

# 测井含煤地层分析方法讲座

武汉地质学院 黄智辉

## 第五讲

### 测井沉积环境分析方法

利用测井资料分析含煤地层的沉积环境，这还是一个较新的课题。虽然国内外的经验已经证明，它是一种经济、快速而又有效的沉积环境分析方法，但是它的成果还不够多，某些方面也尚不够成熟和完善。为了正确进行测井含煤地层分析，需要了解利用测井曲线分析含煤地层沉积环境的地质-物理基础，合理选择工作方法和技术，正确认识和熟悉主要环境类型的测井曲线特征，并采用某些统计方法或现代数学方法对测井资料进行加工和处理。

#### 一、地质-物理基础

确定各种成因标志，是鉴别古代沉积环境的最基本、最关键的一步。

在各种成因标志中，碎屑岩的粒度、分选性、泥质含量、垂向沉积序列以及砂体的形态和分布等，都是十分重要的成因标志。它们是各种沉积环境的水动力因素（物理因素）作用的结果，而这些成因标志又控制着岩石的物理性质（主要是导电性、自然放射性及自然电位）的变化。测井曲线是岩石物理性质沿钻孔剖面变化的客观记录。因此，利用测井曲线可以查明上述成因标志在纵向上和横向上的变化，从而为鉴定沉积环境提供有价值的资料。

##### （一）电阻率

大量的实际资料表明，在通常情况下，

岩石的电阻率按砾岩—粗砂岩—中砂岩—细、粉砂岩—泥岩的顺序递减。亦即说，碎屑岩和泥岩的电阻率随其粒度的减小而降低。同时，碎屑岩的粒度与沉积能量有关。一般地说，粗粒沉积物是高能环境中的产物而细粒沉积物则是低能环境中的产物。

在其他条件相同的情况下，砂岩的电阻率将随其分选性的变坏而增高。这是因为，砂岩的分选性变坏时，较细的颗粒将充填在较粗的颗粒之间，从而使砂岩的孔隙度减小而孔隙道的弯曲度则增大的缘故。

岩石的电阻率随岩石中泥质含量的增高而降低，特别是低孔隙度的致密岩石，泥质含量对岩石电阻率的影响更为显著。

除粒度、分选性和泥质含量外，岩石的电阻率还与岩石的胶结程度、胶结物的成分以及地层水矿化度等因素有关。不过，在一般情况下，特别是对于同一地层单元来说，影响碎屑岩岩石电阻率的主要因素是粒度。

#### （二）自然放射性

实际资料表明，岩石的自然放射性与其分选性并没有明显的关系，而与其粒度却有着相当好的相关关系。采用一元拟线性回归分析，可以得到岩石的自然伽马相对值 $\Delta GR$ 与其粒度中值 $M_D$ 之间的经验公式如下：

$$M_D = K \cdot e^{-b \cdot \Delta GR} \quad (1)$$

式中， $K$ 、 $b$ 为系数； $\Delta GR$ 为岩石的自然伽马相对值，它由下式确定：

$$\Delta GR = \frac{GR - GR^{\text{min}}}{GR^{\text{max}} - GR^{\text{min}}} \quad (2)$$

其中,  $GR$  为解释岩层的自然伽马值;  $GR^{\text{min}}$  和  $GR^{\text{max}}$  分别为纯砂岩和纯泥岩的自然伽马值。

经验证明, 利用自然伽马测井曲线来计算粒度中值, 对陆相沉积地层的效果较好, 海相沉积地层也可望取得好的效果, 但对于快速堆积的粗相带或钙质富集带, 其效果将明显变差。

在不存在其他放射性物质干扰时, 地层的自然伽马射线强度将随地层泥质含量的增高而增大。与其他常规测井方法相比较, 自然伽马测井是确定地层泥质含量的最好方法。

### (三) 自然电位

当地层水矿化度大于井液矿化度时, 在砂岩层上可以观测到自然电位负异常。此自然电位负异常的幅值将随砂岩粒度中值的减小(或泥质含量的增高)而降低。因此, 采用一元拟线性回归分析方法, 同样可以根据岩石的自然电位测井曲线来确定岩石的粒度中值或泥质含量。

综上所述, 在地层水、钻孔条件、测量条件基本相同的情况下, 电位电极系视电阻率曲线、自然伽马曲线及自然电位曲线, 不仅能划分不同岩性的地层, 而且它们的幅值与沉积环境的成因标志以及沉积能量之间存在着密切的关系。这就为利用常规的煤田测井曲线来分析含煤地层的沉积环境提供了可靠的根据。

## 二、利用测井曲线形态进行沉积环境分析

### (一) 测井曲线形态的沉积环境基本类型

各种不同的沉积环境常具有不同的测井曲线特征。人们在实践中还进一步发现, 从各种沉积环境的不同测井曲线形态特征中,

可以概括出几种基本的形态类型。不同沉积环境的测井曲线形态特征, 正是这几种基本形态类型组合、演化而成的。图5-1示出了五种基本的形态类型。

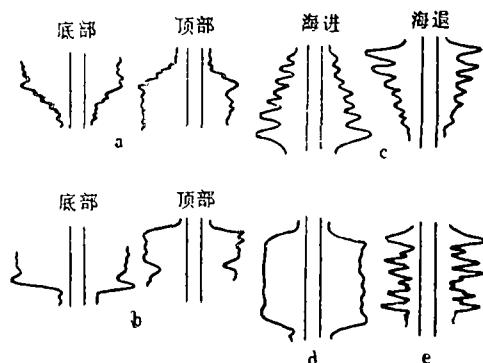


图 5-1 测井曲线形态的沉积环境基本类型

(井轴左边为自然电位曲线, 右边为电阻率曲线)

a-渐变型; b-突变型; c-振荡型; d-块状组合型;  
e-互层组合型

1. 渐变型 底部或顶部渐变型曲线表明在岩层的底界面或顶界面上沉积颗粒大小的逐渐变化。

2. 突变型 底部或顶部突变型曲线表明在岩层的底界面或顶界面上沉积颗粒大小的突然变化, 这往往是从一种沉积环境到另一种沉积环境的急剧过渡或不同环境的不整合接触象征。

3. 振荡型 振荡的海进型和海退型是海水前进或后退而造成的水体深度的长期变化的反映。

4. 块状组合型 常常是在沉积环境条件基本相同的情况下, 沉积物的快速沉积或砂层多层叠置的反映。

5. 互层组合型 代表了因沉积环境条件频繁变化而形成的砂、粉砂及泥岩相间成层的沉积系列。

这五种基本曲线类型都能反映出沉积物的粒度在垂向上的变化特征, 表示出一定沉积环境(或沉积时期)的开始或结束, 或者表示出一定沉积环境条件下沉积作用的持续

性。这些基本的曲线类型可以作为分析沉积环境、预测砂岩体的型式及环境条件变化的基本“线索”。

### (二) 沉积环境的测井曲线特征

在研究区内建立各种沉积环境(以及亚环境)的典型测井曲线柱状,熟悉和掌握各种沉积环境的测井曲线特征,是利用测井曲线分析沉积环境的基础工作。

在这里,我们仅介绍D.R.艾伦提出的五种砂体型式或沉积层序的理想测井曲线特征<sup>[3]</sup>。它们是冲积-河道砂层、三角洲沉积层序、堡岛砂层、潮汐河道沉积及泻湖沉积(图5-2、5-3、5-4、5-5、5-6)。这些测井曲线概括了有关垂向沉积序列的基本的地质特征和测井曲线的形态特征,对鉴别实际沉

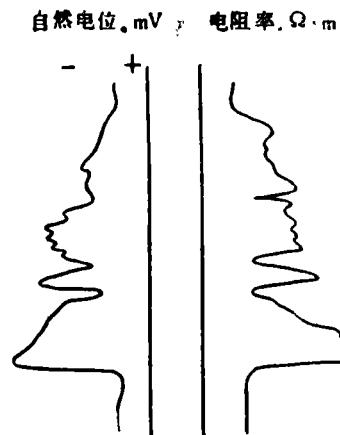


图5-2 冲积-河道砂体的理想测井曲线类型和特征

曲线表明,粉砂和细砂混合式顶部可能带有粘土盖层的平行薄层,粘土和页岩可以是电阻性的。一般呈透镜状,交错层理普遍,可能有块状成分。砂层分选良好。底部常是粗砂到含砾砂岩,其假整合具有突变曲线类型

积环境可以起到“鉴别标准”的作用;对实际分析可以起到“预测”的作用。显然,在实际应用时,测井人员应与地质人员配合,还要参考其他有关的地质资料,从而使鉴别与预测更加可靠。

### (三) 砂岩体的研究

在一定沉积环境条件下形成的以砂质为

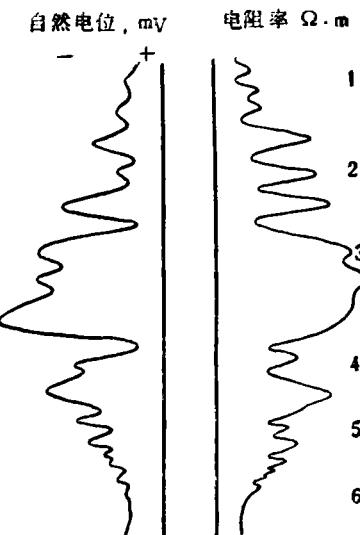


图5-3 三角洲垂向沉积层序的理想测井曲线类型和特征

1-粉砂质页岩、粘土,可能有细砂或沼泽沉积物;  
2-分支河道砂坝和泻湖沉积,细粒纹层,可能混合有河流沉积,  
3-粗砂到中砂,平行块状排列,具交错层理,常有  
粘土薄层;4-细砂和薄层页岩;5-粉砂和细砂;6-前三角  
洲粘土,海成页岩

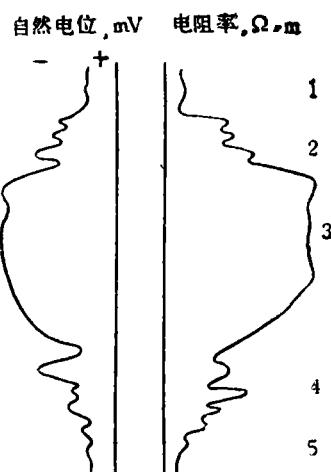


图5-4 堡岛砂体的理想测井曲线类型和特征

1-粘土或页岩,沼泽沉积,易变,2-可以是再造的海  
滩砂或砂丘沉积;3-中粒到粗粒砂岩,可能有交错层理,  
呈块状,筛选,向上粒度增大;4-粒级作用底部,细砂、  
粉砂和粘土;5-海相页岩、粉砂岩、泥岩

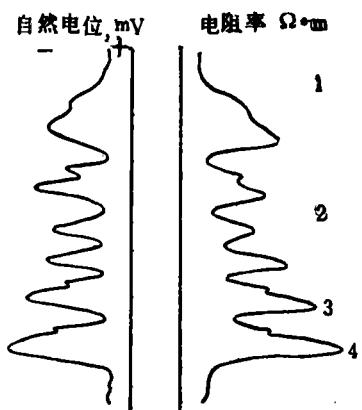


图5-5 潮汐河流沉积的理想测井曲线类型和特征

1-页岩和粉砂岩，可以有较高的电阻率；2-典型的中粒到细粒的紊乱和层序，薄砂层与粘土或页岩和粉砂岩的互层，可能呈块状层出现，电测井曲线的外形可能类似于浊流沉积，粒度向上往往变细；3-底部可能有砂砾和贝壳碎屑；4-底部接触是突变型

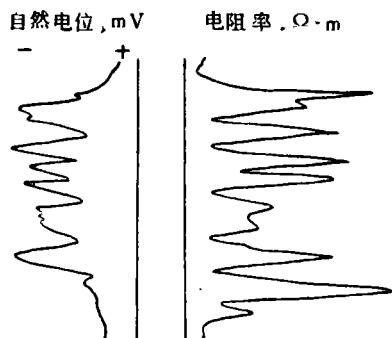


图5-6 湖泊沉积的理想测井曲线类型和特征

薄砂层、粉砂和碳质页岩的紊乱层序，多半有电阻率的骨架层或煤层，通常是高、低电阻率相差明显的互层组合，自然电位异常并不总与电阻率异常一致

主要成分的沉积岩体，称为砂岩体，简称砂体。砂体是各种沉积环境（或沉积期）的“骨架”。各种沉积环境都有其特征的砂体形态和空间分布。砂体的岩性及其分布特征与煤层的形成、富集、煤质的变化以及煤层遭受破坏的情况有着十分密切的关系。因此，利用测井曲线分析含煤地层沉积环境的重点，应当放在利用测井曲线研究砂岩体上。

可以利用数理统计中的聚类分析、趋势面分析等方法来处理测井资料，根据处理结

果来研究砂体的分布和沉积环境。在进行这种处理时，分析指标可采用根据测井曲线定出的砂岩层的厚度、埋深，以及与岩石粒度关系密切的电阻率值或自然伽马值。利用聚类分析来处理测井资料，对于研究某一时间地层单元的砂体及沉积环境的区域分布，可取得良好的效果。利用趋势面分析来处理测井资料，则对研究砂体的某些特征（如厚度、粒度、成分等）的空间分布规律相当有效。

此外，还可以采用更为简单而有效的方法——绘制某一时间单元地层的含砂率等值线图和可采煤层累积厚度等值线图来研究砂体和沉积环境的分布规律。含砂率等值线图可以清楚地表现出砂体在平面上的分布形态。仔细对比同一时间地层单元的可采煤层等厚线图和含砂率等值线图，则可以查明煤层发育的一般地段和富集地段的具体位置，从而指导煤田钻探网的布置。

图5-7为阜新艾友矿区沙三段（该区的主要含煤段）100多个钻孔测井曲线的统计结果<sup>[4]</sup>。根据测井曲线的沉积环境形态特征，确定出该区沙三段的成煤作用是受冲积扇-扇三角洲-湖泊联合控制的。对比含砂率等值线和可采煤层等厚线可以看出，沙三段煤层的等厚线呈环带状分布，中间厚度最大（超过20m），向四周煤层厚度逐渐变薄以至尖灭。

可以看出，该区聚煤带发育在扇三角洲和湖泊共同控制的湖滨平原上，其含砂率为25—60%。三角洲入湖的两个朵叶之间的间湾，则是富煤地带，其含砂率为40—50%。该区东南部含砂率高于70%的地区和东部以西含砂率低于25%的地区，均没有希望成煤，因为前者是湖岸沉积，而后者已是深湖沉积。

### 三、“沉积环境测井”、测井相解释技术及人工智能专家系统的应用

近几年来，随着电子计算机和计算技术

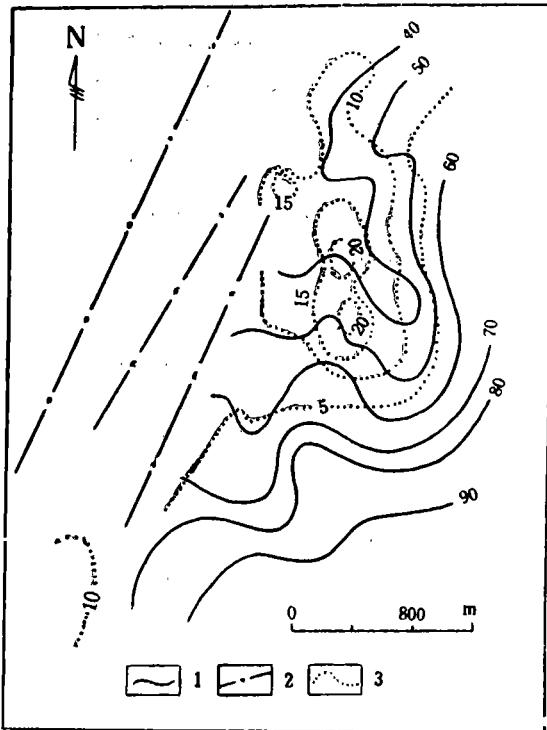


图5-7 艾友矿区沙三段煤层等厚线和含砂率等值线图  
1 - 等含砂率线(%)；2 - 断层；3 - 煤层等厚线(m)

在测井中日益广泛的应用，数字测井和测井数字处理获得了十分迅速的发展。在此基础上，提出了几种新的测井沉积环境分析方法，它们是“沉积环境测井”、测井相解释技术以及人工智能专家解释系统。

### (一) 沉积环境测井

利用测井数字处理得到的岩石成分含量曲线和地层倾角测井资料来分析沉积环境，称为“沉积环境测井”。

测井资料经过计算机数字处理后，可以得到岩石的含砂量、含泥量及孔隙度曲线。可以用与测井曲线形态分析相类似的方法，对这些岩石成分含量曲线进行沉积环境解释。

地层倾角测井资料已被人们公认为沉积环境的一种重要的信息源。利用地层倾角测井资料可以得到以往不易查明，而在研究沉积环境中又十分需要查明的一些沉积特征，例如地层的粒级层理、交错层理、沉积时岩

屑的搬运方向、古水流方向、构造倾角以及砂体的延伸方向等。

在鉴定沉积环境中，测井数字处理得到的定量分析资料与地层倾角测井资料的配合使用，正起着越来越重要的作用。

### (二) 测井相解释技术

测井相又称电相，它是沉积相概念的引伸和发展，能表现出沉积物的沉积特征，并且可以将这种沉积物与其他沉积物区分开来的一组测井响应的总和<sup>[5]</sup>。

显然，一组测井响应能否有效地反应出

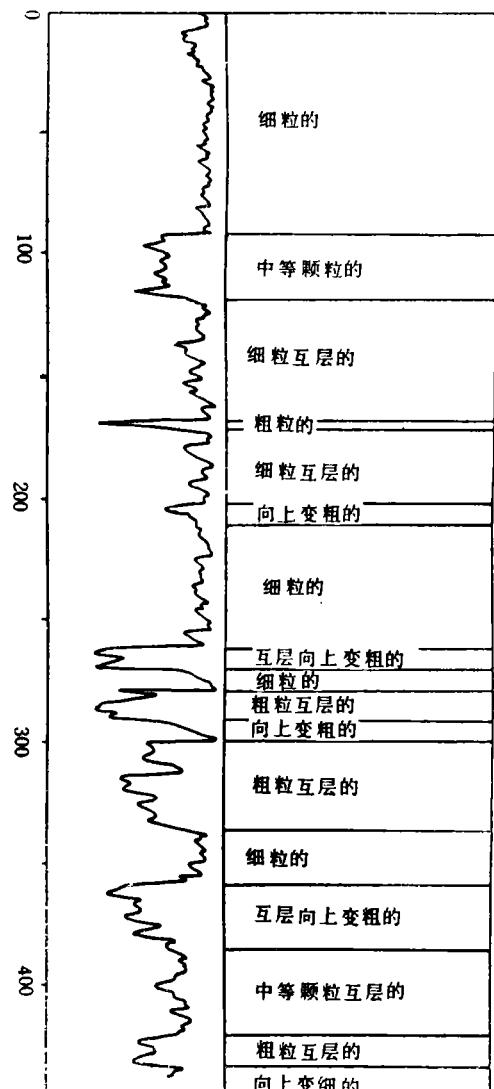


图5-8 人工智能测井解释系统WLA的一个解释实例

各种沉积物的沉积特征，将取决于测井方法的种类和数目。一组行之有效的测井方法组合由以下七种方法组成：（1）自然伽马，（2）地层体积密度，（3）中子孔隙度，（4）声波时差，（5）浅测向，（6）深测向，（7）微球面聚焦测井。对这七种不同参数的高质量测井曲线进行数字处理，从而把测井井段划分成若干种测井相。每一种测井相都有一种特征的测井相图与之对应。在标准孔中建立起测井相与沉积相的联系之后，便可以用测井相来判断地质相，从而为鉴定沉积环境提供地质相资料。

### （三）人工智能专家解释系统

现阶段测井解释的数字模型都不能精确地反映出地层的岩性和沉积特征。因此，尽管近年来广泛发展了测井资料的计算机数字处理，但还是需要人工对处理结果进行复杂的分析和判断才能作出有关沉积环境的最终解释。这最后的综合解释步骤便可用具有人工智能的计算机专家系统来完成。人工智能专家系统不是依靠精确的数学模型和物理模型，而是使用专家的知识模型，模拟专家们运用他们的知识来解决问题的过程。专家系统通常采用产生式系统结构，它由数据库、规则集及控制策略（规划的解释系统）三个基本部分组成。

图5-8为使用WLAI人工智能专家系统对一个井段进行地质解释的最后成果<sup>[6]</sup>。该系统模拟专家的效能，首先对图5-8左边的自然伽马曲线进行分层，并逐一确定出各层的界面，然后进行地质解释，最后得到该图右边所示的岩相推断结果。

## 参 考 文 献

- [1]黄智辉编著：《地球物理测井资料在分析沉积环境中的应用》，地质出版社，1986年。
- [2]黄智辉、陈曜岑编著：《煤田地球物理测井》，武汉地质学院出版社，1986年。
- [3]黄智辉等编译：《现代煤田测井技术》，武汉地质学院，1983年，第202—215页。
- [4]黄智辉 陈曜岑：《煤田测井资料在分析沉积环境及聚煤带研究中的应用》，《物探与化探》，1985年，第1期，第49—58页。
- [5]Schlumberger: Well Evaluation Conference South East Asia, 1981.10, P.169—179.
- [6]石油工业部地球物理勘探局科技情报所、地质矿产部石油物探研究所情报室译：《美国勘探地球物理学家学会第55届年会论文集》，石油工业出版社，1986年，第601页。

（续完）

---

编 辑 《煤田地质与勘探》编辑部  
（西安市和平门外）  
出 版 煤炭科学研究院地质勘探分院  
印 刷 煤炭工业部航测遥感公司  
总 发 行 西安市邮政局（限国内发行）  
订 购 处 全国各地邮局 代号 52—14  
本刊登记 陕西省期刊出版登记第028号  
1973年创刊  
定价 0.45元

Edition  
Editorial Department  
Coal Geology & Exploration  
(6 Jianxi Street, Xian)  
Publication  
Institute of Geology and Exploration CCMRI Ministry of  
Coal Industry Xian, Shaanxi,  
China  
Telex: 3516  
Telephone: 25395

---