

文章编号: 1671-8585(2010)04-0262-04

# 利用测井资料评价煤层煤质及含气量的方法研究

——以和顺地区为例

杨东根<sup>1</sup>, 范宜仁<sup>1</sup>, 邓少贵<sup>1</sup>, 任耀军<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东青岛 266555; 2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司测井分公司, 天津 300280)

**摘要:** 确定煤层煤质和含气量是煤层气储层测井评价的重要内容。根据沁水盆地和顺地区的煤心实验数据, 提取敏感的测井响应, 用回归分析方法, 分别得到利用自然伽马测井值计算煤工业组分的计算方法和利用声波时差和密度组合参数来计算含气量的计算方法, 并指出了该方法在和顺地区的有效性及其局限性。

**关键词:** 煤层气; 测井评价; 煤质; 含气量

**中图分类号:** P631.8

**文献标识码:** A

随着煤层气工业的发展以及煤层气勘探开发的不断深入, 煤层气储层测井评价方法的研究越来越受到重视。由于煤层气是一种自生自储的非常规天然气, 煤质组分及含气量的评价与常规测井评价方法不同, 国内外学者在该领域取得了许多成果, 主要表现为利用体积模型方法求取煤质组分。但煤阶和含气量的测井评价没有较有效的方法<sup>[1~4]</sup>。

本文通过对和顺地区煤心实验数据进行统计, 结合测井响应特征, 提取了对煤质以及含气量反映敏感的测井信息, 利用统计回归的方法, 分别得到了煤层煤质和含气量的测井评价方法。

## 1 煤质的计算方法

煤质参数计算即煤工业分析, 就是确定煤的固定碳、挥发分、灰分和水分的含量。目前主要采用岩心测试和测井评价两种方法。由于岩心测试方法成本高、不连续等特点, 如果能够有效地利用测井资料, 找到一种良好的确定煤工业组分的测井评价方法, 将会极大地降低成本, 具有很好的实际应用价值<sup>[5~7]</sup>。

根据实验室分析资料, 对煤心的各组分相关性进行统计, 结果显示空气干燥基固定碳的含量( $F_{\text{cad}}$ )与灰分的含量( $A_{\text{ad}}$ )呈现较好的线性关系(图 1)。固定碳含量与灰分含量呈现负相关, 相关系数  $R$  能达到  $-0.996$ , 相关性很好; 空气干燥基水分含量( $M_{\text{ad}}$ )与灰分含量也具有一定的相关性(图 2), 相关系数  $R$  为  $-0.4$ 。

将煤心分析灰分含量( $A_{\text{ad}}$ )与测井曲线进行对比分析(图 3), 经计算密度与灰分含量相关系数  $R$  为  $0.81$ , 自然伽马与灰分含量相关系数  $R$  为  $0.96$ ;

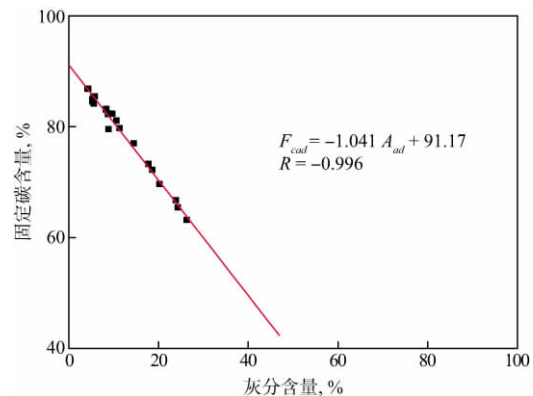


图 1 灰分含量与固定碳含量相关性

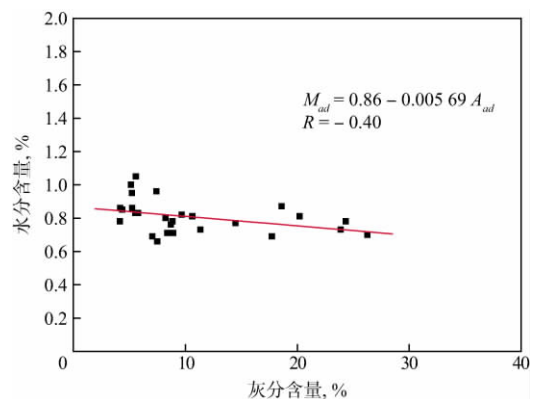


图 2 水分含量与灰分含量相关性

灰分含量与自然伽马曲线的相关性较密度曲线的相关性大(图 4 和图 5)。究其原因可能是煤层中含矿物基除了有机组分外, 主要以泥质矿物为主, 泥质矿物吸附较高的放射性物质, 而煤灰分是由这些矿物燃烧后的残留物或其氧化物组成。

**收稿日期:** 2010-02-02; **改回日期:** 2010-03-31。

**第一作者简介:** 杨东根(1984—), 男, 硕士在读, 主要从事储层测井评价研究工作。

**基金项目:** 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”基金项目(2008ZX05035-002)资助。

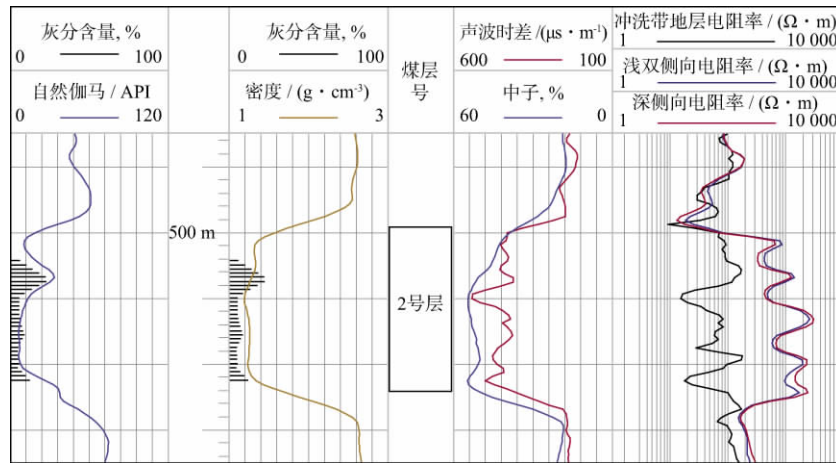


图 3 灰分含量与测井响应的关系

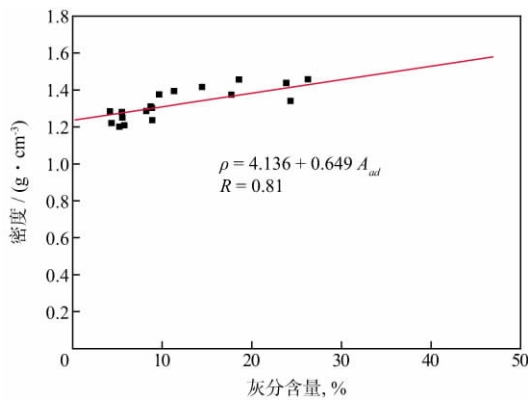


图 4 灰分含量与密度测井关系

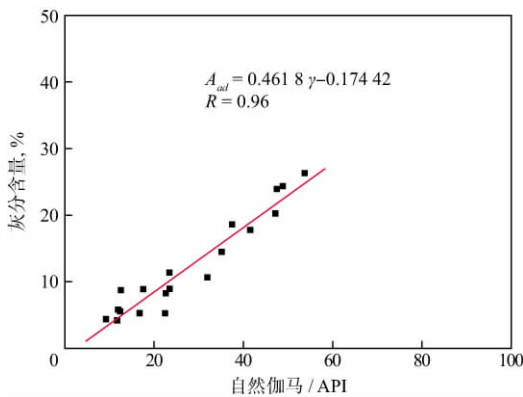


图 5 灰分含量与自然伽马测井关系

为此,本文采用利用自然伽马测井值( $\gamma$ )来计算煤灰分含量的计算方法(表 1)。经过统计分析得到计算公式如下。

$$A_{ash} = 0.461\gamma - 0.17442 \quad (1)$$

将实验分析的灰分含量与利用自然伽马计算得到的灰分含量进行对比(图 6),相关系数达到 0.96,平均绝对误差为 1.76%,平均相对误差为 16.05%。

因为煤质组分中灰分含量与固定碳含量及水分含量均具有较好的相关性<sup>[9~11]</sup>。利用回归分析

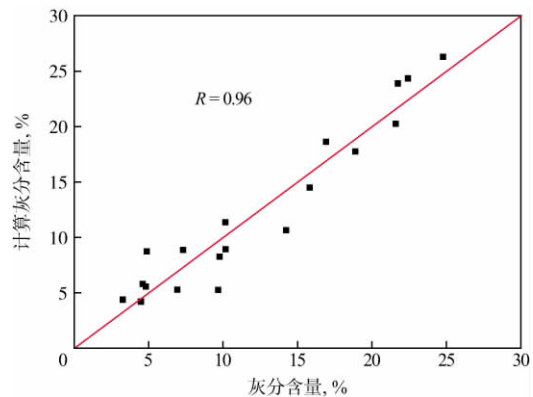


图 6 计算灰分含量与实验灰分含量对比

表 1 灰分计算结果

自然伽马/API	灰分含量, %	计算灰分含量, %	绝对误差, %	自然伽马/API	$A_{ash}$ , %	计算灰分含量, %	绝对误差, %
53.78	26.28	24.795 77	1.484 23	41.57	17.74	18.896 63	1.156 63
37.50	18.61	16.930 25	1.679 75	48.90	24.34	22.438 05	1.901 95
31.97	10.64	14.258 49	3.618 49	22.50	5.24	6.683 15	1.443 15
35.20	14.48	15.819 03	1.339 03	16.80	5.26	6.929 25	1.669 25
47.50	23.88	21.761 65	2.118 35	12.00	5.79	4.610 18	1.179 82
23.52	8.91	10.175 95	1.265 95	12.60	8.72	4.900 06	3.819 94
22.68	8.25	9.770 12	1.520 12	9.24	4.37	3.276 71	1.093 29
11.76	4.19	4.494 23	0.304 23	12.46	5.54	4.832 42	0.707 58
17.60	8.86	7.315 76	1.544 24	47.20	20.22	21.616 71	1.396 71
23.50	11.35	10.166 29	1.183 71	/	/	/	/

可以分别得到各自的计算公式。将计算得到的固定碳结果与实验分析结果进行对比(图 7),结果显示相关系数为 0.99,平均绝对误差为 0.59%,平均相对误差为 7.5%。具体数据如表 2 所示。

表 2 煤质组分参数回归统计

计算参数	拟合相关系数 $R$	平均绝对误差, %	平均相对误差, %
灰分	0.96	1.76	16.05
固定碳	0.99	0.59	7.50
水分	0.40	0.14	15.14
挥发分	0.31	0.54	6.01

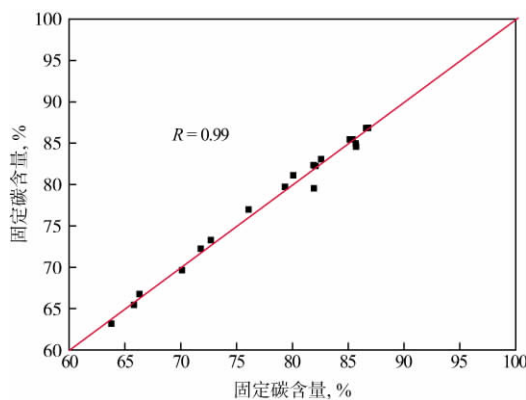


图 7 计算固定碳含量与实验固定碳含量对比

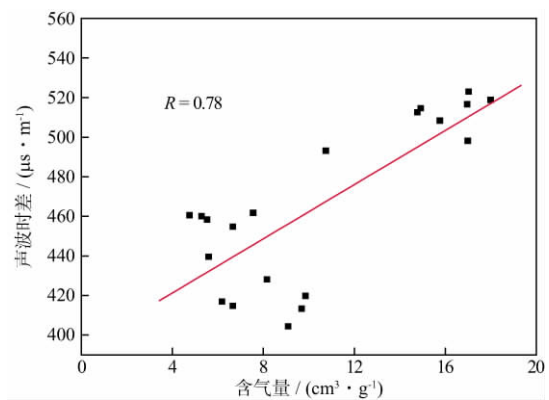


图 8 空气干燥基含气量与声波时差测井

## 2 含气量的计算

前人在含气量计算方面做过不少工作,主要是利用兰氏方程或者含气量与深度的关系以及利用数值模拟来获取含气量的信息。煤层气储层含气量测井评价是煤层气储层测井评价的一个非常重要的内容<sup>[9~11]</sup>。

搜集到的实验资料显示含气量与煤质组分之间存在一定关系。随着煤质组分中灰分含量的增加,含气量减小;随着固定碳含量的增加,含气量增加,这也是煤层气含气量与煤层气吸附以及煤的变质程度存在内在联系的一种表现。提取含气量与测井响应之间敏感性,可知含气量与密度、声波时差存在一定的相关性(图 8 和图 9)。

对数据进行分析,结果显示用声波时差与密度组合来拟合含气量,具有更高的精度。含气量与声波时差/密度组合参数的相关系数达到 0.89(图 10)。用声波时差/密度组合参数来求取的含气量与实验测定的含气量进行对比(图 11),点数基本对称分布于 45°线附近,绝对误差为 1.8 cm<sup>3</sup>/g,相对误差为 16.7%。

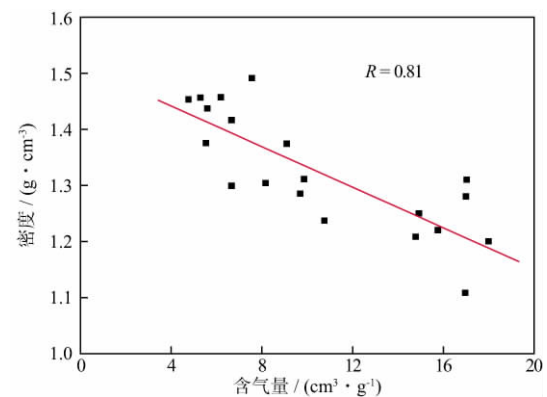


图 9 空气干燥基含气量与密度测井

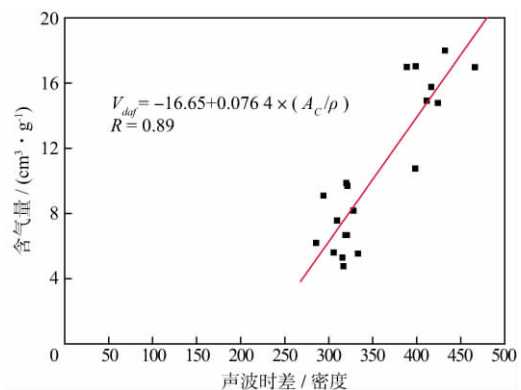


图 10 空气干燥基含气量与声波时差/密度关系

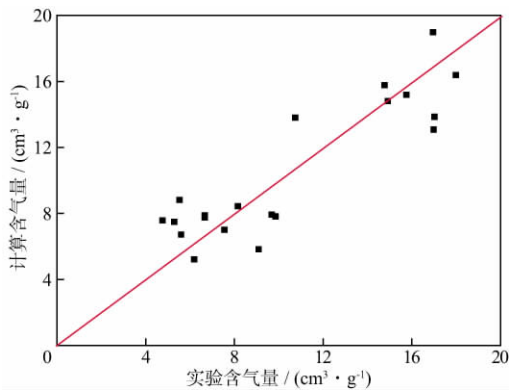


图 11 计算含气量与空气干燥基含气量对比

该区煤层气储层扩径严重,声波时差和密度受到井径影响较大,上述含气量的计算分析只是一种数学的统计效果,如何建立含气量与测井响应之间的内在联系,仍需要大量的煤心地球物理性质测试实验分析资料。

### 3 结论与讨论

充分利用和顺地区煤心实验资料,提取测井响应敏感信息,建立适合该区的煤层煤质和含气量的计算公式。得到以下结论与认识:

1) 煤质各组分含量之间具有较好的线性关系。煤灰分含量与自然伽马具有较好的相关性,利用自然伽马计算煤质灰分含量具有较高的精度,对进一步进行煤质其他组分的计算,效果较好。

2) 利用统计分析,拟合出利用声波时差与密度组合参数进行煤层气储层含气量评价的经验公式,该方法具有区域局限性。

3) 煤心归位目前还没有一个标准,测井曲线取值带入一些人为因素与误差,会对储层参数评价的效果造成影响。

4) 煤层井径扩径严重,对常规测井响应有一定影响,从而影响储层参数的计算精度。

### 参 考 文 献

- 1 赵庆波,刘兵,姚超.世界煤层气工业发展现状[M].北京:地质出版社,1998.1~153
- 2 侯俊胜.煤层气储层测井评价方法及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2000.1~155
- 3 王敦则,蔚远江,覃世银,等.煤层气地球物理测井技术发展综述[J].地球学报,2003,24(4):385~390
- 4 潘和平,黄智辉.测井资料解释煤层气层方法研究[J].现代地质,1994,8(1):119~125
- 5 张松扬.煤层气地球物理测井技术现状及发展趋势[J].测井技术,2009,33(1):9~14
- 6 李铭,楚泽涵.煤层气测井评价[J].特种油气藏,2000,7(1):4~9
- 7 侯俊胜,尉中良,王颖.煤层气储层评价的地球物理测井方法[A].见:中国地球物理学会编.中国地球物理学会第13届年会论文集[C].上海:同济大学出版社,1997.5
- 8 李小明,曹代勇,王红岩,等.煤层气测井评价技术新进展[J].油气井测试,2002,11(6):60~62
- 9 高绪晨,张炳,姜法.煤工业分析、吸附等温线和含气量的测井解释[J].测井技术,1999,23(2):108~111
- 10 侯俊胜,董红.综合利用测井和兰氏方程计算煤层气储层煤质和含气量[J].现代地质,1999,13(Z1):82~86
- 11 董红,侯俊胜,李能根,等.煤层煤质和含气量的测井评价方法及其应用[J].物探与化探,2001,25(2):138~143

(编辑:任 鹏)