

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 14013—2016

页岩气井生产数据试井解释规范

Well test interpretation specification of shale gas well by production data

2016 — 12 — 05 发布

2017 — 05 — 01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 生产数据资料录取要求 1

 3.1 井的基础资料 1

 3.2 资料录取要求 2

4 生产数据试井解释 2

 4.1 试井解释要求 2

 4.2 数据预处理 3

 4.3 试井解释 3

5 生产数据试井解释报告编写 4

 5.1 生产数据试井解释目的 4

 5.2 井的基本情况 5

 5.3 曲线形态分析 5

 5.4 解释结果 5

 5.5 结论及建议 5

 5.6 附表 5

 5.7 附图 5

附录 A（规范性附录） 生产数据试井解释方法 6

附录 B（资料性附录） 页岩气水平井典型流态 8

参考文献..... 10

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由能源行业页岩气标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院、中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院、中海油研究总院新能源研究中心、国家能源页岩气研发（实验）中心、中国石油化工股份有限公司江汉油田分公司、西南石油大学。

本标准主要起草人：杜娟、庞伟、贺英、张同义、毛军、吴琼、邸德家、白玉湖、于荣泽、冯汝勇、刘乔平、张小涛、徐兵祥、张烈辉、刘启国。

页岩气井生产数据试井解释规范

1 范围

本标准规定了页岩气井生产数据试井解释方法的技术要求。
本标准适用于页岩气井生产数据试井解释。

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。

SY/T 6171 气藏试采地质技术规范

3 生产数据资料录取要求

3.1 井的基础资料

井的基础资料应包括但不限于以下内容：
a) 井的基础数据（见表1）。

表1 ××气田××井基础数据表

地理位置					
构造位置					
井 别		地面海拔 m		气层中部深度 m	
完钻日期		设计井深 m		完钻井深 m	
完井日期		完井方式		人工井底 m	
最大井斜深度 m		总方位 (°)		倾角 (°)	
水平段长 m		压裂级数		投产日期	
完钻地层		目的层			
井身结构					
备注					

- b) 井身结构图及井眼轨迹图。
c) 产层数据（见表2）。

表 2 ×× 气田 ×× 井产层数据表

层位	解释井段	射孔井段	射开厚度 m	有效厚度 m	孔隙度 %	备注
×× 层						
×× 层						

- d) 试油成果、试油结论及作业措施情况。
- e) 气体 PVT 物性参数，包括地层压力、地层温度、气体组分含量、气体相对密度、综合压缩系数等。
- f) 生产数据（见表 3）。

表 3 ×× 气田 ×× 井生产数据表

日期	工作制度	日产量		累积产量		压力		备注
		气 10 ⁴ m ³ /d	水 m ³ /d	气 10 ⁸ m ³	水 m ³	油压 MPa	套压 MPa	
								流压、静压、流温、静温及测试时间

3.2 资料录取要求

3.2.1 压力数据录取

- 3.2.1.1 若没有井底流压数据时，采用井口套压或井口油压。
- 3.2.1.2 压力计未下至产层中部时，需测取相应深度的流压梯度、流温梯度、静压梯度和静温梯度。

3.2.2 产量计量要求

- 3.2.2.1 产量数据要同时计量气产量与水产量，压力数据要与气产量、水产量的数据相对应，如果页岩气井产油，需同时录取油产量。
- 3.2.2.2 数据间隔至少每天一个点，至少连续取 150 个点（具体油、气、水日产量和井口压力数据录取可参照 SY/T 6171）。

3.2.3 其他要求

编写页岩气井生产日志，记录每天采集数据点的时间、类别，在备注栏里记录采取的各项生产措施。

4 生产数据试井解释

4.1 试井解释要求

4.1.1 筛选解释方法

应了解整个生产过程，评价生产井（层）生产数据的质量，分析判断解释方法的适用性。

4.1.2 应用多种解释方法

宜采用多种页岩气井生产数据试井解释方法对生产数据做出解释。

4.1.3 综合其他资料

需参考地震、地质、测井、岩心、试采和储层改造资料加以综合判断，确保选择的解释模型和计算的参数准确。

4.2 数据预处理

4.2.1 数据的筛选

检查数据完整性，分析生产数据异常突变点产生的原因，筛选分析生产数据。

4.2.2 井底压力折算

若采用井口压力时，需进行压力折算，根据实测压力梯度将井口测压数据换算为产层中部压力数据。

4.3 试井解释

4.3.1 图版诊断

利用生产数据试井解释方法（按附录 A 执行），根据双对数规整化拟压力导数曲线形态、特征直线段进行曲线诊断，划分各流动段（参见附录 B），确定地层渗流特征和边界性质。页岩气水平井流动过程中可能会出现以下全部或部分流动阶段：

- a) 双线性流，特征直线斜率为 $1/4$ 。
- b) 线性流，特征直线斜率为 $1/2$ 。
- c) 改造体积内拟稳态流，特征直线斜率为 1 。
- d) 复合线性流，特征直线斜率为 $1/2$ 。
- e) 改造体积外拟径向流，特征直线斜率为 0 。
- f) 边界拟稳态流，特征直线斜率为 1 。

4.3.2 模型选择

根据流场诊断，选择合适的解释模型，同时需参考井的其他信息，包括：

- 井型。
- 储层特征。
- 供给情况。
- 储层改造情况。
- 双对数曲线特征。

4.3.3 曲线拟合

生产数据要用双对数图版曲线拟合法进行拟合分析，通过调整拟合的物质平衡时间拟合值、规整化拟压力拟合值及规整化拟压力导数拟合值，使其达到最佳拟合。

4.3.4 参数计算

根据曲线拟合值和流动阶段计算有关参数，不同的流场模型可计算不同参数，包括：

- 线性流阶段，可计算裂缝半长下限及地层渗透率上限。
- 双线性流阶段，可计算裂缝导流能力。
- 拟径向流阶段，可计算地层渗透率和表皮系数。
- 改造体积内拟稳态流，可计算改造体积。
- 边界拟稳态流，可计算外边界大小。

4.3.5 产量预测

4.3.5.1 历史曲线拟合

拟合规整化拟压力及其导数曲线时，兼顾气井生产历史拟合，包括产量、累积产量与压力拟合。

4.3.5.2 历史拟合验证

验证拟合情况时，将生产历史分为两部分，前一部分用于拟合，后一部分用于预测。后一部分预测结果与历史真实部分对比，计算其相对误差。相对误差大于 10% 时，调整拟合参数，直到预测值与真实值误差小于 10%。

4.3.5.3 未来产量预测

设定未来的生产制度进行产量预测；若设定废弃产量或废弃压力、经济极限产量或压力，可预测最终采出程度。

4.3.6 生产数据和压力恢复耦合解释

4.3.6.1 压力恢复数据转换

用压力恢复数据除以参考产量，得到的结果乘以关井前最后时刻对应的日产气量，再对时间对数求导。若同一口井，进行了多次压力恢复测试，则对每次压恢测试数据重复上述过程。

4.3.6.2 转换后的压力恢复数据与生产数据衔接

在同一张双对数图版上，分别绘制转换后的压力恢复数据和生产数据的压力及导数曲线。

4.3.6.3 转换后的压力恢复数据与生产数据耦合解释

- a) 如果只有一次压力恢复数据，分析压力恢复数曲线和生产数据规整化拟压力 / 导数曲线特征，判断应力敏感、是否有渗流特征变化。
- b) 如果有多次压力恢复数据，采用反褶积对多次压力恢复数据进行处理，分别对反褶积曲线和生产数据规整化拟压力 / 导数曲线进行分析，对比曲线变化结果差异，判断应力敏感、是否有渗流特征变化。

5 生产数据试井解释报告编写

5.1 生产数据试井解释目的

阐述本次生产数据试井解释需要解决的问题、达到的目的等。

5.2 井的基本情况

应详细描述井的基础信息、生产过程、试井解释需要的基础参数等，包括：

- 井的基础数据。
- 井身结构图及井眼轨迹图。
- 产层数据。
- 试气试采及生产情况。
- 压力、温度梯度数据和压力温度随时间变化的实测数据。

5.3 曲线形态分析

应列出测试历史曲线及拟合分析曲线，包括：

- 实测压力史分析图。
- 实测产量和累产量历史分析图。
- 双对数规整化拟压力及导数曲线拟合分析图。
- 双对数规整化流量及导数曲线拟合分析图。
- 实测压力史曲线拟合分析图。
- 实测产量和累产量曲线拟合分析图。
- 产量预测分析图。

5.4 解释结果

根据试井解释的目的，列出本次试井解释得到的所有参数，包括储层参数、边界及储量参数、水力裂缝参数、产量预测结果等。

5.5 结论及建议

对生产数据试井解释结果进行评述，并对下步措施提出建议。

5.6 附表

附表包括压力史和产量史数据表，也可将基础参数表、解释结果数据表、产量预测结果数据表放入附表中。

5.7 附图

附图可包括井位图、井身轨迹图等，也可将解释分析中产生的拟合分析图放入附图中。

附录 A
(规范性附录)
生产数据试井解释方法

采用规整化压力试井解释方法,应用规整化压力理论,将产量与时间、压力与时间的关系曲线(如图 A.1、图 A.2 所示)绘制成规整化拟压力与物质平衡拟时间、规整化拟压力导数与物质平衡拟时间的双对数曲线(如图 A.3 所示),利用实测数据转换的。

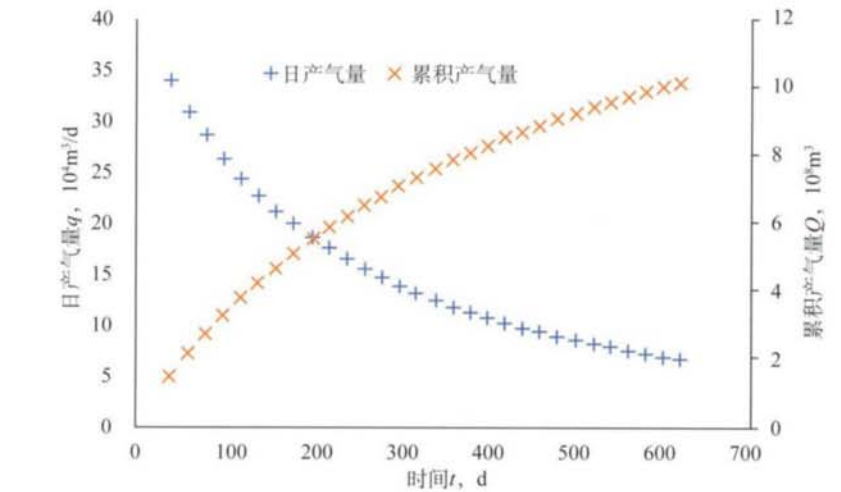


图 A.1 日产量、累产量与时间的关系图

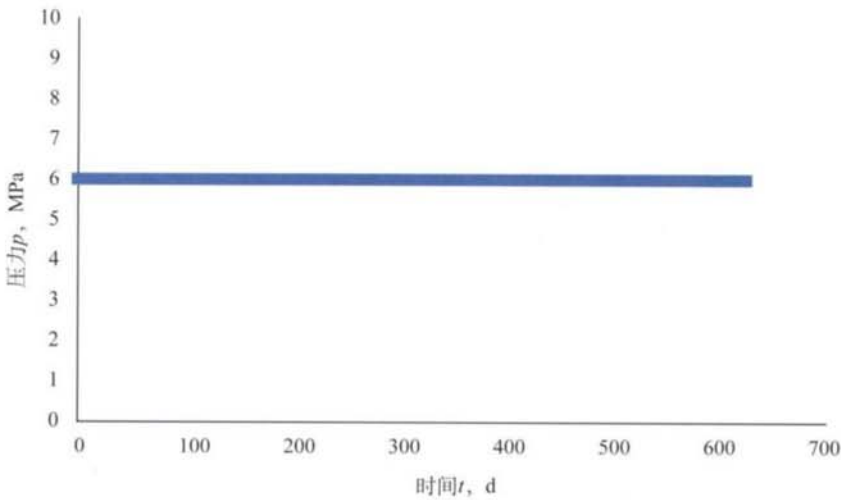


图 A.2 压力与时间的关系图

规整化拟压力将总体上持续降落的压力和流量转化成与其等效的定产量压降过程,使得试井分析中的压力降落分析方法可以应用于生产数据分析,便可以利用试井分析理论对其进行分析。

规整化拟压力:

$$RNm(p) = \frac{\Delta\phi(p)}{q} = \frac{\phi(p_i) - \phi(p_{wf})}{q} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$\Delta\varphi(p)$ ——拟压力差, $\text{MPa}^2/(\text{mPa}\cdot\text{s})$ ；

$\varphi(p_i)$ ——任意一点拟压力, MPa ；

$\varphi(p_{wf})$ ——参考点拟压力, MPa ；

q ——日产气量, $10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。

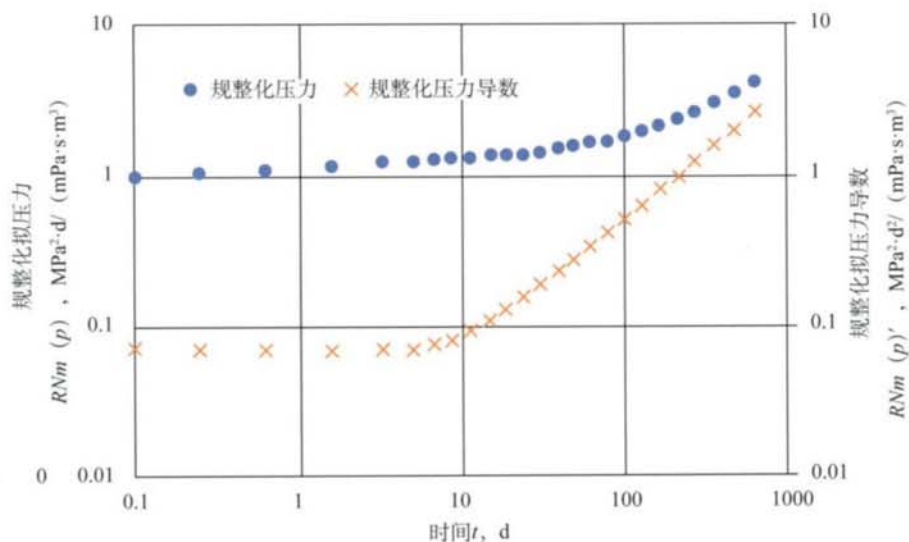


图 A.3 规范化拟压力与物质平衡拟时间、规范化拟压力导数与物质平衡拟时间的双对数曲线图

规范化拟压力导数：

$$RNm(p)' = \frac{dRNm(p)}{d \ln t_e} = d \left[\frac{\varphi(p_i) - \varphi(p_{wf})}{q} \right] / d \ln t_e \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

t_e ——物质平衡拟时间, d。

建立起规范化拟压力、拟压力导数曲线组合图版, 如图 A.4 所示。

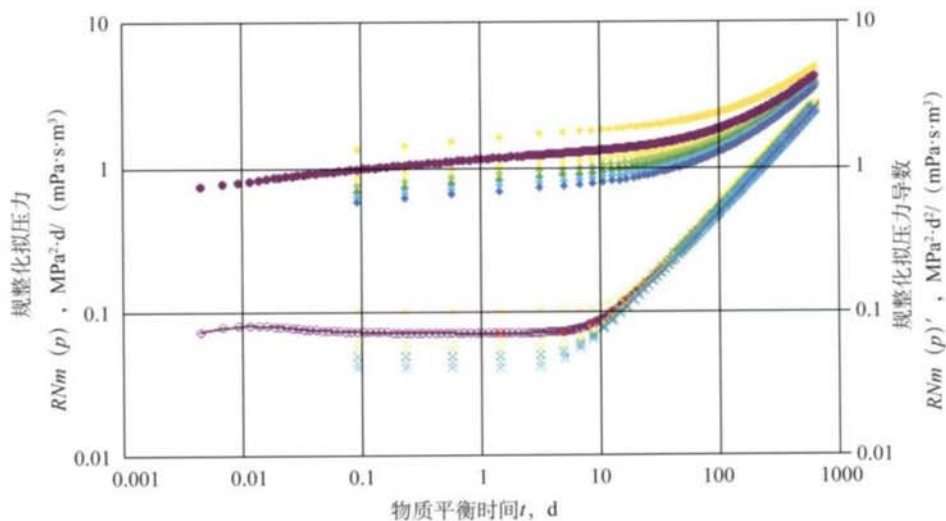


图 A.4 规范化拟压力、拟压力导数曲线图版组合图版

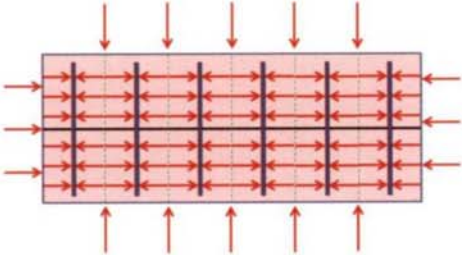
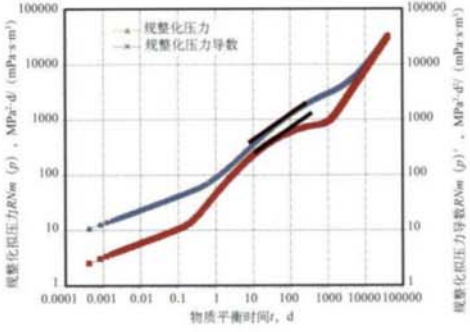
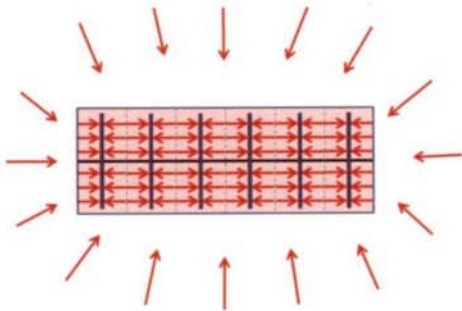
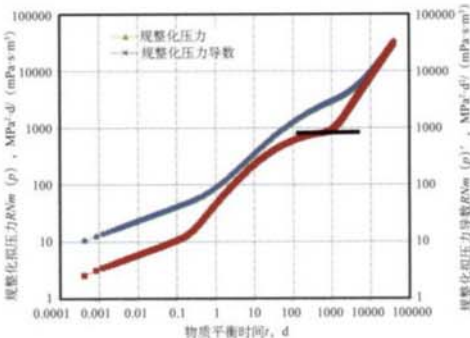
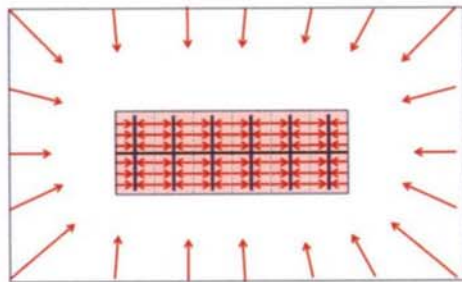
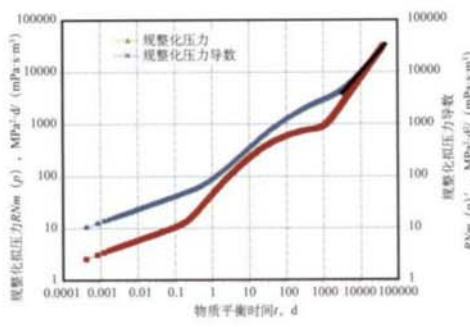
附录 B
(资料性附录)
页岩气水平井典型流态

页岩气水平井典型流态见表 B.1。

表 B.1 页岩气水平井流态汇总表

流态名称	流态流动示意图	规整化拟压力 / 导数曲线流态图版
双线性流		
线性流		
改造体积内拟稳态流		

表 B.1 (续)

流态名称	流态流动示意图	规整化拟压力 / 导数曲线流态图版
复合线性流		
改造体积外拟径向流		
边界拟稳态流		

参 考 文 献

- [1] SY/T 5440 天然气井试井技术规范
-