

# 罗家地区泥页岩矿物组分含量解释模型构建方法

耿生臣

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:**罗家地区泥页岩由于岩相变化快、岩性不稳定,其矿物组分含量解释模型构建成为解释难点。为此,从取值方式和建模思路入手对模型进行了对比和优选。取值方式方面,通过对比点一点、段一点和段一段3种不同取值方式带来的差异,结果显示,段一段取值方式的相对误差最小,小于8%,故建议选取段一段取值方式;建模思路方面,在基于体积模型反演的数值法和基于数据拟合的模拟法2大类思路的基础上,通过对罗69井测井曲线的处理及分析,后者精度略高于前者,且后者原理简单且易于操作,因此建议在数据拟合的基础上,加以地质条件约束,构建岩相分类基础上的矿物组分含量解释模型。

**关键词:**测井参数 建模 体积模型法 数据拟合 岩相

**中图分类号:** TE111.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2013)01-0024-04

测井信息一般都是对地质特性的一种间接性反映。这种间接性所带来的模糊性及其自身所隐含的多解性,致使测井资料解释本身就是一种对地质特性的推理、演绎和还原的过程。采用单一或组合测井曲线的形式,直接描述特定的地质现象和地层矿物组分等信息,并建立一系列相应的经验表达式,是测井地质分析的最基本方法<sup>[1-3]</sup>。

岩石矿物组分含量解释模型精度直接制约着泥页岩压裂效果和勘探有利区带的选取,成为影响勘探效果的重要因素之一。基于岩心刻度测井思路,优选测井敏感曲线进行参数建模是目前测井参数解释的主要途径。罗家地区泥页岩具有岩相变化快、岩性不稳定的特点,在一定程度上制约了解释模型的精度和稳定性。除此之外,建模中面临的人为取值及建模思路不同等问题也常常使得模型精度因人而异,因井而异<sup>[4-5]</sup>。为此,针对罗家地区泥页岩矿物组分含量解释模型构建的难点,笔者从取值方式和建模思路2方面分别进行了阐述和对比,有效地解决了该问题。

## 1 区域地质概况

沾化凹陷是济阳拗陷泥页岩油气藏最发育的地区之一,泥页岩油气纵向上主要发育于沙三段下

亚段和沙一段,岩性以油页岩和油泥岩为主,还包括少量变质泥岩、炭质泥岩和灰质泥岩等其他泥质岩类及泥质岩与其他岩性组成的薄互层。罗家地区为沾化凹陷次级构造单元,呈近南北向带状分布,其西与四扣洼陷相连,北以渤深4南断层与渤南洼陷相连,其沙三段下亚段属于深湖一半深湖沉积,主要岩性为暗色的泥岩、油泥岩和油页岩等,大部分地区地层厚度达到100~600 m。该套地层中砂岩不发育,泥页岩发育稳定,是罗家地区乃至渤南洼陷最有利的一套烃源岩,也是泥页岩油气最为发育的层系。

## 2 取值方式及建模思路优选

基于岩心刻度测井方法开展泥页岩建模,整体上就是通过单因素相关性分析测井曲线响应与岩心分析值之间的相关性,再选择敏感测井曲线与特定参数建立定量解释模型。在建模过程中,由于人为取值、取心数量及建模方法的不同,导致模型精度各异。为此,笔者逐类对经常出现的问题进行了对比分析,并提出相应建议。

### 2.1 取值方式

基于岩心刻度测井建立模型关系时,其关键在于岩心样品的深度归位,最常用的方法是利用岩心

收稿日期:2012-12-04。

作者简介:耿生臣,男,高级工程师,从事油气储量计算及测井资料精细解释研究。联系电话:(0546)8715412, E-mail: gengshengchen.slyt@sinopec.com。

基金项目:中国石化科技攻关项目“济阳拗陷页岩油富集条件与有利区预测”(P12062)。

分析资料和测井曲线进行相关分析和趋势对比。在建模过程中,需要对深度归位后的数据进行取值,测井曲线的取值方式主要有点一点、段一点和段一段3种,模型精度因取值方式的不同略有差异。为分析模型精度,笔者以统计分析法为例,采用3种不同方法分别建模并进行对比分析。

点一点建模,就是将岩心数据点(如粘土含量、钙质含量等)与对应深度的测井数据点建立回归关系,从整体上把握两者之间的相关性。段一点建模,是在点一点建模的基础上,根据测井曲线和岩心数据特点,从中提取岩心资料相对集中且岩性单一的划分层段,在每个层段内读取岩心数据点对应的测井数据点,再分别求取岩心数据点和测井数据点的平均值,用这2个平均值代表该层段的岩心分析数据和测井曲线数据,从而建立所有层段岩心数据与测井数据的回归关系。段一段建模,则是在段一点建模的基础上,首先求取已划分好层段内的岩心分析数据点的平均值,再求取该层段内所有测井数据点的平均值,用这2个平均值分别代表该层段的岩心数据和测井数据,然后对所有的层段建立岩心数据与测井数据模型关系。

采取点一点、段一点和段一段3种不同取值方式,建立了罗69井3 021.8~3 059.1 m井段的粘土含量模型,由计算值与实验值的相对误差(表1)可

表1 3种取值方式下罗69井粘土含量模型计算值及与实验值的相对误差

编号	深度/m	粘土含量,%				相对误差,%		
		计算值			实验值	点一点	点一段	段一段
		点一点	点一段	段一段				
1	3 021.8	32.1	30.6	24.2	26.5	21.1	15.5	8.7
2	3 025.2	21.5	20.3	17.7	19.0	13.2	6.8	6.8
3	3 026.6	25.7	22.0	21.5	19.3	33.2	14.0	11.4
4	3 028.3	26.0	25.7	24.9	23.5	10.6	9.4	6.0
5	3 030.0	20.4	20.4	18.9	16.5	23.6	23.6	14.5
6	3 031.6	32.1	31.3	24.4	27.3	17.6	14.7	10.6
7	3 033.1	24.7	23.5	19.4	20.0	23.5	17.5	3.0
8	3 034.9	32.9	31.9	27.3	27.5	19.6	16.0	0.7
9	3 037.1	29.7	25.9	23.7	23.3	27.5	11.2	1.7
10	3 039.7	23.1	25.2	25.9	27.5	16.0	8.4	5.8
11	3 041.1	23.3	13.3	17.3	15.0	55.3	11.3	15.3
12	3 044.9	17.4	17.3	13.1	15.0	16.0	15.3	12.7
13	3 046.4	19.6	16.7	14.9	14.0	40.0	19.3	6.4
14	3 050.0	15.6	17.2	17.6	17.0	8.2	1.2	3.5
15	3 052.2	24.0	21.7	20.1	18.3	31.1	18.6	9.8
16	3 054.4	22.3	20.6	19.6	17.0	31.2	21.2	15.3
17	3 056.8	17.5	15.3	12.7	13.0	34.6	17.7	2.3
18	3 059.1	18.3	18.7	16.6	17.7	3.4	5.6	6.2
平均值		23.7	22.1	20.0	19.8	23.7	13.7	7.8

以看出,点一点、段一点和段一段3种取值方式的相对误差平均值分别为23.7%,13.7%和7.8%,说明点一点取值方式相对误差最大,段一点取值方式有较大改善,段一段取值方式最为理想。由于测井数据本身灵敏性和岩心样品的深度归位问题,点一点取值方式的精度很大程度上取决于解释人员的综合分析能力和解释经验,因此模型精度因人而异;而段一段取值方式提取的是研究的目的层段,故建模的针对性较强,从而提高了建模精度。综合分析后,建议采取段一段取值方式构建模型。

## 2.2 建模思路

基于敏感测井曲线响应特征进行矿物组分含量建模的思路主要有2类,即基于体积模型反演的数值法和基于数据拟合的模拟法<sup>[6-7]</sup>。前者的优势在于综合考虑了多种因素,稳定性好,但精度欠佳;而后者的优势在于原理简单,易于操作,精度高,但稳定性较差,因此,兼顾模型稳定性和精度成为模型构建的关键。

罗家地区泥页岩测井响应特征受多重因素影响,是矿物组分、油水赋存状态、有机质成熟度、有机质类型等诸多因素的综合反映。影响测井曲线响应的因素既有方解石、石英、长石、粘土和黄铁矿等多种矿物组分,又有游离油、气和吸附油、气等不同油气赋存状态,以及有机质类型和成熟度等。通过对各因素的分析,确定了岩相在测井解释中占首要地位,一方面岩相决定了烃源岩的类型,进而决定有机质成熟度及岩石的含油气性;另一方面,不同岩相下储集空间不同,其解释模式也不同<sup>[8-10]</sup>。因此,为了兼顾模型的稳定性和精度,必须最大限度地摒除岩相不同带来的测井响应差异,故构建矿物组分含量解释模型时,应采用基于数据拟合的模拟法,首先对岩相进行划分,然后在不同岩相条件下,分别进行数据拟合。

## 3 矿物组分含量解释模型构建

笔者以罗家地区罗69井为例,利用先分岩相,后进行数据拟合的思路进行了处理,并将结果与实验值进行了对比。

### 3.1 岩相划分

基于实验室岩心观察、薄片鉴定及X衍射全岩矿物分析结果,根据岩石构造特征(纹层状、层状、块状)、矿物组成(钙质含量、粘土含量)及方解石结晶特点(隐晶、显晶)的不同,可识别出十余种岩相

类型,主要类型包含纹层状泥质灰岩相、层状泥质灰岩相、层状灰质泥岩相和层状含泥质灰岩相。为了简化运算,在分析不同岩相测井响应特征差异的基础上,按照泥质灰岩相和灰质泥岩相2大类分别建模。岩相的分类可由测井曲线交会图得到,例如,利用声波时差—电阻率和密度—电阻率2个交会图版对罗家地区罗69井的岩相进行分类,结果表明(图1),两者均可较好地地区分泥质灰岩相和灰质泥岩相。

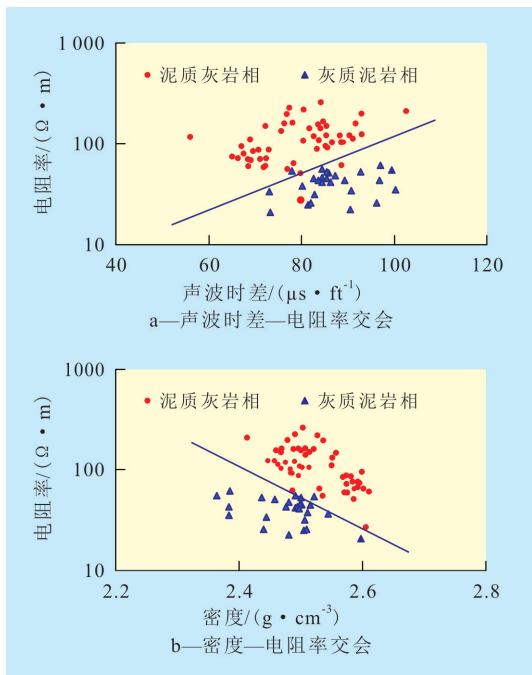


图1 交会图版法识别罗69井岩相类型

### 3.2 模型精度

罗69井泥页岩中的钙质含量、石英含量和粘土含量可由岩心X衍射实验测定,在此基础上,通过岩心测量值与对应的敏感测井曲线值之间的数据拟合,分别得到了泥质灰岩相和灰质泥岩相的计算模型。

在灰质泥岩相条件下,粘土含量、石英含量和钙质含量的计算模型分别为

$$V_{cl} = -0.5819q_{API} + 48.365 \quad R^2 = 0.6828 \quad (1)$$

$$V_{si} = 0.5339q_{API} - 9.1109 \quad R^2 = 0.5898 \quad (2)$$

$$V_{ca} = 0.176483q_{API} + 125.6935\rho - 277.2222 \quad R^2 = 0.540 \quad (3)$$

式中:  $V_{cl}$  为粘土含量,%;  $q_{API}$  为自然伽马,API;  $V_{si}$  为石英含量,%;  $V_{ca}$  为钙质含量,%;  $\rho$  为密度测井值,  $g/cm^3$ 。

在泥质灰岩相条件下,粘土含量、石英含量和钙质含量的计算模型分别为

$$V_{cl} = 0.5623q_{API} - 14.927 \quad R^2 = 0.6494 \quad (4)$$

$$V_{si} = 4.42996 + 0.0820q_{API} + 0.2419\Delta t - 4.0642\rho \quad R^2 = 0.6229 \quad (5)$$

$$V_{ca} = -0.7987q_{API} + 66.4254\rho - 63.7140 \quad R^2 = 0.7099 \quad (6)$$

式中:  $\Delta t$  为声波时差测井值,  $\mu s/ft$ 。

利用体积模型反演的数值法和岩相分类基础上的数据拟合法,对罗69井测井资料进行了处理。由罗69井的处理结果(图2)可见,岩相分类基础上

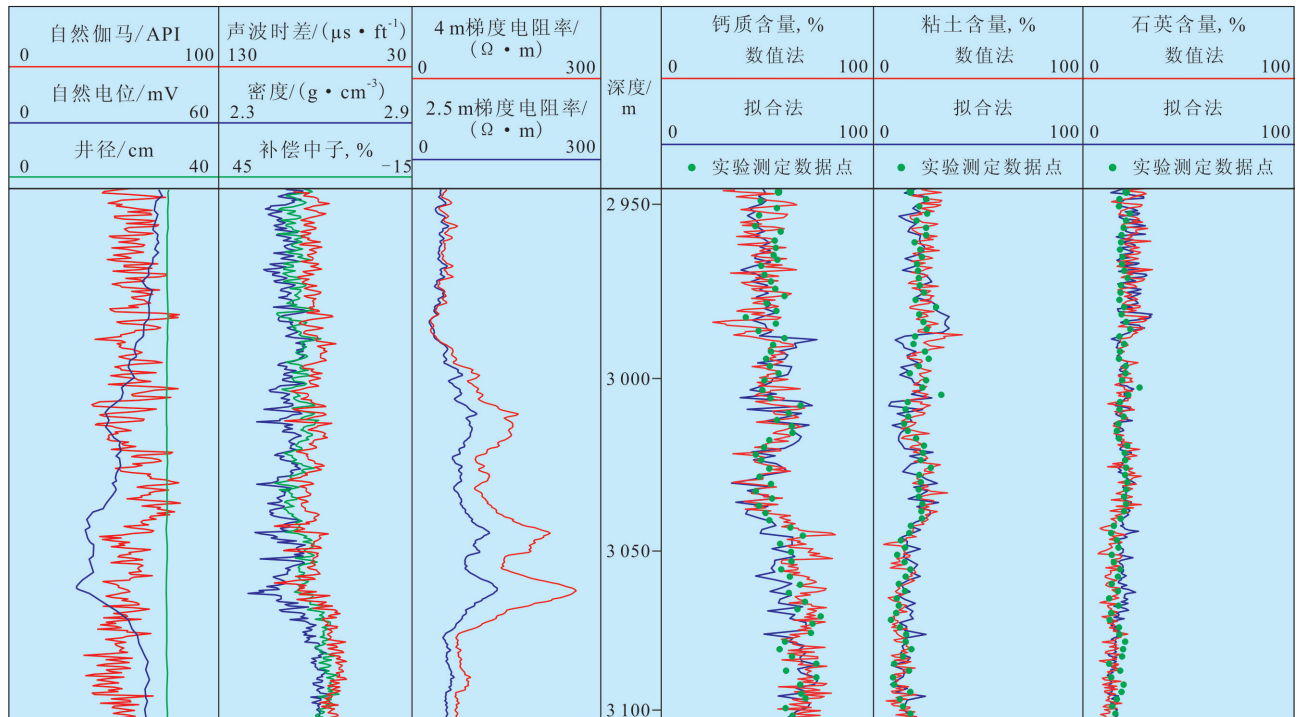


图2 罗家地区罗69井测井曲线及矿物组分含量处理结果

的数据拟合法精度略高于体积模型反演的数值法,均符合泥页岩建模的要求。但是由于体积模型反演的数值法需要考虑的因素众多,且操作繁杂,而岩相分类基础上的数据拟合法从泥页岩的综合测井响应差异出发,原理简单,易于操作,可以得到精度略高的拟合结果。因此,为提高精度和推广性,针对相变较快的罗家地区泥页岩参数模型构建,建议采用岩相分类基础上的数据拟合法,因该方法采用了岩相分类来约束建模过程,从而降低了测井参数人为选取的随意性,使参数建模不再仅仅是数字的运算和统计,而在其中蕴含了更多的地质概念,不但还原了测井曲线响应的真实地质意义,还增强了模型的推广性。

## 4 结束语

从取值方式和建模思路2方面入手,解决了陆相湖盆泥页岩矿物组分含量解释模型构建的难题。通过模型对比及实例分析,对泥页岩矿物组分含量建模提出2点建议:①取值时,建议选取段一段取值方式,以减少人为取值的随意性,提高模型精度;②建模时,建议选用岩相分类基础上的数据拟合法以提高精度。

### 参考文献:

- [1] 曾文冲.油气藏储集层测井评价技术[M].北京:石油工业出版社,1991.
- [2] 李丕龙,庞雄奇,张善文,等.陆相断陷盆地油气地质与勘探[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [3] 王秉海,钱凯.胜利油区地质研究与勘探实践[M].东营:石油大学出版社,1992.
- [4] 宋国奇.浅谈油气地质科研人员应具备的基本素质[J].油气地质与采收率,2011,18(4):1-5.
- [5] 宋国奇.哲学与油气勘探——济阳拗陷现阶段地质研究的思维方法探讨[J].油气地质与采收率,2010,17(1):1-5.
- [6] 许晓宏,黄海平,卢松年.测井资料与烃源岩有机碳含量的定量关系研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),1998,20(3):8-12.
- [7] 王熙荣,罗菊兰,马腾云,等.XF油田长6-8地层测井定量评价参数的选取及模型的建立[J].测井技术,2006,30(6):506-510.
- [8] 刘成林,葛岩,范柏江.页岩气成藏模式研究[J].油气地质与采收率,2010,17(5):1-5.
- [9] 姜秀芳.济阳拗陷湖相碳酸盐岩沉积主控因素[J].油气地质与采收率,2011,18(6):23-27.
- [10] 母国妍,钟宁宁,刘宝,等.湖相泥质烃源岩的定量评价方法及其应用[J].石油学报,2010,31(2):218-224.

编辑 常迎梅

### (上接第23页)

- [7] 赵伦,赵澄林,袁选俊.酒东盆地营尔凹陷古湖泊水介质研究[J].西安石油学院学报,1998,13(5):6-10.
- [8] 赵鹏,陈世加,李丽萍,等.酒东盆地营尔凹陷下白垩统油源对比[J].天然气地球科学,2006,17(2):192-195.
- [9] 纪友亮.陆相断陷湖盆层序地层学[M].北京:石油工业出版社,1996.
- [10] 杨建业,任德贻,邵龙义.有机相在陆相层序地层格架中的分布特征——以吐哈盆地台北凹陷及准噶尔盆地南缘中侏罗世煤系为例[J].沉积学报,2000,18(4):585-589.
- [11] 盖玉磊.东营凹陷孔二段烃源岩发育特征及生烃潜力[J].油气地质与采收率,2008,15(5):46-48.
- [12] 黄绍甫.层序地层有机地球化学研究进展及其意义[J].南方国土资源,2005,(6):30-33.
- [13] 柳广弟.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,2009.
- [14] 庞雄奇,李素梅,金之钧,等.排烃门限存在的地质地球化学证据及其应用[J].地球科学——中国地质大学学报,2004,29(4):384-390.
- [15] 陈中红,查明,陈建平,等.断陷盆地烃源岩压实排烃的非均一性分析——以东营凹陷为例[J].油气地质与采收率,2004,11(2):12-14.
- [16] 张守春,张林晔,查明.湖相烃源岩排烃差异性模拟研究——以东营凹陷古近系沙三段为例[J].油气地质与采收率,2009,16(6):32-35.
- [17] 陈安定.苏北盆地第三系烃源岩排烃范围及油气运移边界[J].石油与天然气地质,2006,27(5):630-636.
- [18] 张振英,邵龙义,柳广弟,等.南堡凹陷无井探区烃源岩评价研究[J].石油勘探与开发,2005,31(4):64-67.

编辑 武云云