

[文章编号] 1671-9727(2003) 02-0205-04

综合测井数据采集及处理系统的研制 ——数据处理技术

王艳梅¹ 朱双华² 童纯菡¹ 谭显方²

(1. 成都理工大学应用核技术与自动化工程学院, 成都 610059; 2. 中国人民解放军 63653 部队)

[摘要] 该数据采集及处理系统具有自动采集测井数据、自动识别钻孔剖面地质构造与岩石岩性、解释结果自动显示等功能。采用数字滤波、曲线平滑等处理技术, 消除了测井资料中的随机干扰。采用数理统计等技术, 归纳出极值方差分层的数学模型, 成功地对综合测井数据进行了自动分层处理。

[关键词] 测井; 模型; 数据处理

[分类号] P631.81 **[文献标识码]** A

综合测井的主要目的是确定钻孔剖面的地质构造和岩性。以往的测井资料采用人工解释, 效率低, 精度不高, 丢掉了许多有用的信息, 并且不同的人员或同一人员在不同的时刻解释的结果差异较大。为了克服上述问题, 本文利用数据处理、数理统计、地质解释模型、计算机等技术, 研制出了自动识别钻孔剖面地质构造、岩性, 自动处理和解释测井资料的一整套方法。利用这套方法对某钻

孔测井资料进行了数据采集和处理, 取得了满意的结果, 不仅提高了解释的精度和速度, 而且提高了解释的可靠性。系统流程图见图 1。

该数据采集软件是在 Dos 环境下, 利用 TurberC 编制而成; 数据处理软件是在 Windows 环境下, 利用 BorlandC++ 编制而成。系统的主要技术指标为: 采样率 1 个/cm; 准确识别出地质构造、岩性, 深度误差(0.5 m; 测值判读与计算误

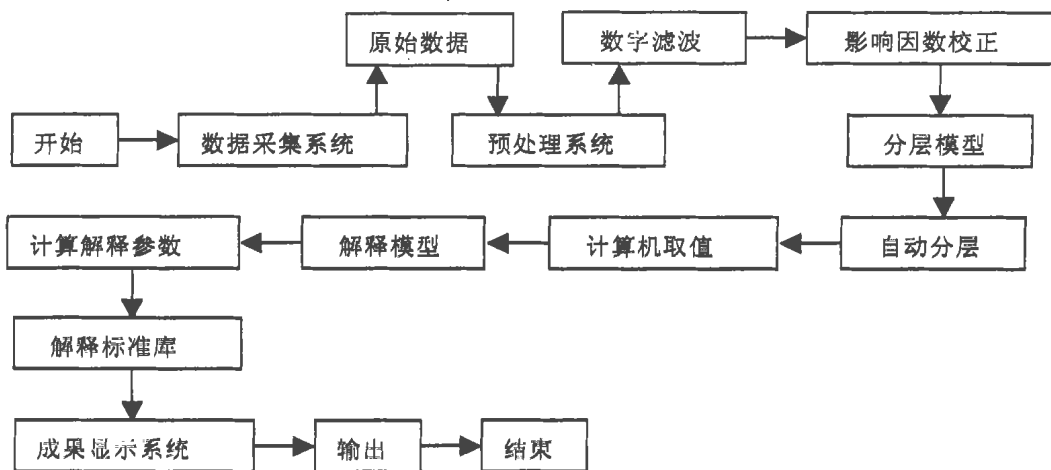


图 1 综合测井数据采集及处理系统流程图

Fig. 1 Flow chart of data collection and processing system in synthetical logging

[收稿日期] 2001-10-18

[作者简介] 王艳梅(1964-), 女, 博士生, 核技术与计算机数据处理专业。(E-mail: wymtx66679@163.com)

期刊主页: <https://xbzrkx.cdut.edu.cn>

差≤5%;并且具有良好的用户交互界面。

1 测井资料预处理

1.1 滤波处理

滤波处理的目的是去掉测井信息中与岩石性质无关的随机干扰。消除随机干扰的方法有简单平滑法、加权平滑法和最小平方曲线拟合平滑法。其基本原理是,将一个长的数字序列分段处理,每段的长度与滑动段相当,先取序列中第一项到第 $2N + 1$ 项,构成一个 M 阶多项式,用这个多项式计算 $2N + 1$ 项中中心项的值(即趋势值);然后用第 2 项到 $2N + 2$ 项重新构造一个多项式,再用这个多项式计算 $2 \sim 2N + 2$ 项的中心值,这样每次向前滑动一个数据点,便可去掉其中的干扰成分,最后得到一条较光滑的曲线。通过对比三种平滑方法对原始测井曲线的处理效果,发现简单平滑法对分离出大的趋势变化能力较强,但平滑后的数据变化大。最小平方曲线拟合平滑法能较好地逼近原始数据,但去掉随机干扰能力较差。加权平滑处理后的数据与原始数据的逼近程度较高,去掉随机干扰能力较强,因此选用加权平滑法对原始曲线进行滤波处理。具体方法如下:

若取滤波因子 $h(t) = (h(-N), \dots, h(0), \dots, h(N))$, 并且要求:

$$\sum_{n=-N}^N h(n) = 1$$

用 $h(t)$ 对 $X(t)$ 滤波,得到加权平滑公式为:

$$Y(t) = h(t)X(t) = \sum_{n=-N}^N h(t-n)X(t-n) \quad (1)$$

要求加权滤波因子 $h(t)$ 满足: $h(t) \geq 0$; $h(-t) = h(t)$ 。

$2N - 1$ 点加权平滑,滤波因子为: $h(t) = (h(-N + 1), \dots, h(0), \dots, h(N - 1)) = 1/N^2 (1, 2, \dots, N, \dots, 2, 1)$

1.2 环境影响校正

我们利用图板公式化即利用曲线拟合的方法将图板拟合为公式,用这些公式对视电阻率曲线进行井液影响校正。校正公式如下:

$$\frac{\rho}{\rho_m} = 1 + \left(\frac{\rho}{\rho_m} - 1\right) \times \ln \frac{2(c_1 + r)}{d} \times \ln \frac{2L}{d_s} \quad (2)$$

$$c_1 = \sqrt{R^2 + a^2} \quad R = \sqrt{c^2 - a^2}$$

式中: ρ 为岩层真电阻率值; ρ_m 为井液电阻率值; d 为钻孔直径; d_s 为电极系直径; L 为电极

系长度; c 为电极系半长度; a 为电极系半径; a_1 为钻孔半径; ρ 为现场实测岩体的视电阻率值

预处理后的曲线与原始曲线的形状十分相似,没有发生畸变,并且去掉了随机干扰,为下一步解释——自动分层及取值奠定了基础。

2 自动分层及取值

2.1 分层的数学模型及方法

计算机分层的数学模型是用数理统计等方法建立起来的。按照测井曲线的形态,可归纳为与层中心对称和不对称两大基本类型。根据常规解释经验;对于与层中心对称的曲线,利用最大斜率法和数理统计方法分层效果较好,对于与岩层中心不对称的曲线,利用极值点和数理统计方法分层效果较好。为了研究效果明显且适用于上述两类曲线的分层方法,通过归纳两类曲线分层方法原理提出了极值方差分层方法。

极值方差分层的基本思想是,先利用“分层指标函数”进行粗分层,大致确定出层界面位置,再对相邻两层用方差分析分层法找出准确的层界面位置。具体方法如下:

2.1.1 分层指标函数的确定

方差分析分层的目的是找出层间方差最大、层内方差最小的点作为分层点。对应两层介质,设有 N 个采样点,若层界面在 n 与 $n + 1$ 采样点间,则两层的层内方差和 Q 为:

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 + \sum_{j=n+1}^N (x_j - \bar{x})^2 \\ &= \sum_{j=1}^n x_j^2 - n\bar{x}^2 + \sum_{j=n+1}^N x_j^2 - (N-n)\bar{x}^2 \\ &= \sum_{j=1}^N x_j^2 - \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{N-n} \left(\sum_{j=n+1}^N x_j \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

其中: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$, $\bar{x} = \frac{1}{N-n} \sum_{j=n+1}^N x_j$

$$\text{令: } C = \sum_{j=1}^N x_j^2$$

$$\begin{aligned} q(n, n + 1) &= \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2 \\ &\quad + \frac{1}{N-n} \left(\sum_{j=n+1}^N x_j \right)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

当 N 一定时, C 为常数, $q(n, n + 1)$ 是层界面

两侧两个分层数据序号的函数,而且 $q(n, n+1)$ 能够反映 Q 的变化规律,从公式 (3) 和 (4) 可以看出, $q(n, n+1)$ 越大, Q 就越小;反之, Q 越大, $q(n, n+1)$ 就越小。而且计算 $q(n, n+1)$ 比计算 Q 容易,故我们称 $q(n, n+1)$ 为分层指标函数。

2.1.2 分层指标函数在层界面两侧的变化规律

通过分析分层指标函数 q 在层界面的变化情况,我们就能够得出准确的层面位置。

图 2 为 $x_1 < x_2$ 的一分层实例图,正确的层界面点在 n 与 $n+1$ 间的 B 点。则两层的层内方差和 Q 值为:

$$Q_{n,n+1} = \sum_{j=1}^n (\chi_j - \bar{\chi})^2 + \sum_{j=n+1}^N (\chi_j - \bar{\chi})^2 \quad (5)$$

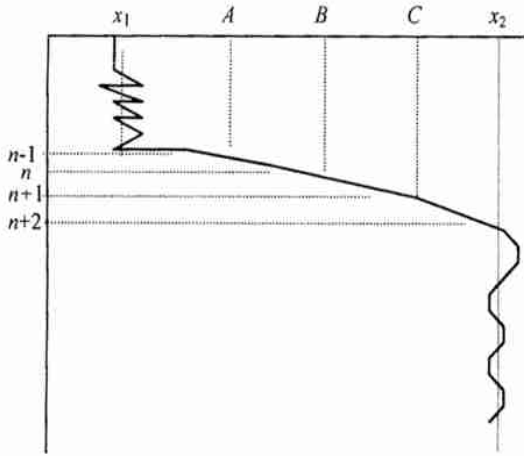


图 2 $x_1 < x_2$ 的分层实例

Fig. 2 Stratified examples of $x_1 < x_2$

若将层界面点移到 $n-1$ 与 n 间的 A 点,则层内方差和 Q 值为:

$$Q_{n-1,n} = \sum_{j=1}^{n-1} (\chi_j - \bar{\chi})^2 + \sum_{j=n}^N (\chi_j - \bar{\chi})^2 \quad (6)$$

比较式 (5) 和 (6) 可以看出, (6) 式第一项中少了 $(x_n - x_1)^2$, 而第二项中多了 $(x_n - x_2)^2$, 因为 $x_1 < x_2$, 故 $(x_n - x_1)^2 > (x_n - x_2)^2$

使得: $Q_{n-1,n} > Q_{n,n+1}$

即: $q(n-1, n) < q(n, n+1)$

若将层界面点移到 $n+1$ 与 $n+2$ 间的 C 点,则层内方差和 Q 值为:

$$Q_{n+1,n+2} = \sum_{j=1}^{n+1} (\chi_j - \bar{\chi})^2 + \sum_{j=n+2}^N (\chi_j - \bar{\chi})^2 \quad (7)$$

比较 $Q_{n,n+1}$, $Q_{n+1,n+2}$,

同理由 $(x_{n+1} - x_1)^2 > (x_{n+1} - x_2)^2$

使得: $Q_{n+1,n+2} > Q_{n,n+1}$

即: $q(n+1, n+2) < q(n, n+1)$

通过上面分析可知,在 $x_1 < x_2$ 的情况下,分层指标函数 q 在层界面处为极大值。同理可得,在 $x_1 > x_2$ 的情况下,分层指标函数 q 在层界面处仍为极大值;在 $x_1 < x_2$ 且 $x_n > x_{n+1}$ 的情况下,分层指标函数 q 在层界面处有极小值;在 $x_1 > x_2$ 且 $x_n < x_{n+1}$ 的情况下,分层指标函数 q 在层界面处有极小值。

2.1.3 分层方法

a. 粗分层

按照分层指标函数公式:

$$q(n, n+1) = \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n \chi_j \right)^2 + \frac{1}{N-n} \left(\sum_{j=n+1}^N \chi_j \right)^2 \quad (8)$$

$$(n=1, 2, \dots, N-1)$$

计算出 $N-1$ 个 q 值, $q(1, 2), q(2, 3), \dots, q(N-1, N)$ 。然后将它们回放成曲线,取其极值点处便是粗分层的层界面位置。

b. 细分层

将每个粗分层界面两侧的 M 个测井数据利用方差分析进行二分层的。具体方法是:将第一个采样点的数据算作一组,其余的测井数据为一组,进行方差分析计算出一个 R 值;然后,将第一、第二个测井数据划为一组,余下的为另一组,又计算出一个 R 值;这样继续下去,直到前 $M-1$ 个数据为一组,第 M 个数据为另一组,共计算出 $M-1$ 个 R 值,选其中 R_{\max} 确定准确的层界面位置。

2.2 计算机取值方法

厚层岩层的计算机取值方法:将每个岩层内的采样点分为三部分,剔除顶底界面若干个采样点(一般剔除三个采样点),以余下的各采样点之均值作为本层的测井值,即以每层中间部分的平均值作为该层的测井值。

薄层岩层的计算机取值方法:薄层岩层由于受邻近岩层的影响,使实测曲线发生畸变,用计算机取值时,要消除这些干扰因素,使其取值尽量接近岩层的真实值,故我们利用中间 $1/3$ 的采样点计算平均值作为该层的测井值。

3 自动识别地质构造和岩性

地质构造和岩性的识别大致可分为三步,首先利用自动分层过程把具有明显不同特征的岩层分离出来,并通过计算机取值获得每层岩体的实

测值;然后把实测值送入解释模型计算有关钻孔剖面岩性和构造的解释参数;最后根据解释参数划分出钻孔剖面不同的地质构造和岩性,并把处理结果以综合成果图形式显示出来。

4 应用情况

为了检验本文所述的处理技术的应用效果,我们利用该处理技术对新疆某钻孔综合测井数据进行了处理,主要包括预处理、计算机自动分层和取值、构造的自动识别等过程。该系统对地质构造

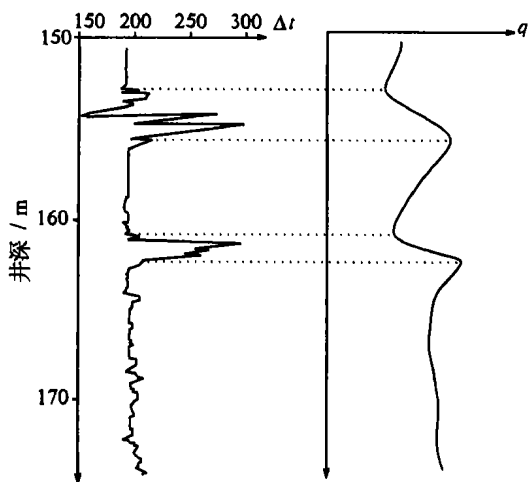


图 3 新疆某钻孔声波测井曲线及其对应的分层曲线
Fig. 3 Sound wave logging curve and its stratified curve in some borehole of Xinjiang

和岩性识别准确,处理速度快,精度高,较好地克服了原来人工处理中所存在的不足,取得了满意的结果。图 3 为该钻孔声波测井曲线及其对应的分层曲线。

5 结束语

通过该数据采集及处理系统的研制,可得出以下结论:

- a. 建立了构造解释模型、岩性识别模型;构造解释标准库、岩性识别标准库。为自动解释和识别钻孔剖面地质构造和岩性奠定了基础。
- b. 采用极值方差分层的数学模型,成功地对综合测井数据进行了自动分层处理。
- c. 通过现场实际应用,该数据采集及处理系统具有操作方便,用户界面友好等特点。

[参 考 文 献]

- [1] 钟向群. Borland C++ 3.1 开发 Windows 应用程序 [M]. 北京:清华大学出版社,1995.
- [2] 徐士良. C 常用算法程序集 [M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [3] 谭浩强. C 程序设计 [M]. 北京:清华大学出版社,1993.
- [4] 雍世和,洪有密. 测井资料综合解释与数字处理 [M]. 北京:石油工业出版社,1984.
- [5] 张海藩. 软件工程导论 [M]. 北京:清华大学出版社,1993.

DEVELOPMENT OF DATA COLLECTION AND PROCESSING SYSTEM FOR COMPREHENSIVE LOGGING — THE TECHNOLOGY OF DATA PROCESSING

WANG Yan-mei¹, ZHU Shuang-hua², TONG Chun-han¹, TAN Xian-fang²

(1. College of Applied Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, China;
2. The Unit 63653 of the People's Liberation Army of China)

Abstract: The data collectin and processing system can automatically identify the geological structure of borehole section and rock properties and show interpretation results. By means of digital filtering, curve smoothing and other techniques, the system can eliminates random interference in logging data. The authors find curve layering models of polar value layering by the techniques of mathematics statistics and successfully and automatically stratify and process logging data.

Key words: logging; model; data processing