

多种能源矿产的地球物理判识标志及其在协同勘探上的应用

伍天洪 王 毅 王传刚

(中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

提要:石油、天然气、煤炭和砂岩型铀矿在同一盆地共同富集成藏为多种能源矿产的协同勘探提供了有利条件。地震和测井方法在各个能源矿产的勘探开发中都得到了广泛的应用。多种能源矿产的协同勘探应该利用现有的丰富的油气煤勘探开发资料(地震资料和测井资料)寻找砂岩型铀矿。鄂尔多斯盆地周边西缘逆冲带、天环凹陷、伊盟隆起和晋西挠折带这些砂岩型铀矿的远景区,据资料统计钻探油气井已达 300 口以上,为砂岩型铀矿勘探积累了丰富的地震和测井资料。

关键词:多种能源矿产;地球物理判识标志;协同勘探;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE13,P622⁺.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)03-0486-04

石油、天然气、煤炭和砂岩型铀矿在同一盆地中富集共存形成一个成藏(矿)的大系统。在国外,一些学者通过放射性方法预测油气的分布^[1-4]。在中国,研究者从理论上讨论了从油气勘探中兼探铀矿,或铀地球化学特征在油气勘探中的应用^[5-12]。

地球物理判识是石油、天然气、煤炭和砂岩型铀矿的勘探开发的主要手段。笔者尝试在分述单种能源矿产的地球物理判识的基础上,探讨各个能源矿产的勘探中哪些地球物理判识标志可以共用,从而达到协同勘探的目的。

1 地球物理手段在石油天然气勘探开发中的应用

地球物理手段在石油和天然气的勘探开发中的应用主要为地震和测井两个方面。地震方法通过地震波在不同物质中的传播速度不一样来分辨地层,地震波在地层中的传播速度受地层岩性、胶结物类型、孔隙度、流体性质和饱和度等多种因素的影响,在油气勘探中通过地震研究地层,研究构造,寻找圈闭。地震方法在横向上很好地反映地层的变化,而测井则是在纵向上反映地层的岩性变化。

在勘探开发中,对石油天然气的地球物理认识不仅仅是对这两种矿产本身的判识,还包括矿产的生、储、盖、运、聚等方面的判识:

(1)生:对油(气)源岩的确定,主要是对有机碳含量高的泥岩段进行判识——自然电位和自然伽马曲线;

(2)储:对油(气)的储集层的确定,主要对孔隙度高的砂岩或其他岩性进行判识——声波时差、中子密度和补偿密度曲线;

(3)盖:对油(气)的盖层的确定,主要是密封性好的泥岩或膏岩层等——自然电位和自然伽马曲线;

(4)运:对油(气)运移通道的确定,主要是对断层或者裂缝等进行判识——地震方法确定断层等和声波时差、中子密度和补偿密度曲线判断孔隙度;

(5)聚:对油(气)聚集场所的确定——地震确定圈闭,声波时差、中子密度和补偿密度曲线判断孔隙度;

(6)流体判识:对油(气)本身性质的确定,即对油、气、水进行判识——电阻率曲线。

在石油天然气的勘探开发过程中,通常都是综合运用各种测井曲线结合其他地质资料进行油气勘探与开发。

2 煤矿的地球物理判识

中国有丰富的煤炭资源。大型的煤盆地有 4 个,即鄂尔多斯盆地、吐哈盆地、准噶尔盆地和华北盆地,其中鄂尔多斯盆地得天独厚,赋存石炭、二叠和侏罗纪 3 套煤系。

中国煤炭系统已拥有 200 个测井队(组)。早期主要采用

表 1 某煤矿煤岩层物性参数

Table 1 Physical parameters of coal beds in a certain coal deposit

参数名称岩石名称	DLW (ΩM)	HG(γ)	ρ (g/cm^3)
煤层	120~470	8~30	1.3~1.5
粗砂岩	80~310	8~20	2.0~2.6
中砂岩	80~290	10~25	2.0~2.6
细砂岩	70~270	12~32	2.0~2.6
粉砂岩	60~170	14~35	2.0~2.5
砂质泥岩	35~120	14~38	2.0~2.5
泥岩	30~90	16~40	2.0~2.5
灰岩	180~650	6~20	2.0~2.6
铝质泥岩	30~90	16~50	2.0~2.5

电测深及井壁取心查明煤深和厚度,1958 年开始利用自然伽马和伽马井-伽马测井,20 世纪 60 年代使用电阻率、双电位、双梯度、接地电阻率和横向测井。

煤层的密度突出地小围岩,煤层在视电阻率(DLW)曲线上较岩层(灰岩除外)高^[3](表 1)。与其他岩石相比,煤的密度基本上不随深度而变大,因此煤具有低密度特征,相应的地震波在每层中的传播具有低速度特征。煤层界面是良好的波阻抗截面,可以形成强振幅发射波^[4]。地震剖面上的强振幅发射波组是整个煤系的综合反应。煤层界面的强透射损失使煤层对于其下部的地层产生一种“屏蔽”作用,在瞬时振幅剖面上,煤系表现为较宽的黑色条带,其宽窄取决于含煤层段的厚薄。在虚速度剖面上煤系为低速异常,两点剖面上煤系类似于气层的亮点。常规剖面上煤系为强振幅发射波组,当其逐渐尖灭时,在水平叠加剖面上可以观察到绕射波的现象。

3 勘探资料和油气测井资料在砂岩型铀矿勘探中的应用

砂岩型铀矿的预测和勘查工作,最重要的是要对沉积盆地的产铀潜力进行评价,在这个阶段主要是应用航空伽马能谱测量的物探方法,油气测井资料在这个阶段得不到应用。

在初步判定盆地是有产铀潜力之后,需要定位铀矿的远景区。这里需要同时考虑两种可能发现的砂岩型铀矿:层间氧化带型砂岩型铀矿和古河道砂岩型铀矿^[5]。此阶段采用的物探方法是间接的找矿方法,即“找环境”。

对于层间氧化带型砂岩型铀矿要找有利的岩层结构:泥—砂—泥。此阶段可以利用全盆地的油气测井资料寻找有利的岩层结构,这种工作类似于油气勘探工作中的小层对比工作。只是油气勘探中的小层对比主要是为了沉积微相研究,从而寻找有利的储层,并且目的层的深度因地而异,从几十米到数千米不等,而寻找层间氧化带型砂岩型铀矿远景区,根据现在的开采技术目的层局限于 500 m 以浅的泥—砂—泥结构。由于目的层深度的不一致,利用油气测井资料寻找层间氧化带型砂岩型铀矿远景区的时候会遇到 3 种情况:第一种是 500 m 以浅的范围内没有测井资料,需要根据砂岩

型铀矿勘探的需要重做测井工作;第二种是有测井资料但是没有解释,需要进一步解释为砂岩型铀矿勘探所用;第三种是 500 m 以浅有油气,已经确定岩层的分布,可以直接寻找有利岩层结构:泥—砂—泥。具体属于哪种情况因地而异,由油气储层的深度决定。

对于古河道砂岩型铀矿成矿远景要找有利的岩层结构:基底—古河道砂—盖层。油气测井资料的应用基本上和层间氧化带型砂岩型铀矿中一样,只是寻找的有利结构不同。

最后是远景区中铀矿化体的定位。许多已知的铀矿体都是在油气煤勘查过程中钻进的钻孔中进行伽马测井而发现的,包括美国 Texas 海岸平原、俄罗斯外乌拉尔的达尔马拒夫矿床、西西伯利亚的马琳若夫矿床、中国辽河油田的钱家店矿床以及鄂尔多斯盆地的东胜矿床。

4 多种能源矿产的协同勘探及其在鄂尔多斯盆地的应用

在石油、天然气、煤矿和砂岩型铀矿的勘探中,不管是地震手段还是测井方法都得到了充分的应用。因此多种能源矿产的协同勘探在技术上是可行的。

泥岩层在石油天然气的勘探中经常作为烃源岩或者盖层存在,在砂岩型铀矿的勘探中泥岩或粘土岩层成为隔水层^[6],相应的判断泥岩的测井曲线自然伽马、自然电位和井径曲线得到应用;砂岩型铀矿赋存于砂砾岩中,而砂砾岩也是石油天然气的主要储层类型之一,相应的判断砂砾岩的测井曲线声波时差、中子密度和补偿密度曲线得到应用;砂岩型铀矿的勘探开发中需要对含水层进行判识,同样在石油天然气的勘探开发中也常常需要对油、气、水进行识别,相应地能够计算饱和度,识别流体性质,分析储层渗透性,判断岩性的测井曲线(电阻率曲线),感应测井和侧向测井曲线得到应用。

多种能源矿产的协同勘探是为了节约多种能源矿产的勘探成本。油气盆地的石油天然气和煤矿的勘探开发工作走在铀矿的勘探开发的前面,因此利用沉积盆地中丰富的油气煤勘探开发资料去寻找盆地中的砂岩型铀矿床,从而通过节约砂岩型铀矿的勘探成本达到节约多种能源矿产的勘探成本的目的。具体做法是在砂岩型铀矿的勘探工作中涉及到油气煤勘探开发区域,相应的普通物探工作如果后者已经做过前者就可以直接用这些资料。

鄂尔多斯盆地蕴藏着丰富的石油、天然气、煤炭和铀。在纵向上,石油、煤和铀矿主要分布在侏罗系,天然气主要分布在二叠系和奥陶系,天然气位于石油和铀矿的下方,并紧邻石炭—二叠系煤系的上下层位。在平面上,石油位于盆地中南部,铀矿位于盆地边部(北部和西缘),天然气和煤炭资源在全盆地均有分布,可采的煤炭位于盆地边部。伊陕斜坡是进行石油、天然气、煤炭和非常规天然气勘探的理想地区;天环坳陷、西缘逆冲带可开展油—气—煤—铀矿的联合勘探;伊盟隆起、渭北拗褶带和晋西拗褶带可进行煤炭、煤层气和铀矿的协同勘探^[6]。据不完全的中石油和中石化资料统计,在天环

凹陷、西缘逆冲带至今已经累计钻探钻井 120 余口,在伊盟隆起带上累计钻探钻井 50 余口,在晋西挠褶带上累计钻探钻井 100 余口,总共在天环凹陷、西缘逆冲带、伊盟隆起带和晋西挠褶带上至今累计已经钻探油气井 300 余口以上。这些钻井深度都超过了 500 m,而现在具有开采价值的砂岩型铀矿的埋深低于 500 m,因此在这些构造带上进行多种能源矿产的协同勘探应该充分利用已有的钻探资料,为在盆地内勘探砂岩型铀矿服务。

5 小 结

(1)通过对石油、天然气、煤炭和砂岩型铀矿各个单一矿产的地球物理判识手段(地震和测井)的分析,这 4 种矿产的勘探开发中所用的地球物理判识标志有相同或重复的地方,因此多种能源矿产的协同勘探在技术上是可行的。

(2)基于现有的沉积油气盆地中,油气煤的勘探开发程度相对而言一般高于砂岩型铀矿的勘探程度,因此在现有的条件下多种能源矿产的协同勘探就是利用油气煤勘探开发资料(地震资料和测井资料)寻找砂岩型铀矿。

(3)鄂尔多斯盆地周边西缘逆冲带、天环凹陷、伊盟隆起和晋西挠褶带这些砂岩型铀矿的远景区,据不完全统计至今已经累计钻探油气井 300 口以上,为砂岩型铀矿勘探积累了地震和测井资料。

参考文献(References):

- [1] Crowhurst P V, Green P F, Kamp P J J. Appraisal of (U-Th)/He apatite thermochronology as a thermal history tool for hydrocarbon exploration: an example from the Taranaki basin, New Zealand[J]. AAPG Bull, 2002, 86(10):1801-1919.
- [2] Landais P, Dubessy J. Three examples illustrating the analysis of organic matter associated with uranium ores [J]. Organic Geochemistry, 1990, 3(16):601-608.
- [3] Dymkov Y M, Kunzaf, Doinikova O A. The formation of solid bitumen during pitchblende-oil interaction at 300°C[J]. Dokl Earth Sci, 2002, 387(8):951-954.
- [4] Carmichael A, Ross Norris N. Norm (Naturally occurring radioactive material) regulation domain of states [J]. AMER Oil Gas Reporter, 1996, 39(13):95-96, 98-99.
- [5] 周巧生, 李占游. 吐哈盆地西缘地浸砂岩型铀矿地质特征及找矿前景[J]. 中国地质, 2003, 30(2):186-191.
Zhou Qiaosheng, Li Zhanyou. Geological characteristics and ore prospects of underground leaching sandstone-type uranium deposits on the southwestern margin of the Turpan-Hami basin[J]. Geology in China, 2003, 30(2):186-191(in Chinese with English abstract).
- [6] 吴柏林, 徐高中, 李卫红, 等. 吐哈盆地地浸砂岩型铀矿成矿条件与盆地动力学演化[J]. 中国地质, 2004, 31(1):101-107.
Wu Bolin, Xu Gaozhong, Li Weihong, et al. Metallogenic conditions of in-situ leachable sandstone-type uranium deposits and dynamic evolution of the Turpan-Hami basin[J]. Geology in China, 2004, 31(1):101-107(in Chinese with English abstract).
- [7] 邢秀娟, 柳益群, 樊爱萍. 鄂尔多斯盆地店头地区砂岩型铀矿成因初步探讨[J]. 中国地质, 2006, 33(3):591-597.
Xing Xiujian, Liu Yiqun, Fan Aiping. Genesis of sandstone-type uranium deposits: A case study in the Diantou area of the Ordos basin[J]. Geology in China, 2006, 33(3):591-597(in Chinese with English abstract).
- [8] 陈正乐, 李细根, 宫红良, 等. 新疆库车黑英山地区晚新生代构造运动及其对砂岩型铀矿成矿的控制作用初析[J]. 中国地质, 2006, 33(3):572-581.
Chen Zhengle, Li Xigen, Gong Hongliang, et al. Late Cenozoic tectonic movement in the Keyir Mountain area, Kuqa Xinjiang, and its controls on sandstone-type uranium deposits [J]. Geology in China, 2006, 33(3):572-581(in Chinese with English abstract).
- [9] 李胜祥, 韩效忠, 蔡煜琦, 等. 伊犁盆地南苑西端中下侏罗统水西沟群沉积体系及其对铀成矿的控制作用 [J]. 中国地质, 2006, 33(3):582-590.
Li Shengxiang, Han Xiaozhong, Cai Yiqi, et al. Depositional system of the Lower-Middle Jurassic Shuixigou Group in the western segment of the southern margin of the Ili basin and its controls on uranium mineralization[J]. Geology in China, 2006, 33(3):582-590(in Chinese with English abstract).
- [10] 刘埃平, 钟子川. 铀的地球化学特征及其在油气勘探中的应用 [J]. 石油学报, 1999, 20(6):32-37.
Liu Aiping, Zhong Zichuan. Chemical characteristics of uranium element and its application in exploration of oil and gas [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(6):32-37.
- [11] 向伟东, 陈肇博, 陈祖伊, 等. 试论有机质与后生砂岩型铀矿成矿作用—以吐哈盆地十红滩地区为例[J]. 铀矿地质, 2000, 16(2):65-73.
Xiang Weidong, Chen Zhaobo, Chen Zuyi, et al. Discussion on relationships between organic matter and metallogenesis of epigenetic sandstone-type uranium deposits: take Shihongtan district in the Turpan-Hami basin as an example [J]. Uranium Geology, 2000, 16(2):65-73(in Chinese with English abstract).
- [12] 刘建军, 李怀渊, 陈国胜. 利用铀油关系寻找可地浸砂岩型铀矿 [J]. 铀矿地质, 2006, 22(1):29-37.
Liu Jianjun, Li Huaiyuan, Chen Guosheng. To prospect for ISL-amenable sandstone-type uranium deposit by using the association of uranium with oil [J]. Uranium Geology, 2006, 22(1):29-37(in Chinese with English abstract).
- [13] 樊甲成. 煤岩层的测井曲线解释规律 [J]. 山西焦煤科技, 2003, 1:15-17.
Fan Jiacheng. Interpretation of well survey of coaly-rock straight [J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2003, 1:15-17(in Chinese with English abstract).
- [14] 方正. 中国煤田勘探地球物理技术 [J]. 地球物理学报, 1994, 37(增刊 1):396-407.
Fang Zheng. Tecnoloy of geophysical exploration of coal in China [J]. Acta Geophysica Sinica, 37(supp.1):396-307.

[15] 赵希刚. 综合物化探方法勘探层间氧化带砂岩型铀矿[J]. 物探与化探, 2001, 25(1):14-21.

Zhao Xigang. The application of intergrated geophysical and geochemical techniques to the exploration of interstratified oxidation zone sandstone type uranium deposits [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2001, 25 (1):14-21 (in Chinese with

English abstract).

[16] 魏永佩, 王毅. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4):385-392.

Wei Yongpei, Wang Yi. Comparison of enrichment pattern of various energy resources in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4):385-392 (in Chinese with English abstract).

Geophysical indicators of oil, natural gas, coals, sandstone uranium and their applications in co-exploration of multiple energy minerals

WU Tian-hong, WANG Yi, WANG Chuan-gang

(*Petroleum Exploration & Development Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China*)

Abstract: The fact that oil, natural gas, coals and sandstone uranium minerals exist in the same basin and form a mineral deposit provides favorable conditions for co-exploration of multiple energy minerals. The seismic and well logging methods have been widely used in exploration of various energy minerals. So co-exploration of multiple energy minerals is possible in terms of techniques and methods. Because the degree of exploration of oil, natural gas and coals is generally higher than that for sandstone uranium at present, we should use the available data (seismic and logging data) of exploration of oil, natural gas and coals to look for sandstone uranium deposits in co-exploration of multiple energy minerals in the basin. According to the statistics, more than 300 oil/gas wells have been drilled in the prospect areas of sandstone uranium deposits at the peripheries of the Ordos basin, such as the Tianhuan subbasin, thrust belts on the western edge of the basin, Yimeng uplift and western Shanxi flexural fold belt. These wells provide abundant seismic and logging data for exploration of sandstone uranium.

Key words: multiple energy minerals; geophysical indicator; co-exploration of multiple energy minerals; Ordos basin

About the first author: WU Tian-hong, male, born in 1977, doctor, mainly engages in petroleum geological exploration and research; E-mail: wuth@pepris.com.