了利用上装置测井装置进行测井的详细流程,如图6所示,包括如下步骤:

[0045] 步骤1、如图5所示,利用电缆绳索固定住仪器挂壁,将本实施例的测井装置放置到井下,经传送装置传送至指定的检测区域。

[0046] 步骤2、待本实施例测井装置传送到相关区域后打开X射线发射源谱,X射线X射线发射源谱产生连续X射线。X射线通过准直管后对地层进行照射,在照射过程中本实施例的测井装置放置随电缆进行360度旋转并不断缓慢上升,确保对地层进行全方位照射。设置电机旋转角速度为ω (rad/s),竖直方向速度为v_z (m/s) 准直器选择个数为n,环绕井下扫描一个周期时间为t=2π/ωn,环形探测器长度为H,在相同时间内v_z=H/t=H/(2π/ωn),进而得出竖直方向速度v_z与电机角速度ω,准直器个数n,每个准直器配置一个用于控制其左右

方向旋转角度的源准直舵机, 环形探测器长度之间的关系为 $v_z = H \omega n / 2\pi$ 。

[0047] 步骤3、照射后的X射线经地层以及井液吸收散射后被环形柔性探测器阵列检测到, 其中源发射的低能X射线经过与地层发生反应产生特征X射线后, 被CsPbBr₃柔性探测器所接收, 检测的相关信息传输到数据存储单元, 同时数据存储单元的数据经数据线不断传送到上位机终端。

[0048] 步骤4、上位机终端根据数据存储单元提供的二维图像信息进行组合实现三维重建, 形成完整的井壁成像信息。

[0049] 为了验证上述测井装置中可弯曲柔性探测器相较于平板探测器对于不规则曲面几何体成像的优势。图7是实施例柔性探测器模拟井下物体成像结果图。如图7所示, 本实施例模拟一个带有五个不同位置缺陷的半圆环几何体, 分别用传统的平板探测器和可弯曲的柔性探测器进行成像。相较于平板探测器对缺陷成像不完全即平板探测器呈现3个缺陷, 边缘失真散射较为严重等问题, 本实施例测井装置采用的柔性探测器可以完整成像处五个缺陷的形状与位置, 同时成像失真畸变影响得到改善。这说明本实施例在对于井下不规则物体的成像有所优化。

[0050] 图8是不同柔性晶体材料的探测效率对比图。如图8所示, 通过对比本实施例中使用的柔性探测器晶体 (CsPbBr₃, Cs₂TeI₆) 和传统的探测器晶体 (NaI, CsI) 的探测效率, 本测井装置使用的探测器晶体CsPbBr₃在10mm晶体厚度下探测效率达95%, 现有的测井装置中使用的NaI探测器在同一厚度下探测效率为80%, 因此本实施例的测井装置有效提高了对于X射线的探测和能量获取。

[0051] 通过上述实施例不难看出, 本发明提供的测井装置基于目前井下成像装置的局限性, 主要针对X射线准直器和探测器进行改进, 并基于已有的测井装置完善图像自动处理平台。通过设计多个方向可调的X射线准直器装置, 增大X射线覆盖范围, 同时适应不同井下环境的最佳照射角度。通过将传统的平板探测器转化为角度可弯曲柔性探测器, 从而解决平板探测器之间散射严重, 成像效果不佳的问题。此外, 基于纳米级晶体材料构成的柔性晶体材料具有粒径小, 易制备及其多种材料的结合性佳的优势, 这为大面积、柔性、超灵敏X射线探测器的大规模生产和应用提供了可行性。

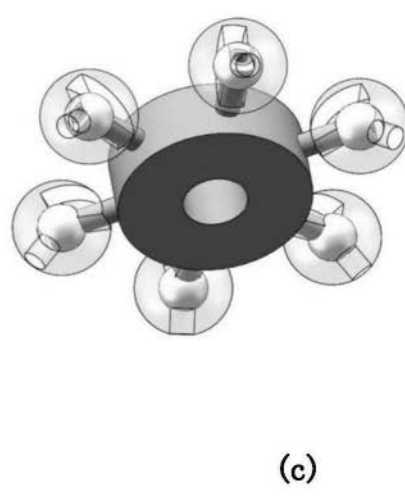
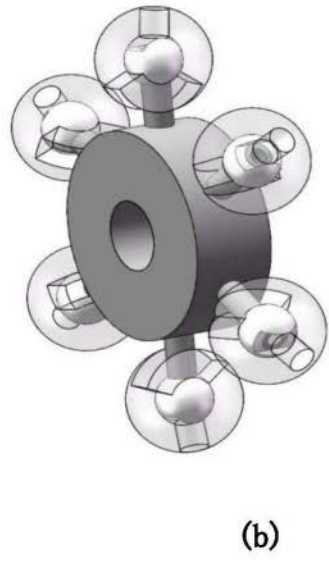
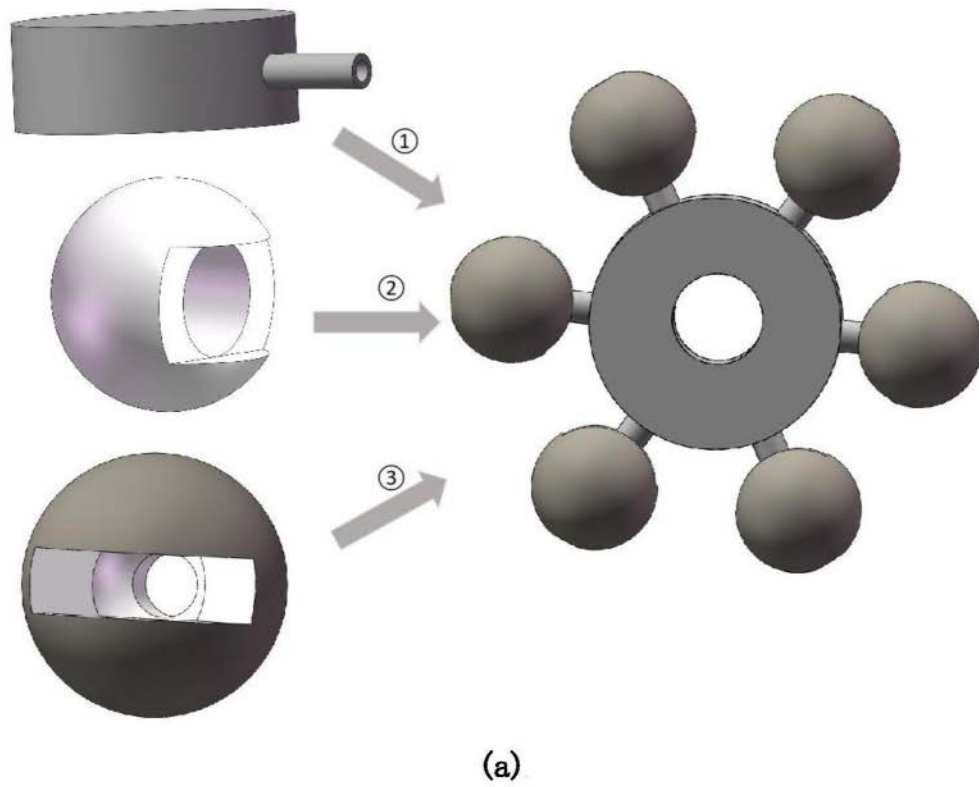


图1

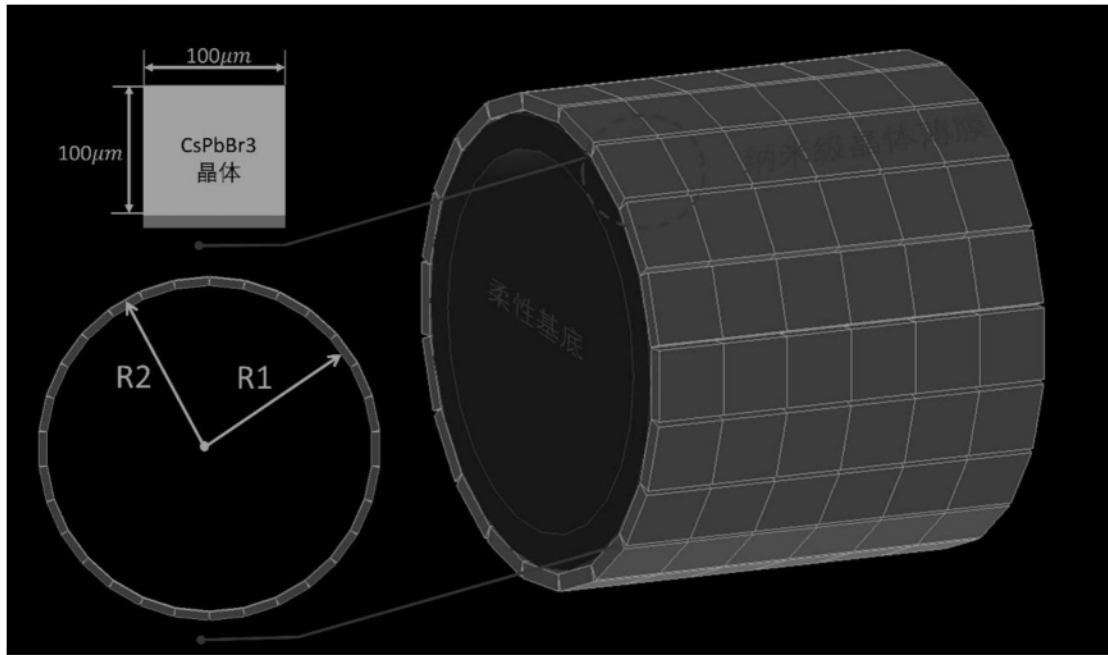


图2

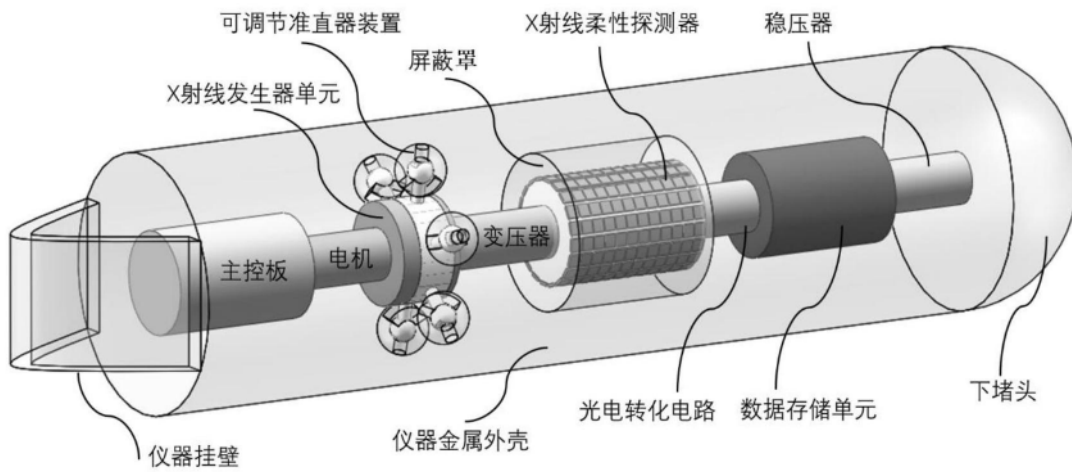


图3



图4

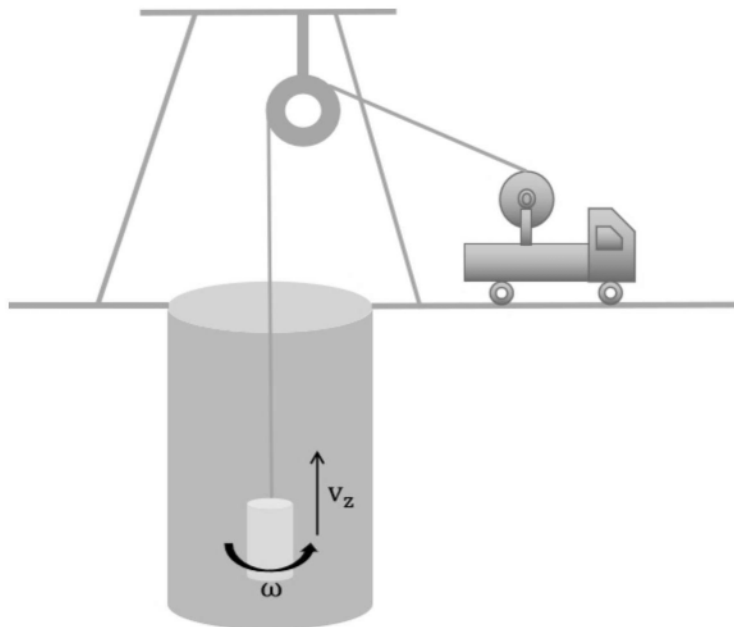


图5

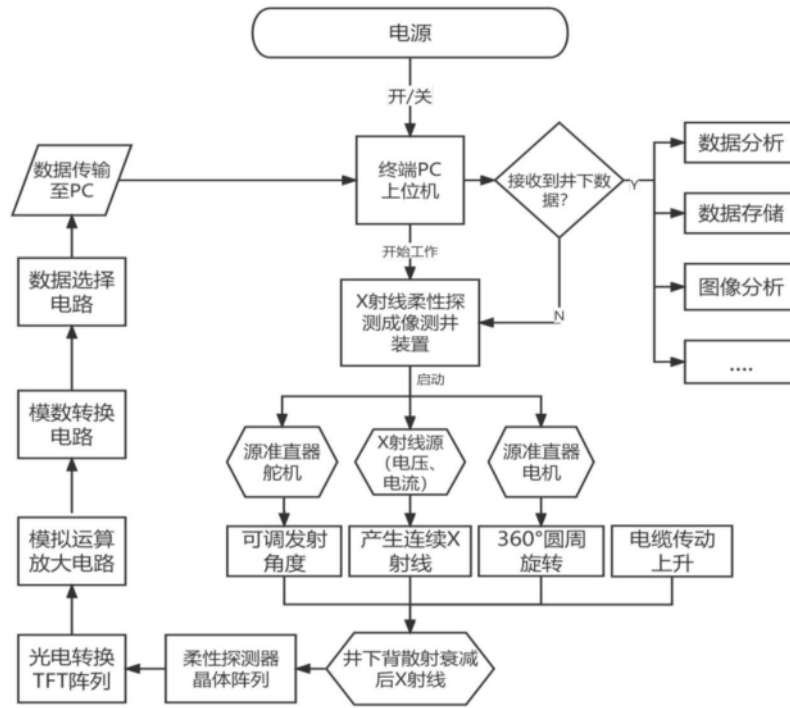
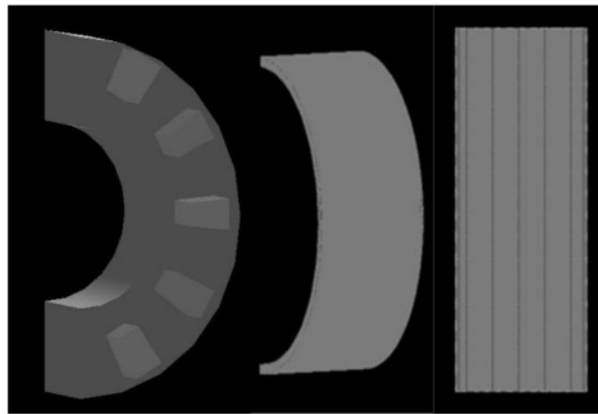


图6

模拟被检测井下物体
(含有5个缺陷的半圆环) 曲面探测器 平板探测器



曲面探测器
成像结果



平板探测器
成像结果

图7

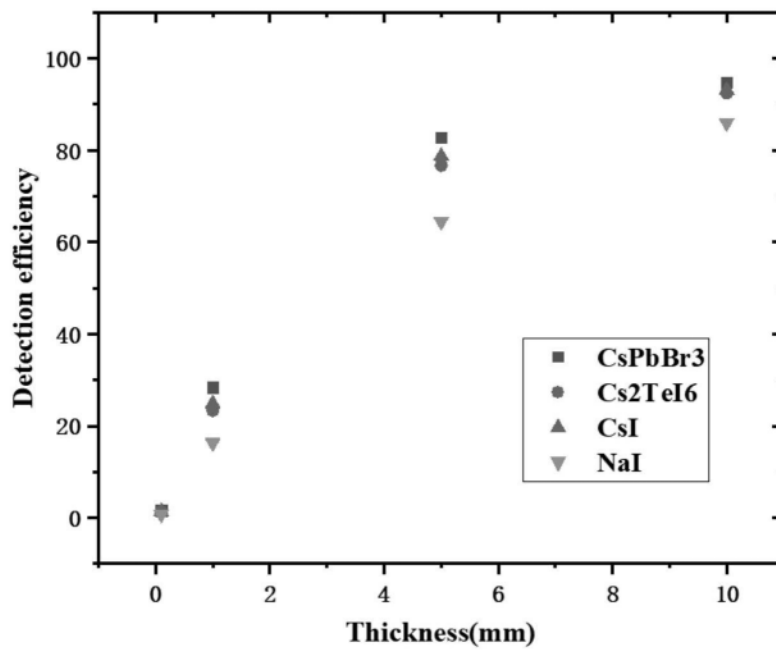


图8