

## 基于帧间差分的随钻测井数据压缩算法

梁耀<sup>1,2</sup> 鞠晓东<sup>1</sup> 李传伟<sup>2</sup> 陈国兴<sup>2</sup> 左兴龙<sup>2</sup> 孙衍<sup>2</sup> 代志平<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(北京)地球物理学院, 北京, 102200; 2. 中国石油集团测井有限公司随钻测井中心, 西安, 710054)

**摘要:** 随钻测井技术的快速发展导致常规应用的泥浆传输速率(1 b/s左右)已无法满足测量参数实时上传的需求, 而数据压缩技术是提高传输速率的一个有效手段。通过分析泥浆脉冲编码信号的特点, 结合现场应用经验, 本文设计一种基于帧间差分式的数据压缩算法并将其应用于随钻测井数据编码、解析处理过程中。实际应用效果表明该算法能有效提高传输速率, 节省数据更新时间, 具有较高的推广前景。

**关键词:** 随钻测井; 泥浆脉冲信号; 高数据速率; 数据压缩; 帧间差分

**中图分类号:** TE271      **文献标志码:** A

## Data Compression Algorithm for Logging While Drilling Based on Frame-to-Frame Difference

Liang Yao<sup>1,2</sup>, Ju Xiaodong<sup>1</sup>, Li Chuanwei<sup>2</sup>, Chen Guoxing<sup>2</sup>, Zuo Xinglong<sup>2</sup>, Sun Yan<sup>2</sup>, Dai Zhiping<sup>2</sup>

(1. College of Geophysics, China University of Petroleum(Beijing), Beijing, 102200, China; 2. LWD Center, China Petroleum Logging Co. Ltd, Xi'an, 710054, China)

**Abstract:** The conventional application of mud transmission rate (about 1 b/s) is unable to meet the demand for real-time uploading of measurement parameters with the rapid development of logging while drilling (LWD) technology, while data compression technology is an effective method to improve the transmission rate. By analyzing the characteristics of the mud pulse signal and the experience of the field application, a data compression algorithm based on frame-to-frame difference is designed and applied in data coding and analytic processing. The practical application results show that the algorithm can effectively improve the transmission rate and save the data's updating time, thus having a high popularize prospect.

**Key words:** logging while drilling; mud pulse signal; high data rate; data compression; frame-to-frame difference

## 引言

泥浆脉冲作为一种稳定、可靠的传输方式长期以来被用于随钻测井测量数据的上传<sup>[1]</sup>。然而,随着随钻测井技术进步,特别是随着随钻电阻率成像、伽马成像、中子孔隙度仪器及旋转导向系统等的集成推广应用,常规应用的泥浆传输速率(1 b/s左右)已无法满足实时地质导向和地层评价的应用需求。

数据压缩是指在不丢失有用信息的前提下,缩减数据量以减少存储空间,提高其传输、存储和处理

效率,或按照一定的算法对数据进行重新组织,减少数据冗余和存储空间的一种技术方法<sup>[2]</sup>。

本文将通过将数据压缩算法应用到随钻测井数据编码、解析处理过程中,可有效提高泥浆脉冲传输速率,为随钻成像测井、旋转导向地质钻井提供高速、稳定、可靠的实时数据通道。

## 1 随钻测井数据分析

### 1.1 传输序列

随钻测井数据按照一定的编码规则及传输序列实现数据上传(图1)以达到易识别、易检测的目的。在随钻测井作业中根据实际作业需求针对图1的序列进行相应的测量参数及测量次数等的写入配置(图2)。

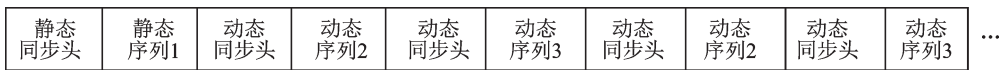


图1 随钻测井上传序列示意图<sup>[3]</sup>

Fig.1 Diagram of LWD's uploading sequence<sup>[3]</sup>

### 1.2 数据位数

目前正脉冲传输常用组合码组合式编码方式又称为优化组合码<sup>[4]</sup>。在这种编码中,数据按时间帧的方式进行传送。时间帧是指将一段确定的时间间隔分为确定的  $n$  个小时时间等份(槽),根据定好的编码协议,每一个时间槽对应一个不同的数,由主控 CPU 根据接收到的数据控制脉冲发生器在这个指定的时间间隔的不同位置产生不同数目的  $m$  个脉冲以组合实现接收到的数据。这种优化组合编码的优点在于测量数据的二进制位数确定后,传输数据的时间长度不随二进制数值的变化而变化;便于检测信号脉冲和其是否存在丢失;同时消耗电量相对确定并便于节省电池电量。

根据其编码协议,常用测量参数传输位数及传输时间(以1s脉宽为例)如表1所示。

在本文研究中,以常用的井斜角(INC)和工具面角(aTF)为例。其中,井斜角测量范围0~180°,数据位数12位;工具面角测量范围0~360°,数据位数8位。

根据表1所示的每个参数所需传输位数,井斜角、工具面角分辨率计算公式分别如下:

$$\text{井斜角分辨率} = \text{数据位数}(1 \sim 12) / 2^{12} * 180;$$

$$\text{工具面分辨率} = \text{数据位数}(1 \sim 8) / 2^8 * 360;$$

计算结果分别如表2和表3所示。

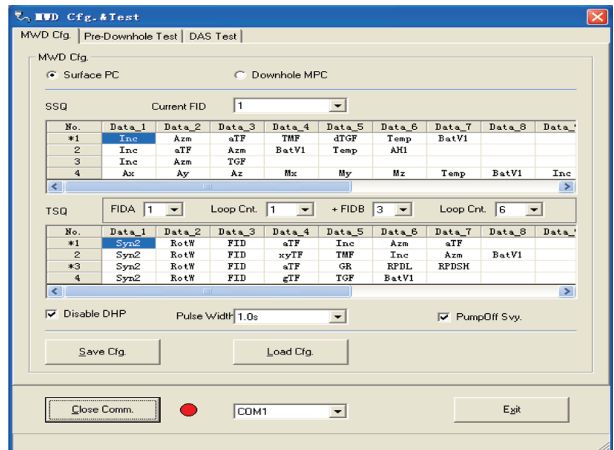


图2 上传序列配置截图

Fig.2 Screenshots of uploading sequence's configuration

表1 常用测量参数传输位数及时间表

Tab.1 Common parameters' transmission bits and time

序号	数据位数	传输时间/s
1	4	8.5
2	5	9.5
3	6	11.0
4	7	13.0
5	8	14.0
6	9	15.5
7	10	17.5
8	11	18.5
9	12	20.0

表2 井斜角测量位数与分辨率对比表

Tab. 2 Comparison table of inclination's transmission bits and resolution

序号	测量位数	分辨率
1	1	0.043 956
2	2	0.131 868
3	3	0.307 692
4	4	0.659 341
5	5	1.362 637
6	6	2.769 231
7	7	5.582 418
8	8	11.208 790
9	9	22.461 540
10	10	44.967 030
11	11	89.978 020
12	12	180.000 000

表3 工具面角测量位数与分辨率对比表

Tab. 3 Comparison table of tool face's transmission bits and resolution

序号	测量位数	分辨率
1	1	1.411 765
2	2	4.235 294
3	3	9.882 353
4	4	21.176 47
5	5	43.764 710
6	6	88.941 180
7	7	179.294 100
8	8	360.000 000

## 2 随钻测井数据压缩

### 2.1 数据压缩

数据压缩具体功能就是在压缩位置对采集到的原始编码数据进行压缩处理,数据通过泥浆脉冲传输,在地面系统数据解压缩位置进行解压缩处理以恢复成与数据处理模块输出相同的数据送给上位机数据处理模块处理并显示。其功能模块如图3所示。

数据压缩技术一般分为有损压缩和无损压缩。有损压缩是重构使用压缩后的数据,其重构数据与原来数据有所不同,但不影响原始资料表达信息,而压缩率则要大得多。无损压缩是指重构压缩数据(还原,解压缩),而重构数据与原来数据完全相同,而压缩率则相对较小。基于随钻测井数据特点及实际应用需求,本文主要研究基于无损压缩技术的数据压缩算法。

典型的无损压缩算法有游程编码算法和LZW编码算法等。游程编码算法适应性差、平均压缩率较低<sup>[5]</sup>;LZW编码算法压缩性能较好,但需考虑字典建立及字典维护等问题<sup>[6]</sup>。在前期测试中,这两种算法在随钻测井数据压缩中应用效果均不理想。因此,结合随钻测井数据变化及传输序列特点,本文提出一种基于差分式的随钻测井数据压缩算法,其核心思想是当连续传输的数据帧变化较小时,可传送数据帧间的变化量以代替原有数据帧已实现数据压缩的目的<sup>[7]</sup>。

### 2.2 差分压缩

理论上讲,该压缩方法可无限次对后帧数据进行压缩处理。但在泥浆脉冲传输实际应用中,存在以下两方面问题:

- (1) 由于后帧数据依据前帧数据得出,当前帧数据出现错误时导致后帧数据全部出错;
- (2) 当压缩位数越低时传输效率越高,但压缩位数太低会导致精度不够,无法恢复原始数据。

#### 2.2.1 压缩位数

设定压缩帧格式如下:压缩总位数=标识位(+/-)+压缩位数,其中标识位用来表示压缩值与参

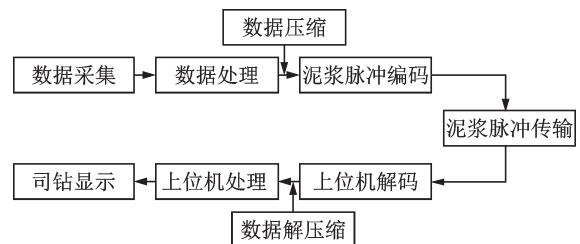


图3 随钻测井参数传输压缩示意图

Fig.3 Diagrammatic sketch of LWD parameters' transmission

考值的变化大小,若次帧值大于参考值,则标识位为正,用1表示,反之则用0表示。青海油田某井现场定向作业施工时实际测得的部分工程参数如表4所示。

表4 实测工程参数

Tab.4 Example of engineering parameters

序号	井斜	工具面	序号	井斜	工具面
1	2.065 9	263.622 0	11	2.065 9	252.283 5
2	1.670 3	266.456 7	12	2.197 8	252.283 5
3	1.670 3	272.126 0	13	2.197 8	252.283 5
4	2.065 9	255.118 1	14	2.065 9	260.787 4
5	2.285 7	246.614 2	15	2.285 7	252.283 5
6	2.065 9	249.448 8	16	1.890 1	269.291 4
7	2.065 9	238.110 2	17	1.890 1	263.622 0
8	2.065 9	243.779 5	18	1.890 1	252.283 5
9	2.461 5	257.952 8	19	1.758 2	235.275 6
10	2.065 9	255.118 1	20	1.582 4	255.118 1

计算相邻两次测量值之间的测量误差如图4所示。从图4中可以得出,由于井斜测量值是连续变化,因此其相邻两次测量值之间差值最大为0.3956°,工具面测量值变化相对较大,其相邻两次测量值之间最大差值为28.345°。因此,结合实际测井参数变化特征,确定测井参数压缩差值最大变化值如下:井斜角0.5°;工具面30°。

综合分析随钻测井参数变化规律及表2,3所计算出来的测量参数分辨率,确定井斜角、方位角及工具面角压缩位数分别如下:

(1) 井斜角:压缩位数5位,其中标识位1位,数据压缩位4位。

(2) 工具面角:压缩位数6位,其中标识位1位,数据压缩位5位。

2.2.2 压缩帧数选择

由于数据传输受泥浆信道等影响,传输过程中可能会导致数据产生误码,当传送的绝对值数据为误码会导致其后所有的压缩数据均为误码数据。因此,在采用差分压缩法传送泥浆脉冲信号时,为了保证信号的可靠性、准确性,不能直接采用首帧数据绝对值+此后所有数据差分压缩的方法,而是采用间隔性发送绝对值以实现校准,保证上传数据的准确性及可靠性以指导地面工程师根据实时井底工况进行相应的控制措施。

根据实际现场作业经验,设定差分压缩传送帧数为4帧,即1帧绝对值+4帧压缩值……,以此类推。其数据处理流程图如图5所示。

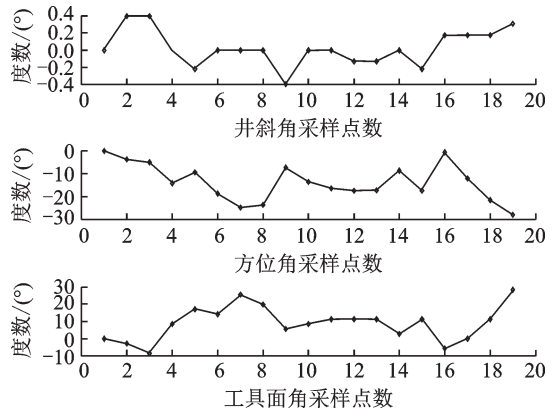


图4 相邻两次测量误差统计图

Fig.4 Statistical chart of errors on adjacent measurements

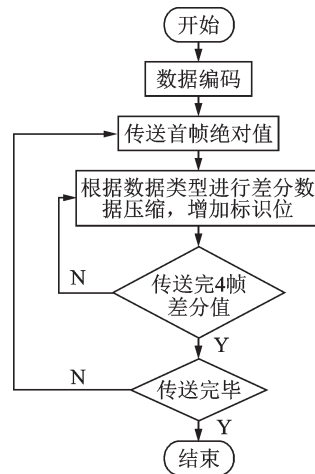


图5 差分压缩数据流程图

Fig.5 Flow chart of data compression on frame-to-frame difference

### 3 应用实例

基于表1确定的常用测量参数传输位数及时间、2.2.1节确定的压缩位数及2.2.2节确定的压缩帧数,对表4中实际测量数据进行差分压缩处理,压缩前后数据更新时间分别如下。

(1) 20帧井斜数据

压缩前:传输时间=20帧\*20 s/帧=400 s。

压缩后:压缩次数=20/5=4。

传输时间=绝对帧时间+压缩帧时间=4\*(1帧\*20 s/帧+4帧\*9.5 s/帧)=232 s。

(2) 20帧工具面数据

压缩前:传输时间=280 s。

压缩后:传输时间=232 s。

其数据更新时间如图6所示。从图6中可以看出,20帧井斜角在压缩前传输时间需400 s,在采用差分数据压缩后传输时间缩短至232 s,压缩比达1.72;20帧工具面角在压缩前传输时间需280 s,在采用差分数据压缩后传输时间缩短至232 s,压缩比达1.2。有效提升了数据更新时间。

图7是压缩前后泥浆信号波形对比图。其中,红圈标记为每帧数据的同步头,从图中可以看出,在不影响实际生产需求的前提下(同步头用于帧信号的序列识别),能有效缩短帧数据刷新时间,达到提速提效的目的。

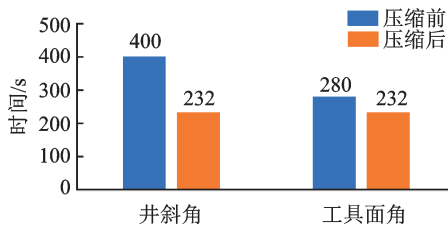


图6 压缩前后井斜角、工具面角更新时间对比  
Fig.6 Comparison of inclination and tool face's refresh time before and after compression

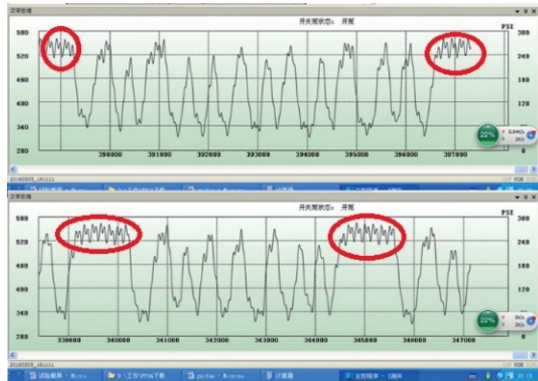


图7 压缩前后泥浆信号波形对比

Fig.7 Comparison of waveforms before and after compression

### 4 结束语

本文结合随钻测井上传数据特点,提出了一种基于数据间差分式的数据压缩方式并开展了相关测试,研究表明该方法有以下特点:

(1) 本文方法能有效减少随钻测井数据冗余,提高随钻测井系统数据传输效率,压缩率较高;

(2) 在方法研究中提出了绝对值与差分压缩值交替组合的编码传输规则,在保证整体传输系统误码率的同时有效提高了数据的传输效率;

(3) 基于差分式的数据压缩方法在随钻测井传输系统中的应用对其他领域研究基于差分式的数据压缩方法有一定的借鉴意义。

## 参考文献:

- [1] Hutin R, Tennent R W, Kashikar V. New mud pulse telemetry techniques for deepwater applications and improved real-time data capabilities[R]. SPE/IADC67762, 2001.
- [2] 汪嘉文. 面向复杂工程系统监测数据的无损压缩算法研究[D]. 重庆:重庆大学, 2015.  
Wang Jiawen. Study on lossless compression algorithm for monitoring data of complicated engineering system[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.
- [3] 李安宗, 李传伟, 梁耀, 等. 米勒码在随钻测井高速泥浆脉冲遥测系统中的应用[J]. 测井技术, 2015, 39(1): 78-82.  
Li Anzong, Li Chuanwei, Liang Yao, et al. Study on miller code technology for high data rate mud pulse system in LWD [J]. Well Logging Technology, 2015, 39(1): 78-82.
- [4] 车卫勤, 李瑾. 随钻仪器MWD、LWD测量信息编解码技术[J]. 科技风, 2012(16): 14.  
Che Weiqin, Li Jin. Coding and decoding technology for measuring information of MWD and LWD instruments[J]. Technology Wind, 2012(16): 14.
- [5] 刘冰. 游程长度编码的算法研究[J]. 天津理工学院学报, 2001, 17(4): 77-81.  
Liu Bing. Study of run-length coding algorithm[J]. Journal of Tianjin Institute of Technology, 2001, 17(4): 77-81.
- [6] 郑翠芳. 几种常用无损数据压缩算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(9): 73-76.  
Zheng Cuifang. Research of several common lossless data compression algorithms[J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(9): 73-76.
- [7] 李明明. 用于环境监测领域无线传感器网络中的数据压缩编码算法[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(5): 617-620.  
Li Mingming. A data compression algorithm for environment monitoring wireless sensor network[J]. Journal of Xi'an University and Technology, 2011, 31(5): 617-620.

## 作者简介:



梁耀(1987-), 男, 博士研究生, 研究方向: 随钻测井仪器研制, E-mail: szliangy@cnpc.com.cn。



鞠晓东(1953-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 测井信号处理, E-mail: juxdong@cup.edu.cn。



李传伟(1970-)男, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向: 软件设计, E-mail: yq-clchw@cnpc.com.cn。



陈国兴(1986-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 软件设计, E-mail: szchgxc@cnpc.com.cn。



左兴龙(1983-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 随钻测井仪器研制, E-mail: zuoxinglong@cnpc.com.cn。



孙衍(1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 随钻测井仪器研制, E-mail: szsuny@cnpc.com.cn。



代志平(1982-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 随钻测井仪器研制, E-mail: szdai-zhp@cnpc.com.cn。

(编辑:夏道家)