



中华人民共和国国家标准

GB/T 39541—2020

页岩气藏描述技术规范

Specification of shale gas reservoir description

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 页岩气藏描述程序 1

 3.1 描述程序划分 1

 3.2 资料收集与整理 1

 3.3 气藏特征描述 2

 3.4 气藏地质建模 2

 3.5 储量计算及开发目标优选 2

4 页岩气藏描述内容 2

 4.1 描述尺度与精度要求 2

 4.2 地层与沉积描述 2

 4.3 构造特征描述 3

 4.4 保存条件描述 4

 4.5 页岩有机地球化学描述 4

 4.6 页岩储层描述 4

 4.7 含气性描述 7

 4.8 可压裂性描述 7

 4.9 地应力描述 9

 4.10 气藏类型描述 9

 4.11 气藏地质建模 10

 4.12 储量计算与气藏综合评价 10

5 页岩气藏描述报告 11

 5.1 报告内容 11

 5.2 附图 11

 5.3 附表 11

附录 A（资料性附录） 页岩气藏描述流程 12

附录 B（资料性附录） 页岩气藏描述尺度与精度要求 13

附录 C（资料性附录） 页岩储集空间分级分类 14

附录 D（资料性附录） 页岩储层分类评价指标 15

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国天然气标准化技术委员会(SAC/TC 244)提出并归口。

本标准起草单位:中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院、中国石油天然气股份有限公司西南油气田公司、中国石油化工股份有限公司江汉油田分公司、中国石油化工股份有限公司西南油气分公司、中国石油化工股份有限公司华东油气分公司、中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院、中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司。

本标准主要起草人:彭勇民、龙胜祥、胡宗全、杨洪志、舒志国、郭战峰、王振兴、唐建信、何希鹏、刘洪林、熊亮、郭伟、刘灵童、陆亚秋、孟志勇、边瑞康、张鉴。



页岩气藏描述技术规范

1 范围

本标准规定了页岩气藏描述的程序、内容和报告。
本标准适用于页岩气的评价阶段、先导试验阶段、产能建设与生产阶段的页岩气藏描述。

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 26979 天然气藏分类
- DZ/T 0254 页岩气资源量和储量估算规范
- SY/T 5615 石油天然气地质编图规范及图式
- SY/T 6110 气藏描述方法
- SY/T 6161 天然气测井资料处理及解释规范

3 页岩气藏描述程序

3.1 描述程序划分

不同阶段的页岩气藏描述按照资料收集与整理、气藏特征描述、气藏地质建模、储量计算及开发目标优选等程序进行(参见附录 A)。

3.2 资料收集与整理

- 收集页岩气藏描述所需要的静态、动态等基础资料，进行资料整理。基础资料包括但不限于：
- 自然、地理与环境资料；
 - 区域地质背景资料；
 - 地震资料；
 - 录井资料；
 - 测井资料；
 - 岩心描述与实验测试资料；
 - 流体(油、气、水)分析化验资料；
 - 现场解吸资料及等温吸附实验资料；
 - 钻井、完井、固井及增产改造等资料；
 - 原始地层压力资料；
 - 试气、测试资料；
 - 排采及试采资料；
 - 产气剖面资料；
 - 微地震监测资料；
 - 生产动态资料。

3.3 气藏特征描述

气藏特征描述包括地层与沉积描述、构造特征描述、保存条件描述、页岩有机地球化学描述、页岩储层描述、含气性描述、可压裂性描述、地应力描述、气藏类型描述。

3.4 气藏地质建模

气藏地质建模包括岩石相模型、构造模型、人工压裂裂缝模型、属性模型(即总有机碳、孔隙度、渗透率、脆性矿物指数、含气量等属性模型)的建立。

3.5 储量计算及开发目标优选

根据页岩气藏描述与气藏地质建模的成果,开展地质储量、可采储量的计算与评价;结合页岩储层分类评价、储量计算结果、动态跟踪与钻井评价效果,评价优选有利的开发目标,指导井位部署。

4 页岩气藏描述内容

4.1 描述尺度与精度要求

根据页岩气的评价阶段、先导试验阶段、产能建设与生产阶段,以及各阶段任务与获得资料丰富程度的不同,页岩气藏描述的重点内容、方法(尤其是少井条件下的技术)、尺度和精度参照附录 B 进行。

4.2 地层与沉积描述

4.2.1 地层层序特征

4.2.1.1 根据地层接触关系、标志层,页岩层系可划分为组、段或亚段单元;按组、段或亚段单元描述内容包括层位、深度、岩性、厚度、接触关系,以及含气性、测井电性、地震响应特征等,并绘制地层综合柱状图。

4.2.1.2 在传统地层划分基础上,识别三级层序地层界面,将页岩层系划分为不同类型的三级层序;根据层序内的关键界面(如最大海泛面或最大湖泛面等)及准层序组类型,划分出不同类型的体系域;根据高级别沉积旋回、测井相,划分出不同类型的准层序。并描述层序、体系域、准层序特征。

4.2.1.3 依据传统地层划分、层序地层划分的结果,开展小层划分与对比。根据高级别沉积旋回与准层序的顶底界面的一致性关系,结合岩性组合、生物、电性、含气性特征,将段或亚段单元细分为小层;根据标志层、辅助标志层,开展小层对比,建立小层划分方案。并描述小层的厚度、岩性、生物化石、电性、含气性特征。

4.2.2 岩石相特征

4.2.2.1 受准层序界面或小层界面的约束,段或亚段根据岩性组合、硅质、有机质特性这 3 大关键标志进一步细分为不同类型的岩石相。

4.2.2.2 岩性组合按主要的岩石类型进行分类,分别为硅质页岩、笔石页岩、页岩、灰质页岩、含粉砂质页岩、粉砂质页岩、泥质粉砂岩、泥质灰岩或泥质白云岩等类型。

4.2.2.3 岩石相基本类型按岩性组合确定,分别为页岩岩石相、灰质页岩岩石相、含粉砂质页岩岩石相、粉砂质页岩岩石相、泥质粉砂岩岩石相、泥质灰岩或泥质白云岩岩石相等类型。

4.2.2.4 在明确岩石相基本类型后,进一步细分岩石相,并以“碳质+硅质+岩性组合”进行分级、分类和命名(见表 1)。硅质以 SiO_2 含量 30%、40% 为界线分为三级,将 $<30\%$ 的称为低硅,介于 $30\% \sim <40\%$ 的称为中硅, $\geq 40\%$ 的称为高硅;同样,碳质以有机质含量(TOC)1%、2%、4% 为界线分为 4 级,将 $<1\%$ 的

称为含碳,介于1%~<2%的称为中碳,介于2%~<4%的称为高碳,≥4%的称为富碳。

4.2.2.5 依据“标志层对比、旋回分级控制”方法,或者在层序年代框架内根据最大海泛面或最大湖泛面,进行岩石相对比。

4.2.2.6 在岩石相划分与对比的基础上,描述岩石相的类型、特征和分布,明确有利岩石相。

表 1 岩石相分级分类(以页岩岩石相基本类型进行细分) %

碳质		富碳 ≥4	高碳 2~<4	中碳 1~<2	含碳 <1
硅质	高硅:≥40	富碳高硅页岩相	高碳高硅页岩相	中碳高硅页岩相	含碳高硅页岩相
	中硅:30~<40	富碳中硅页岩相	高碳中硅页岩相	中碳中硅页岩相	含碳中硅页岩相
	低硅:<30	富碳低硅页岩相	高碳低硅页岩相	中碳低硅页岩相	含碳低硅页岩相

4.2.3 沉积特征

4.2.3.1 依据颜色、成分、结构、沉积构造、化石等资料,描述沉积特征。

4.2.3.2 根据需要,按页岩层段或亚段、小层进行沉积相、沉积亚相、沉积微相的分析,描述沉积相的类型、成因、分布规律。

4.3 构造特征描述

4.3.1 层位标定

确定反射标准层,在钻井分层和标志层资料控制下,依据地震剖面的反射特征,完成合成地震记录。对目的层相对应的地震波组进行对比,确定地震地质层位。对地震地质层位进行构造解释,编制主要目的层构造图。

4.3.2 构造形态描述

4.3.2.1 描述页岩气藏所处的区域构造格局、盆地类型与性质、二级构造单元特征。

4.3.2.2 对二维、三维地震资料进行层位追踪和解释,根据资料与实际矿权情况描述二级构造单元内的局部构造的名称、性质和特征。

4.3.3 断层描述

4.3.3.1 利用地质、测井和地震资料,针对页岩气藏开展断层的类型、组系、平面分布、数量及其组合关系,主要断层的产状、性质、断距、延伸长度,以及断层起始与消失部位的地层、两盘对接地层和岩性、断层开启与封闭性等描述。

4.3.3.2 针对复杂构造区突出断裂分级分类和封闭性描述,加强页岩气开发区三级、四级小尺度断层的地震解释与分布预测。按照开发区的四级(断距<30 m)、三级(断距≥30 m~<50 m)、二级(断距≥50 m~<100 m)、一级(断距≥100 m)小尺度断层分级标准,分级分类描述开发区断层分布特征。

4.3.4 构造分布描述

4.3.4.1 描述页岩气藏的埋深特征、分布范围、变化规律。

4.3.4.2 根据地质、测井和地震资料,提交页岩层段主断层剖面图、构造图。

4.4 保存条件描述

4.4.1 构造作用

描述对页岩气保存影响比较大的构造运动,主要包括多期构造演化、抬升剥蚀与埋深、离剥蚀区远近,以及断裂与构造裂缝的发育程度。

4.4.2 岩浆作用与变质作用

描述与页岩气藏相关的岩浆活动和变质作用,分析其对周围页岩热演化、页岩气生成,以及页岩储层裂缝形成与保存的影响。

4.4.3 水文地质

描述地层水矿化度、类型或水型、分布与区域水动力特征;利用水型、变质系数、氢氧同位素等指标,对保存条件进行评价。

4.4.4 压力系数

利用压力实测、预测资料,描述压力系数大小、分布、变化特征。根据压力系数大小评价保存条件。

4.5 页岩有机地球化学描述

4.5.1 总有机碳含量

依据实验测试、测井解释、地震预测等资料,描述总有机碳含量变化、分布特征。

4.5.2 有机质类型

利用干酪根显微组分鉴定、有机元素、干酪根碳同位素实验测试数据,描述有机质类型及特征。

4.5.3 成熟度

根据镜质体反射率(R_o)、氯仿沥青“A”、色谱与质谱分析等实验测试数据,描述有机质成熟度大小、变化范围和分布特征。

4.6 页岩储层描述

4.6.1 储集空间类型

4.6.1.1 页岩储层的储集空间主要包括孔隙、裂缝和洞三种类型。

4.6.1.2 储集空间类型的描述包括孔隙描述、裂缝描述和洞描述。

具体描述内容如下:

a) 孔隙描述:

- 1) 页岩储层中的孔隙包括无机孔和有机孔,其分类参见附录 C。无机孔大小主要属于微米级、纳米级,个别毫米级;有机孔大小主要属于纳米级,其成因类型属于次生孔。按尺度大小,纳米孔细分为微孔(孔径 $<2\text{ nm}$)、中孔(孔径 $2\text{ nm}\sim 50\text{ nm}$)、大孔(孔径 $>50\text{ nm}$),其中,中孔又进一步分为细、中、粗中孔(参见附录 C)。
- 2) 利用岩心、薄片、氩离子抛光扫描电镜、元素矿物分析扫描电镜(QemScan)、微米 CT、纳米 CT 和双离子束扫描三维成像(3D FIB)等资料,描述有机物质或有机质颗粒的几何形态、大小、产状特征,描述无机孔和有机孔的几何形态、大小与分布、连通性,以及各类孔占

比、纵横向变化特征；明确页岩储层特有的纳米级孔隙类型与成因类型。

- 3) 对于含气页岩段中的孔隙度低于 2% 的页岩储层，刻画储集空间的形态、大小特征，分析其与含气性的关系。

b) 裂缝描述：

- 1) 裂缝类型按 SY/T 6110 的规定，按成因、力学性质、充填程度、与层面夹角进行划分；也可按尺度将裂缝分为巨型、大型、中型、小型、微型五级（参见附录 C）。
- 2) 页岩中的构造裂缝描述按 SY/T 6110 的规定，描述内容包括发育层段、产状、方位、类型、形态大小、条数、密度、张开度与充填特征等，分析影响因素，开展定量评价、综合预测。
- 3) 页岩中的层理缝包括页理与纹层缝，对于页理缝，可通过露头、岩心和成像测井等资料描述页理的条数、密度特征；对于纹层缝，利用岩心、薄片、铸体和测井等资料，描述纹层的宽度、长度、产状、方位、条数、发育密度、充填物成分与粒度等特征。
- 4) 利用双离子束大面积扫描（Maps）等相关实验方法、示踪剂注入法所得到的孔隙结构资料，描述多尺度（纳米、微米、毫米级孔隙）、多类型（有机质孔、无机质孔、洞、高角度微裂隙、层理缝）孔隙的形态大小、分布，尤其是连通性特征；估算有机质纳米孔、层理缝的面孔率，明确不同孔隙类型的孔隙度占比。

c) 洞描述：

- 1) 洞的描述包括发育层段、形态大小、个数、密度、充填特征等。
- 2) 利用氩离子抛光扫描电镜、纳米 CT 等资料，开展页岩储层的成岩作用研究，分析成岩作用对无机孔、有机孔的影响，以及孔隙演化过程。
- 3) 利用岩心或新鲜露头样品，开展成岩作用物理模拟，按不同温阶（150℃、200℃、350℃、…、550℃）、不同覆压，模拟地层条件下的成岩阶段与有机质纳米孔、缝和洞的演化，分析孔隙演化史。

4.6.2 微观孔隙结构

4.6.2.1 对于页岩储层中的毫米级、微米级孔喉，可用常规方法描述，按 SY/T 6110 的规定执行。

4.6.2.2 对于页岩储层中的纳米级孔喉的观测与描述，宜使用针对页岩的氩离子抛光扫描电镜、纳米 CT 扫描、双离子束扫描三维成像等分析方法和技术。

具体描述内容包括但不限于：

- a) 利用氩离子抛光扫描电镜、岩石薄片、铸体薄片、普通扫描电镜等资料，描述喉道的形态、大小和组合，以及矿物成分、产状、排列特征。
- b) 利用纳米 CT 扫描、双离子束扫描三维成像方法所确定的纳米级孔隙结构参数，定量描述不同矿物载体的喉道的形态大小、分布、连通性特征，尤其是有机质纳米孔隙特征。
- c) 利用 Map 实验方法等，定量表征多尺度多类型孔隙与喉道的分布关系，以及与多尺度、多类型孔隙连通性和面孔率方面的内容。
- d) 利用压汞-吸附联合测试方法所得到的实验数据，定量描述微米级至纳米级的喉道大小、分布、连通性等，以及比表面积、孔容特征；明确占优势的喉道大小和类型。

4.6.3 储层物性特征

4.6.3.1 储层物性特征包括孔隙度、渗透率、含水饱和度和非均质性内容。

4.6.3.2 页岩储层的孔隙度由实验测试方法、测井解释方法和地震预测方法获得。根据实验测量得到的孔隙度结果及核磁实验测试资料，标定测井资料；进而建立页岩储层的孔隙测井评价模型，定量计算有机质纳米孔、颗粒间孔与微裂缝、黏土晶间孔等的孔隙度，以及各类孔隙的占比。结合地震预测得到的孔隙度数据体，描述页岩层段孔隙度的大小（最小、最大、平均值）、分布和变化规律。

具体孔隙度获取方法包括但不限于以下几种：

- a) 利用实验测试方法可以直接测量孔隙度,包括氮气吸附法、气体膨胀法、密度法、核磁共振法等;此外,利用氩离子抛光扫描电镜、双离子束扫描三维成像图像等分析法,也可估算有机质纳米孔隙度。
- b) 利用测井解释方法估计孔隙度,包括但不限于以下两种方法:
 - 1) 利用常规孔隙度实验方法及实验测试数据进行测井孔隙度估算。一是依据孔隙度实验测试数据,刻度补偿密度、补偿中子或声波时差等,采用一元或多元回归方法建立孔隙度模型;可以利用密度测井资料计算页岩层段的总孔隙度,也可以利用补偿中子测井和声波时差测井资料计算页岩层段的孔隙度并消除有机质的影响。二是利用核磁共振实验测试的横向弛豫时间 T_2 截止值等资料,刻度测井资料,并计算总孔隙度、有效孔隙度等。
 - 2) 利用氩离子抛光扫描电镜、纳米 CT 扫描、双离子束扫描三维成像等方法,进行各类孔的孔隙度估算。
- c) 利用三维地震资料,开展目的层孔隙度预测,得到孔隙度三维数据体。

4.6.3.3 页岩储层的渗透率由实验测试方法、测井解释方法和试气方法获得。根据所得到的渗透率数据,描述页岩层段不同方向渗透率的大小(最小、最大、平均值)、分布和变化规律。

具体渗透率获取方法包括但不限于以下几种：

- a) 利用实验测试方法可以直接测量渗透率,实验测试方法包括气体法、液体法,以及针对页岩气的压力脉冲衰减法、压力衰减法、压力恢复法、脱气法、氮气稳态法、核磁共振法等。
- b) 依据测井解释方法可间接计算渗透率,计算步骤按 SY/T 6161 的规定进行。
- c) 利用三维地震资料,开展目的层渗透率预测,得到渗透率三维数据体。

4.6.3.4 页岩层段的含水饱和度由实验测试方法、测井解释方法和地震预测方法获得。依据所获得的含水饱和度数据,描述页岩层段含水饱和度的大小(最小、最大、平均值)、分布和变化规律。

4.6.3.5 非均质性应从隔夹层、层内、层间、平面和微观角度进行描述。

非均质性描述包括以下几方面：

- a) 针对页岩岩性变化,将 $\text{TOC} < 0.5\%$ 的薄夹层识别出来,开展隔夹层分布研究,按小层单元描述储层宏观非均质性特征。
- b) 结合地质、录井、测井、地震资料,采用地震技术进行目的层、隔夹层分布预测,按小层单元描述储层宏观非均质性特征。
- c) 利用孔渗数据,按小层单元描述层间、层内、平面非均质性特征。
- d) 利用压汞-吸附联合测试数据、氩离子抛光、纳米 CT 扫描、双离子束扫描三维成像资料描述微观非均质性特征。

4.6.3.6 物性影响因素应从多角度进行分析。依据沉积亚相与微相、颗粒粒间孔、黏土矿物转变与含量、反射率、有机碳含量、矿物、构造裂缝与层理缝发育程度等成果,从沉积、成岩、构造角度,分析储层物性的主要影响因素。

4.6.4 储层评价

页岩储层评价包括但不限于以下方面：

- a) 根据页岩储层敏感性实验测定,描述与评价页岩储层的水敏、酸敏、碱敏、速敏、盐敏、应力敏感的易伤害性;
- b) 根据六性关系(岩性、物性、电性、含气性、有机地球化学特性和脆性),明确页岩储层下限标准,确定页岩储层的有效厚度;
- c) 制定页岩储层分类评价标准(参见附录 D),结合测井解释成果及实验测试数据,开展单井储层分类评价;

- d) 综合地震储层预测成果、地质认识及单井储层分类评价结果,平面上研究不同类型的页岩储层的分布及变化规律,明确Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类页岩储层分布区。

4.7 含气性描述

- 4.7.1 依据实验测试方法与测井解释方法,获得含气量数据,进而从定量角度评价含气性;应用地震资料可以开展含气性预测,从定性角度评价含气性。
- 4.7.2 通过等温吸附实验测试方法可以直接测定吸附气含量,利用现场解吸法可以测定总含气量。
- 4.7.3 利用测井资料能够间接估算吸附气含量、游离气含量及总含气量。
- 4.7.4 结合地质、录井、测井、地震和试气试采资料,采用地震技术进行储层含气性预测。
- 4.7.5 根据所得到的含气量数据与成果,描述含气量纵、横向变化与分布特征,分析影响含气量变化的主要因素。

4.8 可压裂性描述

4.8.1 脆性矿物特征描述

- 4.8.1.1 脆性矿物含量可以通过实验方法、测井解释方法和地震预测方法获得。
- 4.8.1.2 利用全岩 X 衍射实验测试、黏土矿物 X 衍射实验测试,直接得到脆性矿物含量。
- 4.8.1.3 利用测井资料可以得到测井解释成果与脆性矿物含量。
- 4.8.1.4 结合地质、录井、测井、地震资料,采用地震技术进行脆性矿物含量预测。
- 4.8.1.5 根据所得到的脆性矿物数据与成果,描述页岩储层的石英、碳酸盐矿物、长石和黄铁矿等脆性矿物,以及黏土矿物的类型、含量、变化范围和分布特征。

4.8.2 岩石力学特征描述

- 4.8.2.1 岩石力学参数可以通过实验方法、测井解释方法和地震预测方法获得。
- 4.8.2.2 利用岩石力学的实验测试,直接测量得到杨氏模量、泊松比等岩石力学参数。
- 4.8.2.3 利用阵列声波测井资料,可间接得到岩石力学参数。
- 4.8.2.4 结合地质、录井、测井、地震资料,采用地震技术进行岩石力学参数分布预测。
- 4.8.2.5 根据页岩储层岩石力学的实验测试、测井解释、地震预测资料或数据,描述页岩储层的岩石力学特征,并评价页岩储层可压裂性。

4.8.3 可压裂性评价

4.8.3.1 脆性指数计算

脆性指数计算方法包括但不限于以下两种方法:

a) 基于矿物含量的脆性指数

- 1) 根据 X 衍射实验测试数据或者测井解释成果,按照公式(1)计算脆性指数:

$$BI = B / (B + C) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- BI ——脆性指数;
- B ——脆性矿物含量,%;
- C ——黏土矿物含量,%。

- 2) 综合利用阵列声波资料经过测井解释方法获得的力学参数、常规测井解释成果中的泥质含量,按照经验公式(2)、公式(3)、公式(4)计算脆性指数。

$$BI = \frac{CS}{TS} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$CS = 0.865 \times 10^{-4} \times \frac{E}{K} \times [80 \times V_{sh} + 45 \times (100 - V_{sh})] \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$TS = 1 \times 10^7 \times DTC^{-2.6283} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

BI ——脆性指数;

CS ——测井解释的岩石单轴抗压强度,单位为兆帕(MPa);

TS ——测井解释的岩石单轴抗拉强度,单位为兆帕(MPa);

E ——测井解释的杨氏模量,单位为兆帕(MPa);

K ——体积压缩模量,单位为兆帕(MPa);

V_{sh} ——测井解释的泥质含量,以百分数(%)表示;

DTC ——纵波时差,单位为微秒每米(μs/m)。

b) 基于岩石力学的脆性指数计算

利用岩石力学实验测试、测井解释等数据,按照公式(5)、公式(6)、公式(7)计算脆性指数:

$$BI = \frac{YM_{Brit} + PR_{Brit}}{2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

BI ——岩石力学脆性指数,以百分数(%)表示;

YM_{Brit} ——均一化后的杨氏模量,以百分数(%)表示;

PR_{Brit} ——均一化后的泊松比,以百分数(%)表示。

$$YM_{Brit} = \frac{YMS_c - YMS_{c \min}}{YMS_{c \max} - YMS_{c \min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

YMS_c ——杨氏模量,单位为兆帕(MPa);

YMS_{c max} ——最大杨氏模量,单位为兆帕(MPa);

YMS_{c min} ——最小杨氏模量,单位为兆帕(MPa)。

$$PR_{Brit} = \frac{PR_c - PR_{c \max}}{PR_{c \min} - PR_{c \max}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

PR_c ——泊松比,单位为1;

PR_{c max} ——最大泊松比,单位为1;

PR_{c min} ——最小泊松比,单位为1。

4.8.3.2 水平主应力差异系数计算

按照公式(8)计算水平主应力差异系数:

$$K_h = (\sigma_H - \sigma_h) / \sigma_h \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

K_h ——水平应力差异系数,单位为1;

σ_H ——最大水平主应力,单位为兆帕(MPa);

σ_h ——最小水平主应力,单位为兆帕(MPa)。

4.8.3.3 页岩储层可压裂性分类评价

根据脆性矿物含量、脆性指数,对可压裂性进行好、中、差分类评价(见表2)。脆性矿物含量<40%、黏

土矿物含量 $<25\%$,可压裂性评价为差;脆性矿物含量 $\geq 40\% \sim <55\%$,可压裂性评价为中等;脆性矿物含量 $\geq 55\%$ 、黏土矿物含量 $<40\%$,可压裂性好。脆性指数 $<45\%$,可压裂性评价为差;脆性指数 $\geq 45\% \sim <60\%$,可压裂性评价为中等;脆性指数 $\geq 60\%$,可压裂性好。

根据水平主应力差异系数,对易于形成裂缝网络的程度进行评价:水平应力差异系数 <0.2 ,可以产生大范围的裂缝网络,裂缝网络性好;水平应力差异系数介于 $\geq 0.2 \sim <0.3$,裂缝易发生扭曲或转向,同时产生多裂缝,裂缝网络性中等;水平应力差异系数 ≥ 0.3 ,裂缝易发生扭曲或转向,同时产生双翼裂缝,裂缝网络性差。

表 2 可压裂性评价标准表

评价类别	脆性矿物含量 %	基于矿物含量的 脆性指数 %	基于岩石力学与泥质 含量的脆性指数 %	基于岩石力学的 脆性指数 %	基于岩石力学的水平 主应力差异系数
好(Ⅰ类)	≥ 55	≥ 60	≥ 60	≥ 60	<0.2
中(Ⅱ类)	$40 \sim <55$	$45 \sim <60$	$45 \sim <60$	$45 \sim <60$	$0.2 \sim <0.3$
差(Ⅲ类)	<40	<45	<45	<45	≥ 0.3

4.9 地应力描述

4.9.1 岩石应力实验

岩石应力大小、方向由多种方法且不限于所列举的方法测量或确定:声发射法、磁定位法、应变恢复法、水压致裂法、井眼崩落法、相对地应力测试法、套心应力解除法等,可根据实际情况选取合适的方法开展地应力测试。

4.9.2 地应力各向异性

4.9.2.1 根据地应力实验测试数据,结合已完钻井压裂监测对比结果、电成像测井解释结果、偶极声波测井解释结果,描述页岩层段的主应力方向、大小和分布特征。

4.9.2.2 利用地应力实验测试数据,描述地应力各向异性特征,评价页岩储层裂缝网络的复杂程度。

4.9.3 地应力场分布

4.9.3.1 在复杂构造区,基于野外露头剖面,统计不同期次裂缝的产状、数量、密度和分布;根据区域应力特征及野外露头构造配套,确定古、今应力方向与时间,描述不同时期应力特征。

4.9.3.2 根据钻井、成像测井与钻井诱导缝资料,描述现今最大水平主应力方向与特征。

4.9.3.3 对比野外露头、成像测井所获得的古、今应力的差异性,结合裂缝密度最大峰值,明确关键构造期及相应的最大水平主应力方向,为水平井方位提供依据。

4.9.3.4 结合地质、地震、测井、录井、生产动态、微地震监测等资料,描述地应力场分布特征;有条件时,给出应力分布等值线图,分析应力集中度(分散度),应用应力场预测裂缝发育的方向、规模和分布。

4.10 气藏类型描述

4.10.1 流体分布及性质

页岩气藏的流体分布及性质描述,按 SY/T 6110 的规定。

4.10.2 温度、压力系统

页岩气藏的温度、压力系统描述,按 SY/T 6110 的规定。

4.10.3 气藏类型

按照非常规资源的地质、工程特色,遵守 GB/T 26979 的划分方法,将页岩气藏类型按构造类型、流体相态、压力系数、埋深、脆性指数进行划分。

4.11 气藏地质建模

4.11.1 模型类型

页岩气藏地质模型包括岩石相模型、构造模型、人工压裂裂缝模型和属性模型等。

4.11.2 岩石相模型

综合地质、有机地球化学研究成果,建立岩石相模型,描述岩石相的分布范围、面积大小、延伸方向特征。

4.11.3 构造模型

结合地震和少量直井资料,充分利用大量水平井的数据,以一口水平井、多个小层界线点资料为约束,编制、校正页岩气藏构造图,建立构造模型或天然裂缝模型,描述其空间展布、构造形态及断层分布特征。

4.11.4 人工压裂裂缝模型

4.11.4.1 利用静动态、压裂后资料及微地震监测结果,建立人工压裂裂缝模型,描述裂缝的方位、半缝长、分布、体积改造程度特征。

4.11.4.2 在构造模型、人工压裂裂缝模型的基础上,建立构造模型、人工压裂裂缝的融合模型即构造体系模型。

4.11.5 属性模型

利用物性数据、测井解释、地震预测、动态资料,建立页岩气藏属性模型,描述 TOC、孔隙度、渗透率、脆性指数、含气量的空间分布特征。

4.12 储量计算与气藏综合评价

4.12.1 储量计算与评价

在评价阶段、先导试验阶段、产能建设与生产阶段,根据储量计算条件,应按 DZ/T 0254 的规定,计算不同级别的地质储量、可采储量,并依据页岩气田储量规模和品位等进行储量综合评价。

4.12.2 页岩气藏综合评价

综合以上描述成果,依据页岩储层分类评价、储量计算结果、钻井评价效果,开展页岩气藏综合评价,优选有利的开发目标,指导开发井井位部署。

5 页岩气藏描述报告

5.1 报告内容

可根据不同阶段的描述对象调整相关内容。包括：气藏概况、地层与沉积描述、构造特征描述、保存条件描述、页岩有机地球化学描述、页岩储层描述、含气性描述、可压裂性描述、地应力描述、气藏类型描述、气藏地质建模、储量计算与气藏综合评价等。

5.2 附图

应包括以下附图：

- a) 页岩层段顶或底埋深等值线图；
- b) 页岩层段厚度等值线图；
- c) 页岩层段 TOC 等值线图；
- d) 页岩层段 R_o 等值线图；
- e) 页岩层段脆性矿物含量分布图。

视情况，宜增加以下图件中的 1 张或多张：

- a) 页岩层段总含气量、游离气含量分布图；
- b) 页岩层段试气、试采产量分布图；
- c) 页岩层段压力系数等值线图；
- d) 页岩层段内的薄夹层厚度等值线图；
- e) 页岩层段测井解释成果图；
- f) 页岩层段岩石力学参数等值线图；
- g) 页岩层段最大水平主应力方位图；
- h) 页岩层段地应力分布等值线图；
- i) 页岩层段柱状图、对比剖面图和平面分布图。

图件格式按 SY/T 5615 的规定编绘。

5.3 附表

应包括以下附表：

- a) 页岩层段厚度数据表；
- b) 页岩层段 TOC 数据表；
- c) 页岩层段 R_o 数据表；
- d) 页岩层段脆性矿物含量数据表；
- e) 页岩层段现场解吸法含气量数据表；
- f) 页岩层段等温吸附实验测试数据表；
- g) 页岩层段岩石力学参数实验测试数据表；
- h) 页岩层段测井解释成果表。

附录 A
(资料性附录)
页岩气藏描述流程

页岩气藏描述流程见图 A.1。

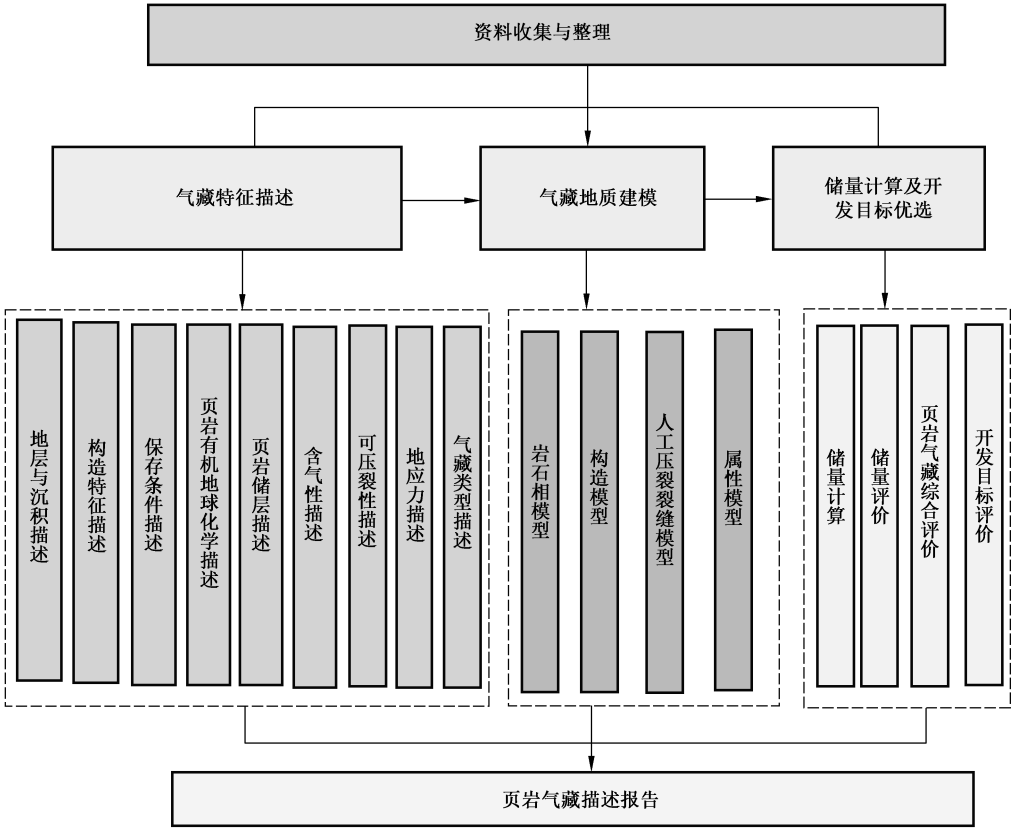


图 A.1 页岩气藏描述流程图

附 录 B

(资料性附录)

页岩气藏描述尺度与精度要求

不同开发阶段页岩气藏描述尺度与精度要求见表 B.1。

表 B.1 页岩气藏描述尺度与精度要求


页岩气藏开发阶段		评价阶段	先导试验阶段	产能建设与生产阶段	
				产能建设期	生产期
资料状况		稀井网、静态资料;发现井、少量探井与评价井,二维地震详查或细测	稀井网与部分开发井、先导试验井组或区、系统取心与实验分析、二维地震细测或三维地震、产气剖面、微地震	密井网、开发井网已完成,测井加密了资料,少量动态资料	密井网、大量动态资料、开发测井、检查井或资料井、加密井、监测资料
主要任务		描述构造、储层类型和气藏类型,为提交探明储量、开发概念设计提供支撑	修正构造、储层分布,搞清高产影响因素,为开发方案编制、可压裂性方案设计提供地质依据	深入认识微构造、储层非均质性与流体分布特征,为开发方案实施、储量复算、储量运用提供基础	精细描述与预测剩余气分布,为调整方案编制、储量核算提供依据
重点描述内容		构造基本形态、断层性质与产状,区域沉积相、页岩层段划分对比、储层评价与含气量、矿物组成、应力方向、气藏特征与流体性质、探明储量计算,建立评价区气藏概念模型	构造落实、主力层段顶或底面构造图,储层划分对比、沉积亚相、测井储层识别评价与连通性、储层纳米孔特征、可压裂性、储层分类评价、储量计算,建立先导区气藏静态模型	构造核实与微构造、小层或岩石相划分对比、微相分布、主力层非均质性、纳米孔分布与成岩作用、可压裂性评价、储层综合评价,建立产建区气藏静态模型	气藏再认识、断层封闭性、微相预测、成因单元的物性变化、孔隙结构的敏感性变化、应力场、储量复算、储量动用与开发潜力,建立开发区气藏预测模型
描述技术与方法		储层沉积学方法、储量计算、可压裂性评价、地震解释、测井四性解释	纳米孔表征、储层评价、可压裂性评价、地震预测、测井地质与工程双甜点评价	岩石相划分对比、微相分析、可压裂性评价、地质建模	非均质性研究、可压裂性评价、地震精细预测、测井精细评价、动态监测分析
描述尺度与精度	范围	水平方向:100 km~50 km;垂直方向:200 m~100 m	水平方向:50 km~30 km;垂直方向:100 m~50 m	水平方向:30 km~10 km;垂直方向:50 m~30 m	水平方向:10 km~5 km;垂直方向:30 m~10 m
	构造	1:20万~1:10万,确定三级断层	1:10万~1:5万,确定四级断层	1:5万~2.5万,构造幅度 ≥ 50 m、面积 ≥ 1.0 km ² 、断距 ≥ 30 m、长度 ≥ 600 m	1:2.5万~1:1.0万,构造幅度 ≥ 30 m、面积 ≥ 0.5 km ² 、断距 ≥ 20 m、长度 ≥ 300 m
	地层	页岩层系	页岩层段	亚段、小层	小层
	沉积相	相、亚相	亚相、微相	微相	微相
	储层	含气层段	主力层段或甜点段	主力层	主力层或成因单元
	非均质性	气藏规模,层段规模	先导区规模,主力层段	产建区规模,主力层	开发区规模,成因单元
	地质模型	评价区概念模型,网格大小视地震、钻井资料而定	先导区静态模型,垂向上网格不低于50 m、水平方向网格不低于10 m	产建区静态模型,垂向上网格不低于30 m、水平方向网格不低于5 m	开发区预测模型,垂向上网格不低于20 m、水平方向网格不低于3 m

附 录 C
(资料性附录)
页岩储集空间分级分类

C.1 按储集空间成分、结构成因分类见表 C.1。

表 C.1 按储集空间成分、结构成因分类

单位为毫米

孔隙类型			成因类型	孔径大小	特征
孔隙	有机孔		次生	<div><div><2.0</div><div></div></div>	孔径为纳米级
	无机孔	粒间孔	原生		孔径为微米级
		粒内孔			孔径为微米级、纳米级
		晶间孔	原生或次生		孔径为纳米级、微米级
		溶蚀孔			孔径为微米级,个别毫米级
洞	溶洞	<div><div>≥2.0</div></div>		孔径为毫米级	
裂缝	构造缝	构造缝		<div><div>—</div></div>	宽度为毫米~纳米级
	非构造缝	风化缝	次生		
		成岩缝			
		溶蚀缝			
		层间缝			

C.2 按储集空间尺度分类见表 C.2。

表 C.2 按储集空间尺度分类

单位为纳米

纳米孔分级(孔径)	中孔分级(孔径)
微孔: <2	细型中孔: $2\sim<10$
中孔: $2\sim<50$	中型中孔: $10\sim<25$
大孔: ≥ 50	粗型中孔: $25\sim<50$

C.3 按岩心裂缝尺度分类见表 C.3。

表 C.3 按岩心裂缝尺度分类

单位为厘米

裂缝分级	裂缝长度	裂缝宽度
巨型	≥ 100	≥ 1.0
大型	$50\sim<100$	$0.1\sim<1.0$
中型	$10\sim<50$	$0.01\sim<0.1$
小型	$1\sim<10$	$0.001\sim<0.01$
微型	<1	<0.001

附 录 D
(资料性附录)
页岩储层分类评价指标

D.1 储集性能评价指标见表 D.1。

表 D.1 储集性能评价指标

评价类别	孔隙度 %	脉冲衰减法渗透率 $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	稳态法渗透率 $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔径大小 nm
好(Ⅰ类)	≥ 4	$\geq 0.000\ 5$	≥ 0.100	≥ 10
中(Ⅱ类)	$2 \sim < 4$	$0.000\ 1 \sim < 0.000\ 5$	$0.010 \sim < 0.100$	$2 \sim < 10$
差(Ⅲ类)	< 2	$< 0.000\ 1$	< 0.010	< 2

D.2 页岩气富集条件评价指标见表 D.2。

表 D.2 页岩气富集条件评价指标

评价类别	有效厚度 m	TOC %	含气量 m^3/t	脆性矿物含量 %
好(Ⅰ类)	≥ 30	≥ 2.0	≥ 3.0	≥ 55
中(Ⅱ类)	$15 \sim < 30$	$1.0 \sim < 2.0$	$2.0 \sim < 3.0$	$40 \sim < 55$
差(Ⅲ类)	< 15	< 1.0	< 2.0	< 40

D.3 测井响应参数评价指标见表 D.3。

表 D.3 测井响应参数评价指标

评价类别	自然伽马 API	声波 $\mu\text{s}/\text{m}$	密度 g/cm^3	中子孔隙 %	电阻率 $\Omega \cdot \text{m}$
好(Ⅰ类)	≥ 175	≥ 260	< 2.5	< 15	≥ 30
中(Ⅱ类)	$165 \sim < 175$	$240 \sim < 260$	$2.5 \sim < 2.6$	$15 \sim < 20$	$10 \sim < 30$
差(Ⅲ类)	< 165	< 240	≥ 2.6	≥ 20	< 10