

石炭二叠系测井地层学初探

陈继亮

(山西省148煤田地质勘探队)

随着煤田地质勘探和矿井开发的发展，测井资料和地质资料的结合日趋密切，逐渐形成了一门新兴的边缘学科—测井地层学。测井地层学是以煤田测井资料为对象，根据测井学、岩石地层学、沉积学的原理，来研究含煤地层的沉积作用和沉积环境以及基本的地层关系（成层作用、地层间断、相与相变）；进行地层对比、划分地层；揭示煤层和其他有益矿产的分布规律的学科。

由于不同沉积环境的地层存在着差异，必然在电、磁、核、声、热等地球物理性质上有不同的反映。因而可根据各种不同参数的测井资料，进行基本的地层研究和系统的综合对比，来探讨地层垂直方向变化的沉积旋回规律和水平方向变化的相变规律。

本文着重叙述石炭二叠系测井地层学的研究任务、组成的基本要素，探讨其研究方法。

一、组成的基本要素

测井地层学的基本要素是：地层的岩性、沉积特点、测井物性参数、测井曲线形态和岩层倾角测井资料等五个基本要素。前四者互相对应，互相联系，本身又各有自己的特点。

(一) 岩性

岩性包括粒度、孔隙度、密度、泥质含量等，可通过不同参数的测井曲线反映出来。

(二) 沉积特点

不同的沉积环境具有不同的沉积特点，不同的沉积特点，其测井曲线又有不同特征的反映。

1. 分选性 颗粒分选好，粒度均匀的地层，伽玛、电阻率曲线反映平稳，上下界面对称，相当于均匀地层（图1）。颗粒分选不好，粒度不均匀的地层，伽玛、电阻率曲线反映参差不齐，呈锯齿状，相当于多层不均匀薄层的组合层（图1）。

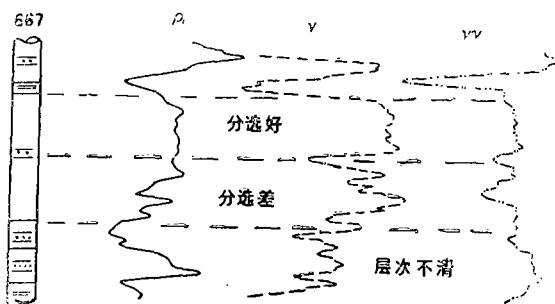


图1 砂岩分选性测井曲线反映图

2. 成层性 可明显分出的地层，测井曲线分层清楚，伽玛、电阻率曲线相当于一定厚度的多层理论曲线（图2）。层次不清，颗粒杂乱堆积的地层，伽玛、电阻率曲线反映参差不齐，分层不清，相当于许多不同岩性的小薄层组合在一起（图1）。

3. 旋回或韵律特征 地层有旋回特征时，在伽玛、电阻率曲线上呈由低到高或由高到低的有规律的变化（图3）。

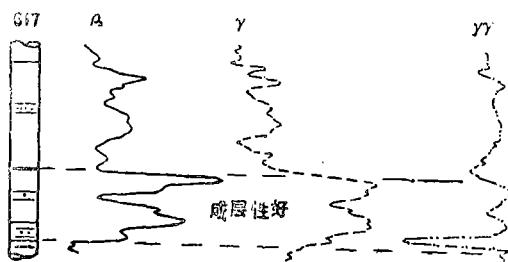


图2 砂岩成层性测井曲线反映图

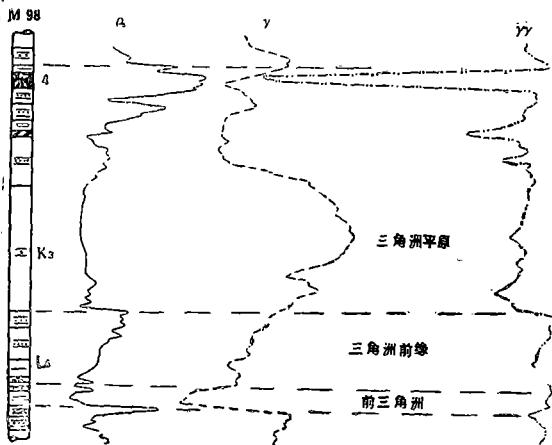


图3 三角洲沉积环境测井曲线反映图

4. 沉积特征在区域上的对比 沉积连续, 层次清楚, 伽玛、电阻率曲线异常幅度和形状相似, 层次也对应得清楚。沉积不连续, 层次不清楚, 在测井曲线上找不到相似处, 无相同层位。沉积厚度变化不大, 在伽玛、电阻率曲线上反映的异常厚度和幅度差别也不大。

(三) 物性参数

各种参数的测井曲线: 伽玛、电阻率、伽玛伽玛、声速、自然电位等, 从不同角度反映地层的岩性、沉积特点及其沉积环境。

(四) 曲线形状

1. 基本形态 石炭二叠系的伽玛、电阻率、伽玛伽玛等曲线形状按岩性可分为四类基本形态。

(1) 碳酸岩类: 一般电阻率为明显高值; 伽玛、伽玛伽玛为明显低值。

(2) 砂岩类: 伽玛曲线对于岩石颗粒大小的反映有明显的规律, 即随颗粒变粗而减低, 反之亦然。电阻率因各种因素影响而变化范围较大。

(3) 泥质岩类: 一般伽玛较高, 电阻率较低(除炭质泥岩、铝土岩外)。

(4) 煤层: 一般电阻率、伽玛伽玛反映较高; 伽玛反映较低, 随灰分的增加而增高。

2. 几种基本形态的组合 上述四类基本

形态曲线类型, 又可组合为不同沉积单元。沉积单元多是根据岩层颗粒大小在垂直方向上的变化趋势、岩性、岩层之间的关系、孔隙度及可在测井曲线上辨别的组合情况而确定的。

(五) 岩层倾角测井资料

岩层倾角测井资料, 在研究地层沉积环境和地层接触关系等方面, 为不可缺少的参数。但应用时须结合其它测井和有关地质资料进行综合分析。避免得出片面的解释结果。我国目前根据超声成相测井图象, 经计算后也可提供精确的岩层倾角资料。

二、测井地层学的研究任务

(一) 研究含煤地层的沉积环境

用测井曲线研究含煤地层的沉积环境, 先根据各种测井曲线标志类型组合为不同的沉积单元, 然后对一定沉积范围的地层, 进行沉积环境研究。

我国煤田勘探中用测井资料研究沉积环境, 目前刚刚开始。初步实践证明利用伽玛、电阻率曲线较为有效。

1. 反映地层不同沉积环境的物性标志

(1) 海相沉积类型: ①浅海相沉积: 主要沉积物有石灰岩、泥灰岩、砂岩、泥岩等。灰岩质愈纯则伽玛愈低, 电阻率愈高。海相泥岩一般较陆相泥岩伽玛低、电阻率高。②滨海相沉积: 多为粗碎屑岩沉积, 成分单一而稳定。地势平坦砂岸, 有时形成粘土岩沉积。砂岩沉积在伽玛曲线上, 反映出明显的“逆粒序”。

(2) 过渡相沉积类型: ①三角洲相沉积: 可分为三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲。三角洲平原: 处于滨海—滨岸的过渡带。岩相岩性多样。如太原西山煤田石炭二叠系山西组北岔沟砂岩至4号煤, 为典型的河流型的三角洲平原沉积。砂岩自下而上反映出明显的“全粒序”(自下而上粒度渐变

粗，再由粗渐变细）。电阻率自下而上逐渐变低。往上为湖相砂质泥岩伽玛明显变高。再往上为粉砂岩、煤层（图3）。三角洲前缘：主要指砂坝—河口砂坝沉积带。在伽玛曲线上粉砂岩为自下而上逐渐变低，电阻率自下而上逐渐变高。伽玛伽玛曲线较三角洲平原砂岩明显变低。砂岩粒度一般不如河流相沉积粗（图3）。前三三角洲：多为泥质沉积，其下为海相灰岩。泥岩伽玛为高值，电阻率为低值（图3）。②泻湖相沉积：分咸化泻湖、淡化泻湖、砂洲砂坝等。泻湖相泥岩由咸逐渐变淡的明显例子，如太原西山煤田官5号孔，东大窑（L₅）以上之泥岩。根据薄片鉴定：下部以CaCO₃为主，中部以FeCO₃为主，CaCO₃减少；上部仍以FeCO₃为主，但出现了高岭石。测井曲线反映：电阻率变化不明显，但伽玛、伽玛伽玛反映明显。由下而上逐渐变高，说明含CaCO₃逐渐减少。上部伽玛、伽玛伽玛又变很低，电阻率变高、为含FeCO₃较高而引起（图4）。砂洲砂坝伽玛曲线通常为由下而上逐渐变低的形态。

（3）陆相沉积类型：①河流相沉积（冲积相）：可分河床相、河漫相。河床相沉积：以中—粗粒较杂的砂岩为主。砂岩伽玛、伽玛低值明显；电阻率一般为高值，多为明显的“正粒序”反映。有的辫状

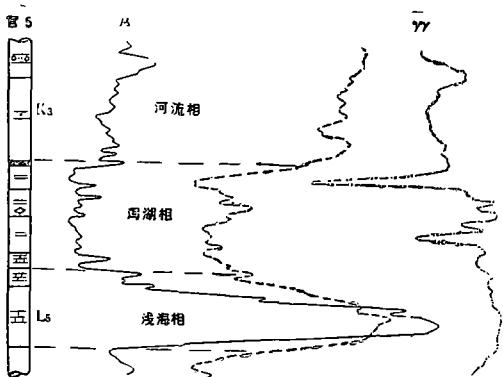


图4 泻湖相测井曲线反映图

一带状河流沉积，颗粒大小在垂直方向上变化不大，测井曲线上下也变化不大。底部有砂砾岩者，伽玛伽玛幅值更低，电阻率幅值更高。河漫相沉积：由细砂岩、粉砂岩组成。其电阻率较河床相砂岩低，伽玛则较高。②湖泊沼泽相沉积：主要为砂岩、砂质泥岩、泥岩等，沉积物在滨湖区较湖中心粗。潮湿气候的湖泊，逐渐形成泥炭沼泽，在泥炭沼泽中形成煤层、炭质泥岩。沼泽泥岩多为煤层顶或底板，电阻率为明显低值，伽玛为高值。③洪积相（山麓相）沉积：以杂乱的砾石为主，由下至上碎屑由细变粗；伽玛曲线为明显的低值，由下至上又相对地由高变低；电阻率则由下至上逐渐变高；伽玛伽玛全层为明显低值。

2. 用测井曲线进行相分析 太原西山煤田，早先将火山矿附近的火山砂岩与南峪附近的K₃砂岩相对比。通过测井曲线进行相分析，火山砂岩粒度上粗下细，电阻率高，伽玛较低，且夹高电阻率、低伽玛伽玛之菱铁矿结核。岩矿鉴定：含钙质、铁质较高。其底面以下L₅灰岩顶部常有海相泥岩，电阻率较低，但伽玛反映较一般泥岩低，与含钙质有关。故火山砂岩为三角洲前缘沉积。南峪附近K₃砂岩粒度上细下粗，为泥质胶结且疏松，电阻率反映较低，伽玛为明显低值，伽玛伽玛反映较一般砂岩高。岩矿鉴定：含泥质、铁质较高。故为三角洲平原河流沉积。所以，两砂岩体的沉积环境不同，不能对比。

3. 用测井曲线研究沉积旋回 伽玛曲线对于岩石粒度变化，有较明显的反映，结合电阻率曲线可研究地层垂直方向变化的沉积旋回规律。

（二）用测井曲线划分地层

不同地质时代的地层岩性、岩相方面的差异，反映到各种曲线上具有不同的总面貌。各地石炭二叠系地层测井曲线参数值统

计结果表明，在不同时代的地层组的分界面处，伽玛曲线会出现一明显的台阶，曲线的基值发生一定程度的移动。台阶的中点，可解释为地层的整合或不整合面。在划分地层中，伽玛曲线起重要作用。许多地区发现同一类型而不同时代的沉积地层，其放射性的含量基本上是随地层由老到新逐渐减低的（见表）。

石炭二叠系地层组伽玛平均值变化表

地区	地层	伽玛平均值(γ)	变化趋势
太原盆地	上石盒子组 (P_2^1)	18	低↑——高
	下石盒子组 (P_1^2)	22	
	山西组 (P_1^1)	25	
	太原组 (C_3)	21	
	本溪组 (C_2)	28	
淮南谢集	石千峰组 (P_2^2)	20	低↑——高
	上石盒子组 (P_2^1)	22	
	下石盒子组 (P_1^2)	26	
	山西组 (P_1^1)	30	
	太原组 (C_3)	35	
峰峰大淑村	石千峰组 (P_2^2)	20	低↑——高
	石盒子组 (P_2^1)	24	
	山西组 (P_1^1)	26	
	太原组 (C_3)	30	
	本溪组 (C_2)	35	

利用特殊物性标志层，有时也能进行地层组（段）的划分。如太原西山煤田古交矿区，在山西组底部K₃砂岩以下，太原组6号煤以上有一层稳定较薄（0.40～0.60米）之菱铁矿结核层，伽玛伽玛反映特低，电阻率较高。钻探往往易打丢，当K₃砂岩不发育时，该层的顶面就是太原组与山西组的分界。

利用本溪组底部铝土岩的高伽玛异常反映, 可明显划分出它与奥陶系的界限。同时利用奥陶系灰岩伽玛伽玛特低的反映, 也可划分石炭系本溪组与奥陶系的界限。

用测井曲线进行地层对比的范围有：井田内的对比、矿区内地层对比、煤田内矿区与矿区的对比、煤田与煤田之对比、区域性煤田对比和全国性煤田地层对比。

区域性石炭三叠系测井曲线地层对比，华北区可以太原西山煤田测井曲线地层剖面为标准剖面（图5）。该剖面可分为以下几

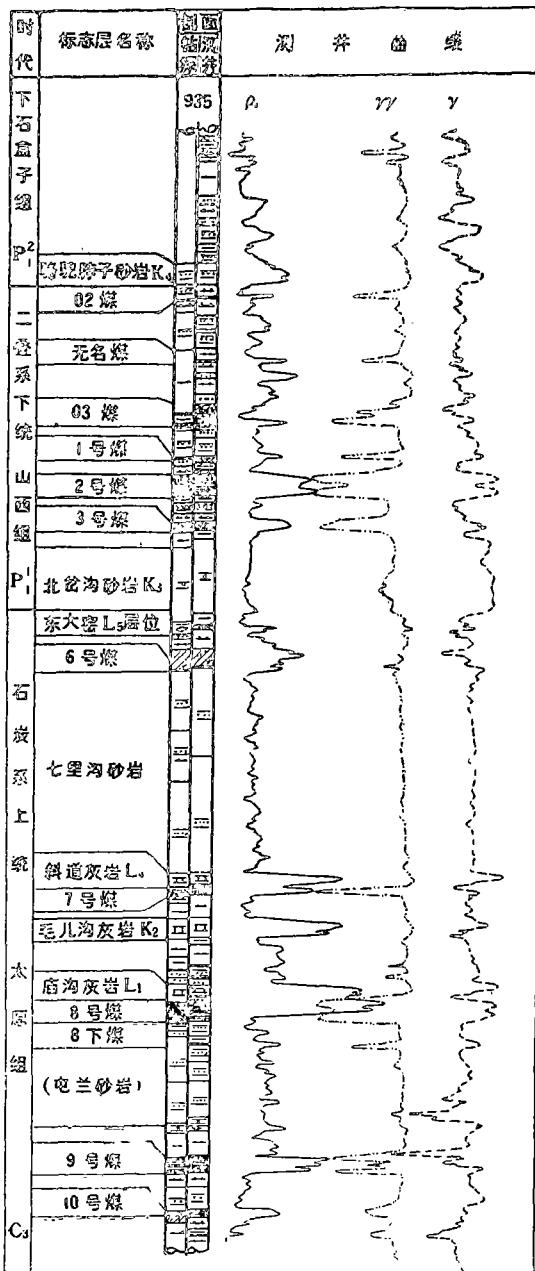


图 5 太原西山煤田标准测井曲线剖面

个物性特征段：

1. 本溪组 (C_2) 总厚45米左右。伽玛平均基值较太原组、山西组都高，约28 γ 。可分两段：

(1) 铁铝层段：以铝土层的高伽玛，铁矿层的高自然电位为特征。

(2) 畔沟段：主要为畔沟灰岩。下部为含铝质砂岩，电阻率较高。

2. 太原组 (C_3) 总厚80米左右，全组平均伽玛基值较本溪组、山西组低，约21 γ 。可分四段：

(1) 晋祠砂岩—吴家峪灰岩 (L_0) 段：吴家峪灰岩顶底部有高伽玛异常层反映 (70 γ 左右)，即使吴家峪灰岩不发育，高伽玛异常层仍然存在。

(2) 主煤层段：包括8、9、10等煤层，其中以8号煤伽玛最低。

(3) 高电阻灰岩段：包括 L_1 、 K_2 、 L_4 等灰岩，其中 K_2 灰岩质较纯。

(4) 七里沟砂岩—东大窑灰岩 (L_5) 段：包括6号煤。东大窑灰岩不发育时，似层状菱铁矿结核层存在，物性反映明显。

3. 山西组 (P_1) 总厚45米左右。伽玛平均基值约25 γ 。可分三段：

(1) 北岔沟 (K_3) 砂岩段：低电阻率，低伽玛；伽玛伽玛有时较高为特征。

(2) 主煤层段：包括2、3、4等煤层，其中以2号煤伽玛最低，伽玛伽玛较高。

(3) 上段：岩性变化较大，含不稳定之03、无名、02等煤层，物性反映复杂。

此外，通过测井曲线对比，可研究和发现地层之间的接触关系（整合、不整合等）。

三、石炭二叠系测井地层学的研究方法

研究石炭二叠系测井地层学一般应用以下的方法。

(1) 用数理统计、关系曲线图、交会

图等对地层岩性进行物性分析。

(2) 作出研究区石炭二叠系的标准地层——测井曲线剖面，以研究地层的沉积旋回规律和对比地层。

(3) 作出研究区的立体测井曲线对比图，以研究地层的不同沉积环境变化。

(4) 岩层倾角测井结合其它地质、测井资料综合研究，可确定岩层的层理特征（水平层理、斜层理、波状层理等）和沉积时碎屑的搬运方向特别对识别交错层及其沉积环境尤为有效（如三角洲前缘沉积）。

岩层倾角测井的成果图，最基本的为矢量图（也称蝌蚪图）。其它还有线性极坐标图、圆柱面极坐标图、杆状图（棒图）、施密特图（一种极坐标图）、方位频率图等。这些成果图在测井数字处理中，由电子计算机自动绘出。

(5) 必须与岩石地层学、生物地层学、沉积学等密切结合起来进行研究。

* * *

本文只是对石炭二叠系测井地层学的初步探讨，许多方面有待深入研究。研究测井地层学的目的在于，在现有勘探资料中提取更多的地质信息，提高地质研究程度，多快好省地进行地质勘探。从石炭二叠系测井地层学的初步研究中认识到，增加新的测井方法（如声速测井、中子测井、地层倾角测井等），采用数字技术，电算处理技术，测井参数标准化等，必将促进测井地层学的迅速发展，也将为煤炭资源勘探带来更大的经济效益。

笔者水平有限，研究粗浅，请同志们批评指正。

参考文献

[1] 邹有缘执笔：第四系测井地层学初探，中国地球物理学会学术报告资料，1980年。

[2] 黄作华、叶庆生：煤田测井综合解释，西安矿业学院资料，1980，12。

[3] 中国矿业学院物探教研室：西方国家测井技术应用概况，全国煤田测井经验交流会资料，1983，6。