

Azimuthal GR Application of Near Bit in Geological Orientation

Deshan Wu¹, Xueyang Zhao^{2*}, Fazhan Zhao¹, Wei Zhao¹, Junjun Guo³

¹Shenhua Geological Exploration Co. Ltd., Shenhua Group, Beijing

²Huatian Xingneng Gas Company, PetroChina Southwest Oil & Garfield Company, Chengdu Sichuan

³Shenhua Beidian Shengli Energy Co. Ltd., Xilinhaote Inner Mongolia

Email: *zfy198@126.com

Received: Jun. 8th, 2020; accepted: Jul. 8th, 2020; published: Sep. 15th, 2020

Abstract

During developing thin oil-bored layer, shale gas and methane, geological orientation technology is usually employed so that bit can pass into the thin layer with the most possibility. In the techniques of geological orientation, the curves of GR and resistivity near bit can supervise bit position, with which the controlling system in the surface can adjust space position of bit. Because azimuthal GR value is different when the bit passes into or is away from the thin reservoir, azimuthal GR was used to help the surface control system adjusting the bit orientation so that the effective reservoir loss decreased and the producing profits increased.

Keywords

Geological Orientation, Azimuthal GR, Near Bit GR, Near Bit Resistivity, Logging While Drilling (LWD)

*通信作者。

近钻头方位伽马在地质导向中的应用

吴德山¹, 赵雪阳², 赵发展^{1*}, 赵伟¹, 郭军军³

¹神华地质勘查有限责任公司, 北京

²西南油气田华油集团华天兴能燃气公司, 四川 成都

³神华北电胜利能源有限公司, 内蒙古 锡林浩特

Email: *zfd198@126.com

收稿日期: 2020年6月8日; 录用日期: 2020年7月8日; 发布日期: 2020年9月15日

摘要

在薄油层、页岩气、煤层气开采中, 为了使钻头尽可能从薄储层、页岩或煤层中心穿过, 常常采用地质导向技术, 利用近钻头自然伽马和近钻头电阻率曲线对井下钻头的位置进行监控, 以便在地面对钻头的空间位置做出调整。方位自然伽马进入储层和穿出储层时, 会出现伽马值的差异, 利用此异常, 地面控制系统据此可调整钻头的方向, 使其从储层中穿过, 从而减少有效储层所造成的损失, 提高产能和开发效益。

关键词

地质导向, 方位伽马, 近钻头伽马, 近钻头电阻率, 随钻测井

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

随着随钻测控技术的迅猛发展, 地质导向钻井技术成为大斜度井、水平井和多分支井等复杂结构井地层评价的重要手段, 在煤层气、超薄油层和页岩气开发中, 为了使钻头能最大化的从煤层或油层中心通过, 常常采用地质导向, 大斜度井和水平井技术已经广泛应用于石油天然气勘探开发钻井作业, 早期的地质导向采用自然伽马仪器, 对于简单的储层, 也能勉强的完成任务, 但是对于断层, 起伏不定的储层, 一旦钻头穿出储层, 很难返回到储层。还有一个严重的问题就是, 由于伽马仪器位于钻头后面比较远的地方, 当发现自然伽马穿出地层后, 进行纠正, 将会损失有效的钻井井段, 而方位伽马在被引入地质导向后就能及时的纠正了这方面的问题。

常规定向钻井基本依据邻井资料和地质设计预先确定好钻头路径, 根据钻头方向的井斜数据进行几何导向。这种技术在目的层很厚、地质结构简单时应用效果很好, 但是在目的层较薄、在地质结构复杂的层层时, 则导向效率很低甚至失败。而钻大角度井或水平井时, 在薄油层或有复杂褶皱、多断层的油藏中, 一般将井深与界面如油层顶部、油水界面等保持一定的距离, 常规的导向无能为力, 只有用近钻头方位伽马来完成地质导向任务。

国外对于方位伽马成像的研究走在前面, 在方位伽马的设计和研发方面已经相对成熟, 其中代表性

的有：斯伦贝谢(Schlumberger)公司新一代近钻头方位伽马成像系统 IPZIG，哈里伯顿(halliburton)公司新一代近钻头方位伽马成像仪器 GABI，贝克休斯(Kaker Hughes)公司制造的多功能随钻仪器 OnTrak，在世界范围内进行测井技术服务[1]，我国对于随钻方位伽马测井仪器的研究相对落后，最近几年，国内有几十家单位立项进行方位伽马仪器的设计研究，中国石油集团测井有限公司[2]、中国石油集团钻井工程技术研究院、中国石油大学在方位伽马方面的研究取得了很大的进展[3] [4]。

2. 方位伽马的构造

自然伽马测井仪测量的是地层中自然存在的放射性物质放出的伽马射线的强度。由于不同的地层自然伽马不同，泥岩最高，砂岩，煤的自然伽马比较低，所以用自然伽马用来判断地层岩性，划分地层的有效厚度，计算泥质含量。而方位自然伽马与常规的自然伽马在仪器电路上没有本质的区别，只是将伽马仪器安装在钻铤上，记录不同方位的伽马射线。方位自然有上下方位的结构，还有 4，8，16 扇区的伽马分布的仪器[5]，图 1 是方位伽马仪器结构示意图。

近钻头地质导向系统提供近钻头方位伽马测量数值，结合旋转方位信息，记录多个扇区的测量值，因此这些测量值包含了井下仪器的方位信息，通过这些实时上传的上、下伽马数据，可以迅速通过调整钻头方位使钻具重新在储层中穿行。

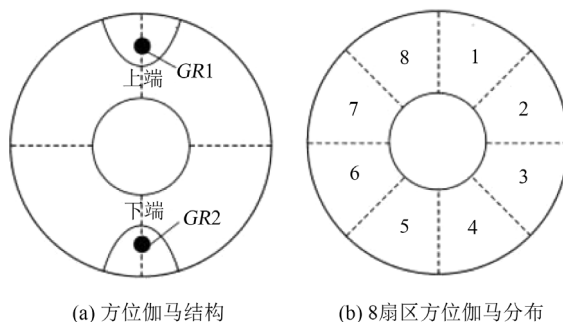


Figure 1. Structure of Oriented GR and distribution schematic diagram of measuring sector

图 1. 方位伽马结构和测量扇区分布示意图

常规的 GR 地质导向系统，由于自然伽马距离钻头的距离很远，当钻头穿出地层后才能探测到信息，因此，损失了比较长的有效钻井进尺，而且凭经验调整钻头，很难在复杂地层获得满意的结果。具有方位特性的近钻头地质导向系统由于测量零长相对较小，克服了常规地质导向系统的不足。现场定向井工程师利用获得的实时测量参数，能够及时识别储层顶部岩性信息、识别地层变化，通过方位特性测量，确定钻具在储层中的位置，随时调整井眼轨迹，使轨迹沿油层展布方向钻进，保证油层钻遇率。斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯等油服公司先后研发了近钻头地质导向系统。图 2 是常规伽马与近钻头方位伽马在穿过储层示意图。

3. 近钻头方位伽马仪器的构造

对于水平井来说，位于储集层上面和下面的地层是泥岩，储集层与上下围岩的自然伽马差异比较大，对于常规的砂岩薄地层，泥岩的自然伽马值高于砂岩的自然伽马值，对于普通的自然伽马仪器，当钻头从储层的上部或下部穿出时，自然伽马值发生变化，操作工程师只能根据反馈的信息判断钻头穿出储集层，而不能判断是从储集层的顶部还是底部穿出，对于方位伽马仪器，当方位伽马在储集层中穿行时，伽马值比较低，而且变化范围比较小；当方位伽马从储集层中上部穿出进入上部泥岩地层时，由于上伽

伽马接收来自泥岩的射线大于下伽马伽马接收来自泥岩的射线，所以就出现上、下伽马射线的分离，即上伽马大于下伽马，操作工程师通过一定的方式调整钻头的方向，使钻头重新返回地层；当方位伽马从储集层中穿出进入下部泥岩地层时，由于下伽马接收来自泥岩的射线大于上伽马接收来自泥岩的射线，同样出现下、上伽马射线的分离，即上伽马小于下伽马，操作工程师通过一定的方式调整钻头的方向，使钻头重新返回地层；所以用方位伽马能很好的判断钻头在储层的位置，使钻井的水平有效段大大的增加 [6] [7]。图 3 是方位伽马仪器穿出穿进储集层伽马变化示意图以及上下伽马曲线变化图。

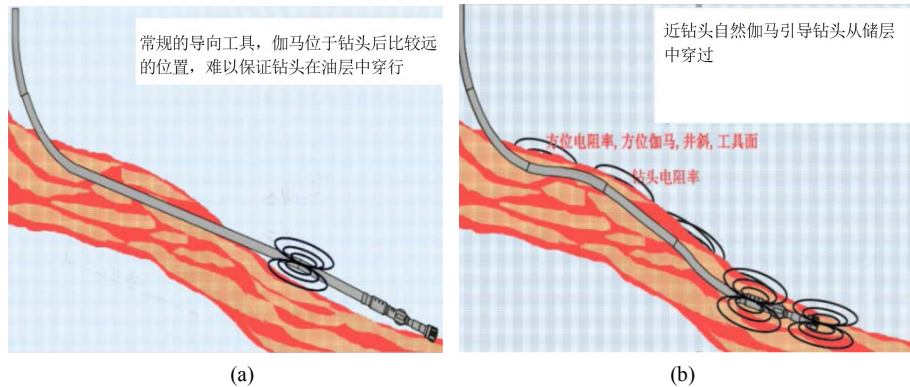


Figure 2. (a) Defect of Ordinary oriented by GR; (b) Advantage of near bit oriented by GR

图 2. (a) 常规伽马地质导向的缺点; (b) 近钻头方位伽马导向的优点

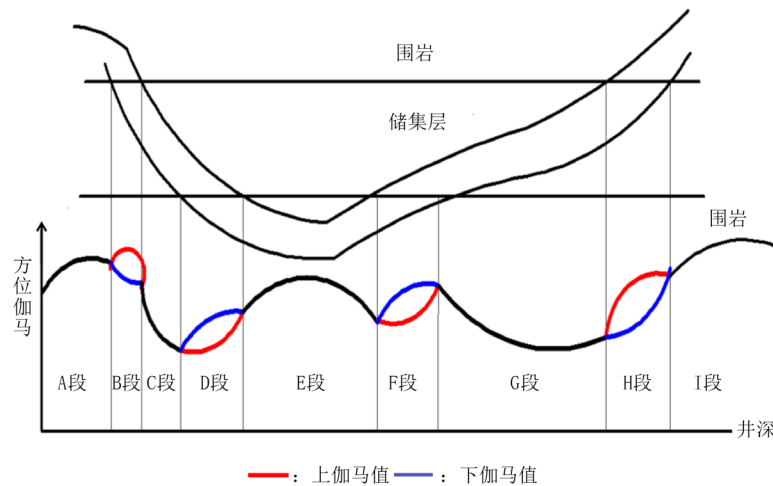


Figure 3. Two GR curves changing diagram of LWD tool go out and go in thin sandstone

图 3. 方位伽马仪器穿出穿进砂岩层伽马变化示意图

图 3 展示了钻头从上部围岩进入砂岩层然后再出砂岩层底部穿出又从底部进入砂岩层后又从顶部穿出的上下伽马值的变化图，A 段为方位伽马仪器在围岩中，上下伽马仪器接收到的射线基本相同，所以两条曲线重合，围岩地层中泥岩含量相对比较高，与砂岩储集层相比，围岩地层为高伽马值，B 段，钻头逐渐进入储层，上伽马探头接收来自地层的自然伽马射线高于下伽马探头接收的自然伽马射线，所以曲线出现分离，C 段，钻头完全进入储集层，2 个探头接收的自然伽马射线基本相同，所以曲线重合，D 段，曲线从储集层底部穿出，上伽马探头接收的伽马射线低于下伽马接收的伽马射线，曲线分离，E 段，钻头完全进入底部围岩地层中，上下自然伽马值相同，而且高于储集层的自然伽马值，F 段，钻头从底部围岩进入储集层，上伽马探头接收的伽马射线低于下伽马探头接收的伽马射线，曲线分离，G 段，

钻头完全进入储集层，上下伽马探头接收的伽马射线值基本相同，但是其值低于围岩的自然伽马值，H段，钻头逐渐又穿出储集层，上伽马探头接收的伽马射线值高于下伽马探头接收的伽马射线值，曲线分离，I段，钻头完全穿出储集层进入围岩，上下伽马探头接收的射线相同，曲线重合，其值高于储集层的伽马射线。

4. 方位伽马成像

现在贝克休斯公司的地质导向仪器为4扇区伽马仪器，通过接收4扇区的伽马值，当仪器穿进和穿出储集层时，伽马值在井壁剖面上4个方向有不同的值，从而进行方位伽马成像，在图像上表现为正弦曲线，根据正弦曲线最大值的方向就可以判断从储集层穿出还是从围岩进入储集层。伽马成像仪器从围岩进入储集层，伽马成像图上正弦曲线为最大值，当方位伽马仪器从储层穿出进入围岩时，伽马成像图上正弦曲线为最小值，在钻井过程中，根据伽马成像最大值的方向，上下伽马值的差异，气测变化量的变化等信息，操作员随时调整钻头的方位，使钻头从储层穿过，极大的提高钻遇率，有极大的经济效益。

在图4中，第1道是钻头的方位变化图，第二道 GRAUX 是上伽马值，GRADX 是下伽马值，第三道是自然伽马平均值，第4道是方位伽马成像图，第5道是深度道，第六道是根据地震资料预测的地质剖面以及钻头实际穿过储集层的轨迹(红粗线)。

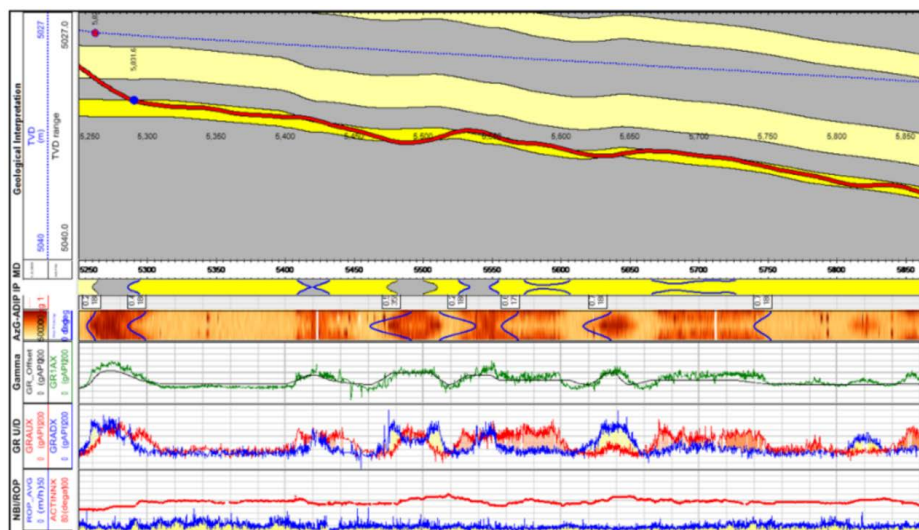


Figure 4. Oriented GR image of LWD tool go out and go in thin sandstone

图4. 方位伽马仪器穿出穿进薄砂岩层伽马成像示意图

5. 应用举例

在任何地方，砂岩的自然伽马远远小于泥岩的自然伽马，图5是某井的测井曲线图，在3197.5处，钻头从砂岩进入泥岩层，上伽马从砂岩进入泥岩比下伽马进入泥岩要晚，所以下伽马值比同一深度的上伽马值低，当方位伽马全部进入泥岩后，上下伽马就基本相同，同时在电阻率曲线上也出现相位电阻率大于幅度电阻率，综合分析判断，在3203.5 m，钻头全部从砂岩进入泥岩。

图6是神华集团在湖南开发页岩气的保页4XF井方位伽马测井曲线图，该方位伽马为四方位伽马探头，即上下左右四个探头，可以形成伽马成像，根据上下伽马的特点，方位伽马引导钻头在页岩中穿行，从气测值看出，在整个斜井段，气测高值占80%以上，所以，根据方位伽马取得了比较好的钻井效果，另外，四方位伽马用于计算地层的倾角，对于指导钻头的钻进起到很大的作用。

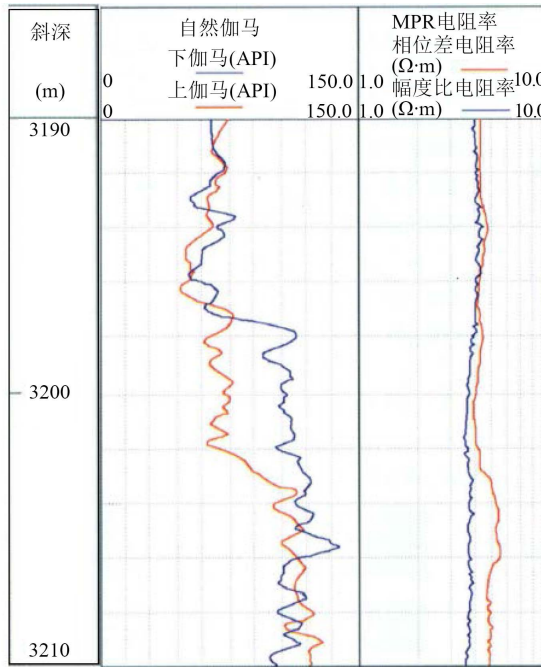


Figure 5. Two GR curves and resistivity curves changing diagram of orient tool go out and go in reservoir
 图 5. 方位伽马仪器穿过储集层后伽马变化曲线图

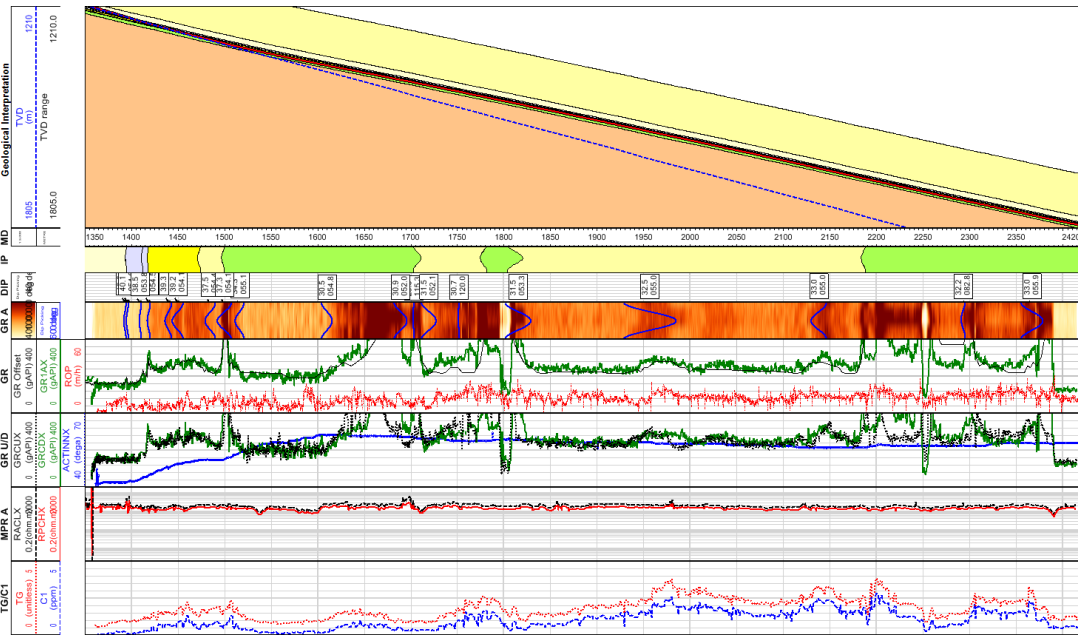


Figure 6. Oriented GR well-logging curves graph in shale gas reservoir in Baoye 4XF in Baojing, Hunan
 图 6. 湖南页岩气保页 4XF 井方位伽马测井图

6. 普通自然伽马与方位伽马在性能上的比较

6.1. 近钻头方位伽马的优势

普通自然伽马仪器，由于仪器结构的原因，接收的自然伽马来自探测器周围地层的伽马射线，在测

井曲线幅值上为平均贡献, 当使用普通的自然伽马进行地质导向时, 根据伽马值的大小可以判断钻头当前进入储集层或离开了油气储藏层, 但是无法准确判断是从储层的上方还是下方进入储层或离开储集层, 为钻头的调整增加了很大的难度, 在复杂的地层, 经常出现丢掉储层的情况, 使钻遇率大大降低。

方位伽马仪器, 可以接受不同方向的自然伽马量, 在水平井或大斜度井钻井中一般采用上伽马、下伽马 2 个不同方向伽马数据的变化, 能够根据上下伽马数据变化趋势的差异, 以及上下感应电阻率的配合, 判断仪器将从储集层的上方或下方离开储层, 定向人员收到通过泥浆传到地面的信号后及时对钻头做出调整, 使钻头返回储集层。方位伽马在实时的钻进中, 可以记录八个不同扇区的地层伽马数据, 可以生成轨迹成像图, 通过成像数据图像的连续性特征可以判断地层是否出现断层, 根据图像上正弦的最大值与最小值的指向, 可以反映出钻头从储层上部还是下部穿出储集层, 根据正弦值的大小以及井眼的尺寸, 可以得到断层的视倾角信息, 对于提高储层的钻遇率有非常重要的意义。

6.2. 近钻头方位伽马与常规方法在成本、效率等方面的因素分析

现在的地质导向, 对于复杂的储层, 基本上都会选择近钻头方位伽马, 由于它的特点决定了近钻头自然伽马与常规方法的伽马在成本上和效率上的不同, 近钻头自然伽马在储集层上下的变化非常明显, 操作员会及时对钻头作出调整, 所以能够优化水平井在储层中的位置, 降低钻井地质风险, 提高钻井效率, 实现单井产量最大化和投资收益的最大化。单位进尺成本越来越低, 导向效率会越来越高。

6.3. 近钻头方位伽马最新进展及展望

由于近钻头方位伽马的在地质导向中有着无法替代的优点, 尤其在薄层, 复杂储层进行水平井钻井, 必须使用近钻头地质导向, 世界许多油田服务公司基本上都在使用近钻头地质导向进行国际服务, 我国在近钻头方位伽马研究方面也有重大突破, 为我国薄储层复杂储层石油开采有重要的意义。

7. 结论

1) 近钻头地质导向系统方位伽马和井斜一体化设计, 实现近钻头地质参数与工程参数集成测量, 能实时监测地层特征信息、辨别地层变化, 测量的参数具有方位特性确定储集层边界的位置, 对于调整井眼轨迹, 提高储层钻遇率有重要的意义。

2) 近钻头方位伽马测量仪, 能够确定地层界面和划分岩性, 对地层物性进行初步评价, 准确控制井眼轨迹, 满足定向轨迹测量和地质导向的要求, 在降低水平井测井费用上取得明显效益。

3) 方位伽马成像结合上伽马下伽马值的差异为地质导向提供实时导向依据。

基金项目

国家重点研发计划项目, 课题编号 2016YFC0501102-04。

参考文献

- [1] 朱桂清, 章兆淇. 国外随钻测井技术的最新进展及发展趋势[J]. 测井技术, 2008, 32(5): 394-397.
- [2] 王珺, 陈鹏, 骆庆锋. 随钻方位伽马测井仪器设计及试验[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(1): 0476-0481.
- [3] 袁超. 随钻方位伽马测井方法基础研究[D]: [硕士学位论文]. 山东: 中国石油大学(华东), 2012.
- [4] 袁超, 周灿灿, 张锋, 等. 随钻方位伽马测井探测器直径优化设计[J]. 石油机械, 2014, 42(3): 1-4.
- [5] 白克宗, 党煜蒲. 随钻近钻头方位伽马测量系统设计[J]. 电子测量技术, 2019, 42(10): 82-85.
- [6] 闫振来, 韩来聚, 李作会, 等. 胜利油田地质导向钻井技术研究与应用[J]. 钻采工艺, 2008, 31(1): 20-24.
- [7] 郝以岭, 杜志强. OnTrak 随钻测井资料在冀东油田地质导向中的应用[J]. 测井技术, 2009, 33(2): 148-152.