

文章编号: 0253-9993(2005)03-0293-04

测井曲线计算机识别构造软煤的研究

汤友谊¹, 孙四清¹, 田高岭²

(1. 河南理工大学 资源与环境工程学院, 河南 焦作 454003; 2. 平顶山煤业集团公司 二矿, 河南 平顶山 467000)

摘 要: 在对构造软煤分层计算机识别的特殊性进行探讨的基础上, 应用斜率方差分层、概率统计计算的方法, 实现了煤层段的测井曲线对构造软煤分层的计算机“自动”识别。识别结果能满足初步查明突出矿井(尤其是未采掘区)构造软煤分布规律的需要。

关键词: 测井曲线; 识别; 构造软煤; 斜率方差分层

中图分类号: TD713 **文献标识码:** A

Study of computer identifying on tectonic soft coal with well log

TANG You-yi¹, SUN Si-qing¹, TAN Gao-ling²

(1. Academy of Resource and Environment Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. No. 2 Coal Mine, Pingdingshan Coal Industrial Group Co., Pingdingshan 467000, China)

Abstract: Based on the discussion the peculiarity of computer identification of tectonic soft coal seam, implemented the computer automatically identification of tectonic soft coal seam with well log of coal seam using the method of stratifying with slope-variance and probability statistics. The results can satisfy with fundamental needs for finding the distribution laws of tectonic soft coal in mines with coal and gas outburst (at non mining area especially).

Key words: well log; identification; tectonic soft coal; stratifying with slope-variance

在煤与瓦斯突出矿井, 当地应力和瓦斯压力达到一定值时, 突出与否的关键就取决于地压和瓦斯膨胀能对煤壁的侧向压力与煤体抵抗能力间的对比关系。若煤壁的煤体结构完好, 强度较大, 煤体抵抗能力大于侧向压力, 突出便不会发生; 当煤体结构遭受构造应力破坏, 煤壁强度变小, 致使侧向压力大于煤体抵抗能力时, 突出则是必然的^[1]。破坏较严重煤体的强度低、抵抗外力破坏的能力弱, 且空隙率高、透气性低、瓦斯含量高, 它的出现往往成为煤与瓦斯突出的必要条件^[2]。因此, 在煤与瓦斯突出预测中, 构造煤的发育程度及其分布状况受到了普遍关注。依据不同类型煤体结构煤的物性测试和煤壁观测^[3~5], 遭受构造应力较严重破坏的煤体与原生结构煤或轻微破坏的煤体不仅在宏观特征和物性上存在明显的差异, 而且对突出的贡献也很不一样。为满足非接触式探测较严重破坏煤体的需要, 将遭受构造应力较严重破坏的煤体称之为构造软煤^[6], 而将原生结构煤和较轻微破坏的构造煤称为“硬煤”, 分别与生产实践中惯用的“软煤”和“硬煤”相当。获取构造软煤资料的主要途径有煤壁观测编录、钻孔取芯和测井曲线判识。井下煤壁观测无法获取矿井未采掘区的构造软煤资料; 钻孔取芯常因煤层打丢、打薄、取芯率低或煤芯描述过分简洁而无法准确分析构造软煤的发育程度及其分布状况; 而测井曲线则客观真实地记录了钻孔揭露的所有岩矿层的物理特征信息。利用数量较多、分布有序的勘探钻孔测井曲线判识构造软煤分层, 初步查明突出矿井构造软煤的分布状况, 可提高矿井煤与瓦斯突出区域预测的可靠性和防突措施的针对性、有效

收稿日期: 2005-03-04

基金项目: “十五”国家科技攻关资助项目 (2001BA803B0402); 河南省教育厅科学研究计划资助项目 (2000170001)

作者简介: 汤友谊 (1952-), 男, 上海宝山人, 教授。Tel: 0391-3987973, E-mail: Tangyy@hpu.edu.cn

性,同时又能煤层气地面开发或井下抽排指明重点靶区;因此,研究利用钻孔测井曲线判识构造软煤具有广阔的应用前景.在利用钻孔测井曲线判识构造软煤方面已有人做了一些研究^[7,8],但以往的研究主要集中于人工判识.人工判识较多地依赖于判识者的经验和熟练程度,而且,不同判识者识别的结果常存在一定的差异.随着计算机技术的广泛应用和数字化测井以及测井解释技术的不断提高、发展,使利用计算机“自动”识别构造软煤已经成为可能.本文将主要探讨计算机识别构造软煤的思路和方法.

1 计算机识别构造软煤的方法

1.1 测井曲线自动分层方法

自从 20 世纪 60 年代提出测井曲线的计算机自动分层、识别岩性以来,到目前已开发出许多分层方法^[9~11].这些方法可概括为两大类:一类是模拟传统的人工分层方法——根据曲线的异常情况确定分层点,主要方法有频幕编辑分层、不等式分层和最大斜率法分层等;另一类以数理统计为基础,如方差法、活度法、层内差异法和模糊模式识别分层等.这些方法在分层厚度大且各个分层与围岩物性差异显著的情况下能够获得良好的效果.但构造软煤是煤层中的特殊分层,它与硬煤间尽管存在着明显的物性差异,但这种差异毕竟有限,致使曲线的异常程度也是有限的;而且,构造软煤分层的厚度一般较薄,易受到围岩(通常是硬煤分层)的干扰;加之非地层因素的影响,不同程度地削弱了构造软煤本身对测井曲线幅值的影响,使构造软煤分层所对应的曲线段往往只是出现相对的凹凸或小幅度的变化.故直接利用测井曲线不大的幅值变化作为理论计算数据,则计算机难以将构造软煤分层从煤层中识别出来.

曲线斜率反映了曲线形态的变化,曲线上每一个微小的变化,在斜率上均有明确的显现^[12].如果将曲线斜率为正的作为上升边,为负的作为下降边,依据曲线斜率的正负便可将曲线划分为上升边与下降边交替出现的若干个分层.从中、低变质烟煤矿区的大量视电阻率测井曲线的对比、研究可知,按斜率符号进行粗分层后,在每一个分层内,若出现异常现象,则异常部位一定是相对的凹陷,且凹陷部分的斜率明显不同于正常部位.选取合理的采样间隔,每一个分层内异常部分与正常部分的斜率平均值将存在明显差别;每一部分内的斜率值虽有变化,但仅是相对于平均值的上下波动.笔者基于构造软煤分层在煤层对应曲线段的斜率所具有的这些特点,在方差分层的基础上,考虑曲线的形态(曲线斜率)变化,采用斜率方差法对煤层段测井曲线进行分层;然后应用概率统计法,分别进行多种类型测井曲线解释为构造软煤分层的概率计算,按加权平均的方法求得各曲线综合解释为构造软煤分层的概率值,进而作出各分层解释为构造软煤与否的最终判别.

1.2 斜率方差分层的基本原理

方差分层的实质是找出层间方差最大、层内方差最小的点作为分层点.层间方差是指每一分层内斜率平均值与全部斜率平均值的差的平方和与自由度的比值;层内方差是每一分层内斜率值与该分层斜率平均值的差的平方和与自由度的比值.设有 $N+1$ 个采样点,得到 N 个斜率值,斜率值的层间方差 S_1^2 和层内方差 S_2^2 分别定义为

$$S_1^2 = \frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{N_i} (\bar{K}_i - \bar{K})^2, S_2^2 = \frac{1}{N-l} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{N_i} (K_{ij} - \bar{K}_i)^2,$$

式中, l 为欲分的层数; $\bar{K}_i$ 为第 i 层内斜率的平均值; $\bar{K}$ 为全部斜率的平均值; K_{ij} 为第 i 层内第 j 个斜率值; $l-1$, $N-l$ 为自由度; N_i 为第 i 层内的斜率值个数.

显然,当 $S_1^2 \gg S_2^2$ 时,满足方差分层的条件.为判定条件 $S_1^2 \gg S_2^2$ 是否成立,定义 F 为方差比,即 $F = S_1^2 / S_2^2$,在分层点处, F 趋于很大. F 趋于很大是一个模糊的概念,不利于计算机识别,需要引入一个统计量 R ,称分层系数,即 $R = (S_1^2 - S_2^2) / S_1^2 = 1 - 1/F$,当层间方差与层内方差无显著差异时, F 接近于 1,则 R 趋于 0;当层间方差与层内方差有显著差异时, F 趋于很大,此时, R 趋于 1;可见分层系数 R 能够反映 F 的变化,且 R 有确定的区间,为 $[0, 1)$.实际分层时,选择 R 大于某一预定值作为分层点.

1.3 概率统计识别构造软煤分层的原理

一般情况下, 同一煤层在一定范围内具有相对稳定的沉积环境和物质来源, 致使其煤岩组成和物性特征等也基本相近或存在一定变化趋势; 测井时受到同等程度的非地层因素影响, 因此, 同一煤岩层的测井曲线幅值应保持在一个比较稳定的区间内. 从人工判识构造软煤分层的大量曲线可见, 构造软煤分层的幅值一般保持在一个比较确定的区间. 采用斜率方差法将煤层所对应的曲线段分成不同的小分层后, 将各个小分层内的测井幅值作为随机变量, 根据构造软煤分层幅值的期望值和实际值的标准差计算出各分层属于构造软煤分层的概率, 概率值反映了将各分层解释为构造软煤的可信度. 概率值大, 对应层属于构造软煤的可信度就大; 反之则小^[13]. 设 μ_j 为构造软煤分层在第 j 种曲线上幅值的期望值; Y_{ij} 为实际值, 实际值必含有误差, 测量的标准误差 σ 与仪器参数、测量条件及所测物理量的统计性质有关. 实际值与期望值之间的偏差一般都服从正态分布. 设构造软煤分层在第 j 种曲线上的幅值为 $[Y_{\min}, Y_{\max}]$, 将某一分层解释为构造软煤的概率为 P'_{ij} , 则

$$P'_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y_{ij} - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dy,$$

为便于计算, 将上式离散化, 得

$$P'_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \sum_{i=1}^{M_i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y_{ij} - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \Delta y,$$

式中, $\mu_j = (Y_{\max} + Y_{\min}) / 2$; $\Delta y = |Y_{ij} - Y_{i(j-1)}|$; M_i 为分析层内的采样点数.

利用多条曲线概率统计识别构造软煤分层时, 为了突出或压制不同测井方法的效应, 采用加权平均的方法求得各种物性曲线综合解释为构造软煤的概率, 即 $P_{ij} = \sum_{j=1}^T C_{ij} P'_{ij}$, 其中 P'_{ij} 为第 j 种测井方法的概率; T 为采用曲线的条数; C_{ij} 为第 j 条曲线的权系数, $C_{ij} \in [0, 1]$, 且 $\sum_{j=1}^T C_{ij} = 1$, C_{ij} 值大表示构造软煤分层在该条曲线上的识别效果好, 解释构造软煤的可信度大.

1.4 计算机自动识别构造软煤分层的实现

同一煤层的构造软煤与硬煤在一定范围内往往属于同一煤种, 仅在某些物理性质方面存在一定的差异. 根据现场测试和搜集到的测井曲线可见, 构造软煤与硬煤的视电阻率差异明显, 可依视电阻率曲线作为识别构造软煤的主曲线, 进行分层、定厚和构造软煤分层物性识别; 煤层中的夹矸和灰分较高的煤分层也会引起视电阻率曲线的类似异常, 但幅值较构造软煤分层的异常要大. 考虑到煤层中构造软煤与夹矸以及灰分较高的煤分层存在明显的密度差异, 为加以区别, 选择伽马-伽马曲线作为辅助曲线. 根据沉积规律, 含煤地层往往是渐变的, 反映岩性变化的测井曲线也应是一条渐变的连续曲线; 但在测井过程中, 由于仪器记录的误差, 造成一些记录点明显飘移, 需要将这些飘移点剔除, 并采用中值法插入一个校正点, 以保证曲线的“连续”性. 按斜率符号对主曲线进行粗分层后, 采用二分法迭代求得各“分层”点的分层系数 R_i , 将其与预定的 R_0 进行比较, 实现细分层. 对细分层后的每一分层进行概率计算, 以主、辅曲线所求得的概率值计算综合解释为构造软煤分层的概率, 作出最终判别. 计算机识别构造软煤分层的流程如图 1 所示. 采用 Visual Basic 6.0 编程, 在计算机上实现了煤层段测井曲线的构造软煤识别. 数字测井资料可直接上机进行分层和识别; 对于

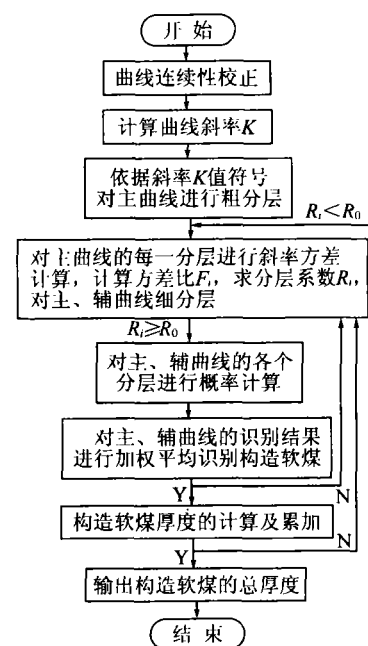


图 1 计算机识别构造软煤的工作流程

Fig. 1 Computer identification flow of tectonic soft coal

以往大量的模拟测井资料,则须先对曲线进行数字化处理后,才能上机运行。

2 应用效果分析

对淮南矿区潘三矿的 142 个钻孔测井曲线进行了构造软煤的计算机识别,结果表明:计算机可有效地将厚度较大的构造软煤分层识别出来,并能将煤层中的夹矸或灰分较大的煤分层与构造软煤加以区别;在分层、定厚方面较人工判别更为客观;当构造软煤分层厚度较小(小于 0.3 m,测井曲线为 1 200)或曲线异常不明显时,计算机则难以完成构造软煤分层的识别。

由实际工作可知,相同厚度的煤层,同样的采样间隔,大比例尺的测井曲线所得到采样点数必然多于小比例尺的曲线。得到的数据量越多,识别的效果也越好。因此,在实际工作中应尽可能采用煤层段的放大测井曲线。

3 结 论

针对构造软煤分层计算机识别的特殊性,应用斜率方差分层、概率计算识别的方法,实现了利用钻孔测井曲线进行构造软煤的计算机识别。斜率方差分层侧重于曲线的形态变化;概率统计计算识别构造软煤则是在分别考察测井探头对应的煤岩层处各物性测井响应实际平均值的基础上^[14],逐一作出各细分层是否构造软煤的综合性识别。应用表明,计算机可以识别煤层中厚度大于 0.3 m 的构造软煤分层,而这一厚度一般要小于矿井突出预测中构造软煤厚度的临界值,所以,识别结果具有实用性,达到了利用测井曲线判识构造软煤,初步查明突出矿井构造软煤分布规律的目的。较以往的人工判识,测井资料的计算机“自动”识别构造软煤分层具有数据处理量大、计算速度快、识别过程中人为参与少等优点。利用煤层段测井资料进行计算机自动识别构造软煤的技术难度较大,实践中偶有漏判、误判小层的现象,因此,在识别精度和方法上还有待进一步研究、完善,以便为矿井煤与瓦斯突出危险性区域预测提供更为可靠的基础资料。

参考文献:

- [1] 杨陆武,彭立世.以煤体结构为基础的煤与瓦斯突出简化力学模型[J].焦作工学院学报,1997,16(2):57~62
- [2] 焦作矿业学院瓦斯地质研究室.瓦斯地质概论[M].北京:煤炭工业出版社,1990
- [3] 吕少林,何继善.瓦斯突出煤体的导电性质研究[J].中南工业大学学报,1998,29(6):511~513
- [4] 汤友谊,张国成,孙四清.不同煤体结构煤的 f 值分布特征[J].焦作工学院学报,2004,23(2):81~84
- [5] 汤友谊,孙四清,郭纯,等.不同煤体结构类型煤分层视电阻率值的测试[J].煤炭科学技术,2004,33(3):70~72
- [6] 汤友谊,田高岭,孙四清,等.煤体结构成因分类的改进和完善[J].焦作工学院学报,2004,23(3):161~164
- [7] 傅雪海,陆国桢.测井曲线在预测煤与瓦斯突出中的作用[J].中国煤田地质,1998,10(增刊):82~83
- [8] 龙王寅,朱文伟,徐静,等.利用测井曲线判识煤体结构探讨[J].中国煤田地质,1999,11(3):64~69
- [9] 刘家瑾,陆国桢.煤田测井资料数字处理[M].北京:煤炭工业出版社,1991.3~39
- [10] 程玉群,李秀荣,刘铁桩.测井曲线自动分层技术及在杏被地区小层划分中的应用[J].地质勘探,1999,7(2):23~25
- [11] 赵军.基于数域上的模糊模式识别在测井曲线分层中的应用[J].测井技术,1998,22(4):264~266
- [12] 杜士兴.具有自动分层能力的综合性测井解释程序[J].测井技术,1996,20(2):108~112
- [13] 郭爱煌.测井资料计算机自动分层与岩性识别[J].煤田地质与勘探,1998,26(5):58~62
- [14] Li Qingnong, Cheng Qiuming. Fractal correction of well logging curves[J]. Journal of China University of Geosciences, 2001, 12(3): 272~275