

# 测井资料在钻井工程中应用现状及展望

张传进<sup>\*</sup> 鲍洪志

(中石化勘探院石油钻井研究所)

路保平

(中石化新星石油公司)

张传进等. 测井资料在钻井工程中应用现状及展望. 天然气工业, 2002; 22(5): 55 ~ 57

**摘 要** 针对复杂地区深井及超深井钻井基础参数难以求取的特点, 近年来国内外钻井工程学者利用测井资料中蕴藏着大量的地层信息, 对测井资料在钻井工程中的应用进行了深入的研究和推广。文章介绍了利用测井资料计算地层岩石力学特性参数、预测地层压力、计算地层岩石可钻性、提取钻井基础数据、进行钻头选型和预测钻井速度的原理、方法、现场应用和计算机软件的开发情况。并根据现场应用中反馈的信息, 指出了研究应用中存在的问题, 同时展望了测井资料在钻井工程应用的发展趋势。

**主题词** 测井数据 钻井工程 深井钻井 应用

测井资料中蕴藏着大量的地层信息, 深刻地体现着地层的各种特性和性质, 现代数据处理技术的发展与进步使从测井资料中快速提取科学钻井所需要的各种信息成为可能。由于利用测井资料求取钻井地质环境因素无需额外增加投入, 且可从中建立连续的反映地层特性的各种变化规律, 因此该研究方法得到了国内外工程界的普遍重视。

## 测井资料的应用

### 1. 测井原始信息

地层的纵、横波速度、泥质含量和密度是反映地层特性的最基本的信息, 也是提取钻井地层环境特性的基础。一般它可由以下途径来得到: 长源距声波全波列测井资料中获取纵横波速度信息, 从密度测井、自然伽马测井等常规测井资料中提取泥质含量和密度信息。无全波列测井资料时, 用常规

测井资料得出纵波速度、密度和泥质含量等信息, 用散射模型法从常规测井资料中提取横波速度。

所需的常规测井资料主要包括以下 6 类: 声波测井资料; 密度测井资料; 自然电位测井资料; 自然伽马测井资料; 井径测井资料; 电阻率测井资料。

只要有了上述测井资料, 则可从中提取和应用所需的地层信息。

### 2. 求取岩石可钻性

试验与研究表明, 测井资料可较好地体现岩石的物理机械力学特性, 地层的横波时差反映了地层的剪切变形特性, 地层的纵波时差反映了地层的拉伸和压缩变形特性及强度特性, 而地层的岩石可钻性则反映的是岩石的抗钻头冲击与剪切破坏的能力, 因此岩石的纵横波时差必然能反映出岩石的可钻性特征。

可靠性寿命预测模型, 并推导出了在完井后  $t$  时刻套管不可靠度  $F_s(t)$  的上限和下限的计算公式; 按照套管的可靠性寿命预测模型编制出了实用计算程序, 并在此基础上以中原油田某井为例对模型进行了初步的验证, 证明了该模型的合理性。

## 参 考 文 献

1 张效羽等. 油水井套管变形损坏的模糊评判. 石油钻采工

艺, 1996; 18(3)

2 许运新. 油层套管损坏因素的分析及预防. 钻采工艺, 1992; 15(4)

3 赵有芳. 国外油田油水井套管损坏综述. 大庆石油地质与开发, 1989; 8(2)

(收稿日期 2001 - 11 - 28 编辑 钟水清)

<sup>\*</sup>张传进, 高级工程师, 1965 年生; 1986 年毕业于成都理工学院; 现从事钻井技术研究及管理工作。地址: (253005) 山东省德州市东风东路 35 号。电话: (0534) 2622554。电子邮件: cujinz @sohu. com

利用华石—型可钻性测定仪测定岩石可钻性,对测井资料进行数据处理,把实测的岩石可钻性级值与同井深的声波时差  $T$ 、密度  $\rho$  对应起来。按数理统计单因素方差分析理论,以相关系数  $R$ 、标准差  $S$ 、统计检验值  $F$  为标准,对回归结果进行分析验证。分析结果表明:岩石可钻性级值  $K_d$  与声波时差、岩石密度具有较好的相关性,采用多元回归方法以建立多因素测井参量与可钻性的关系模型:

$$K_d = b_0 + b_1 \ln T + b_2 \ln \rho$$

3. 钻井基础数据求取

钻井基础数据是指钻井过程中反映地层和钻头固有特性的系数。通常钻井基础数据在反映钻井客观规律的钻井数学模式中体现,不同的钻井数学模式其钻井基础数据的表现形式和物理意义也不尽相同,因此选用现场常用的钻井数学模式——修正的杨格模式,进行钻井基础数据求取研究。修正的杨格模式中,除可控因素钻井参数和已知的参(系)数外,还有 8 个待确定的参(系)数,它们是:地层参数 6 个:  $M_0$ 、 $C_e$ 、 $e$ 、 $K$ 、 $A_f$ ; 中间参数 2 个:  $C_2$ 、 $B$ 。

以单只钻头为单位用求取钻井基础数据的常规方法、探区方法结合钻速试验结果,对数据进行了处理,得到了单只钻头进尺井段的钻头基础数据,由于轴承工作系数  $B$  只与钻头及泥浆体系有关,因而不列入其内。

选用纵波时差、横波时差、泥质含量、单轴抗压强度、抗拉强度、岩石可钻性级值和钻头类型系数为反映钻井基础数据的主要因素(变量),这些变量除  $C_1$  外其余参量全部从测井资料中直接测取或由测井资料分析处理转换得出。

利用多元线性逐步回归法进行回归分析,最终确定了各钻井基础数据与测井参数变量的多元关系模式:

$$E = ae^{(-b \times K_d)}; K = aK_d^{-b}; M_0 = aK_d^{-b}; C_2 = a + bT + cS_e + dC_1; C_e = a - b \ln(V_{cl}) + c \ln(T) + d \ln(S_e); A_f = a - b \ln(V_{cl}) - c \ln(T) - d \ln(C_1)。$$

4. 钻头选型

S. Gstalder、W. H. Somenon、W. A. Nielenga 等学者试验研究证明纵波时差表明了岩石强度与变形的特征,且与岩石的硬度、可钻性和强度有关,但纵波时差受岩性的影响较大,因此研究时必须对纵波时差进行校正; Wueiker 等试验表明:横波时差反映岩石的剪切性质,与抗压强度之间具有明显的相关性,而岩石的抗压强度同硬度是呈正比的关系。因此声波

时差可以反映岩石强度、变形及剪切特征以及岩石硬度、可钻性和抗压强度等岩石力学参数,为钻头类型的优选提供了有效的参考信息。通过收集塔北、东海、松南和四川等地区的二十几口井的常规测井资料和钻头录井数据,建立与完善了纵横波时差与钻头 IADC 码对应关系,见表 1、2。

表 1 横波时差与钻头类型关系

| 横波时差<br>( $\mu$ s/m) | IADC 编码 |        | 备 注                        |
|----------------------|---------|--------|----------------------------|
|                      | 铣齿钻头    | 镶齿钻头   |                            |
| < 375                |         | 61     | PDC 钻头、金刚石钻头可参阅 IADC 码进行选择 |
| 375 ~ 440            | 31/ 33  | 52/ 53 |                            |
| 440 ~ 530            | 21/ 23  | 51/ 52 |                            |
| 530 ~ 700            | 11/ 13  | 41/ 51 |                            |

表 2 纵波时差优选钻头类型推荐表

| 纵波时差<br>( $\mu$ s/m) | 钻头类型 (IADC 码) |        | 备 注   |
|----------------------|---------------|--------|---|
|                      | 铣齿钻头          | 镶齿钻头   |   |
| > 310                | 11            | 41     | 纵波时差小于 210 $\mu$ s/m, 指时差值在 150 ~ 210 之间的中硬地层 |
| 265 ~ 310            | 12            | 42/ 43 |   |
| 210 ~ 265            | 13/ 21        | 51/ 52 |   |
| < 210                |               | 61/ 63 |   |
| > 280                | 12/ 13        | 41/ 42 | 适应泥质含量在 20 % 以上地层                             |
| 240 ~ 280            | 21            | 51     |   |
| 210 ~ 240            |               | 51/ 52 |   |
| < 210                |               | 61/ 63 |   |

钻井工程应用及效果

通过测井资料处理和分析,能够在较短的时间内全面准确地认识与掌握井下钻井地质环境因素,为科学的钻井设计与施工提供可靠的依据。

(1) 可钻性和钻井基础数据剖面建立。在某一地区某口井(或井段)进行过常规标准测井,用测井资料法求取岩石可钻性及钻井基础数据并建立其分布剖面。通过收集西藏地区、塔北地区、东海地区、四川地区和松南地区的测井资料,应用测井资料工程分析与处理程序对资料进行了处理,分别快速得出了五个地区各井所在构造的岩石可钻性及钻井基础数据分布剖面。

(2) 钻井基础数据及岩石可钻性在钻头工况及钻速预测中的应用。根据所钻地层钻井基础数据及实用的钻井参数进行钻头进尺、钻速及钻头工况的随钻预测,在应用测井资料法求取的钻井基础数据的同时,依据修正的杨格模式,进行钻头工况及钻速预测工作。根据钻速、进尺及钻头工况预测的理论

和方法,利用所掌握的构造或邻井的钻井基础数据,在塔北某些井进行了现场预测,同邻井相比,其预测指标的吻合率均在 90 % 以上。

(3) 测井资料优选钻头类型方法的应用。应用测井资料优选钻头类型的步骤和流程,在西藏伦坡拉盆地某普查井,物探、地质提示该井上部地层复杂,且由于有断层存在,地层出现重叠,因此常规的钻头选型方法不能有效地针对地层特点进行钻头优选。通过处理了邻井测井资料的基础上,根据地层的纵横波时差、岩石可钻性及抗压强度推荐了钻头序列。实际应用效果表明,该井在  $\varnothing 16$  mm 井段相同井深中,钻头数量由以前的平均 12 个下降到 6 个;单只钻头进尺由平均 121 m,提高到 249 m,提高了 105 %;平均机械钻速由 2.49 m/h,提高到 5.20 m/h,提高了 109 %。产生了巨大的经济及社会效益。

### 测井资料应用不足

(1) 测井资料在钻井工程中应用技术发展很快,模式较多,对于某一地区模式的使用有一定的适用范围,因此针对某一地区可以开展大量的研究工作,对各种模式进行适应性改造。

(2) 测井资料中蕴含着大量的地层信息,充分挖掘综合利用各种测井资料将会取得巨大效益。但由于地层中各种参数与测井资料关系的复杂性,要确定各因素之间的相互影响规律是非常困难的。但在现有模式的基础上,充分利用各种测井资料进行扩展,不断分析研究,将会取得新的进展。

(3) 测井资料对高压低渗地层、灰岩及碳酸岩地层、低压地层( $<1$  当量密度),有一定的局限性,其压力及岩石力学参数和可钻性级值误差较大,仅供参

考。

### 展 望

该项研究从常规测井资料研究出发,提出了求取横波速度的散射模型方法,该方法理论依据充分,计算精度可满足工程的需要,为常规测井资料在钻井工程中应用奠定了坚实的基础。充分地利用了测井信息资源,提出了利用测井资料估算横波速度、进行钻头选型、求取岩石可钻性及钻井基础数据、预测地层压力系统、计算岩石力学参数、岩石动静态参数转换及钻速预测等新观点、新方法,实现了对钻井地质环境因素的认识,最终形成了一套行之有效的应用测井资料进行科学钻井的技术方法,该技术方法已应用于钻井设计与钻井施工之中,取得了显著的经济效益和社会效益。利用测井资料进行科学钻井的技术方法,以常规测井资料的应用和快速、准确地认识钻井地质环境因素为特征,该方法较好地解决了科学钻井中关键性的技术问题,为全面推广与应用钻井新工艺、新技术开辟了新路,促进了科学钻井技术的发展。

### 参 考 文 献

- 1 路保平等. 测井资料在钻井工程中应用研究. 石油钻探技术, 1996;3
- 2 阎树汶. 用测井资料计算岩石强度的方法. 测井技术, 1979;2
- 3 托鲁基安 Y S. 岩石与矿物的物理性质. 北京:石油工业出版社, 1990

(收稿日期 2002 - 04 - 28 编辑 钟水清)

## 欢迎订阅 2003 年《石油钻探技术》

《石油钻探技术》是石油天然气钻井方面综合性技术刊物,曾被授予“首次北京地区科技期刊全优奖”称号,是首批及第二批中文核心期刊和历年中国科技论文统计源刊,被《中国石油文摘》和《中国地质文摘》等大量摘录,被美国《石油文摘》和《工程索引》等数据库大量录用,同时进入国际最大联机检索系统 DIALOG、国际第二大联机检索系统 ORBIT 以及 Ulrich 国际期刊指南数据库。1996 年加入《中国学术期刊(光盘版)》全文数据库系统,1999 年加入 ChinaInfo 网络信息资源系统《电子期刊》。

本刊主要报道国内石油钻探工程(包括钻井、泥浆、固井、完井、开采等专业)以及钻探机械设备与自动化方面的科技进展和现场经验,适当介绍国外石油钻探技术发展的水平和动向。适合于石油、海洋、地矿行业钻井工程技术人员、高等院校师生和经营管理者阅读。本刊广告刊出及时,收费合理,采用彩色桌面系统制作高精度彩页与插页。欢迎随时联系广告业务。

本刊逢双月末出版,定价:10 元/册,60 元/年。自办发行,邮汇与信汇均可(含挂号邮费)。地址:(253005)山东省德州市东风东路 35 号石油钻井研究所编辑出版室。电话:0534 - 2670163。传真:0534 - 2622468。联系人:陈会年。

Doctor 's degree in mechanical design theory (CAD/ CAM) in the Southwest Petroleum Institute currently. Add :Nanchong ,Sichuan (637001) ,China Tel : (0817) 2642804

.....

## PRESENT SITUATION AND PROSPECTS FOR APPLYING LOG DATA IN DRILLING ENGINEERING

Zhang Chuanjin and Bao Hongzhi (Drilling Department ,Research Institute of Petroleum Exploration and Development , Sinopec) and Lu Baoping (Star Petroleum Co. ,Sinopec) . *NATUR. GAS IND.* v. 22 ,no. 5. pp. 55 ~ 57 ,9/ 25/ 2002. (ISSN1000 - 0976 ;**In Chinese**)

**ABSTRACT :**Because it is difficult to obtain the basic parameters of deep and superdeep drilling at the geologically complicated regions ,the application of log data in drilling engineering has been deeply studied and popularized by the domestic and foreign drilling engineers owing to the fact that there are a great number of stratigraphic messages in log data. The principles ,methods ,on-site application and software development of calculating the characteristic parameters of rock mechanics ,predicting formation pressure ,computing rock drillability ,extracting basic drilling data ,carrying out the type-selection of drilling bits and predicting the drilling speed ,etc. ,by use of log data are introduced in the paper. According to the back feed messages in on-site application ,the problems in research and application are pointed out and the development trend of applying log data in drilling engineering is forecasted in the paper also.

**SUBJECT HEADINGS :**Log data ,Drilling engineering ,Deep drilling ,Application

**Zhang Chuanjin** ( senior engineer) , born in 1965 ,graduated from the former Chengdu College of Technology in 1986. Now he is engaged in the research on drilling technology and the management work. Add : No. 35 , East Dongfeng Road , Dezhou , Shandong (253005) ,China. Tel : (0534) 2622554

.....

## THEORITICAL STUDY OF NOVEL HYDRAULIC PRESSURIZING DEVICE

Wang Xiyong and Xiong Jiyou (Southwest Petroleum Institute) and Zhang Yihan (Downhole Operation Co. of

Xinjiang Petroleum Administration) . *NATUR. GAS IND.* v. 22 ,no. 5. pp. 58 ~ 61 ,9/ 25/ 2002. (ISSN1000 - 0976 ;**In Chinese**)

**ABSTRACT :**How to utilize the limited downhole hydraulic energy fully and effectively is always a research topic concerned by petroleum drilling scientific and technological circles and it is very necessary and urgent to design such a device that not only can raise the utilization rate of hydraulic energy but also is easy to be realized at downhole. For this reason ,a novel hydraulic pressurizing device has been invented at this historic moment. In the paper ,the present situation of studying and applying the hydraulic pressurizing at home and abroad is simply introduced ;the pressurizing mechanism of the novel downhole hydraulic pressurizing device and its chamber fluid flow behaviors are discussed in detail in theory ;and downhole hydraulic pressurizing physical model ,chamber fluid flow model and influence factor calculation model are set up ,thus laying a theoretical foundation for farther studying the hydraulic pressurizing device.

**SUBJECT HEADINGS :**Drilling ,Downhole hydraulic pressurizing ,Hydraulic energy ,Theoretical model

**Wang Xiyong** ( Master) , born in 1974 ,is studying for his doctorate in oil and gas storage-transportation engineering. He has published two articles and three translations. Add :Nanchong ,Sichuan (637001) ,China Tel : (0817) 2608304

.....

## RESEARCH ON BACK PRESSURE HYDRAULIC IMPACTOR SEAL STRUCTURES

Yuan Guangjie and Yao Zhenqiang (Shanghai Jiaotong University) and Chen Ping ,Huang Wanzhi and Wang Qinghua (Southwest Petroleum Institute) . *NATUR. GAS IND.* v. 22 ,no. 5. pp. 62 ~ 63 ,9/ 25/ 2002. (ISSN1000 - 0976 ;**In Chinese**)

**ABSTRACT :**Along with the farther expansion of oil and gas field exploration and development ,the unique advantages of drilling hard strata by use of hydraulic percussive-ratory drilling techniques have brought to the vast numbers of scientific workers ' great interests. But how to raise the antiwear property of the impactor under bad working conditions becomes a technical difficulty in widely popularizing these techniques. In the paper ,several typical dynamic seal structures used commonly in petroleum industry are stated firstly ,