

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局



(10) 国际公布号  
WO 2024/082401 A1

(43) 国际公布日  
2024年4月25日 (25.04.2024)

- (51) 国际专利分类号:  
G01V 11/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/138085
- (22) 国际申请日: 2022年12月9日 (09.12.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
202211271154.5 2022年10月17日 (17.10.2022) CN
- (71) 申请人: 中国石油天然气集团有限公司 (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION) [CN/CN]; 中国北京市东城区东直门北大街9号, Beijing 100007 (CN)。
- (72) 发明人: 吴义平 (WU, Yiping); 中国北京市海淀区学院路20号, Beijing 100083 (CN)。 窦立荣 (DOU,

Lirong); 中国北京市西城区阜成门北大街国际投资大厦D座, Beijing 100000 (CN)。 吴晓智 (WU, Xiaozhi); 中国北京市海淀区学院路20号, Beijing 100083 (CN)。 陶士振 (TAO, Shizhen); 中国北京市海淀区学院路20号, Beijing 100083 (CN)。 王建君 (WANG, Jianjun); 中国北京市海淀区学院路20号, Beijing 100083 (CN)。 王青 (WANG, Qing); 中国北京市海淀区学院路20号, Beijing 100083 (CN)。 李谦 (LI, Qian); 中国北京市海淀区学院路20号, Beijing 100083 (CN)。 黄飞 (HUANG, Fei); 中国北京市海淀区学院路20号, Beijing 100083 (CN)。

- (74) 代理人: 北京润平知识产权代理有限公司 (RUNPING & PARTNERS); 中国北京市海淀区北四环西路9号银谷大厦515室, Beijing 100190 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

(54) Title: HELIUM GENESIS RESOURCE EVALUATION METHOD AND APPARATUS

(54) 发明名称: 氦气成因资源评价方法及装置

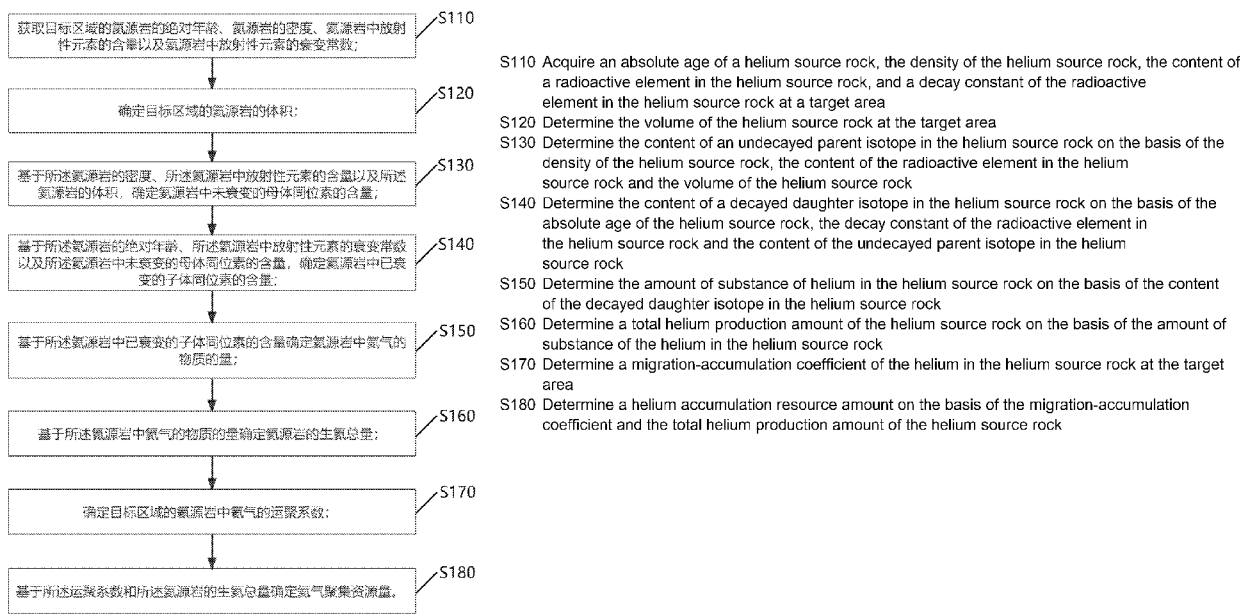


图 2

(57) Abstract: A helium genesis resource evaluation method and apparatus, a processor, and a storage medium, relating to the technical field of helium genesis resource evaluation. The method comprises: determining the content of a decayed daughter isotope in a helium source rock at a target area; determining the amount of substance of helium in the helium source rock on the basis of the content of the decayed daughter isotope in the helium source rock; determining a total helium production amount of the helium source rock on the basis of the amount of substance of the helium in the helium source rock; determining a migration-accumulation coefficient of

WO 2024/082401 A1

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

**(84)** 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

---

the helium in the helium source rock at the target area; and determining a helium accumulation resource amount on the basis of the migration-accumulation coefficient and the total helium production amount of the helium source rock. The method can realize effective evaluation on helium resources, and has an important guidance effect on conducting a research on helium reservoir formation and enrichment rule.

**(57)** 摘要: 一种氦气成因资源评价方法、装置、处理器及存储介质, 属于氦气成因资源评价技术领域。所述方法包括: 确定目标区域的氦源岩中已衰变的子体同位素的含量; 基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量; 基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量; 确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数; 基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量。通过上述方法能够实现氦气资源的有效评价, 对于开展氦气成藏和富集规律研究具有重要指导作用。

## 氦气成因资源评价方法及装置

### 技术领域

本申请涉及氦气资源评价技术领域，具体涉及一种氦气成因资源评价方法、一种氦气成因资源评价装置、一种机器可读存储介质及一种处理器。

### 背景技术

氦气被称为“黄金气体”。发明人发现，由于氦源岩的厚度、运聚系数以及幔源岩的难以确定，目前国内外尚没有成熟的生氦法来开展氦气资源评价方法。发明人发现，氦气百分含量法虽然计算准确，但其依赖于氦气数据点的数量和质量、天然气储量的准确性。同时在成因法计算资源量时候，由于氦源岩的厚度、运聚系数以及幔源岩的难以确定，资源量的计算误差很大。发明人还发现，尽管氦气与天然气聚集在同一圈闭中，由于生氦和生烃机制完全不同，天然气与氦气的运聚系数不存在相关性，氦气藏的运聚有其自身的规律。

鉴于上述问题，本申请提出了克服上述问题或者至少部分地解决上述问题的一种氦气成因资源评价方法。

### 发明内容

本申请实施例的目的是提供一种氦气成因资源评价方法、一种氦气成因资源评价装置、一种机器可读存储介质及一种处理器。所述方法能够实现氦气资源的有效评价，对于开展氦气成藏和富集规律研究具有重要指导作用。

为了实现上述目的，本申请第一方面提供一种氦气成因资源评价方法，所述方法包括：

获取目标区域的氦源岩的绝对年龄、氦源岩的密度、氦源岩中放射性元素的含量以及氦源岩中放射性元素的衰变常数；

确定目标区域的氦源岩的体积；

基于所述氦源岩的密度、所述氦源岩中放射性元素的含量以及所述氦源岩的体积，确定氦源岩中未衰变的母体同位素的含量；

基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量，确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量；

基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量；

基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量；

确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数；

基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量。

其中，所述确定目标区域的氦源岩的体积，包括：

基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度；

确定目标区域的氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积；

基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度；

基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的体积。

在本申请实施例中，所述确定目标区域的氦源岩的底界深度，包括：基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度。

在本申请实施例中，所述基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度，包括：  
将预设温度所对应的地层深度确定为氦源岩的底界深度，所述氦源岩包括：花岗岩和火山岩。

在本申请实施例中，所述预设温度的温度范围为：220℃~240℃。

在本申请实施例中，所述确定目标区域的氦源岩的底界深度、氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积，包括：

基于地震资料和钻井资料确定目标区域的氦源岩的底界深度、氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积，所述氦源岩包括：煤层、泥页岩。

在本申请实施例中，基于地震资料和钻井资料确定氦源岩的分布面积，包括：

对于厚度不稳定或者分布不连续的氦源岩，基于地震资料和钻井资料，通过小面积积分法求取氦源岩的分布面积。

在本申请实施例中，通过(1)式，将预设温度所对应的地层深度确定为氦源岩的底界深度：

$$H_{底} = (t_{预设温度} - t_{地表温度}) / K + 50(1);$$

式中， $H_{底}$ 表示氦源岩的底界深度，单位为 m；

$t_{地表温度}$ 表示地表温度，单位为℃；

$K$ 表示地温梯度，单位为℃/100m。

在本申请实施例中，通过(2)式，基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度：

$$h = H_{底} - H_{顶}(2);$$

式中， $h$ 表示氦源岩的厚度，单位为 m；

$H_{底}$ 表示氦源岩的底界深度，单位为 m；

$H_{顶}$ 表示氦源岩的顶面深度，单位为 m。

在本申请实施例中，通过(3)式，基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的体积：

$$V = h \times S(3);$$

式中， $V$ 表示氦源岩的体积，单位为  $m^3$ ；

$h$ 表示氦源岩的厚度，单位为 m；

$S$ 表示氦源岩分布的面积，单位为  $m^2$ 。

在本申请实施例中，通过(4)式，基于所述氦源岩的密度、所述氦源岩中放射性元素的含量以及所述氦源岩的体积，确定氦源岩中未衰变的母体同位素的含量：

$$P = v \times \rho_{源岩} \times x(4);$$

式中， $P$ 表示氦源岩中未衰变的母体同位素的含量，单位为 mol；

$v$ 表示氦源岩的体积，单位为  $m^3$ ；

$\rho_{源岩}$ 表示氦源岩的密度，单位为  $t/m^3$ ；

$x$ 表示氦源岩中放射性元素的含量，单位为 mol/g。

在本申请实施例中，通过(5)式，基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量，确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量：

$$D = (e^{\lambda t} - 1) \times v \times \rho_{\text{源岩}} \times x \quad (5);$$

式中, D 表示氦源岩中已衰变的子体同位素的含量, 单位为 mol;

$\lambda$  表示氦源岩中放射性元素的同位素的衰变常数, 无量纲;

t 表示氦源岩的绝对地质年龄, 单位为百万年;

v 表示氦源岩的体积, 单位为  $\text{m}^3$ ;

$\rho_{\text{源岩}}$  表示氦源岩的密度, 单位为  $\text{t}/\text{m}^3$ ;

x 表示氦源岩中放射性元素的含量, 单位为 mol/g。

在本申请实施例中, 氦源岩中的放射性元素包括:  $^{238}\text{U}$  和  $^{232}\text{Th}$ ;

针对  $^{238}\text{U}$  衰变, 通过(6)式, 基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量:

$$n = D \times 8/238 \quad (6);$$

针对  $^{232}\text{Th}$  衰变, 通过(7)式, 基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量:

$$n = D \times 6/232 \quad (7);$$

式中, n 表示氦源岩中氦气的物质的量, D 表示氦源岩中已衰变的子体同位素的含量。

在本申请实施例中, 通过(8)式, 基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量:

$$V_{\text{He 生}} = n \times M / \rho_{\text{he}} \quad (8);$$

式中,  $V_{\text{He 生}}$  表示生氦总量, 即生氦资源量, 单位为  $\text{m}^3$ ;

n 表示氦源岩中氦气的物质的量;

M 表示生氦总量的摩尔质量;

$\rho_{\text{he}}$  表示氦气的密度, 取值 0.1786g/L。

在本申请实施例中, 通过(9)式, 确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数:

$$\Phi = \Phi 1 \times \Phi 2 \quad (9);$$

式中,  $\Phi 1$  为氦源岩排氦率, 单位为%;  $\Phi 2$  为水溶氦脱气率, 单位为%。

在本申请实施例中, 通过(10)式, 基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量:

$$V_{\text{he 聚}} = \Phi \times V_{\text{he 生}} \quad (10);$$

式中,  $V_{\text{he 聚}}$  表示氦气聚集量, 即氦气聚集资源量, 单位为  $\text{m}^3$ ;

$\Phi$  表示运聚系数, 单位为%;

$V_{\text{he 生}}$  表示生氦总量, 单位为  $\text{m}^3$ 。

在本申请实施例中, 所述氦气包括  $^3\text{He}$  和  $^4\text{He}$ , 所述方法还包括:

根据二元复合公式, 通过  $^3\text{He}/^4\text{He}$  的比值, 确定幔源氦气和壳源氦气的资源量。

本申请第二方面提供一种氦气成因资源评价装置, 所述装置包括:

获取模块, 用于获取目标区域的氦源岩的绝对年龄、氦源岩的密度、氦源岩中放射性元素的含量以及氦源岩中放射性元素的衰变常数;

第一确定模块, 用于确定目标区域的氦源岩的体积;

第二确定模块, 用于基于所述氦源岩的密度、所述氦源岩中放射性元素的含量以及所述氦源岩的体积, 确定氦源岩中未衰变的母体同位素的含量;

第三确定模块，用于基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量，确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量；

第四确定模块，用于基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量；

第五确定模块，用于基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量；

第六确定模块，用于确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数；

第七确定模块，用于基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量。

其中，所述第一确定模块，包括：

底界深度确定模块，用于基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度；

顶面深度以及分布面积确定模块，用于确定目标区域的氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积；

厚度确定模块，用于基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度；

体积确定模块，用于基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的体积。

本申请第三方面提供一种处理器，被配置成执行上述的氦气成因资源评价方法。

本申请第四方面提供一种机器可读存储介质，该机器可读存储介质上存储有指令，该指令在被处理器执行时使得所述处理器被配置成执行上述的氦气成因资源评价方法。

与现有技术相比，本发明的上述技术方案具有如下有益效果：

本申请提出的一种氦气成因资源评价方法、装置、存储介质及处理器，所述方法通过氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定出氦源岩中氦气的物质的量，然后基于氦源岩中氦气的物质的量确定出氦源岩的生氦总量，最后基于氦源岩中氦气的运聚系数，确定氦气聚集资源量。本申请通过上述方法能够实现氦气资源的有效评价，对于开展氦气成藏和富集规律研究具有重要指导作用。

本申请实施例的其它特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

## 附图说明

附图是用来提供对本申请实施例的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本申请实施例，但并不构成对本申请实施例的限制。在附图中：

图 1 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成因资源评价方法的应用环境示意图；

图 2 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成因资源评价方法的整体流程示意图；

图 3 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成因资源评价方法中，计算目标区域的氦源岩的体积的流程示意图；

图 4 示意性示出了根据本申请实施例的 He、N<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>亨利常数随温度的变化曲线图；

图 5 示意性示出了根据本申请实施例的氦源岩有效厚度示意图；

图 6 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成藏模式及过程示意图；

图 7 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成因资源评价装置的结构框图；

图 8 示意性示出了根据本申请实施例的计算机设备的内部结构图。

### 具体实施方式

为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本申请实施例，并不用于限制本申请实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

需要说明，若本申请实施例中有涉及“第一”、“第二”等的描述，则该“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。另外，各个实施例之间的技术方案可以相互结合，但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础，当技术方案的结合出现相互矛盾或无法实现时应当认为这种技术方案的结合不存在，也不在本申请要求的保护范围之内。

本申请提供的氦气成因资源评价方法，可以应用于如图 1 所示的应用环境中。其中，终端 102 通过网络与服务器 104 通过网络进行通信。其中，终端 102 可以但不限于各种个人计算机、笔记本电脑、智能手机、平板电脑和便携式可穿戴设备，服务器 104 可以用独立的服务器或者是多个服务器组成的服务器集群来实现。

图 2 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成因资源评价方法的流程示意图。如图 2 所示，在本申请一实施例中，提供了一种氦气成因资源评价方法，本实施例主要以该方法应用于上述图 1 中的终端 102（或服务器 104）来举例说明，包括以下步骤：

步骤 110，获取目标区域的氦源岩的绝对年龄、氦源岩的密度、氦源岩中放射性元素的含量以及氦源岩中放射性元素的衰变常数。

在本实施例中，目标区域指的是氦气资源研究区域。在本实施例中，氦源岩包括花岗岩、火山岩和沉积岩等。花岗岩或者火山岩的年龄，可以根据测定岩石中锆石 U-Pb 的同位素年龄确定。沉积岩的年龄主要通过测定岩石中古生物年代确定。氦源岩的密度一般是常数，如花岗岩的密度为  $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ 。氦源岩中放射性元素包括：铀（ $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ ）和钍（ $^{232}\text{Th}$ ）。可以通过采集不同层次、不同构造部位具有代表性的氦源岩样品，来测定氦源岩中铀或者钍等放射性元素的含量，可以多次测量铀或者钍的含量，同一样品误差小于 5%，求取平均值。 $^{235}\text{U}$  的衰变常数为  $9.8485 \times 10^{-10}/\text{a}$ ， $^{238}\text{U}$  的衰变常数为  $1.55125 \times 10^{-10}/\text{a}$ ， $^{232}\text{Th}$  的衰变常数为  $4.9745 \times 10^{-11}/\text{a}$ 。

步骤 120，确定目标区域的氦源岩的体积。

图 3 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成因资源评价方法中，计算目标区域的氦源岩的体积的流程示意图。如图 3 所示，在本实施例中，所述目标区域的氦源岩的体积通过步骤 121~步骤 124 确定：

步骤 121，基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度。

示例性地，计算氦源岩的体积，首先，需要计算氦源岩的底界深度。

若氦源岩为花岗岩或者火山岩，则所述氦源岩的底界深度可以根据  $220^\circ\text{C} \sim 240^\circ\text{C}$  所对应的地层深度确定。

图 4 示意性示出了根据本申请实施例的 He、 $\text{N}_2$  和  $\text{CH}_4$  亨利常数随温度的变化曲线。如图 4 所示，依据亨利曲线，氦气(He)在  $180^\circ\text{C}$  时与甲烷( $\text{CH}_4$ )、氮气( $\text{N}_2$ )溶解度、分压基本

趋于一致，再进一步释放氢气的潜力基本消失，240℃时氢源岩释放潜力趋于零，因此，本实施例将研究区 220℃~240℃所对应的地层深度确定为花岗岩和火山岩等氢源岩的下限深度，即氢源岩的底界深度。

图 5 示意性示出了根据本申请实施例的氢源岩有效厚度示意图。

示例性地，若氢源岩为花岗岩或者火山岩，则氢源岩的底界深度可以通过(1)式计算：

$$H_{\text{底}} = (t_{\text{预设温度}} - t_{\text{地表温度}}) / K + 50 \quad (1);$$

式中， $H_{\text{底}}$ 表示氢源岩的底界深度，单位为 m；

$t_{\text{预设温度}}$ 表示预设温度， $t_{\text{预设温度}}$ 的取值范围为 220℃~240℃。

$t_{\text{地表温度}}$ 表示地表温度，单位为℃；

$K$ 表示地温梯度，单位为℃/100m。

若氢源岩为沉积岩，例如，煤层或者泥页岩，则所述氢源岩的底界深度可以根据地震资料和钻井资料确定。

步骤 122，确定目标区域的氢源岩的顶面深度以及氢源岩的分布面积。

在本实施例中，可以通过地震资料和钻井资料确定氢源岩的顶面深度以及氢源岩的分布面积。对于厚度不稳定或者分布不连续的氢源岩，可以通过小面元积分法求取氢源岩的分布面积。

步骤 123，基于所述氢源岩的底界深度和氢源岩的顶面深度确定氢源岩的厚度。

示例性地，氢源岩的厚度可以通过(2)式计算：

$$h = H_{\text{底}} - H_{\text{顶}} \quad (2);$$

式中， $h$ 表示氢源岩的厚度，单位为 m；

$H_{\text{底}}$ 表示氢源岩的底界深度，单位为 m；

$H_{\text{顶}}$ 表示氢源岩的顶面深度，单位为 m。

步骤 124，基于所述氢源岩的厚度以及所述氢源岩的分布面积确定氢源岩的体积。

示例性地，氢源岩的体积可以通过(3)式计算：

$$V = h \times S \quad (3);$$

式中， $V$ 表示氢源岩的体积，单位为  $m^3$ ；

$h$ 表示氢源岩的厚度，单位为 m；

$S$ 表示氢源岩的分布面积，单位为  $m^2$ 。

本实施例提出基于亨利定律的生氢法，解决了氢源岩厚度参数确定的关键难点。常规方法氢源岩的下限采用主观推断法，根据氢源岩的露头厚度来推断地下氢源岩厚度，但地下氢源岩厚度变化大，导致氢源岩的体积计算不准确。本申请以氢气成藏理论为指导，将氢气“死亡线” 220℃-240℃作为氢源岩深度的下限温度，将该温度对应的深度作为氢源岩的深度下限，由此确定氢源岩厚度，有效提高了氢源岩体积和生氢资源量准确性，误差下降 10%。本实施例有效解决了现有技术中存在的氢源岩的厚度难以确定的问题。

步骤 130，基于所述氢源岩的密度、所述氢源岩中放射性元素的含量以及所述氢源岩的体积，确定氢源岩中未衰变的母体同位素的含量。

在本实施例中，可以通过(4)计算氢源岩中未衰变的母体同位素的含量：

$$P = V \times \rho_{\text{源岩}} \times x \quad (4);$$

式中， $P$ 表示氢源岩中未衰变的母体同位素的含量，单位为 mol；

V 表示氦源岩的体积，单位为  $m^3$ ；

$\rho_{\text{源岩}}$  表示氦源岩的密度，单位为  $t/m^3$ ；

x 表示氦源岩中放射性元素的含量，单位为  $mol/g$ 。

步骤 140，基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量，确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量。

在本实施例中，可以通过(5)计算氦源岩中已衰变的子体同位素的含量：

$$D = (e^{\lambda t} - 1) \times V \times \rho_{\text{源岩}} \times x \quad (5);$$

式中，D 表示氦源岩中已衰变的子体同位素的含量，单位为  $mol$ ；

$\lambda$  表示氦源岩中放射性元素的同位素的衰变常数，无量纲；

t 表示氦源岩的绝对地质年龄，单位为百万年；

v 表示氦源岩的体积，单位为  $m^3$ ；

$\rho_{\text{源岩}}$  表示氦源岩的密度，单位为  $t/m^3$ ；

x 表示氦源岩中放射性元素的含量，单位为  $mol/g$ 。

步骤 150，基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量。

在本实施例中，氦源岩中的放射性元素包括： $^{238}U$  和  $^{232}Th$ ；

针对  $^{238}U$  衰变，通过(6)式，计算氦源岩中氦气的物质的量：

$$n = D \times 8 / 238 \quad (6);$$

针对  $^{232}Th$  衰变，通过(7)式，计算氦源岩中氦气的物质的量：

$$n = D \times 6 / 232 \quad (7);$$

式中，n 表示氦源岩中氦气的物质的量，D 表示氦源岩中已衰变的子体同位素的含量。

步骤 160，基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量。

在本实施例中，通过(8)式，计算氦源岩的生氦总量：

$$V_{\text{He 生}} = n \times M / \rho_{\text{he}} \quad (8);$$

式中， $V_{\text{He 生}}$  表示生氦总量，即生氦资源量，单位为  $m^3$ ；

n 表示氦源岩中氦气的物质的量；

M 表示生氦总量的摩尔质量；

$\rho_{\text{he}}$  表示氦气的密度，取值  $0.1786g/L$ 。

示例性地，针对  $^{238}U$  衰变，通过(8.1)式，计算氦源岩的生氦总量：

$$\begin{aligned} V_{\text{He 生}} &= n \times M / \rho_{\text{he}} \\ &= D \times M \times 8 / 238 / \rho_{\text{he}} \\ &= (e^{\lambda t} - 1) \times v \times \rho_{\text{源岩}} \times x \times M \times 8 / 238 / \rho_{\text{he}} \quad (8.1); \end{aligned}$$

示例性地，针对  $^{232}Th$  衰变，通过(8.2)式，计算氦源岩的生氦总量：

$$\begin{aligned} V_{\text{He 生}} &= n \times M / \rho_{\text{he}} \\ &= D \times M \times 6 / 232 / \rho_{\text{he}} \\ &= (e^{\lambda t} - 1) \times v \times \rho_{\text{源岩}} \times x \times M \times 6 / 232 / \rho_{\text{he}} \quad (8.2); \end{aligned}$$

式(9)-(10)中， $V_{\text{He 生}}$  表示研究区生氦资源量，即氦源岩的生氦总量，单位为  $m^3$ ；

$\lambda$  表示研究区铀或者钍同位素的衰变常数，无量纲；

t 表示研究区氦源岩的绝对地质年龄，单位为百万年；

$\rho_{\text{源岩}}$  表示研究区氦源岩的密度, 单位为  $\text{t/m}^3$ ; 例如, 花岗岩的密度取值  $2.5 \text{ t/m}^3$ ;

$\rho_{\text{he}}$  表示研究区氦气的密度, 取值  $0.1786 \text{ g/L}$ ;

$v$  表示研究区氦源岩的体积, 单位为  $\text{m}^3$ ;

$x$  表示研究区氦源岩中铀或者钍的含量, 单位为  $\text{g/mol}$ 。

步骤 170, 确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数。

图 6 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成藏模式及过程示意图。如图 6 所示, 本实施例根据研究区域构造活动期次和排氦特征, 确定不同成藏模式下的氦源岩排氦率和水溶氦脱气率, 两者相乘即可得到运聚系数。其中, 不同成藏模式是指, 不同来源的氦气在不同的圈闭中的聚集形式: 按照气体成分, 分为含氦氮气藏、含氦  $\text{CO}_2$  气藏、含氦天然气藏等; 按圈闭类型分为背斜、断层以及岩性; 按照来源分为幔源、壳源或混源等等。

已经排氦的氦源岩与全部氦源岩体积之比即为氦源岩排氦率。通过测定刻度区已知水溶氦含量和气藏含氦量, 计算已经聚集的氦气量与水溶氦的体积, 两者之比即为水溶氦脱气率。

在本实施例中, 通过(9)式, 计算目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数:

$$\Phi = \Phi_1 \times \Phi_2 \quad (9);$$

式中,  $\Phi_1$  为氦源岩排氦率, 单位为%;  $\Phi_2$  为水溶氦脱气率, 单位为%。

其中, 氦源岩排氦率  $\Phi_1$  通过已经排氦的氦源岩与全部氦源岩体积之比来计算。测定刻度区已知水溶氦含量和气藏含氦量, 计算已经聚集的氦气量与水溶氦的体积, 两者之比即为水溶氦脱气率  $\Phi_2$ 。

在不同的成藏模式下, 氦气的初次运移和二次运移系数千差万别。已有的方法没有考虑不同成藏模式的差异, 也没有给出具体的计算公式。本实施例将运聚系数与烃类成藏时间相匹配, 解决运聚系数难以确定的问题。

步骤 180, 基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量。

本实施例根据研究区花岗岩、火成岩、沉积岩等所有生氦总量, 与运聚系数相乘, 即可得到研究区氦气地质资源量。

在本实施例中, 通过(10)式, 计算氦气聚集资源量:

$$V_{\text{he 聚}} = \Phi \times V_{\text{he 生}} \quad (10);$$

式中,  $V_{\text{he 聚}}$  表示氦气聚集量, 即氦气聚集资源量, 单位为  $\text{m}^3$ ;

$\Phi$  表示运聚系数, 单位为%;

$V_{\text{he 生}}$  表示生氦总量, 单位为  $\text{m}^3$ 。

在本实施例中, 所述氦气包括  $^3\text{He}$  和  $^4\text{He}$ , 所述方法还包括:

确定壳源氦和幔源氦中  $^3\text{He}/^4\text{He}$  的标准值, 标准值如下:

$$\text{壳源氦取值标准: } ^3\text{He} / ^4\text{He} = 2.0 \times 10^{-8};$$

$$\text{幔源氦取值标准: } ^3\text{He} / ^4\text{He} = 1.1 \times 10^{-8};$$

$$\text{壳幔混源氦取值标准: } 1.1 \times 10^{-8} < ^3\text{He} / ^4\text{He} < 2.0 \times 10^{-8}.$$

在本实施例中, 所述氦气包括  $^3\text{He}$  和  $^4\text{He}$ , 所述方法还包括: 根据二元复合公式, 通过  $^3\text{He} / ^4\text{He}$  比值计算幔源氦气和壳源氦气的资源量, 壳源氦的比例计算公式如下:

$$I_{^3\text{He}} = \frac{R - R_c}{R_m - R_c} \quad (11);$$

幔源氦资源量比例的计算公式如下:

$$I_{4\text{He}} = 1 - I_{3\text{He}}(12);$$

式中， $^3\text{He}$  表示氦气中幔源氦气所占的比例，单位为%L；

$^4\text{He}$  表示氦气中壳源氦气所占的比例，单位为%L；

$R$  表示实测氦气值体积，单位为  $\text{m}^3$ ；

$R_c$  表示壳源氦气体积，单位为  $\text{m}^3$ ；

$R_m$  表示幔源氦气体积，单位为  $\text{m}^3$ 。

图 2 为一个实施例中氦气成因资源评价方法的流程示意图。应该理解的是，虽然图 2 的流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示，但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明，这些步骤的执行并没有严格的顺序限制，这些步骤可以以其它的顺序执行。而且，图 2 中的至少一部分步骤可以包括多个子步骤或者多个阶段，这些子步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成，而是可以在不同的时刻执行，这些子步骤或者阶段的执行顺序也不必然是依次进行，而是可以与其它步骤或者其它步骤的子步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

图 7 示意性示出了根据本申请实施例的氦气成因资源评价装置的结构框图。

在一个实施例中，如图 7 所示，提供了一种氦气成因资源评价装置 200，包括获取模块 210、第一确定模块 220、第二确定模块 230、第三确定模块 240、第四确定模块 250、第五确定模块 260、第六确定模块 270 以及第七确定模块 280，其中：

获取模块 210，用于获取目标区域的氦源岩的绝对年龄、氦源岩的密度、氦源岩中放射性元素的含量以及氦源岩中放射性元素的衰变常数；

第一确定模块 220，用于确定目标区域的氦源岩的体积；

第二确定模块 230，用于基于所述氦源岩的密度、所述氦源岩中放射性元素的含量以及所述氦源岩的体积，确定氦源岩中未衰变的母体同位素的含量；

第三确定模块 240，用于基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量，确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量；

第四确定模块 250，用于基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量；

第五确定模块 260，用于基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量；

第六确定模块 270，用于确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数；

第七确定模块 280，用于基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量。

其中，所述第一确定模块 220，包括：

底界深度确定模块，用于基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度；

顶面深度以及分布面积确定模块，用于确定目标区域的氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积；

厚度确定模块，用于基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度；

体积确定模块，用于基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的体积。

所述氦气成因资源评价装置包括处理器和存储器,上述获取模块 210、第一确定模块 220、第二确定模块 230、第三确定模块 240、第四确定模块 250、第五确定模块 260、第六确定模块 270 以及第七确定模块 280 等均作为程序单元存储在存储器中,由处理器执行存储在存储器中的上述程序模块中实现相应的功能。

处理器中包含内核,由内核去存储器中调取相应的程序单元。内核可以设置一个或以上,通过调整内核参数来实现氦气成因资源评价方法。

存储器可能包括计算机可读介质中的非永久性存储器,随机存取存储器(RAM)和/或非易失性内存等形式,如只读存储器(ROM)或闪存(flash RAM),存储器包括至少一个存储芯片。

本申请实施例提供了一种存储介质,其上存储有程序,该程序被处理器执行时实现上述氦气成因资源评价方法。

图 8 示意性示出了根据本申请实施例的计算机设备的内部结构图。

在一个实施例中,提供了一种计算机设备,该计算机设备可以是终端,其内部结构图可以如图 8 所示。该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器 A01、网络接口 A02、显示屏 A04、输入装置 A05 和存储器(图中未示出)。其中,该计算机设备的处理器 A01 用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括内存储器 A03 和非易失性存储介质 A06。该非易失性存储介质 A06 存储有操作系统 B01 和计算机程序 B02。该内存储器 A03 为非易失性存储介质 A06 中的操作系统 B01 和计算机程序 B02 的运行提供环境。该计算机设备的网络接口 A02 用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器 A01 执行时以实现一种氦气成因资源评价方法。该计算机设备的显示屏 A04 可以是液晶显示屏或者电子墨水显示屏,该计算机设备的输入装置 A05 可以是显示屏上覆盖的触摸层,也可以是计算机设备外壳上设置的按键、轨迹球或触控板,还可以是外接的键盘、触控板或鼠标等。

本领域技术人员可以理解,图 8 中示出的结构,仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图,并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定,具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

在一个实施例中,本申请提供的氦气成因资源评价装置可以实现为一种计算机程序的形式,计算机程序可在如图 8 所示的计算机设备上运行。计算机设备的存储器中可存储组成该氦气成因资源评价装置的各个程序模块,比如,图 7 所示的获取模块 210、第一确定模块 220、第二确定模块 230、第三确定模块 240、第四确定模块 250、第五确定模块 260、第六确定模块 270 以及第七确定模块 280。各个程序模块构成的计算机程序使得处理器执行本说明书中描述的本申请各个实施例的氦气成因资源评价方法中的步骤。

图 8 所示的计算机设备可以通过如图 7 所示的氦气成因资源评价装置中的获取模块 210 执行步骤 110,计算机设备可通过第一确定模块 220 执行步骤 120,计算机设备可通过第二确定模块 230 执行步骤 130,计算机设备可通过第三确定模块 240 执行步骤 140,计算机设备可通过第四确定模块 250 执行步骤 150,计算机设备可通过第五确定模块 260 执行步骤 160,计算机设备可通过第六确定模块 270 执行步骤 170,计算机设备可通过第七确定模块 280 执行步骤 180。

本申请实施例提供了一种设备,设备包括处理器、存储器及存储在存储器上并可在处理器上运行的程序,处理器执行程序时实现以下步骤:

步骤 110,获取目标区域的氦源岩的绝对年龄、氦源岩的密度、氦源岩中放射性元素的含量以及氦源岩中放射性元素的衰变常数;

步骤 120, 确定目标区域的氦源岩的体积;

步骤 130, 基于所述氦源岩的密度、所述氦源岩中放射性元素的含量以及所述氦源岩的体积, 确定氦源岩中未衰变的母体同位素的含量;

步骤 140, 基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量, 确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量;

步骤 150, 基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量;

步骤 160, 基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量;

步骤 170, 确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数;

步骤 180, 基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量。

在一个实施例中, 所述步骤 120, 包括:

步骤 121, 基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度;

步骤 122, 确定目标区域的氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积;

步骤 123, 基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度;

步骤 124, 基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的体积。

在一个实施例中, 所述确定目标区域的氦源岩的底界深度, 包括:

基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度。

在一个实施例中, 所述基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度, 包括:

将预设温度所对应的地层深度确定为氦源岩的底界深度, 所述氦源岩包括: 花岗岩和火山岩。

在一个实施例中, 所述预设温度的温度范围为: 220°C~240°C。

在一个实施例中, 所述确定目标区域的氦源岩的底界深度、氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积, 包括:

基于地震资料和钻井资料确定目标区域的氦源岩的底界深度、氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积, 所述氦源岩包括: 煤层、泥页岩。

在一个实施例中, 所述基于地震资料和钻井资料确定氦源岩的分布面积, 包括:

对于厚度不稳定或者分布不连续的氦源岩, 基于地震资料和钻井资料, 通过小面积积分法求取氦源岩的分布面积。

在一个实施例中, 通过(1)式, 将预设温度所对应的地层深度确定为氦源岩的底界深度:

$$H_{\text{底}} = (t_{\text{预设温度}} - t_{\text{地表温度}}) / K + 50(1);$$

式中,  $H_{\text{底}}$  表示氦源岩的底界深度, 单位为 m;

$t_{\text{地表温度}}$  表示地表温度, 单位为 °C;

$K$  表示地温梯度, 单位为 °C/100m。

在一个实施例中, 通过(2)式, 基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度:

$$h = H_{\text{底}} - H_{\text{顶}}(2);$$

式中,  $h$  表示氦源岩的厚度, 单位为 m;

$H_{\text{底}}$  表示氦源岩的底界深度, 单位为 m;

$H_{\text{顶}}$  表示氦源岩的顶面深度, 单位为 m。

在一个实施例中,通过(3)式,基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的体积:

$$V=h \times S(3);$$

式中, V 表示氦源岩的体积,单位为  $m^3$ ;

h 表示氦源岩的厚度,单位为 m;

S 表示氦源岩的分布面积,单位为  $m^2$ 。

在一个实施例中,通过(4)式,基于所述氦源岩的密度、所述氦源岩中放射性元素的含量以及所述氦源岩的体积,确定氦源岩中未衰变的母体同位素的含量:

$$P=v \times \rho_{\text{源岩}} \times x(4);$$

式中, P 表示氦源岩中未衰变的母体同位素的含量,单位为 mol;

v 表示氦源岩的体积,单位为  $m^3$ ;

$\rho_{\text{源岩}}$  表示氦源岩的密度,单位为  $t/m^3$ ;

x 表示氦源岩中放射性元素的含量,单位为 mol/g。

在一个实施例中,通过(5)式,基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量,确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量:

$$D=(e^{\lambda t}-1) \times v \times \rho_{\text{源岩}} \times x(5);$$

式中, D 表示氦源岩中已衰变的子体同位素的含量,单位为 mol;

$\lambda$  表示氦源岩中放射性元素的同位素的衰变常数,无量纲;

t 表示氦源岩的绝对地质年龄,单位为百万年;

v 表示氦源岩的体积,单位为  $m^3$ ;

$\rho_{\text{源岩}}$  表示氦源岩的密度,单位为  $t/m^3$ ;

x 表示氦源岩中放射性元素的含量,单位为 mol/g。

在一个实施例中,氦源岩中的放射性元素包括:  $^{238}\text{U}$  和  $^{232}\text{Th}$ ;

针对  $^{238}\text{U}$  衰变,通过(6)式,基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量:

$$n=D \times 8/238(6);$$

针对  $^{232}\text{Th}$  衰变,通过(7)式,基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量:

$$n=D \times 6/232(7);$$

式中, n 表示氦源岩中氦气的物质的量, D 表示氦源岩中已衰变的子体同位素的含量。

在一个实施例中,通过(8)式,基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量:

$$V_{\text{He 生}}=n \times M/\rho_{\text{he}}(8);$$

式中,  $V_{\text{He 生}}$  表示生氦总量,即生氦资源量,单位为  $m^3$ ;

n 表示氦源岩中氦气的物质的量;

M 表示生氦总量的摩尔质量;

$\rho_{\text{he}}$  表示氦气的密度,取值 0.1786g/L。

在一个实施例中,通过(9)式,确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数:

$$\Phi = \Phi 1 \times \Phi 2 \quad (9);$$

式中， $\Phi 1$  为氦源岩排氦率，单位为%； $\Phi 2$  为水溶氦脱气率，单位为%。

在一个实施例中，通过(10)式，基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量：

$$V_{\text{he 聚}} = \Phi \times V_{\text{he 生}} (10);$$

式中， $V_{\text{he 聚}}$ 表示氦气聚集量，即氦气聚集资源量，单位为  $\text{m}^3$ ；

$\Phi$  表示运聚系数，单位为%；

$V_{\text{he 生}}$ 表示生氦总量，单位为  $\text{m}^3$ 。

在一个实施例中，所述氦气包括  $3\text{He}$  和  $4\text{He}$ ，所述方法还包括：根据二元复合公式，通过  $3\text{He}/4\text{He}$  的比值，确定幔源氦气和壳源氦气的资源量。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

在一个典型的配置中，计算设备包括一个或多个处理器（CPU）、输入/输出接口、网络接口和内存。

存储器可能包括计算机可读介质中的非永久性存储器，随机存取存储器(RAM)和/或非易失性内存等形式，如只读存储器(ROM)或闪存(flash RAM)。存储器是计算机可读介质的示例。

计算机可读介质包括永久性和非永久性、可移动和非可移动媒体，可以由任何方法或技术来实现信息存储。信息可以是计算机可读指令、数据结构、程序的模块或其他数据。计算机的存储介质的例子包括，但不限于相变内存 (PRAM)、静态随机存取存储器 (SRAM)、动态随机存取存储器 (DRAM)、其他类型的随机存取存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、电可擦除可编程只读存储器 (EEPROM)、快闪记忆体或其他内存技术、只读光盘只读存储器 (CD-ROM)、数字多功能光盘 (DVD) 或其他光学存储、磁盒式磁带，磁带磁磁盘存储或其他磁性存储设备或任何其他非传输介质，可用于存储可以被计算设备访问的信息。按照本文中的界定，计算机可读介质不包括暂存电脑可读媒体 (transitory media)，如调制的数据信号和

载波。

还需要说明的是，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、商品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、商品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括要素的过程、方法、商品或者设备中还存在另外的相同要素。

以上仅为本申请的实施例而已，并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的权利要求范围之内。

## 权利要求书

1、一种氦气成因资源评价方法，其特征在于，所述方法包括：

获取目标区域的氦源岩的绝对年龄、氦源岩的密度、氦源岩中放射性元素的含量以及氦源岩中放射性元素的衰变常数；

确定目标区域的氦源岩的体积；

基于所述氦源岩的密度、所述氦源岩中放射性元素的含量以及所述氦源岩的体积，确定氦源岩中未衰变的母体同位素的含量；

基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量，确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量；

基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量；

基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量；

确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数；

基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量；

其中，所述确定目标区域的氦源岩的体积，包括：

基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度；

确定目标区域的氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积；

基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度；

基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的体积。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度，包括：

将预设温度所对应的地层深度确定为氦源岩的底界深度，所述氦源岩包括：花岗岩和火山岩。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述预设温度的温度范围为：220℃~240℃。

4、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述确定目标区域的氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积，包括：

基于地震资料和钻井资料确定氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积，所述氦源岩包括：煤层、泥页岩；

其中，基于地震资料和钻井资料确定氦源岩的分布面积，包括：对于厚度不稳定或者分布不连续的氦源岩，基于地震资料和钻井资料，通过小面元积分法求取氦源岩的分布面积。

5、根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，通过(1)式，将预设温度所对应的地层深度确定为氦源岩的底界深度：

$$H_{底} = (t_{预设温度} - t_{地表温度}) / K + 50(1);$$

式中， $H_{底}$ 表示氦源岩的底界深度，单位为 m；

$t_{地表温度}$ 表示地表温度，单位为℃；

$K$ 表示地温梯度，单位为℃/100m。

6、根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于，通过(2)式，基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度：

$$h=H_{\text{底}}-H_{\text{顶}}(2);$$

式中， $h$  表示氦源岩的厚度，单位为  $m$ ；

$H_{\text{底}}$  表示氦源岩的底界深度，单位为  $m$ ；

$H_{\text{顶}}$  表示氦源岩的顶面深度，单位为  $m$ 。

7、根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，通过(3)式，基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的体积：

$$V=h \times S(3);$$

式中， $V$  表示氦源岩的体积，单位为  $m^3$ ；

$h$  表示氦源岩的厚度，单位为  $m$ ；

$S$  表示氦源岩的分布面积，单位为  $m^2$ 。

8、根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，通过(5)式，基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量，确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量：

$$D = (e^{\lambda t} - 1) \times v \times \rho_{\text{源岩}} \times x(5);$$

式中， $D$  表示氦源岩中已衰变的子体同位素的含量，单位为  $mol$ ；

$v \times \rho_{\text{源岩}} \times x$  表示氦源岩中未衰变的母体同位素的含量；

$\lambda$  表示氦源岩中放射性元素的同位素的衰变常数，无量纲；

$t$  表示氦源岩的绝对地质年龄，单位为百万年；

$v$  表示氦源岩的体积，单位为  $m^3$ ；

$\rho_{\text{源岩}}$  表示氦源岩的密度，单位为  $t/m^3$ ；

$x$  表示氦源岩中放射性元素的含量，单位为  $mol/g$ 。

9、根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，氦源岩中的放射性元素包括： $^{238}U$  和  $^{232}Th$ ；针对  $^{238}U$  衰变，通过(6)式，基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量：

$$n=D \times 8/238(6);$$

针对  $^{232}Th$  衰变，通过(7)式，基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量：

$$n=D \times 6/232(7);$$

式中， $n$  表示氦源岩中氦气的物质的量， $D$  表示氦源岩中已衰变的子体同位素的含量。

10、根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，通过(8)式，基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量：

$$V_{\text{He 生}} = n \times M / \rho_{\text{he}}(8);$$

式中,  $V_{\text{He 生}}$  表示生氦总量, 即生氦资源量, 单位为  $\text{m}^3$ ;

$n$  表示氦源岩中氦气的物质的量;

$M$  表示生氦总量的摩尔质量;

$\rho_{\text{He}}$  表示氦气的密度, 取值  $0.1786 \text{ g/L}$ 。

11、根据权利要求 10 所述的方法, 其特征在于, 通过(9)式, 确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数:

$$\Phi = \Phi 1 \times \Phi 2 \quad (9);$$

式中,  $\Phi 1$  为氦源岩排氦率, 单位为%;  $\Phi 2$  为水溶氦脱气率, 单位为%;

通过(10)式, 基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量:

$$V_{\text{He 聚}} = \Phi \times V_{\text{He 生}} \quad (10);$$

式中,  $V_{\text{He 聚}}$  表示氦气聚集量, 即氦气聚集资源量, 单位为  $\text{m}^3$ ;

$\Phi$  表示运聚系数, 单位为%;

$V_{\text{He 生}}$  表示生氦总量, 单位为  $\text{m}^3$ 。

12、根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述氦气包括  $3\text{He}$  和  $4\text{He}$ , 所述方法还包括:

根据二元复合公式, 通过  $3\text{He}/4\text{He}$  的比值, 确定幔源氦气和壳源氦气的资源量。

13、一种氦气成因资源评价装置, 其特征在于, 所述装置包括:

获取模块, 用于获取目标区域的氦源岩的绝对年龄、氦源岩的密度、氦源岩中放射性元素的含量以及氦源岩中放射性元素的衰变常数;

第一确定模块, 用于确定目标区域的氦源岩的体积;

第二确定模块, 用于基于所述氦源岩的密度、所述氦源岩中放射性元素的含量以及所述氦源岩的体积, 确定氦源岩中未衰变的母体同位素的含量;

第三确定模块, 用于基于所述氦源岩的绝对年龄、所述氦源岩中放射性元素的衰变常数以及所述氦源岩中未衰变的母体同位素的含量, 确定氦源岩中已衰变的子体同位素的含量;

第四确定模块, 用于基于所述氦源岩中已衰变的子体同位素的含量确定氦源岩中氦气的物质的量;

第五确定模块, 用于基于所述氦源岩中氦气的物质的量确定氦源岩的生氦总量;

第六确定模块, 用于确定目标区域的氦源岩中氦气的运聚系数;

第七确定模块, 用于基于所述运聚系数和所述氦源岩的生氦总量确定氦气聚集资源量; 其中, 所述第一确定模块, 包括:

底界深度确定模块, 用于基于预设温度确定目标区域的氦源岩的底界深度;

顶面深度以及分布面积确定模块, 用于确定目标区域的氦源岩的顶面深度以及氦源岩的分布面积;

厚度确定模块, 用于基于所述氦源岩的底界深度和氦源岩的顶面深度确定氦源岩的厚度;

体积确定模块, 用于基于所述氦源岩的厚度以及所述氦源岩的分布面积确定氦源岩的

体积。

14、一种处理器，其特征在于，被配置成执行根据权利要求 1 至 12 中任一项所述的氦气成因资源评价方法。

15、一种机器可读存储介质，该机器可读存储介质上存储有指令，其特征在于，该指令在被处理器执行时使得所述处理器被配置成执行根据权利要求 1 至 12 中任一项所述的氦气成因资源评价方法。

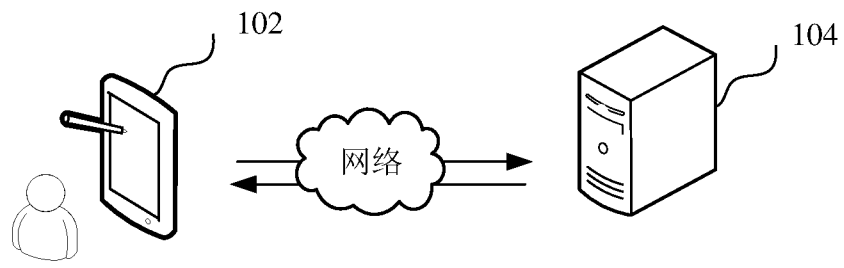


图 1

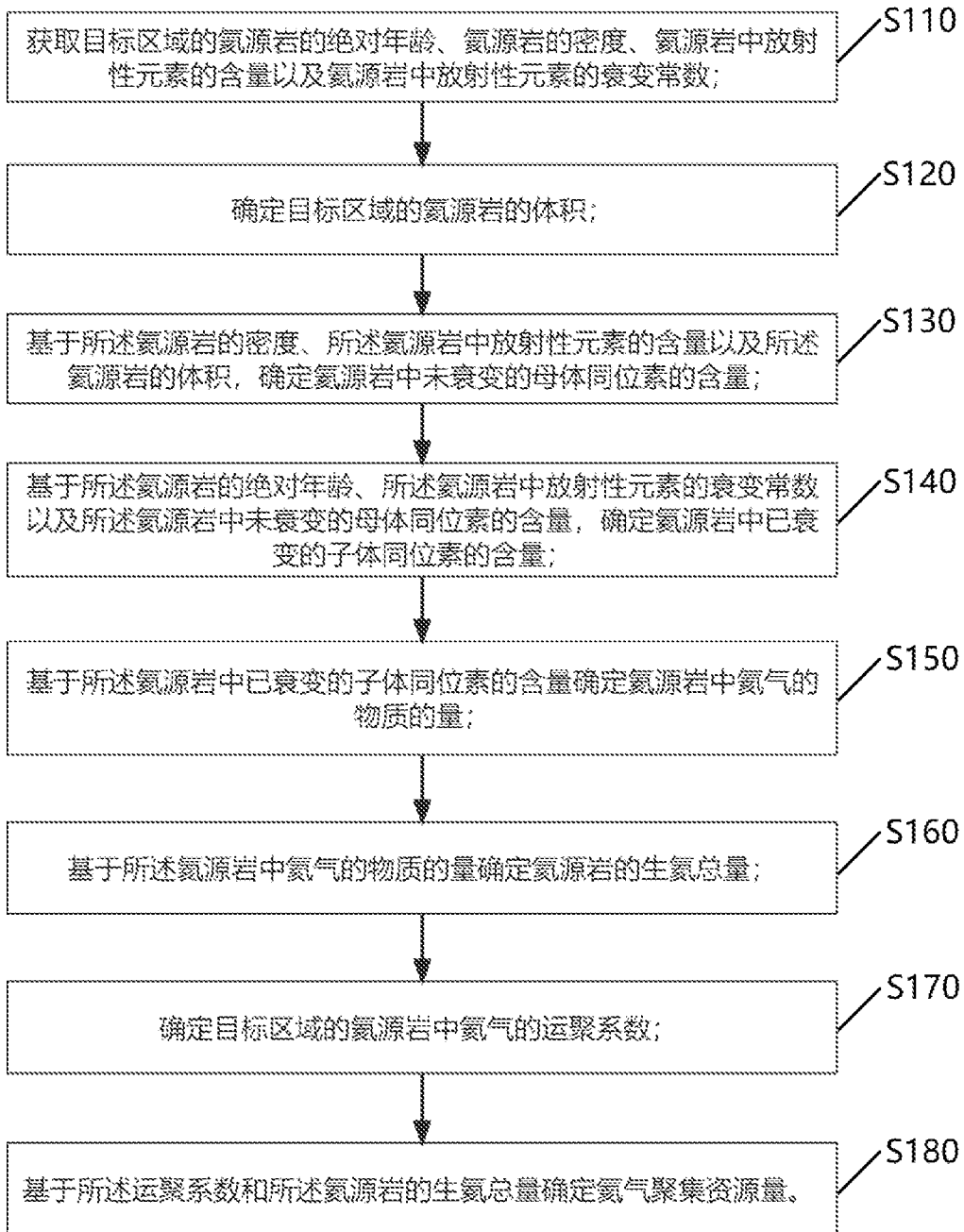


图 2

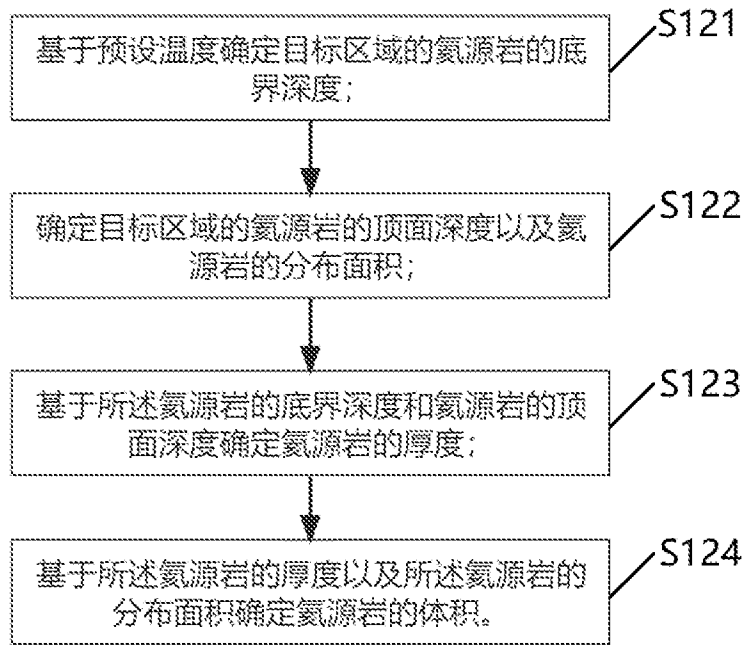


图 3

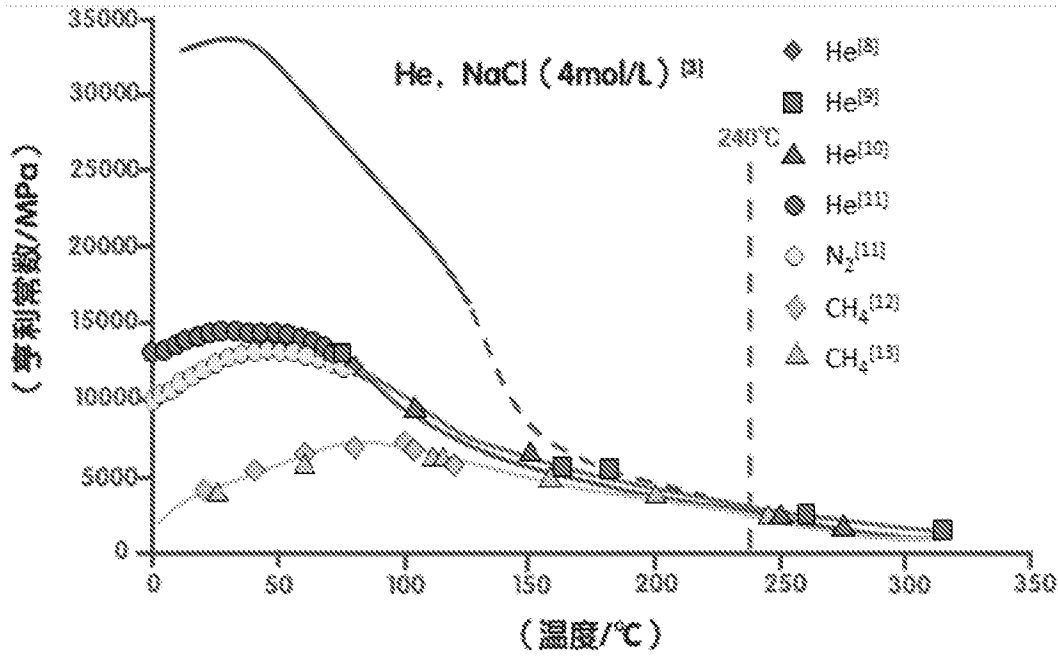


图 4

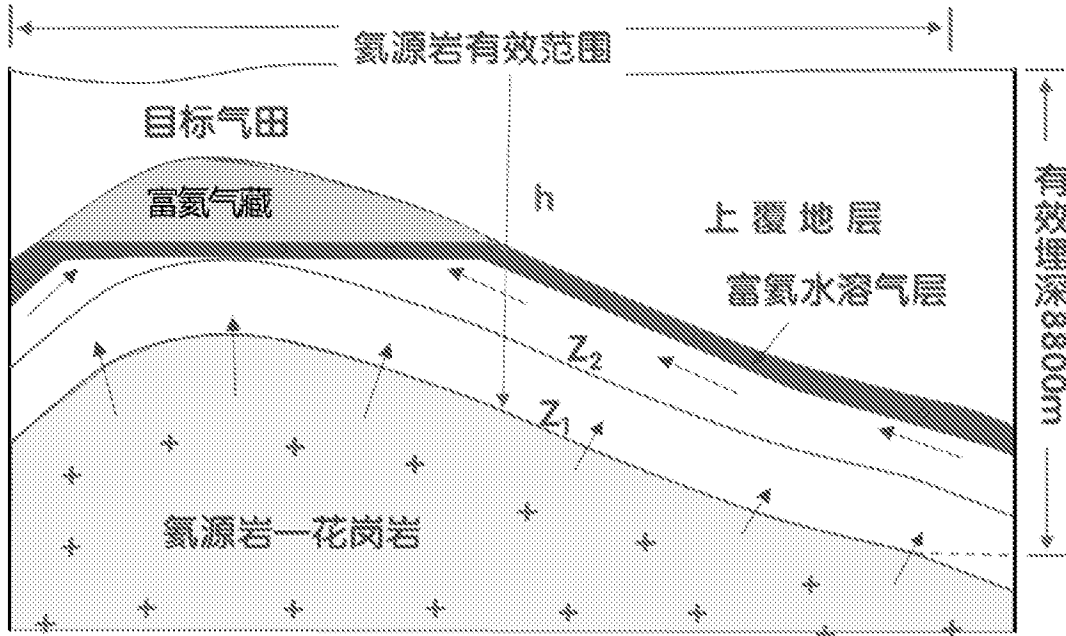


图 5

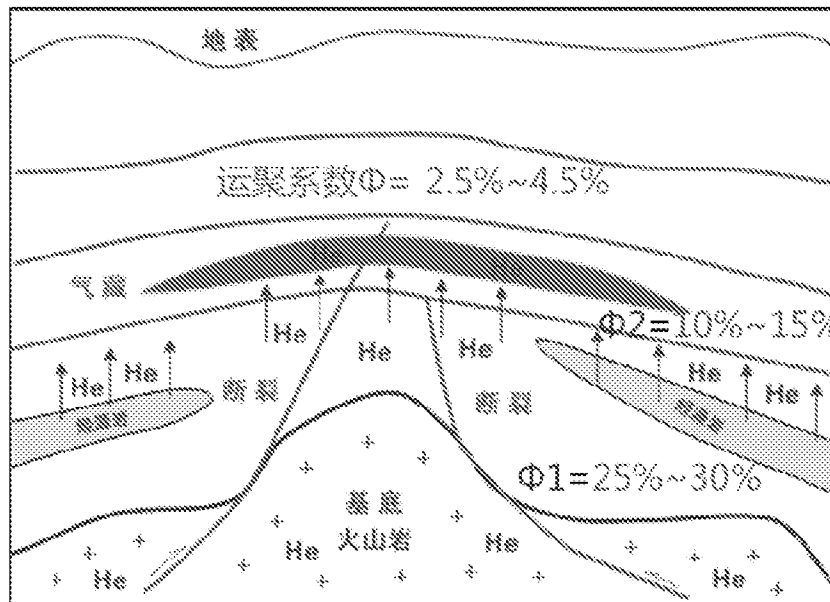


图 6

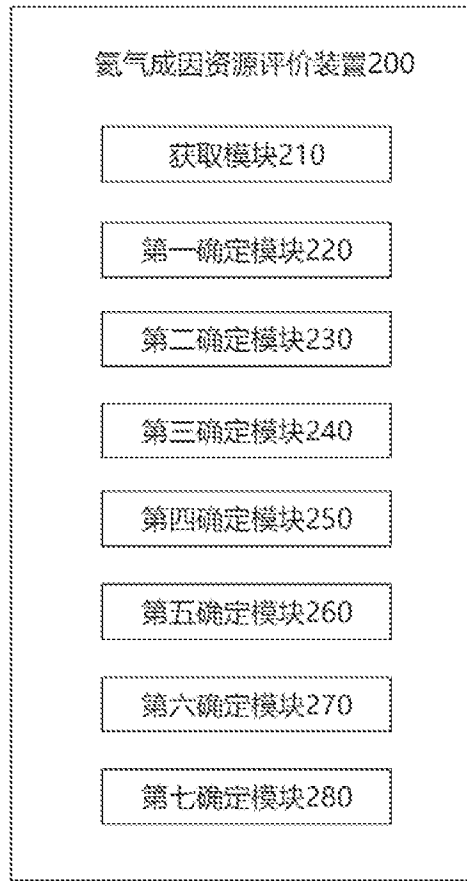


图 7

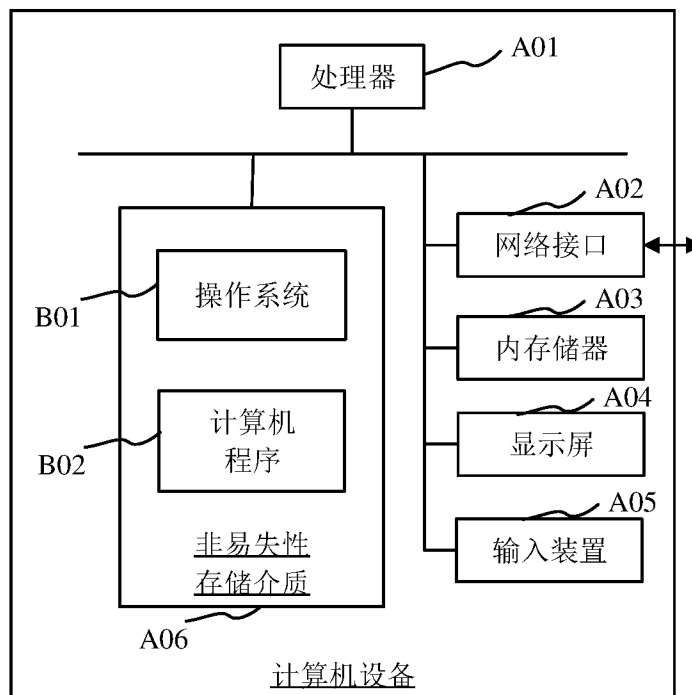


图 8

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/138085

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br>G01V11/00(2006.01)i<br><br>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC   |   |   |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b><br>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>IPC: G01V<br><br>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched<br><br>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)<br>CNABS, CNTXT, EPTXT, WOTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 氦气, 评价, 氦源岩, 衰变, 同位素, 体积, helium, evaluation, helium source rock, decayed, isotopes, volume   |   |   |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>  |   |   |
| Category*  | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No.   |
| A  | CN 114910976 A (NORTHWEST INSTITUTE OF ECO-ENVIRONMENT AND RESOURCES, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 16 August 2022 (2022-08-16)<br>description, paragraphs [0043]-[0070] | 1-15  |
| A  | CN 111308577 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORP. et al.) 19 June 2020 (2020-06-19)<br>entire document   | 1-15  |
| A  | CN 111338001 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORP. et al.) 26 June 2020 (2020-06-26)<br>entire document   | 1-15  |
| A  | US 2018202264 A1 (RS ENERGY GROUP TOPCO, INC.) 19 July 2018 (2018-07-19)<br>entire document   | 1-15  |
| A  | US 4378055 A (PHILLIPS PETROLEUM COMPANY) 29 March 1983 (1983-03-29)<br>entire document   | 1-15  |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.   |   |   |
| * Special categories of cited documents:<br>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance<br>"D" document cited by the applicant in the international application<br>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date<br>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)<br>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means<br>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed<br>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention<br>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone<br>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art<br>"&" document member of the same patent family |   |   |
| Date of the actual completion of the international search<br><b>06 June 2023</b>   |   | Date of mailing of the international search report<br><b>14 June 2023</b> |
| Name and mailing address of the ISA/CN<br><b>China National Intellectual Property Administration (ISA/<br/>CN)<br/>China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,<br/>Beijing 100088</b>  |   | Authorized officer<br><br><br>Telephone No.                               |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

|   |
|---|
| International application No.<br><b>PCT/CN2022/138085</b> |
|---|

| Patent document cited in search report |            |    | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | Publication date (day/month/year) |                  |
|--|------------|----|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------|
| CN                                     | 114910976  | A  | 16 August 2022                    | None                    |                                   |                  |
| -----                                  |            |    |                                   |                         |                                   |                  |
| CN                                     | 111308577  | A  | 19 June 2020                      | None                    |                                   |                  |
| -----                                  |            |    |                                   |                         |                                   |                  |
| CN                                     | 111338001  | A  | 26 June 2020                      | None                    |                                   |                  |
| -----                                  |            |    |                                   |                         |                                   |                  |
| US                                     | 2018202264 | A1 | 19 July 2018                      | WO                      | 2017139271 A2                     | 17 August 2017   |
|  |            |    |                                   | CA                      | 3001146 A1                        | 17 August 2017   |
|  |            |    |                                   | US                      | 10260319 B2                       | 16 April 2019    |
|  |            |    |                                   | EP                      | 3414428 A2                        | 19 December 2018 |
| -----                                  |            |    |                                   |                         |                                   |                  |
| US                                     | 4378055    | A  | 29 March 1983                     | None                    |                                   |                  |
| -----                                  |            |    |                                   |                         |                                   |                  |

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/138085

| <p><b>A. 主题的分类</b></p> <p>G01V11/00 (2006.01) i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>   |   |            |                                |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
|--|---|------------|--------------------------------|-------------------|---------|---|---|------|---|---|------|---|---|------|---|--|------|---|---|------|
| <p><b>B. 检索领域</b></p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>IPC: G01V</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNABS, CNTXT, EPTXT, WOTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 氦气, 评价, 氦源岩, 衰变, 同位素, 体积, helium, evaluation, helium source rock, decayed, isotopes, volume</p>   |   |            |                                |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
| <p><b>C. 相关文件</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 114910976 A (中国科学院西北生态环境资源研究院) 2022年8月16日 (2022 - 08 - 16)<br/>说明书第[0043]-[0070]段</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111308577 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2020年6月19日 (2020 - 06 - 19)<br/>全文</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111338001 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2020年6月26日 (2020 - 06 - 26)<br/>全文</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2018202264 A1 (RS ENERGY GROUP TOPCO, INC.) 2018年7月19日 (2018 - 07 - 19)<br/>全文</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 4378055 A (PHILLIPS PETROLEUM COMPANY) 1983年3月29日 (1983 - 03 - 29)<br/>全文</td> <td>1-15</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型:<br/>         “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br/>         “D” 申请人在国际申请中引证的文件<br/>         “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br/>         “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)<br/>         “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br/>         “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件<br/>         “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件<br/>         “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性<br/>         “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性<br/>         “&amp;” 同族专利的文件</p> |   |            | 类型*                            | 引用文件, 必要时, 指明相关段落 | 相关的权利要求 | A | CN 114910976 A (中国科学院西北生态环境资源研究院) 2022年8月16日 (2022 - 08 - 16)<br>说明书第[0043]-[0070]段 | 1-15 | A | CN 111308577 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2020年6月19日 (2020 - 06 - 19)<br>全文 | 1-15 | A | CN 111338001 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2020年6月26日 (2020 - 06 - 26)<br>全文 | 1-15 | A | US 2018202264 A1 (RS ENERGY GROUP TOPCO, INC.) 2018年7月19日 (2018 - 07 - 19)<br>全文 | 1-15 | A | US 4378055 A (PHILLIPS PETROLEUM COMPANY) 1983年3月29日 (1983 - 03 - 29)<br>全文 | 1-15 |
| 类型*  | 引用文件, 必要时, 指明相关段落   | 相关的权利要求    |                                |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
| A  | CN 114910976 A (中国科学院西北生态环境资源研究院) 2022年8月16日 (2022 - 08 - 16)<br>说明书第[0043]-[0070]段 | 1-15       |                                |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
| A  | CN 111308577 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2020年6月19日 (2020 - 06 - 19)<br>全文                   | 1-15       |                                |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
| A  | CN 111338001 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2020年6月26日 (2020 - 06 - 26)<br>全文                   | 1-15       |                                |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
| A  | US 2018202264 A1 (RS ENERGY GROUP TOPCO, INC.) 2018年7月19日 (2018 - 07 - 19)<br>全文    | 1-15       |                                |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
| A  | US 4378055 A (PHILLIPS PETROLEUM COMPANY) 1983年3月29日 (1983 - 03 - 29)<br>全文         | 1-15       |                                |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
| 国际检索实际完成的日期  | 2023年6月6日   | 国际检索报告邮寄日期 | 2023年6月14日                     |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |
| ISA/CN的名称和邮寄地址   | 中国国家知识产权局<br>中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088   | 授权官员       | 董显彬<br>电话号码 (+86) 010-53961407 |                   |         |   |   |      |   |   |      |   |   |      |   |  |      |   |   |      |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/138085

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|------|------------|----|----------------|
| CN          | 114910976  | A  | 2022年8月16日     | 无    |            |    |                |
| CN          | 111308577  | A  | 2020年6月19日     | 无    |            |    |                |
| CN          | 111338001  | A  | 2020年6月26日     | 无    |            |    |                |
| US          | 2018202264 | A1 | 2018年7月19日     | WO   | 2017139271 | A2 | 2017年8月17日     |
|             |            |    |                | CA   | 3001146    | A1 | 2017年8月17日     |
|             |            |    |                | US   | 10260319   | B2 | 2019年4月16日     |
|             |            |    |                | EP   | 3414428    | A2 | 2018年12月19日    |
| US          | 4378055    | A  | 1983年3月29日     | 无    |            |    |                |