

[引著格式] 王孝臣. 松辽盆地北部深层气藏水平井地质导向技术研究 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (1+2): 31~34.

松辽盆地北部深层气藏水平井地质导向技术研究

王孝臣 (中石油大庆油田有限责任公司采气分公司, 黑龙江 大庆 163458)

[摘要] 松辽盆地北部深层气藏在开发中面临着直井产能低、储量动用差等难题。由于储层埋藏深, 岩性变化快、非均质性强、储层物性差, 实施水平井地质风险较高。为确保水平井钻井成功, 提高储层钻遇率及单井产能, 开展水平井地质导向技术研究。从气藏构造研究出发, 井震结合分析储层特征及有效储层展布, 应用地质建模技术对待钻区域储层情况进行预测。实钻过程中综合利用研究成果、钻井、录井、随钻测量等多种信息, 实时修正地质模型, 跟踪调整井眼轨迹。在导向工作中总结出造斜段的“三调整”和水平段的“三对比”导向方法, 应用后提高了入靶点精度及储层钻遇率, 取得了良好的效果。

[关键词] 松辽盆地; 深层气藏; 水平井; 地质导向

[中图分类号] TE243.1 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752 (2015) 01+02-0031-04

松辽盆地北部深层气藏主要目的层为砾岩和火山岩储层, 以火山岩储层为主。储层岩性平面展布复杂, 储层物性横向变化存在不确定性, 且具有高温、高压、高含 CO₂、低孔低渗等特点^[1]。近年来针对深层气藏特别是火山岩储层规模小、井网密度低、物性差、岩性、岩相变化快、非均质严重等难题, 为有效提高单井产量和储量动用程度, 探索深层气藏水平井开发试验, 通过多年探索形成了“平直结合, 水平井为主”的开发模式, 初步实现稀井高产, 在一定程度上解决了难动用储量区块有效开发的技术难题。

由于水平井钻井周期长, 投资费用高, 为了实现水平井钻井地质目的, 水平井随钻地质导向技术发挥着重要作用^[2]。依据钻前室内气藏地质研究成果, 结合现场施工实钻过程中捕捉到的各种地质信息, 正确判断地下所钻地层岩性、储集层流体性质、开采目的层空间分布等地质特征, 为钻井过程中轨迹调整提供必需的地质参数, 优化水平井轨迹, 引导实钻轨迹准确入靶, 保障储层钻遇率, 实现单井产能最大化。通过地质导向技术研究, 开展深层气藏水平井描述、远程传输、水平井跟踪评价, 逐步形成了水平井地质导向配套体系。

1 水平井地质导向配套技术

1.1 加强深层气藏构造研究, 提高标志点与入靶点精度

火山岩储层是火山喷发形成的, 具有储层规模小、非均质程度高、多期次迭置等特点, 在地震剖面上表现为内部反射杂乱、连续性差、以强反射特征为主^[3]。经过多年研究探索, 从火山岩形成机理入手, 以地震火山层序地层学为指导, 寻求地震尺度上火山喷发的物理界面, 进行火山喷发期次的地震识别, 明确不同火山岩体之间时间上的先后顺序和空间叠置关系, 依次形成火山岩体层序-机构-期次体的解释思路, 精细刻画火山岩目标体。应用该项技术在安达地区完成了 14 个反射层构造解释, 落实了火山喷发期次体顶面和火山岩顶底界面深度, 利用不同喷发期次体的层位搭接关系建立低频模型, 为后续储层反演和预测等奠定基础。统计近年已完钻的 5 口水平井, 着陆点误差在 5~27m, 平均误差 12.8m, 比早期构造解释精度大大提高。

1.2 加强井震技术研究, 提高储层特征认识

火山岩储层在地震剖面上表现为同相轴连续性差、低频、中低振幅、低能量等特点。通过追踪对比钻遇储层的地震反射特征, 宏观地指导地质导向开展^[4]。测井包括常规测井与水平井随钻测井, 主要用

[收稿日期] 2014-08-20

[基金项目] 中国石油天然气股份公司科技攻关项目 (2011B-1506)。

[作者简介] 王孝臣 (1984-), 男, 工程师, 现从事气田开发与开采技术工作, wangxiaochencq@petrochina.com.cn。

于水平井钻前储层的分析、评价和优选,通过点线面分析法,对比分析井区邻井及连井剖面,判断目的储层发育规模、物性变化及预测有利储层分布。

深层气藏水平井目的层为营城组,营城组上部地层登娄库组底部登二段地层主要以紫褐色泥岩为主,与灰白色厚层细砂岩成不等厚互层;营城组顶部营四段地层为厚层砾岩,二者之间是平行不整合接触,在测井曲线特征上,登娄库组底部登二段是一套高伽马、低电阻率的泥岩段;营四段上部为低伽马、高电阻率的砾岩段。营四段下部为砂泥岩互层湖相沉积,营一段以火山岩为主,二者之间为角度不整合接触,在测井曲线特征上,营四段底部是一套高伽马、低电阻率的泥岩段,营一段火山岩为高伽马、高电阻率火山岩段。不同目的层电性特征不同,即便是火山岩,由于 SiO_2 含量不同,中基性火山岩与酸性火山岩电性特征差别较大,如:玄武岩自然伽马值一般 $80\sim 100\text{API}$,电阻率 $20\sim 40\Omega\cdot\text{m}$;酸性火山岩自然伽马值一般在 150API 左右,电阻率 $200\sim 2000\Omega\cdot\text{m}$ 。随钻测井则是在水平井钻进过程中对钻遇水平段储层的评价,测井项目由最初的自然伽马、深浅电阻率与密度、中子逐步进行简化,目前只有自然伽马和深浅电阻率测井。为了准确判断岩性及进出目的层变化,除了跟踪分析常规的自然伽马与电阻率曲线,有时介入自然伽马成像技术,判断进出目的层的变化。通过方向性测量上下自然伽马,根据图像改变及特征,清楚判断界面的位置,进而对地质导向提供地质依据。在X5井钻进中,根据自然伽马成像技术在测深2938m处表现成像特征与上部明显的差异,经随钻电测曲线对比及岩屑薄片鉴定岩性,证实于测深2938m(垂深2914m,井斜 46° ,方位 327°)处钻至M标志点,比设计深6.8m(设计M点垂深2907.2m)。正是及时分析随钻数据,避免了钻出目的层造成轨迹的损失。

针对已开发地质认识程度相对较高的区域,利用已完钻井综合解释成果、生产能力等综合分析,确定有效储层类别,明确有利的岩性、岩相。采取井震结合,应用地震剖面分析、属性分析、波形分类等方法,在“火山机构分类识别与岩相刻画技术”基础上,开展有效储层预测技术研究,揭示了火山岩体与岩相宏观空间分布特征。通过已开发的密井网区解剖,受火山机构控制,营一段I气层组主要发育晶屑凝灰岩、熔结角砾岩、熔结凝灰岩,以爆发相为主。有利储层发育不连续,II、III类储层为主,I类储层仅在500m以内。通过密井网区解剖和预测,优选出侧钻水平井和加密水平井井位和层位,统计完钻2口水平井,储层预测符合率达80%。

针对评价区块,火山岩发育规模小,岩性变化快,区域或断块内仅有少数一或两口探井。为了加深评价区块地质认识程度,提高储层钻遇率,通过钻导眼井或取心加强水平井区的储层分布规律认识,综合评价导眼井钻遇储层情况,优选目的层。CD气田仅有5口探井投产,气井产能低,部署水平井前先钻导眼井,根据钻遇结果优选了垂深相差90m的上下两套砾岩储层为目的层,实施双分支水平井钻井。实钻后储层预测符合率83.2%,导眼井保证了双分支水平井的准确入靶和较高的储层钻遇率。

1.3 加强录井技术研究,准确判断深层气藏岩性

利用岩屑录井、气测录井或取心等技术手段判断储层岩性、含气性^[5]。依据岩屑录井的岩性、颜色、硬度和随钻电测曲线综合确定目的层岩性;依据气测录井的全烃、组分烃等变化判断含气性的好坏,综合确定水平井是否准确入靶。深层气井目的层深度大,气测上返时间长,需要做好泥浆的循环和气测变化的分析。虽然气测变化与测井信息都有一定的滞后时间,但是气测录井信息略早于随钻测井信息,能够提前判断和调整钻头位置。

1.4 应用地质建模技术,优化地质导向

地质导向是以地质研究为基础,以录井、随钻测井、井身轨迹控制等为手段的一项综合配套技术。地质模型是将地质研究成果移植到电脑中,使之成为数值化的地质模型。在钻井过程中,根据随钻测井和最新的地质认识,可实时将钻遇信息加入模型中并以图像直观展示出来,为随钻对比分析、轨迹预测与调整提供参考。在地质导向中,通过跟踪和分析,提高着陆质量,尽可能增加水平段与储层的接触面积。主要包括三个关键环节:一是着陆点与靶点位置确定,二是目的层的倾角的落实,三是储层横向变化与预测。根据实钻情况及时调整地质模型:如果入靶点滞后,要保持井斜角比目的层地层倾角小 $3\sim 5^\circ$ 钻进,直到钻遇储层顶部后调整轨迹角度平行地层钻进;若入靶点提前,要尽快将井斜调整到接近目的层地层倾角,否则容易钻穿目的层。在导向过程中,实时通过模型监测井眼轨迹,轨迹调整应避免狗

腿度过大、复杂、不平缓, 否则不利于后续完井作业。

2 随钻地质导向方法

在水平井地质导向过程中有 4 个关键点 (标志点 M、着陆点 N、靶点 A 和 B) 决定该井的钻井轨迹^[5~6], 尤其是靶点 A 是否精确入靶对该井钻井成功影响尤为重要。为保证水平井钻井成功, 在地质导向实际工作中要克服的难点: ①由于火山体规模小, 岩性变化快, 地面井网密度低, 导致邻井储层发育特征可借鉴性与对比性低, 致使水平井方案设计与实钻对比上误差较大, 需导向人员在现场实时调整。②钻井作业中随钻测井数据及综合录井资料存在延迟、滞后现象。③营城组中基性玄武岩与泥岩岩性特征相似, 难以识别。④由于储层埋藏深, 地下条件复杂, 岩性变化不确定性导致井斜控制困难, 井眼不规则, 影响随钻测量仪器数据精确录取。

为了使地质导向精确制导, 通过多年地质导向技术研究及现场工作经验积累, 将地质导向工作分为造斜段 (入靶前) 和水平段 (入靶后) 两个阶段, 针对两个阶段总结出“三调整” (标志点 M 调整、着陆点 N 调整、靶点 A 调整)、“三对比” (气测对比、岩性对比、电测对比) 的导向方法, 形成了较成熟配套的随钻地质导向方法。

2.1 水平井造斜段地质导向

造斜段地质导向的目的是能够准确入靶。一是在钻井过程中随时将钻井、录井、测井数据加载到地质模型中, 依据录井岩屑的岩性、随钻伽马、电阻率等信息综合确定地层界面; 二是将设计井实钻深度转化海拔垂深与邻井分析对比推出标志层顶底界深度; 三是找准火山岩顶面的着陆点进而准确推出目的层入靶点。

统计近年完钻 5 口水平井, 着陆点 N 设计与实钻最大差值为 27m, 平均差值为 13m; 靶点 A 设计与实钻最大差值为 4m, 平均差值为 2m (表 1)。通过逐级调整关键点, 使水平井 N 点误差由平均 13m 通过造斜段地质导向校正, 钻至靶点 A 平均误差降至 2m, 准确控制水平井入靶。

表 1 近年完钻水平井着陆点、靶点设计与实钻误差对比表

序号	井号	完钻井深 /m	水平段长 /m	着陆点 N/m			靶点 A 垂深/m		
				设计	实钻	差值	设计	实钻	差值
1	X1	4663	1204	3161	3152	-9	3295	3292	-3
2	X2	4876	1340	3283	3256	-27	3352	3351	-1
3	X3	4785	1339	3265	3257	-8	3260	3258	-2
4	X4	4064	427	3532	3527	-5	3557	3561	4
5	X5	4616	1426	2977	2962	15	3001	3002	1

2.2 水平井水平段地质导向

水平段地质导向是以钻遇最大储层厚度为目标。入靶后时时跟踪分析现场数据, 综合岩性对比、气测对比、电测对比, 结合储层产状特征, 预测即将钻遇地层情况, 及时调整钻井轨迹, 确保储层最大钻遇率。通过水平段三调整导向方法, 深层气藏水平井储层钻遇率由 2008 年 58% 提高到 2014 年平均 80% 以上 (表 2), 地质导向方法应用效果明显。

表 2 完钻水平井储层钻遇率对比表

序号	完钻日期 (年-月)	井号	层位	岩性	完钻井深/m	水平段长/m	钻遇储层长度/m	储层钻遇率/%
1	2008-11	Y1	营一段	火山岩	4717	633	369	58
2	2010-06	Y2	营一段	火山岩	4955	932	584	63
3	2012-07	Y3	营一段	火山岩	4755	835	549	66
4	2014-02	X3	营四段	砾岩	4785	1339	1166	87
5	2014-02	X4	营四段	砾岩	4064	427	361	84
6	2014-08	X5	营一段	火山岩	4765	1066	968	91

3 结论与认识

1) 加强精细地质描述力度, 确保水平井设计精度提高。

2) 造斜段应用三调整导向法实现准确入靶, 水平段应用三对比导向法保证储层最大钻遇率, 应用于水平井地质导向效果明显。

3) 现场跟踪应综合多种技术手段及时跟踪调整, 建议在地质条件复杂地区增加伽马成像测井技术; 在疑难火山岩储层岩性识别上, 在录井现场增加化学元素分析仪器以便有效识别储层岩性。

4) 随钻测井技术已是水平段跟踪钻进过程中的必备技术手段, 因此在随钻测井的选型中应满足深层气田储层高温、高压的特性, 保证随钻测井在整个水平段钻井过程中正常工作, 并提供准确数据。

[参考文献]

[1] 姜传金, 冯肖宇, 詹怡捷, 等. 松辽盆地北部徐家围子断陷火山岩气藏勘探新技术 [J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26 (4): 133~137.

[2] 苏义脑. 地质导向钻井技术概况及其在我国的研究进展 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32 (1): 92~95.

[3] 王璞珺, 陈树民, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相及其与火山岩储层的关系 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24 (1): 18~24.

[4] 蒙启安, 门广田, 张正和. 松辽盆地深层火山岩体、岩相预测方法及应用 [J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20 (3): 21~25.

[5] 胡文瑞. 水平井油藏工程设计 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 36~82.

[6] 刘岩松, 衡万富, 刘斌, 等. 水平井地质导向方法 [J]. 石油钻采工艺, 2007, 29 (2): 4~7.

[编辑] 帅群

(上接第 30 页)

表 2 Z587 井新解释吸水参数表

解释层号	射孔层段/m	射孔厚度/m	吸水厚度/m	相对吸水量/%	绝对吸水量/(m ³ ·d ⁻¹)	吸水强度/(m ³ ·(d·m) ⁻¹)
1	621.5~624.5	3.0	3.0	24.935	4.771	1.59
2	628.0~630.0	2.0	2.0	8.922	1.707	0.85
3	632.0~634.0	2.0	2.0	10.281	1.967	0.98
4	638.0~640.0	2.0	2.0	17.995	3.443	1.72
5	641.5~643.0	1.5	1.5	9.162	1.753	1.17
6	645.0~647.0	2.0	2.0	18.884	3.613	1.81
7	670.0~670.5	0.5	0.5	9.821	1.879	3.75
合计		13.0	13.0	100	19.133	

4 结论

1) 连续示踪相关流量测井相较于其他注入剖面测井方式, 具有测量精度高、测量范围广的优点。

2) 连续示踪相关流量测井比较适合低注入量的井, 并可以进行精细解释。

3) 根据连续示踪相关流量测井原理在 CIFLog 平台上编写的软件, 能够使用 CIFLog 的所有功能, 并且可以对小层进行精细计算, 可以评价每个小层的吸水量。

[参考文献]

[1] 姜文达. 放射性同位素示踪注水剖面测井 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.

[2] 刘晓, 赵斌, 杨志冬, 等. 同位素注水剖面测井技术在注水开发油田中的应用 [J]. 新疆石油科技, 2003, 13 (3): 8~9.

[3] 唐海涛, 李金凤, 高立敏, 等. 用于注入剖面测井的几种流量计的对比分析 [J]. 石油仪器, 2005, 19 (1): 47~49.

[4] 郭海敏. 生产测井导论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.

[5] 戴家才, 王向公, 郭海敏. 测井方法原理与资料解释 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.

[编辑] 龚丹