

# 中国地质调查局地质调查技术标准

DD2012—08

---

## 海洋天然气水合物地质勘查规范

中国地质调查局

---

2012年4月



# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 矿产勘查目的任务 .....	2
4.1 勘查阶段划分 .....	2
4.2 各勘查阶段目的任务 .....	2
5 矿产勘查工作 .....	2
5.1 勘查工作内容 .....	2
5.2 勘查工程控制及各阶段要求 .....	4
5.3 勘查工作程序及质量控制 .....	4
5.4 勘查技术方法 .....	5
5.5 勘查专业工作技术要求 .....	6
5.6 资料整理及报告编制 .....	11
6 可行性评价 .....	13
6.1 概略研究 .....	13
6.2 预可行性和可行性研究 .....	14
7 矿产资料/储量分类 .....	14
7.1 资源量分类 .....	14
7.2 资源量类型 .....	14
8 矿产资源量估算 .....	14
8.1 预测的资源量 .....	14
8.2 推断的资源量 .....	15
8.3 控制的资源量 .....	15
8.4 探明的资源量 .....	16
附录 A (资料性附录) 资源评价工作内容 .....	17
附录 B (资料性附录) 天然气水合物资源量计算“蒙特卡洛法”说明 .....	20
附录 C (资料性附录) 勘查报告编制内容 .....	26
参考文献 .....	29
图 B.1 随机变量的累积概率分布曲线 .....	21
图 B.2 局部地质单元资源量的概率分布曲线 .....	23

图 B.3 蒙特卡罗法计算水合物资源量计算流程图.....	23
图 B.4 计算水合物资源总量示意图 .....	24

## 前 言

本标准的附录A、附录B和附录C为资料性附录。

本标准由中国地质调查局提出。

本标准由国土资源部科技与国际合作司归口管理。

本标准起草单位：广州海洋地质调查局。

本标准起草人：黄永样、张光学、梁金强、周昌范、王宏斌、刘坚、陈道华、郑涛、张宝金、何水原、罗贤虎、张锦炜、龚跃华、郭依群、温明明、刘方兰。



# 海洋天然气水合物地质勘查规范

## 1 范围

本标准规定了海洋天然气水合物勘查目的任务、天然气水合物矿产勘查的工作内容及技术要求、矿产资源分类原则、资源量估算方法及资料整理及报告编制要求等。

本标准适用于海洋天然气水合物资源勘查工作。

## 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 12763.8—2007 海洋调查规范 第8部分：海洋地质地球物理调查

GB/T 12763.10—2007 海洋调查规范 第10部分：海底地形地貌调查

GB/T 12763.11—2007 海洋调查规范 第11部分：海洋工程地质调查

GB/T 13908—2002 固体矿产地质勘查规范总则

GB/T 17766—1999 固体矿产资源/储量分类

DZ/T 0130—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范

DZ/T 0247—2009 海洋区域地质调查规范（1：1 000 000）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**天然气水合物** gas hydrates

在低温高压条件下由水与天然气（主要为甲烷）形成的冰状固态物质。

### 3.2

**天然气水合物矿体** Gas hydrate body

一个独立的呈层状或不规则状含天然气水合物的沉积体或构造体。

### 3.3

**天然气水合物矿床** Gas hydrate deposit

由一个或多个矿体组成，在矿区内相对独立的天然气水合物矿体分布区。

### 3.4

**似海底反射界面(BSR)** bottom simulating reflector

地震剖面中与海底近似平行的、地震声波速度由高速变为低速时形成的波阻抗反射界面，简称为“BSR”。

## 4 矿产勘查目的任务

### 4.1 勘查阶段划分

鉴于天然气水合物在沉积层中以固态形式赋存，按GB/T 13908—2002《固体矿产地质勘查规范总则》，将天然气水合物资源勘查划分为预查、普查、详查和勘探四个阶段。

### 4.2 各勘查阶段目的任务

#### 4.2.1 预查

在具备天然气水合物成矿条件的海域，通过路线剖面或较稀测网的高分辨多道地震探测，并结合已有地质资料，圈出天然气水合物资源区域成矿远景区，并进行区域远景资源评价(参见附录A.1)。主要任务是：了解勘查区区域构造特征，初步划分和建立地震层序；初步了解天然气水合物稳定带厚度及其分布范围，圈出可供天然气水合物资源普查的远景区域；估算资源量。

#### 4.2.2 普查

对天然气水合物资源成矿远景区按一定测网进行地质、地球物理和地球化学勘查，结合已有资料，划分天然气水合物资源成矿有利区带，进行成矿区带资源评价(参见附录A.1)。主要任务是：初步查明勘查区构造特征，建立地层层序；初步查明勘查区海底地形特征，浅表层沉积物类型及其地球化学特征；初步查明与天然气水合物相关的地球物理、地质和地球化学异常分布特征及范围，圈定可供天然气水合物资源详查的成矿区带；估算资源量。

#### 4.2.3 详查

在详查区，开展加密测网的地质、地球化学和地球物理探测，局部开展三维高分辨率多道地震探测，优选出天然气水合物成矿区块和预探目标区，确定井位，实施天然气水合物资源的钻探验证，进行成矿区块资源评价(参见附录A.3)。主要任务是：查明天然气水合物含矿层的沉积物类型、含矿层年代、厚度、含矿率；初步查明天然气水合物矿床类型、矿体特征、矿体产状，确定天然气水合物资源勘探区；初步查明含矿层及外围沉积物工程力学特征；利用钻井获取天然气水合物资源量计算参数，计算资源量。

#### 4.2.4 勘查

针对天然气水合物勘探区，开展三维高分辨率多道地震探测，进行加密钻井取样，确定天然气水合物资源试采区，进行天然气水合物资源矿床评价(参见附录A.4)。主要任务是：查明天然气水合物矿床类型、矿体特征、矿体范围、资源量估算参数；查明含矿层及外围沉积物工程力学特征和环境特征；利用钻井样品的实验数据及测井数据等实测资料计算资源量。

## 5 矿产勘查工作

### 5.1 勘查工作内容

#### 5.1.1 地质研究

##### 5.1.1.1 勘查区地质构造研究

海底地质：调查研究海底地形地貌特征；调查海底自生碳酸盐岩的分布、海底双壳类及甲烷菌等生物种类分布。研究自生碳酸盐岩的矿物组成、碳氧同位素及形成年代特征；研究冷泉附近海底特殊生物



群落结构及其形成机理。查明浅表层沉积物类型、矿物及生物组分、物理性质及地球化学特征；研究沉积物孔隙水地球化学特征。

地层：建立地震地层层序，确立各层序的地质属性及年代；划分地震相及沉积相，研究其组合特征。研究水合物赋存地层古生物，建立地层层序及确立地层年代，探讨沉积环境演化规律；研究水合物赋存地层沉积层组合、沉积物组分、含微生物特征、地球化学和地球物理特征，探讨水合物成矿与沉积作用、水合物成矿与微生物活动关系，研究水合物成矿机理。

构造：查明断层性质、发育程度及分布；底辟、泥火山、滑塌体等地质异常体性质及分布。探讨地质构造作用与水合物成矿关系。

编制地质构造图。

#### 5.1.1.2 勘查区地球物理异常研究

通过高分辨多道地震数据处理资料及地震剖面揭示研究，识别与天然气水合物含矿层厚度和底界相关的空白带、似海底反射界面（BSR）、层速度异常及极性倒转等地球物理异常现象，推算含矿层厚度，根据“BSR”的信息推测天然气水合物的分布范围。

编制天然气水合物地球物理异常（BSR）分布图。

#### 5.1.1.3 勘查区地球化学异常研究

分析海底沉积物、沉积物孔隙水、及底层水的地球化学特征，分析各类地球化学异常与天然气水合物的关系，圈定异常分布范围。

编制天然气水合物地球化学异常分布图。

#### 5.1.1.4 矿体地质研究

矿体特征：根据钻探的岩心和钻孔测井资料，研究天然气水合物矿体空间分布范围、数量、规模、产状、矿层厚度、空间位置及形态、矿体间相互关系等。

天然气水合物“矿石”特征：研究其结构、构造、气体成分、含矿饱和度等特征。

编制天然气水合物矿体三维空间分布图。

#### 5.1.1.5 试采工程地质条件及海洋环境研究

开采地质环境条件研究包括：海水动力学性质研究；海底工程地质条件研究；含天然气水合物沉积层工程地质条件；外围沉积层工程地质条件研究。

地质环境条件研究的具体内容如下：

海水动力学性质研究——研究海流、海水内波对开采工程的影响。

海底工程地质环境研究——研究浅表层沉积物的类型、结构、物理力学性质、海底地貌特征、海底岩石特征。

含天然气水合物沉积层研究——研究含矿沉积物的类型、结构、构造、沉积物孔隙度、水饱和度、天然气水合物含矿度、含水合物沉积层物理力学性质；开展水合物沉积层产气过程流体力学研究及实验模拟研究。

外围沉积层工程地质条件研究：开展沉积物类型、结构、构造、沉积物孔隙度、水饱和度及物理力学性质等研究；开展沉积物与天然气水合物矿体的接触关系、沉积层内潜在的灾害地质因素（浅层气、滑坡、泥火山、古河道、活动断裂）等研究，并对开采工程地质条件及环境进行评价。

编制环境、工程地质评价图。

## 5.1.2 产气实验

5.1.2.1 对钻探获得的天然气水合物样品，应现场进行采气试验，测定天然气水合物含可燃气体的成分和单位体积天然气的含量，为计算天然气水合物控制和探明资源量提供数据。

5.1.2.2 利用钻探获得的沉积物和天然气水合物样品及相关数据参数资料，开展实验室模拟采气试验研究，获得天然气水合物开采的试验数据，提出开采模式，条件成熟时开展海上试采试验。

## 5.2 勘查工程控制及各阶段要求

### 5.2.1 工程间距确定原则

勘查工程地质、地球物理测网应根据勘查阶段采用规定的测网间距。各阶段的工程布置应考虑后续勘查工作的衔接。详查阶段钻探工程间距应以控制矿体边界为原则，验证矿体的含矿性。勘探阶段钻探工程间距应以查明矿体的范围和性质，探明资源量为原则。

### 5.2.2 工程间距各阶段要求

#### 5.2.2.1 预查

可利用已有的多道地震原始数据进行针对天然气水合物地球物理异常的重处理，并进行天然气水合物异常识别解释；进行高分辨率多道地震路线探测，也可进行测网间距大于 $8\text{km}\times 16\text{km}$ 的区域勘查。编制比例尺小于 $1:500\,000$ 地质构造图和天然气水合物地球物理异常分布图。

#### 5.2.2.2 普查

在天然气水合物成矿远景区开展地球物理、地质及地球化学调查。地球物理探测以高分辨率多道地震探测为主，重点区域开展多波束地形地貌调查和浅层剖面探测。高分辨率多道地震探测测网为： $8\text{km}\times 16\text{km}$ — $4\text{km}\times 8\text{km}$ ，并应同步进行水深探测。地质测站调查测网为 $16\text{km}\times 16\text{km}$ — $8\text{km}\times 8\text{km}$ ，调查项目应包括：浅层地质取样、海底视像探测、热流探测、海水温盐深及海流探测。编制比例尺 $1:500\,000$ — $1:250\,000$ 的地质构造图和天然气水合物地球物理异常分布图、地球化学异常分布图。

#### 5.2.2.3 详查

在天然气水合物有利成矿区带开展地球物理、地质及地球化学调查，实施钻探验证。地球物理以高分辨率多道地震探测为主，测网为： $2\text{km}\times 4\text{km}$ — $1\text{km}\times 2\text{km}$ ，并同步进行水深探测。地质测站测网为 $4\text{km}\times 4\text{km}$ — $1\text{km}\times 1\text{km}$ ，调查项目应包括：浅层地质取样、海底视像探测、海水温盐深及海流探测。海洋环境工程地质调查与测站调查同时进行。在有利成矿区块进行三维高分辨多道地震探测，选取目标区部署地质钻探工作。所有钻孔均应进行测井，对预测的水合物含矿层进行分层保压取心。每一目标区至少应有一个揭露地层较全的钻孔实施全取心，取全取准各类地质参数。编制比例尺为 $1:100\,000$ — $1:500\,000$ 的有利成矿区块（或钻探目标区）地质构造图、天然气水合物地球物理异常分布图、地质地球化学异常分布图及资源评价图。

#### 5.2.2.4 勘查

在勘探目标区，开展三维高分辨率多道地震探测，地质取样，实施加密网度的钻探评价。所有钻孔均应进行测井，对预测的水合物含矿层进行保压取芯。海洋环境及工程地质应另外安排工作量进行专门勘查。编制比例尺大于 $1:25\,000$ 的矿区地质构造图，天然气水合物矿体三维空间分布图，资源评价图，环境、工程地质评价图等图件。

### 5.3 勘查工作程序及质量控制

#### 5.3.1 勘查工作程序

天然气水合物资源勘查工作程序应包括：技术设计、海上勘查、室内数据处理及实验分析、资料解释整理及成果报告编制。

#### 5.3.2 勘查工作质量控制要求

##### 5.3.2.1 技术设计质量控制

项目承担单位接收任务后应编写技术设计和施工设计。项目主管部门及承担单位应组织专家分别对技术设计和施工设计进行审查，设计未经审查批准不得施工。

##### 5.3.2.2 海上勘查资料质量控制

海上勘查工作结束后，项目主管部门应组织专家对海上勘查资料进行验收，未经验收合格的资料不得使用。

##### 5.3.2.3 数据处理及实验分析质量控制

项目主管部门应组织专家对地球物理数据处理结果进行验收确认，合格后方可使用；实验分析结果按国家、行业相关技术标准的要求控制。

##### 5.3.2.4 资料解释整理质量控制

项目承担单位应组织项目组成员及专家对重要的解释成果进行讨论，确定和统一解释方案。项目组应妥善保管资料解释和整理的各类成果资料，根据数据库要求将相关数据录入数据库。

##### 5.3.2.5 成果报告质量控制

文字报告应按主管部门规定的格式编写，成果图件应采用通用的坐标系统和最新发布的国家高程基准点、使用统一的地理底图编制，编图比例尺应与勘查阶段要求一致。成果报告完成后应经同行专家初审、终审及主管部门复核，合格后归档。

### 5.4 勘查技术方法

#### 5.4.1 地球物理探测

主要包括：三维高分辨率多道地震探测、二维高分辨率多道地震探测、单道地震探测、浅层剖面探测、海底视像探测、热流探测、多波束测深。

#### 5.4.2 地质取样调查

主要包括：重力活塞柱状取样、重力柱状取样、拖网取样、电视抓斗取样、箱式取样、多管取样等。

#### 5.4.3 地球化学调查

主要包括：海底沉积物及天然气水合物矿物成分、化学成分、同位素地质实验分析；海底表层及海水烃类化学探测。

#### 5.4.4 海洋环境工程及地质调查

主要包括：海水温盐深（CTD）测量、表层沉积物及含矿层工程力学性质调查。

#### 5.4.5 钻探

包括钻井及测井。

### 5.5 勘查专业工作技术要求

#### 5.5.1 海上勘查

##### 5.5.1.1 导航定位

###### 5.5.1.1.1 一般要求

采用WGS-84坐标系，格林威治（GMT）儒略历时间；全球卫星定位系统（GPS）基准台平面位置精度应符合GPS的E级网站要求；定位信号和误差校正信号的作业距离应覆盖整个作业区域；水下定位满足作业的水深要求；海上勘查作业前应对定位仪器进行校检和试验。

###### 5.5.1.1.2 准确度要求

采用差分GPS定位，经24小时定点试验，GPS定位点95%以上准确度应优于3m；经校准后数字罗经精度应优于0.5°；尾标定位系统，定位误差应不大于5m；水下声学定位系统，其定位误差应小于作用距离的0.5%。

###### 5.5.1.1.3 海上作业要求

###### 5.5.1.1.3.1 作业质量要求

对定位数据的卫星几何图形强度因子、参与定位的卫星数量和卫星的仰角提出如下要求：

- a) 95%以上定位数据的卫星几何图形强度因子HDOP值应小于3；
- b) 卫星数应大于或等于4个；
- c) 卫星仰角应大于或等于10°。

###### 5.5.1.1.3.2 偏线要求

对定位点横向偏移距离及航向修正夹角要求规定如下：

- a) 炮点横向偏离设计测线的距离应不大于测线距的±20%，最大不得超过50m，其中80%的点位应小于20m，特殊情况（例如避障碍物）除外；
- b) 正常作业中，每分钟最大修正航向夹角应不大于10°；特殊情况（例如避障碍物）除外。

###### 5.5.1.1.3.3 测站偏离要求

测站偏离距离应小于调查测网间距的5%。

#### 5.5.1.2 海底地质取样

##### 5.5.1.2.1 重力活塞柱取样

普查阶段取样站位应不少于设计站位总数的15%，取样站位应充分结合地球物理和地球化学异常进行布设；详查阶段取样站位应不少于设计站位总数的20%，取样站位应充分结合地球物理异常进行布设，柱状样长度应不小于6m，取样站位各要素如实录入班报。

##### 5.5.1.2.2 保压柱状取样

应布设于发现冷泉或海底表层具有天然气水合物地质、地球化学异常的站位，取样站位数量应根据

现场勘查结果的需要确定，柱状样品达到保压效果、长度应不小于6m，对合格的柱状样应进行红外测温检测温度异常，取样站位各要素如实录入班报。

#### 5.5.1.2.3 重力柱状取样

普查阶段取样站位应不少于设计站位总数的50%，取样站位应充分结合地球物理和地球化学异常进行布设，详查和勘探阶段取样站位应不少于设计站位总数的75%，取样站位应充分结合地球物理异常进行布设，柱状样长度应不小于1m，取样站位各要素如实录入班报。

#### 5.5.1.2.4 多管取样

取样站位应重点布设在地质、地球化学及地球物理异常区，站位多管取样成功率应占总管数的50%视为合格，取样站位各要素如实录入班报。

#### 5.5.1.2.5 箱式取样

根据勘查需要分散均匀布设测站，样品不得搅动，样品长度应不小于20cm，保留插管样品数量根据实验分析需要确定，但不少于两管，取样站位各要素如实录入班报。

#### 5.5.1.2.6 电视抓斗取样

根据海底视像资料选择具有与天然气水合物形成和分解相关的生物、岩石和地球化学异常的测站布设，应以获得生物遗迹、碳酸盐结壳等与天然气水合物相关的样品为目标，原则上应在普查、详查和勘探阶段使用。获得的样品应满足实验测试需要，取样站位各要素如实录入班报。

#### 5.5.1.2.7 拖网取样

布置测站原则和取样技术要求同本规范的5.5.1.2.6。

#### 5.5.1.2.8 样品的现场描述与处理

如保压柱状取样岩心经红外测温检测发现存在低温异常，应将异常特征录入班报，并迅速对低温段岩心进行包装编录，在液氮罐中低温条件下保存。

其它样品的描述处理遵照DZ/T 0247—2009 海洋区域地质调查规范（1：1 000 000）中的5.3.3.4执行。

#### 5.5.1.3 海底地形地貌调查

遵照GB/T 12763.10—2007 海洋调查规范 第10部分：海底地形地貌调查中的 5.6.9执行。

#### 5.5.1.4 高分辨率多道地震探测

##### 5.5.1.4.1 探测设备基本要求

##### 5.5.1.4.1.1 记录系统（含数字包）

主要性能应达到：

- a) 24位A/D转换；
- b) 采样率小于或等于1ms；
- c) 动态范围大于112dB。

##### 5.5.1.4.1.2 接收系统

主要性能应达到：

- a) 电缆道距小于或等于 12.5m;
- b) 灵敏度大于或等于  $20\mu\text{ V}/\mu\text{ bar}$ ;
- c) 深度传感器精度误差小于 0.3m。

#### 5.5.1.4.1.3 震源系统

主要性能应达到:

- a) 控制器精度误差小于  $\pm 0.1\text{ms}$ ;
- b) 0~250Hz 滤波档时, 波泡比大于 20:1。

#### 5.5.1.4.2 海上作业技术要求

##### 5.5.1.4.2.1 海上试验

未进行高分辨率地震资料采集的工区, 采集前应进行震源、电缆组合试验。

##### 5.5.1.4.2.2 海上施工要求

主要要求如下:

- a) 噪音应小于  $0.5\text{Pa}$  ( $5\mu\text{ bar}$ ), 定深器所在道噪声应小于  $1.0\text{Pa}$  ( $10\mu\text{ bar}$ )。
- b) 电缆动态应符合下列各项要求:
  - 1) 各个定深器翼角应小于  $5^\circ$  ;
  - 2) 电缆羽角应小于  $13^\circ$  , 其中 80%应小于  $10^\circ$  ;
  - 3) 工作中不正常道应小于总道数的 2%, 且不应分布在近炮点道, 连续不正常道不得大于两道。
- c) 震源工作时应满足下列各项要求:
  - 1) 工作压力不低于额定压力的 95%;
  - 2) 气枪同步误差不超过  $\pm 0.5\text{ms}$ 。

##### 5.5.1.4.2.3 海上勘查

遵照GB/T 12763.8—2007 海洋调查规范 第8部分: 海洋地质地球物理调查中的第11.3条规定。

##### 5.5.1.5 浅层剖面探测

遵照GB/T 12763.10—2007 海洋调查规范 第10部分: 海底地形地貌调查中的第8章规定。

##### 5.5.1.6 单道地震探测

遵照GB/T 12763.10—2007 海洋调查规范 第10部分: 海底地形地貌调查中的第8章规定。

##### 5.5.1.7 海底视像探测

###### 5.5.1.7.1 作业要求

5.5.1.7.1.1 施放海底视像拖体时, 应距离海底 30m~50m 内打开海底视像照明, 启动甲板监控录像, 并做好班报记录。

5.5.1.7.1.2 施放海底视像拖体时的船速应控制在 2kn/h 以内以确保图像清晰连续。

5.5.1.7.1.3 当甲板视频中发现海底时, 应及时打开水下录像机进行同步录像, 并记录班报。

5.5.1.7.1.4 拖体离海底高度不大于 3m。

#### 5.5.1.7.2 质量要求

记录长度不得少于60min，且图像清晰。

#### 5.5.1.8 热流探测

##### 5.5.1.8.1 海底地温探测

###### 5.5.1.8.1.1 探针测量作业要求

使用探针测量海底沉积物温度时，应符合下列各项要求：

- a) 探针使用前应进行校准；
- b) 探测深度不小于 4m；
- c) 测温探针按不同角度、等间距安装；
- d) 仪器入水前、出水后，测温探针不得移动；
- e) 仪器入水后，离海底 50m~100m 时，停留时间不小于 3min，测温探针插入沉积物后，停留稳定时间不小于 7min。

###### 5.5.1.8.1.2 探测数据及深度要求

海底地温测量时，有效数据的探针个数应不少于3个、有效探测深度应不小于2m，探测值应进行校正。

##### 5.5.1.8.2 沉积物室内热导率测量

###### 5.5.1.8.2.1 测量样品要求

要求最小圆柱状样品应满足：直径30mm，长75mm。

###### 5.5.1.8.2.2 测量技术要求

测量技术应满足下列各项规定：

- a) 整个测量过程应保持温度稳定；
- b) 测量前的样品、探针温度与恒温箱的温度应一致；
- c) 测量次数应大于或等于 3，相邻两次测量的时间间隔应大于或等于 10min；
- d) 室内与现场测得的测量值应进行校正，精度应在±2%之间。

###### 5.5.1.8.2.3 测量精度要求

测量精度误差应小于或等于5%。

##### 5.5.1.8.3 海底热流原位测量

###### 5.5.1.8.3.1 作业要求

使用探针进行热流原位测量作业时，应符合下列各项要求：

- a) 测量深度应大于或等于 4m；
- b) 仪器入水后，离海底 50m~100m 时，停留时间大于或等于 3min，测温探针插入沉积物后，停留稳定时间大于或等于 22min。

###### 5.5.1.8.3.2 测量数据及精度要求

按 5.5.1.8.1.2 和 5.5.1.8.2.3 规定。

### 5.5.1.9 海洋环境及工程地质调查

#### 5.5.1.9.1 调查内容

下面列出的调查内容，大部分是各个勘查阶段进行天然气水合物资源勘查时应开展的工作，其中d)应特别注意工程地质方面的要求，全部调查内容包括：

- a) 查明海底地形地貌特征；
- b) 查明浅沉积层地质结构特征；
- c) 查明浊流沉积、滑坡、新构造、浅层高压水及气体活动等潜在地质灾害特征；
- d) 查明表层及浅层沉积物（钻探揭露部分）物理力学性质特征。

#### 5.5.1.9.2 调查技术要求

遵照GB/T 12763.11—2007 海洋调查规范 第11部分：海洋工程地质调查中的规定。

### 5.5.1.10 海洋温盐深（CTD）测量

测站应重点布设在天然气水合物异常分布区，海水分层取水层应以下层及近海底为主，取样时应避免污染，样品应进行烃类组分和溶解氧的现场分析。保留室内分析样品应密封低温保存。

## 5.5.2 实验分析

### 5.5.2.1 分析对象及分析项目

#### 5.5.2.1.1 分析对象

包括：沉积物、孔隙水、海水、天然气水合物及与天然气水合物分解相关的岩石、矿物及标志生物。

#### 5.5.2.1.2 分析项目

分析项目包括：

- a) 沉积物——涂片鉴定、碎屑矿物鉴定、粘土矿物鉴定、粒度分析、微体古生物鉴定、化学成分、顶空气的C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>烃类气体及碳同位素、物理力学性质分析；
- b) 孔隙水和海水——Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Sr<sup>2+</sup>、B<sup>5+</sup>、Ba<sup>2+</sup>、Br<sup>-</sup>、I<sup>-</sup>、营养盐、总碱度、烃类气体、同位素分析；
- c) 天然气水合物——物理性质、结构、化学成分及含矿率分析；
- d) 岩石矿物——结构构造分析、薄片鉴定、化学成分分析、同位素分析；
- e) 冷泉标志生物——大型生物鉴定、微生物鉴定。

#### 5.5.2.2 分析质量控制

5.5.2.2.1 承担样品测试的实验室应通过国家计量认证，对某些通过国家计量认证的实验室不具备分析测试条件的特殊分析项目，可送具备分析测试条件的国家或部门开放实验室或国外实验室分析。

5.5.2.2.2 实验分析质量控制执行DZ/T 0130—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范。

### 5.5.3 高分辨率多道地震资料处理

#### 5.5.3.1 资料准备

应准备的资料包括：验收合格的地震采集记录班报、地震采集数据带和导航定位资料。



### 5.5.3.2 资料处理流程和参数实验

#### 5.5.3.2.1 原则

选择处理流程应考虑：工区位置、施工条件、地质情况、原始资料质量、以往处理经验。采用保幅处理流程，突出“BSR”、振幅空白带、速度倒转和反极性反映天然气水合物特征。正式批量处理前应作参数试验，对试验项目应使用单一参数变化进行试验处理。

#### 5.5.3.2.2 试验

应包括：振幅补偿、震源子波反褶积或统计子波反褶积、叠前反褶积、叠加、偏移、显示，面元划分、叠前去噪、叠前/叠后频率补偿、切除、去多次波、叠前时间偏移等。

### 5.5.3.3 资料处理要求

根据试验处理结果合理选择处理流程，应特别注意以下项目：

- a) 子波整形和零相位化；
- b) 精细速度分析；
- c) 地震属性提取与分析；
- d) AVO 分析；
- e) 波阻抗反演；
- f) 相干体分析。

### 5.5.3.4 处理成果要求

#### 5.5.3.4.1 处理成果质量要求

成果质量要求：

- a) 应有高的信噪比、分辨率和保真度；
- b) 应合理突出有效反射波组特征和与天然气水合物相关的地质体；
- c) 偏移成果剖面应有效波归位合理、断点、断面清晰；
- d) 获得合适的速度资料。

#### 5.5.3.4.2 成果剖面显示要求

成果剖面应标明：用户名称、处理单位名称、工区名、测线名、剖面类型、测线方向、海上采集时间及参数、基本处理流程和主要处理参数、比例尺和绘制时间。

#### 5.5.3.4.3 提交成果要求

提交成果应包括：SEG-Y格式成果带、成果剖面、以文本格式记录的速度资料、处理报告。

## 5.6 资料整理及报告编制

### 5.6.1 资料整理

#### 5.6.1.1 资料种类

- 5.6.1.1.1 收集和实测的导航定位、地球物理、地质和地球化学资料。
- 5.6.1.1.2 地球物理处理资料及处理报告。
- 5.6.1.1.3 实验测试数据及报告。

### 5.6.1.2 导航定位资料整理

对导航定位资料进行检查，确保数据完整性和可靠性，根据项目要求生成各类图件。

### 5.6.1.3 地形地貌资料整理

遵照GB/T 12763.10—2007 海洋调查规范 第10部分：海底地形地貌调查中的规定。

### 5.6.1.4 地质资料整理

#### 5.6.1.4.1 高分辨率多道地震资料整理

5.6.1.4.1.1 解释并追踪地震反射界面，划分地震层序，确定地质属性。

5.6.1.4.1.2 分析速度谱，计算均方根速度、平均速度和层速度，建立时深转换模型，分析速度异常及其与天然气水合物的关系。

5.6.1.4.1.3 解释天然气水合物地震综合异常特征，识别天然气水合物存在的地球物理标志，确定其埋藏深度和分布范围，估算含天然气水合物层的厚度。

5.6.1.4.1.4 综合钻井和地震资料解释成果，进行沉积相分析，重点解释与天然气水合物相关的沉积体。

5.6.1.4.1.5 识别和分析与天然气水合物形成相关的构造体。

#### 5.6.1.4.2 浅层单道地震资料整理

按5.6.1.4.1.1、5.6.1.4.1.3、5.6.1.4.1.4、5.6.1.4.1.5规定。

#### 5.6.1.5 热流资料整理

计算平衡温度（环境温度）和地温梯度，推算海底沉积物原位热导率值，求取热流值。

#### 5.6.1.6 海底视像资料整理

应对各个测站的海底视频资料进行回放，截取天然气水合物异常标志物视像资料并进行解释、分析。

#### 5.6.1.7 沉积物资料整理

遵照DZ/T 0247—2009 海洋区域地质调查规范（1：1 000 000）的规定。

#### 5.6.1.8 烃类气体资料整理

分析烃类气体的成因类型及其空间分布特点，圈定与天然气水合物有关的烃类气体异常区。

#### 5.6.1.9 沉积物孔隙水资料整理

分析孔隙水地球化学特征与天然气水合物的关系，圈定孔隙水离子浓度异常区。

#### 5.6.1.10 岩石与生物标志资料整理

根据岩石和生物的特征，圈定岩石和生物标志的分布范围。

#### 5.6.1.11 钻探及测井资料整理

5.6.1.11.1 校正、编辑测井数据。

5.6.1.11.2 整理钻探记录与岩心资料。

5.6.1.11.3 根据测井参数定性识别含天然气水合物层段。

5.6.1.11.4 计算含天然气水合物层段物性参数。

## 5.6.2 勘查报告编制

### 5.6.2.1 报告编制基本准则

5.6.2.1.1 勘查报告按项目总体设计、年度任务分为阶段勘查报告、年度勘查报告（年度勘查报告可贯入勘查阶段名称和特别任务名称）和勘查总报告。阶段勘查报告在预查、普查、详查和勘探阶段结束后编写；年度勘查报告在年度任务结束后编写。勘查阶段报告是否编写可根据主管部门的要求安排，原则上，阶段勘查报告应系统总结该阶段各年度的成果进行编写，且应在勘查阶段任务全部结束后一年内完成。年度勘查报告应在年度工作任务结束后次年的6月份完成。如某一海域的勘查工作由预查到勘探是连续进行的，也可根据年度的任务性质，以年度报告代替勘查阶段报告。勘查项目总报告应待该海域全部勘查工作结束后综合全部勘查资料编写。

5.6.2.1.2 勘查报告的名称应统一如下：

a) 阶段勘查报告名称为：××海域天然气水合物资源××（勘查阶段名称）报告；

示例：沙海域天然气水合物资源普查报告

b) 年度勘查报告名称为：××海域天然气水合物资源××××（年度名称）××（主要技术专业名称）勘查报告；

示例：东沙海域天然气水合物资源2010—2011年度地球物理勘查报告

c) 勘查项目总报告名称为：××海域天然气水合物资源勘查总报告。

示例：南海北部海域天然气水合物资源勘查总报告

5.6.2.1.3 勘查报告的可行性评价视天然气水合物资源的商业开发实际选择，天然气水合物资源尚未实现商业开发阶段，除预查阶段可不进行可行性评价外，其余阶段宜进行概略研究。

5.6.2.1.4 勘查报告应包括文字报告和附图。

5.6.2.1.5 勘查报告应根据项目的任务书要求确定密级，并按相应的保密规定管理。

### 5.6.2.2 报告编制要求

5.6.2.2.1 外业勘查工作结束后，勘查单位上级主管部门应组织专家对海上采集的原始资料进行验收，验收合格的资料方可进行室内实验分析和数据处理。室内的实验分析结果和数据处理结果经验收合格后方可进行报告编写

5.6.2.2.2 报告编写应按照任务书或合同书、勘查设计和本规范规定的内容（见附录C）编写。编写前应提出编写提纲，并经勘查单位主管地质勘查的管理部门批准，按批准的提纲编写。

5.6.2.2.3 报告应以勘查获得的实际资料为基础，并充分利用勘查海区及周围地区内已有的资料。对勘查成果进行实事求是的论述，做到资料充分翔实，图、文、表结合论述有理有据，结论客观科学。

5.6.2.2.4 报告中使用的外业勘查、实验分析、数据处理、资料整理和报告编写过程中形成的及收集的所有资料应立卷保存，报告评审认定后一并归档。

5.6.2.2.5 勘查报告编写完成后，勘查单位应组织专家进行初审，未经初审的报告不得提交上一级主管部门评审。勘查报告经主管部门评审认定后，应将评审认定文件作为附件随成果报告归档。

## 6 可行性评价

### 6.1 概略研究

6.1.1 概略研究主要对天然气水合物矿床开发经济意义进行概略评价。依现在的条件，天然气水合物矿产资源属于未开发的矿产资源，各个勘查阶段所估算的资源量仅具内蕴经济意义。因此，现阶段勘查

仅进行概略研究。

6.1.2 概略研究是在收集国内外开发研究资料,并取得一定资源量的基础上,分析已取得的地质、地球物理和钻探等揭示的矿石、矿体等矿床资料,同时对矿区的自然地理、海洋环境和开采利用的技术条件和开采成本进行研究,为是否进行天然气水合物矿床的勘探和开发投资机会的确定提供一般性论证依据。

## 6.2 预可行性和可行性研究

在天然气水合物资源具备商业开采条件,并成为有商业价值的矿床时,详查和勘探阶段可分别进行预可行性研究和可行性研究。

## 7 矿产资源/储量分类

### 7.1 资源量分类

鉴于天然气水合物矿床目前尚未实现商业开发的特殊情形,矿产资源勘查各阶段所评价的资源量从经济意义角度尚属内蕴经济的资源量。遵照GB/T 17766—1999 固体矿产资源 储量分类中的第3.4条,并根据海洋天然气水合物勘查阶段的工程控制地质可靠程度,将天然气水合物资源分为:潜在矿产资源和查明矿产资源两大类。其中潜在矿产资源包括:预测资源量(预查阶段)和推断资源量(普查阶段);查明矿产资源包括:控制资源量(详查阶段)和探明资源量(勘探阶段)。

### 7.2 资源量类型

#### 7.2.1 潜在矿产资源

##### 7.2.1.1 预测的资料量

在预查阶段,通过收集资料和开展有限的高分辨多道地震探测,对成矿远景区的资源量进行估算,获得的资源量属潜在的预测资源量(334),其经济意义未确定。

##### 7.2.1.2 推断的资源量

在普查阶段的成矿区带内,利用地质、地球物理和地球化学资料对普查地段成矿区带的资源量进行估算,并进行概略研究,尚无法确定其经济意义的资源量(333)。

#### 7.2.2 查明矿产资源

##### 7.2.2.1 控制的资源量

详查阶段,在钻探目标成矿区块实施钻井验证,证实天然气水合物存在,对天然气水合物矿体达到控制程度,对成矿区块的资源量进行估算,并进行概略研究,尚无法确定其经济意义的资源量(332)。

##### 7.2.2.2 探明的资源量

在勘探目标区块内,经加密钻井控制,探明了天然气水合物矿体的产状、分布范围、含矿率等,对天然气水合物矿体达到探明程度,对矿体的资源量进行了计算,并进行概略研究,尚无法确定其经济意义的资源量(331)。

## 8 矿产资源量估算

### 8.1 预测的资源量

#### 8.1.1 计算方法

资源量计算采用蒙特卡罗法(附录B)，基本地质单元资源量按如下公式计算：

$$Q = A_H \times \Delta Z_H \times \phi \times H \times E \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $Q$  ——基本地质单元资源量 ( $m^3$ )；
- $A_H$  ——天然气水合物分布区的面积 ( $m^2$ )；
- $\Delta Z_H$  ——天然气水合物成矿带厚度 ( $m$ )；
- $\phi$  ——含天然气水合物沉积层孔隙度；
- $H$  ——孔隙中天然气水合物饱和度；
- $E$  ——产气因子。

#### 8.1.2 计算参数选取原则

资源量计算参数确定应按如下原则选定：

$A_H$  在预查阶段，主要根据水合物形成的温压条件，针对研究区的水深、海底温度及地热条件来预测水合物可能的分布区面积；

$\Delta Z_H$  在预查阶段，主要利用水合物形成的热平衡公式预测水合物稳定带和生成带的厚度；

$\phi$  利用地震速度计算获得；

$H$  利用地震速度计算或通过类比获得；

$E$  采用类比法获得。

### 8.2 推断的资源量

#### 8.2.1 计算方法

推断的资源量计算采用8.1.1的方法。

#### 8.2.2 计算参数选取原则

确定资源量计算参数应普查阶段勘查获得的资料：

$A_H$  在普查阶段，通过一定测网密度的地震调查，对地震资料进行充分解释的基础上来圈定BSR的分布范围，并参考速度异常、波形反转或振幅空白等，结合BSR的分布范围来确定水合物的分布面积；

$\Delta Z_H$  在普查阶段，通过一定测网密度的地震调查，利用振幅空白带确定含水合物层的厚度，或进一步通过地震资料的特殊处理，结合其他地震属性特征来确定其厚度；

$\phi$  利用地震速度计算获得；

$H$  利用地震速度计算或通过类比获得；

$E$  采用类比法获得。

确定资源量计算参数采用8.1.2原则。

### 8.3 控制的资源量

#### 8.3.1 计算方法

资源量计算采用8.1.1的方法。

#### 8.3.2 计算参数选取原则

确定资源量计算参数应采用详查阶段勘查获得的资料：

$A_H$  主要以地球物理异常分布为主，结合地质、地球化学异常分布综合圈定的成矿区块面积；

$\Delta Z_H$  主要通过钻井所确定的水合物矿层厚度或结合钻井约束反演地球物理异常所圈定的矿层厚度；

$\varphi$  利用钻井实测的沉积层孔隙度或通过钻井数据校正后的地震速度资料计算获得；

$H$  利用钻井实测的沉积层中水合物饱和度或通过地球物理资料有井约束反演计算获得；

$E$  通过对钻探岩心样品测试分析获得或通过有井控制区块的类比获得。

### 8.4 探明的资源量

#### 8.4.1 计算方法

资源量计算采用8.1.1的方法。

#### 8.4.2 计算参数选取原则

确定资源量计算参数应采用勘探阶段勘查获得的资料：

$A_H$  由钻井控制圈定的矿床面积，并结合钻井约束反演地球物理异常圈定的分布面积；

$\Delta Z_H$  主要通过钻井所确定的水合物矿层厚度，并结合钻井约束反演地球物理异常所圈定的矿层厚度；

$\varphi$  利用钻井实测的沉积层孔隙度；

$H$  利用钻井实测的含水合物沉积层中的饱和度；

$E$  通过对钻探岩心样品测试分析获得。

附 录 A  
(资料性附录)  
资源评价工作内容

## A.1 区域远景评价

### A.1.1 天然气水合物成矿条件分析

应分析下列各项内容：

- a) 造条件分析：对勘查区天然气水合物成矿构造条件进行分析，尤其注意新构造活动分析，圈定天然气水合物赋存的有利构造区；
- b) 沉积条件分析：对勘查区天然气水合物成矿沉积条件进行分析，圈定天然气水合物赋存的有利沉积区；
- c) 温度和压力条件分析：对勘查区天然气水合物成矿的热力学条件进行分析，圈定天然气水合物成矿稳定域分布区；
- d) 气源条件分析：确定烃类气体的成因类型，分析不同成因类型气体的来源和生气潜力。

### A.1.2 地震资料分析

确定 BSR及有利地震属性异常分布特征及范围。

### A.1.3 成矿远景区预测

综合天然气水合物成矿条件、地震异常和资源量计算结果，圈定成矿远景区。

## A.2 成矿区带评价

### A.2.1 天然气水合物成矿条件评价

#### A.2.1.1 气源条件评价

分析勘查区有机质丰度、生气母质类型、生气潜力、气体成因类型等指标，对天然气水合物成矿的气源条件进行综合评价。

#### A.2.1.2 温压条件评价

分析勘查区天然气水合物形成的温度及压力条件，预测稳定域分布区间。

#### A.2.1.3 储集条件评价

分析勘查区沉积物类型、厚度和空间分布特征，计算天然气水合物储集层段的沉积物物性参数及孔隙度。

#### A.2.1.4 运移条件评价

分析勘查区断裂、底辟、不整合面、滑塌体系等地质因素，从流体势、气体运移的通道和运移方式等方面对天然气水合物成藏气体运移条件进行评价。

## A.2.2 异常评价

异常评价应包括下列各项内容：

- a) BSR 分布评价；
- b) 地震属性异常信息，如声波速度、波阻抗、AVO、振幅、频率、相位、能量等特征评价；
- c) 海底表面异常信息（如冷泉、碳酸盐结壳、生物群落等）评价；
- d) 地球化学异常信息评价。

## A.2.3 成矿区带推断资源量计算

推断资源量计算采用采用本规范8.1.1的方法。

## A.2.4 成矿区带评价与优选

### A.2.4.1 成矿区带评价方法及要素

对勘查区带进行评价，评价依据主要包括：地质要素（构造特征、沉积条件、露头特征和温压条件等）、地球物理要素（BSR、空白带、速度异常特征、地震属性等异常信息）、地球化学要素（气态烃异常、孔隙水特征及自生矿物特征等）以及成矿区带要素（面积、成矿带的厚度以及资源量等）等。

### A.2.4.2 综合评价

通过对成矿区带的综合分析和排队，优选有利的详查区带，提出进一步的勘查建议。

## A.3 成矿区块评价

### A.3.1 成矿区块成矿条件评价

按A.2.1的规定。

### A.3.2 异常评价

按A.2.2的规定。

### A.3.3 控制资源量计算

资源量计算采用采用本规范8.1.1的方法。

### A.3.4 成矿区块优选

#### A.3.4.1 成矿区块分类

根据目标评价结果，对成矿区块按如下各项标准分成三类：

- a) I类区块：天然气水合物成矿条件好，天然气水合物存在证据可靠程度高，成矿区块规模大；
- b) II类区块：天然气水合物成矿条件中等，天然气水合物存在证据可靠程度中等，成矿区块规模中等；
- c) III类区块：天然气水合物成矿条件差，天然气水合物存在证据可靠程度低，成矿区块规模小。

#### A.3.4.2 成矿区块预探井位优选

成矿区块的钻探，目的是对天然气水合物矿的存在进行验证，选准预探井位是验证成功的关键，在优选预探井位时应遵循下列各项原则：



- a) 天然气水合物存在的证据可靠;
- b) 成矿条件良好;
- c) 成矿区块规模较大;
- d) 含天然气水合物层厚度大;
- e) 成矿区块水深及工程地质条件满足钻探技术要求。

#### A. 3. 4. 3 预探井位部署

根据成矿区块综合评价结果, 选择可供钻探的最有利部位, 提出预探井位的部署建议, 预测井位参数。

#### A. 3. 4. 4 综合评价

通过对成矿区块的钻探验证和综合分析和排队, 优选有利的勘探区块, 提出进一步勘探建议。

### A. 4 天然气水合物矿体评价

#### A. 4. 1 成矿条件评价

按A.1.2.1规定。

#### A. 4. 2 异常评价

按A.1.2.2规定。

#### A. 4. 3 矿床(体)描述

通过对三维高分辨多道地震资料及钻探资料的综合分析, 确定天然气水合物矿体的结构、类型及空间分布形态。

#### A. 4. 4 探明资源量计算

资源量计算采用采用本规范8.1.1的方法。

#### A. 4. 5 综合评价

通过对矿体的钻探研究和综合分析和排队, 优选有利的矿体, 提出开采建议。

## 附录 B

(资料性附录)

### 天然气水合物资源量计算“蒙特卡洛法”说明

#### B.1 基本原理

蒙特卡罗法 (Monte—Carlo) 是一种常用算法, 目前这种算法在各种工程技术中已得到广泛的应用, 其现代含义是利用各种不同随机变量的抽样系列模拟给定问题的概率统计模型, 给出问题数值解的渐近统计估算值。简要地说蒙特卡罗法是应用随机数技术进行模拟计算方法的统称, 它不是油气或水合物资源定量评价的特有方法。蒙特卡罗法应用于油气资源评价开始于20世纪70年代, 它是1975年第二次全美油气资源评价的主要算法。目前世界上各主要产油国及西方各大石油公司都把这一算法作为石油资源量评价的重要方法, 广泛应用于含油气地区勘探早、中期勘探阶段。

任何含水合物区中一个局部含水合物单元的资源量的数学计算模型都可以归结为 $n$ 个地质参数或经验系数的连乘。即:

$$Q_j = \prod_{i=1}^n X_{ji}(j=1,2,\dots,m)(i=1,2,\dots,n) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$Q_j$  ——含水合物区中第 $j$ 个局部地质单元的水合物资源量;

$X_{ji}$  ——第 $j$ 个局部地质单元中第 $i$ 个地质参数或经验系数。

对一个含水合物区总的资源量的计算公式可表达为 $m$ 个局部地质单元水合物资源量的累加, 即:

$$Q = \sum_{j=1}^m Q_j = \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n X_{ji}(j=1,2,\dots,m)(i=1,2,\dots,n) \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

本公式中所有变量同公式 (B.1)。

上述两式中的 $X_{ji}$ 可以是具有统计性质的随机变量, 也可以是常数或经验系数。如果是随机变量则要在水合物资源量计算之前进行预处理。

#### B.2 计算过程

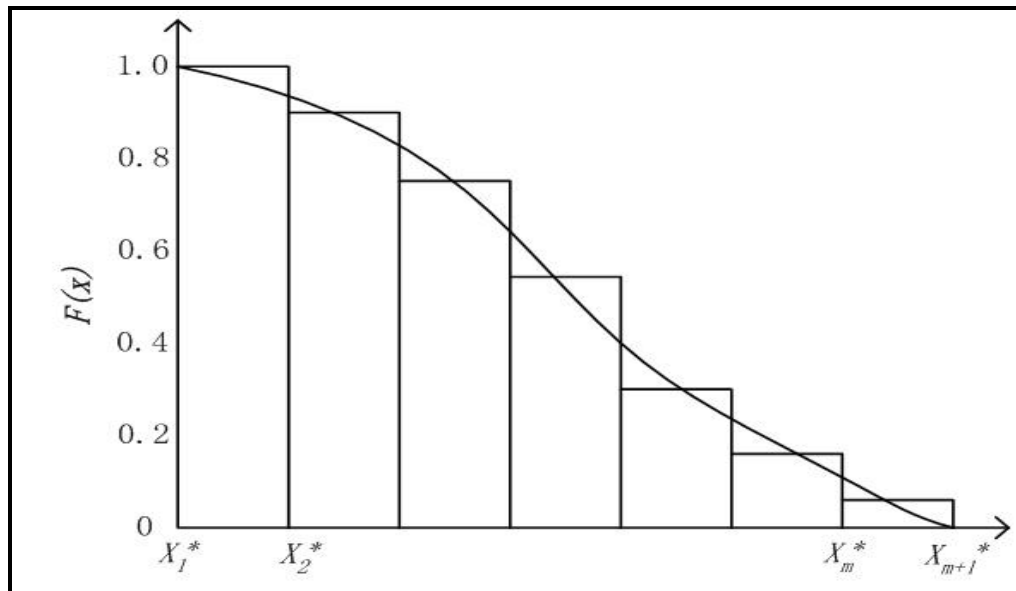
##### B.2.1 构建随机变量的函数

计算水合物资源量之前, 首先要构造出计算公式中的每个随机变量中的分布函数, 一个参数的概率分布函数, 直至各个参数都有自己的概率分布函数。由于早期勘探阶段地质资料的数据较少, 所以在构造随机变量的分布函数时要根据数量的容量采用不同的方式处理。

##### B.2.1.1 频率统计法构建经验分布函数

原始数据量较大 (大子样) 时, 可用频率统计法构造随机变量的分布函数, 因为这样构造出来的分布函数是来自实际资料, 可靠性高, 不受理论上一些分布函数概型的约束。用频率统计法构造出来的分布函数称经验分布函数。具体做法如下:

假设某参数的观察值为 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。据此制作该参数的累积频率分布图，落在横坐标区间 $[X_i^*, X_{i+1}^*]$ 上的观察值有 $n_i$ 个 ( $i=1, 2, \dots, m$ )，则该区间的纵坐标值为 $n_i/n$ ，(其中 $n=\sum_{i=1}^m n_i$ )，显然这是非累积频率分布图；如果将纵坐标值改为 $\sum_{k=1}^m n_k/n$ ，则得到累积频率分布图，为一条锯齿状的累积概率分布曲线(图B.1)。



图B.1 随机变量的累积概率分布曲线

B.2.1.2 按已知的分布概型(或假设的分布概型)构造分布函数

在勘探程度较低的地区，原始数据数量较少，但知道随机变量的分布概型时，可用标准概型公式构造随机变量的分布函数；在不知道其分布概型时，可利用假设的概型公式构造随机变量的分布函数。许多地质参数的统计结果表明，他们多数情况下是正态分布函数，因此，可对这些原始数据构造正态分布函数。在这里我们采用如下的对数分布：

$$p(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[\ln(x) - \mu]^2}{2\sigma^2} \right\} \dots \dots \dots (B.3)$$

式中：

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \dots \dots \dots (B.4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n |\ln(x_i) - \mu| \dots \dots \dots (B.5)$$

若已知某参数的概率密度函数 $p(x)$ ，在计算时可利用积分形式将概率密度值化为概率分布函数 $F(x)$ 值，即：

$$F(x) = \int p(x) dx \dots \dots \dots (B.6)$$

### B.2.2 随机数 ( $\gamma_k$ ) 的生成

生成合乎要求的随机数—蒙特卡罗法的技术关键，其要求是：

- a) 随机数序列具有均匀总体简单子样的一些概率统计性质，如分布的均匀性、抽样的随机性、试验的独立性、前后的一致性等等；
- b) 产生的随机数序列要有足够长的周期，以满足模拟问题的需要；
- c) 产生随机数的速度要快，占用计算机的内存要少。用蒙特卡罗法模拟实际问题时，均匀分布随机数是最简单的而且是基本的一种。目前认为比较理想的方法是采用混合同余法生成  $[0, 1]$  区间上的均匀分布的伪随机数，递推公式如下：

$$\gamma_k = X_k / M \dots\dots\dots (B.7)$$

$$X_{k+1} = \alpha X_k + \beta \pmod{M} (k = 1, 2, \dots) \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

- $X_k$  ——第  $k$  个伪随机数；
- $X_{k+1}$  ——第  $k+1$  个伪随机数；
- $\alpha$  ——乘子系数；
- $\beta$  ——增量；
- $\pmod{M}$  ——按模式  $M$  的取余运算；
- $\gamma_k$  ——  $[0, 1]$  区间上的第  $k$  个伪随机数。

### B.2.3 求对应于伪随机数 ( $\gamma_k$ ) 的参数 $X_k$

根据伪随机数计算公式求解  $\gamma_k$ ，在参数的概率分布函数图上求出对应的参数值  $X_k$ 。由于  $F(x)$  曲线是以离散点的形式存放在计算机中，所以  $\gamma_k$  落在纵坐标轴上某两个离散点之间，所求取的  $X_k$  落在横坐标轴上对应的两个点之间，可用线性插值求出  $X_k$ 。一个参数确定了，再确定第二个参数，直至所有参数都确定为止。

### B.3 求含水合物地质单元的资源量

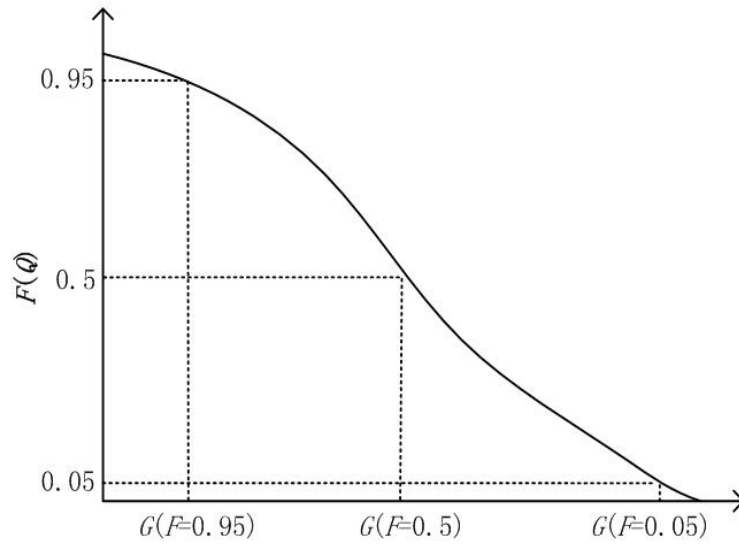
假设在某个局部含天然气水合物地质单元中，水合物资源量计算公式中有  $n$  个地质参数， $n$  个参数中有  $t$  个随机变量，余下的  $(n-1)$  个是常数或经验系数，则该地质单元中的水合物资源量  $Q$  为：

$$Q = \prod_{i=1}^n X_i = \prod_{i=1}^t X_i \cdot \prod_{i=t+1}^n X_i = K \cdot \prod_{i=1}^t X_i (i = 1, 2, \dots, t) \dots\dots\dots (B.9)$$

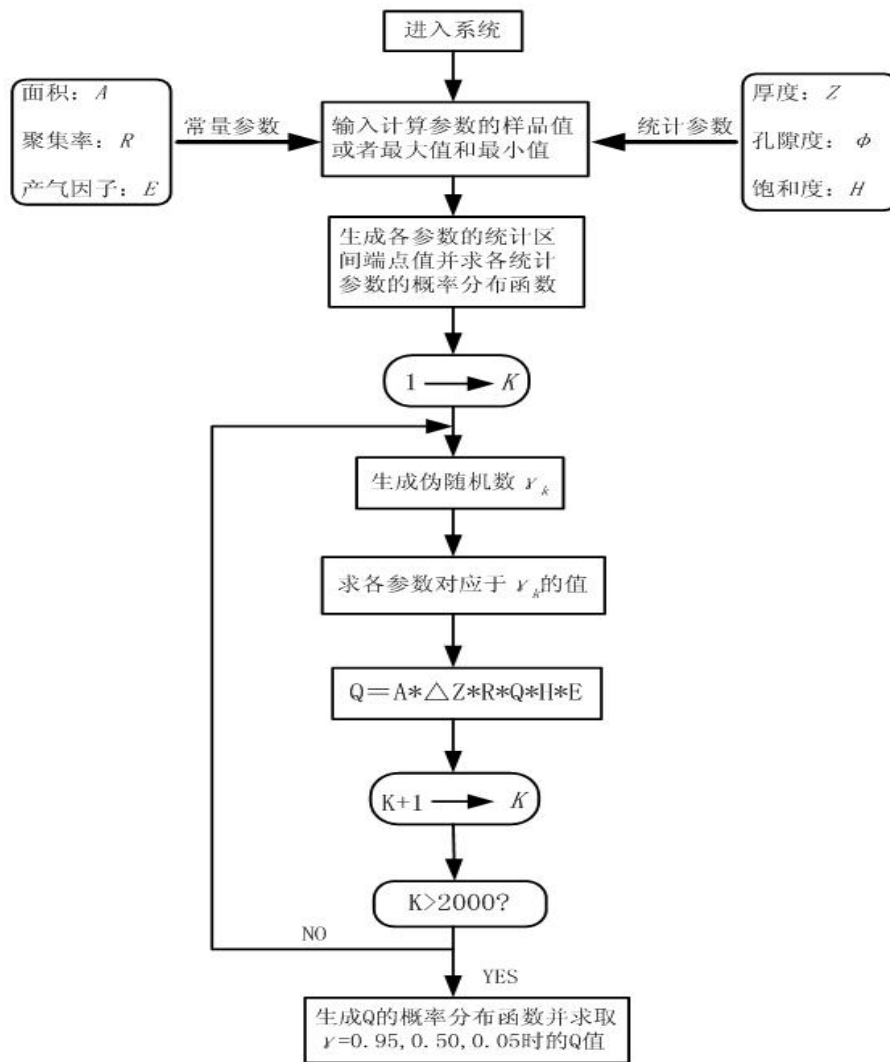
式中：

$K$  ——  $(n-t)$  个常数或经验系数的连乘积，是一个参数。

根据所求出的各参数值代入资源量计算公式，可得到对应于伪随机数  $\gamma_k$  的资源量  $Q_k$ 。生成的伪随机数个数，也就是抽样的次数。抽样的次数在理论上越大越好，但没必要无限大，只要由  $\gamma_k$  和  $Q_k$  ( $k=1, 2, \dots$ ) 组成的资源量概率分布函数的曲线达到稳定为止。一般地说，当统计区间数为 100 时，抽样次数可选为 500~5000 次。将每次抽样的  $\gamma_k$  和  $Q_k$  画在图上，最终得到局部含水合物地质单元的资源量的概率分布函数 (图 B.2)。计算流程见图 B.3。



图B.2 局部地质单元资源量的概率分布曲线



图B.3 蒙特卡罗法计算水合物资源量计算流程图

#### B.4 计算某个研究区天然气水合物的总资源量

某个研究区一般指较大范围的水合物勘探区,其资源量由若干个局部含水合物地质单元的资源量构成,所以其水合物资源量可能需要多级累加才能求出。为了简化起见,以下仅以局部含水合物地质单元资源量一次求和最为研究区的水合物资源总量。

研究区的水合物资源总量 ( $Q$ ) 的计算可表达为  $m$  个局部含水合物地质单元的资源量的累加, 即:

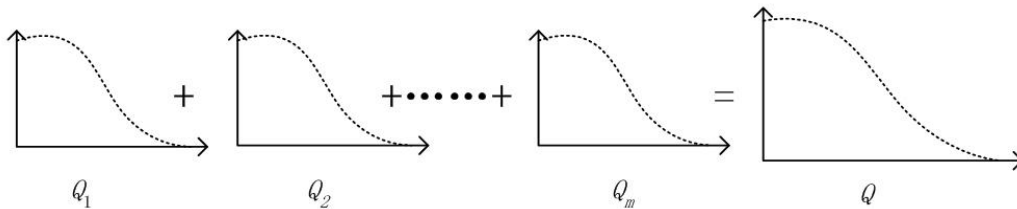
$$Q = \sum_{j=1}^m Q_j = \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m X_{ji}(j=1,2,\dots,m)(i=1,2,\dots,n) \dots\dots\dots (B.10)$$

式中:

$Q$  ——研究区水合物的总资源量;

$Q_j$  ——研究区中第  $j$  个局部含水合物地质单元的水合物资源量;

$X_{ji}$  ——第  $j$  个局部含水合物地质单元的第  $i$  个地质参数。可简化为如下简单图式 (图B.4)。



图B.4 计算水合物资源总量示意图

计算研究区水合物资源量的关键是如何实现局部含水合物单元的水合物资源量分布函数之间的加法运算。在进行计算之前,首先要求出研究区资源总量  $Q$  出现的最大可能范围  $Q_L$ , 算式如下:

$$Q_{\max} = \sum_{j=1}^m Q_{j\max}(j=1,2,\dots,m) \dots\dots\dots (B.11)$$

$$Q_{\min} = \sum_{j=1}^m Q_{j\min}(j=1,2,\dots,m) \dots\dots\dots (B.12)$$

$$Q_L = Q_{\max} - Q_{\min} \dots\dots\dots (B.13)$$

随后再把  $Q_L$  分为若干区间,以  $[0, 1]$  区间均匀分布随机数作为每个局部含水合物地质单元资源量  $Q_j$  的分布函数  $F(q_j)$  的概率入口值,用插值法求出水合物资源量  $Q_j$  的出口值。如果研究区中有  $m$  个含水合物地质单元,则累加  $m$  个出口值,而得到研究区水合物资源总量的一个随机期望值。如此反复  $g$  次,得到  $g$  个随机期望值。最后以频率统计法就可求出研究区水合物总资源量  $Q$  的概率分布函数  $F(q_j)$ 。

附 录 C  
(资料性附录)  
勘查报告编制内容

C.1 预查阶段报告

C.1.1 前言

C.1.1.1 任务来源;

C.1.1.2 勘查区概况;

C.1.1.3 任务完成情况。

C.1.2 海上勘查工作及质量情况

C.1.2.1 勘查测网布设情况;

C.1.2.2 勘查船及勘查设备;

C.1.2.3 外业勘查质量评价。

C.1.3 地球物理资料处理及实验分析

C.1.3.1 原始资料的质量评价;

C.1.3.2 资料处理流程、参数及处理质量评述;

C.1.3.3 实验分析内容、质量评述。

C.1.4 地震资料解释

C.1.4.1 地震地层划分;

C.1.4.2 地震速度分析;

C.1.4.3 沉积及构造特征分析。

C.1.5 天然气水合物地震综合异常解释

C.1.5.1 天然气水合物地震异常特征;

C.1.5.2 天然气水合物地震异常分布。

C.1.6 天然气水合物资源评价:

C.1.6.1 天然气水合物形成的地质构造、温压场及气源等成藏条件讨论;

C.1.6.2 天然气水合物资源远景评价。

C.1.7 结论、存在问题和今后工作建议:

C.1.7.1 主要成果;

C.1.7.2 存在问题;

C.1.7.3 下一步工作建议。

## C.2 普查阶段报告

### C.2.1 前言

- C.2.1.1 任务来源;
- C.2.1.2 勘查区概况;
- C.2.1.3 任务完成情况。

### C.2.2 海上勘查工作及质量情况

- C.2.2.1 勘查测网布设情况;
- C.2.2.2 勘查船及勘查设备;
- C.2.2.3 外业勘查质量评价。

### C.2.3 地球物理资料处理及实验分析

- C.2.3.1 原始资料的质量评价;
- C.2.3.2 资料处理流程、参数及处理质量评述;
- C.2.3.3 实验分析内容、质量评述。

### C.2.4 地震资料解释

- C.2.4.1 地震地层划分;
- C.2.4.2 地震速度分析;
- C.2.4.3 沉积及构造特征分析。

### C.2.5 天然气水合物地震综合异常解释:

- C.2.5.1 天然气水合物地震异常特征;
- C.2.5.2 天然气水合物地震异常分布。

### C.2.6 海底地形地貌及表层影像特征

- C.2.6.1 海底地形地貌特征;
- C.2.6.2 海底影像特征。

### C.2.7 海底浅表层沉积物特征

- C.2.7.1 浅表层沉积物矿物组成特征;
- C.2.7.2 浅表层沉积物粒度特征;
- C.2.7.3 浅表层沉积物地球化学等特征;
- C.2.7.4 表层沉积物年代及沉积环境特征。

### C.2.8 沉积物气态烃化学特征

- C.2.8.1 气态烃异常分布及气体组分;
- C.2.8.2 气态烃异常成因分析。

### C.2.9 沉积物孔隙水特征

- C.2.9.1 沉积物孔隙水的组成特征;



- C. 2. 9. 2 沉积物孔隙水浓度异常分布特征;
- C. 2. 9. 3 同位素组成特征。
- C. 2. 10 预探井位优选
- C. 2. 11 钻探岩心分析
- C. 2. 12 测井资料分析及地震资料对比
- C. 2. 13 天然气水合物矿产特征
- C. 2. 14 海洋环境及工程地质特征
- C. 2. 15 天然气水合物资源评价
  - C. 2. 15. 1 资源量估算;
  - C. 2. 15. 2 天然气水合物资源评价。
- C. 2. 16 经济技术评价(概略研究)
- C. 2. 17 结论、存在问题和今后工作建议
  - C. 2. 17. 1 主要成果;
  - C. 2. 17. 2 存在问题;
  - C. 2. 17. 3 下一步工作建议。

### C. 3 详查阶段报告

详查阶段报告的主要内容及编写顺序参照C.2。

### C. 4 勘探阶段报告

勘探阶段报告的主要内容参照C.2外,应详细描述天然气水合物矿体特征和空间赋存状态。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 15908—2002 固体矿产地质勘查规范总则。
  - [2] GB/T 12765.7—2007 海洋调查规范 第7部分：海洋调查资料交换。
  - [3] GB/T 1.1—2009 标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写。
  - [4] DZ/T 0179—1997 地质图用色标准及用色原则（1：50000）。
  - [5] DZ/T0180—1997 石油、天然气地震勘探技术规范。
  - [6] DZ/T 0055—2002 固体矿产勘查/矿山闭坑地质报告编写规范。
  - [7] 天然气水合物资源概论，金庆焕，张光学，杨木壮等，2006，科学出版社。
  - [8] 我国海域天然气水合物地质—地球物理特征及前景，黄永祥，张光学等，2009，地质出版社。
-