

四川盆地含钾地层的地球物理测井标志、 判别模型与应用 ——以川中广安地区为例

陈科贵¹⁾, 李春梅¹⁾, 李 利¹⁾, 黄 羽²⁾, 朱一鸣³⁾

1) 西南石油大学资源与环境学院, 四川成都 610500;

2) 四川煤田地质局, 四川成都 610500;

3) 中国石油集团测井有限公司生产测井中心, 陕西靖边 718500

摘 要: 长期以来, 钾盐层的测井识别都以放射性测井为主, 辅佐以其他常规测井方法。在没有其他含钾矿物影响的情况下, 运用效果良好。据地质资料显示, 川中广安地区为一杂卤石沉积区, 存在多个杂卤石层。除此之外, 该地区亦存在泥岩、泥质云岩、菱镁矿泥岩及火山凝灰岩等含钾岩石, 均具有较高放射性, 给利用放射性测井划分杂卤石层带来了一定困难。针对多种含钾岩石在各测井曲线上的差异, 本文提出了利用测井曲线综合分析法、测井曲线重叠法、交会图分析法及自然伽马能谱测井判别模型等识别杂卤石层, 并对川中广安地区不同构造上的多口井进行了杂卤石层划分。对比录井资料, 效果良好, 验证了方法及模型的实用性。对杂卤石测井响应特征进行了统计, 并对其分布层位、有效厚度进行了总结, 探索了川中广安地区杂卤石分布情况, 拓展了地球物理测井资料在钾盐勘探中的运用。

关键词: 杂卤石; 测井标志; 判别模型; 分布层位; 有效厚度

中图分类号: P588.24+7; P578.32; P631.817 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2013.05.14

Geophysical Logging Criteria and Discriminant Model for the Potassium-rich Strata and Their Application to Sichuan Basin: A Case Study of Guang'an Area of Central Sichuan

CHEN Ke-gui¹⁾, LI Chun-mei¹⁾, LI Li¹⁾, HUANG Yu²⁾, ZHU Yi-ming³⁾

1) School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500;

2) Coal Geological Bureau of Sichuan, Chengdu, Sichuan 610500;

3) Production Logging Center of Logging Investment Co., Ltd., CNPC, Jingbian, Shaanxi 718500

Abstract: Usually, the logging recognition method for sylvite layer is mainly by means of radioactive logging whose working effect is good without the influence of other potassium minerals. According to the geological data, Guang'an area is defined as a polyhalite deposit zone, which has multiple potash layers comprising mainly polyhalite. In addition, there are some other potassium rocks in this area, such as mudstone, argillaceous dolomite, magnesite mudstone and volcanic tuff, which all have high-level radioactivity that causes difficulties in dividing the sylvite layer with radioactive logging. On the basis of the differences between various logging curves of potassium rocks, the authors identified the sylvite layer by such means as logging curve comprehensive analysis, logging curve overlapping, cross-plot analysis and NGS discriminant model and divided polyhalite layers of some

本文由国家“973”计划项目(编号: 2011CB403002; 2011CB403005)资助。

收稿日期: 2013-05-07; 改回日期: 2013-05-22。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 陈科贵, 男, 1959 年生。博士, 教授。现主要从事测井方法理论、测井储层评价技术与工程测井应用的研究工作。通

讯地址: 610500, 成都市新都区西南石油大学资源与环境学院。电话: 028-83037107。E-mail: chenkegui@21.cn。

wells in different structures of Guang'an area in central Sichuan. A comparison with logging data shows that these methods have good effects and are feasible. The authors made a statistic analysis of the logging response and summarized the distribution layers and the effective thickness of polyhalite, and the results obtained enable us to learn more about the distribution of polyhalite in Guang'an area and expand the use of geophysical logging data in potash exploration.

Key words: polyhalite; logging mark; discriminant model; distribution layer; effective thickness

四川盆地成钾模式为一种特殊的多级次盆地成钾模式(郑绵平等, 2012)。先后在成都、达县、南充、垫江等地陆续发现固态钾盐(林耀庭等, 2004)。从川东—川中—川西, 川东北—川西南—川西北陆续发现高品质富钾卤水(林耀庭等, 2002)。据统计, 四川盆地储卤层分布面积达 13 万 km², 其中已知储卤构造 159 个, 潜在资源量达 1773 亿 m³, 可采资源量达 109 亿 m³ 以上。显示了四川盆地巨大的潜在钾盐资源(郑绵平等, 2012)。同时, 四川盆地具有丰富的油气资料, 为钾盐勘探工作提供了便利条件, 油钾兼探成为四川盆地钾盐勘探的重点。其中, 地球物理测井资料具有纵向分辨率高, 解释快速、精确的特点, 综合国内外研究现状, 其在钾盐勘探中的运用主要包括划分钾盐层, 识别钾盐矿物类型, 区分钾盐层、泥质钾盐层、泥岩层, 判断钾盐纯度, 计算钾含量等, 通过井间对比还能判断矿体厚度及横向延伸情况(陈科贵等, 2012; 胡挺, 2012; 云南省地质局第十六地质队, 1978; 石油化学工业部化学矿山局, 1977)。但在划分钾盐层, 识别钾盐矿物类型方面, 主要依赖于各钾盐矿物或含钾岩石在测井曲线上的响应差异, 根据测井曲线形态特征及幅值高低进行识别。识别方法的单一性限制了地球物理测井资料在钾盐勘探中的使用。本文在总结了国内划分钾盐层、识别钾盐矿物类型的地球物理方法基础上, 结合油气勘探方法, 提出了全新的测井曲线重叠法、交会图分析法、自然伽马能谱半定量识别法等划分钾盐层、识别钾盐矿物类型的测井识别方法及判别模型, 拓展了地球物理测井资料在钾盐勘探中的运用。

1 地质及钾盐勘查状况

1.1 构造

研究区位于川西坳陷东侧, 华蓥山凸起西侧(如图 1 所示), 包括三个主要构造——广安构造、龙女寺构造、磨溪构造及多个次要构造——文昌寨构造、云和寨构造等。其中, 广安构造地理上位于四川盆地中东部, 东以华蓥山为界、南至重庆武胜、西到南充、北抵营山—渠县一带; 构造上位于川中古隆

起中斜平缓构造带东北部, 处在乐山—龙女寺加里东古隆起的北翼斜坡上(付斌等, 2009)。龙女寺背斜构造地理上位于四川省广安市武胜县、岳池县境内; 构造上位于龙女—磨溪构造带东端, 东与文昌寨构造相对, 西与磨溪构造斜鞍相接, 北向李渡、白庙场构造过渡, 南与中心镇、街子坝构造相望, 构造影响范围及勘探控制面积 1000 km²(袁海峰等, 2012)。磨溪构造地理上位于四川盆地中部遂宁市以南, 横跨遂宁、蓬溪、渔南三县市; 区域构造上属于川中古隆中斜平缓构造带, 地表为一向西偏南倾伏的鼻状构造, 地腹须家河组构造为龙女寺—磨溪构造带西部的一个平缓短轴背斜, 轴向近东西向(翟中华, 2005)。

1.2 地层

川中三叠系沉积受苏皖运动及印支运动影响, 主要表现为海退, 为一套浅海碳酸盐岩-内陆湖泊砂、页岩沉积。川中地区 T₂^l 被完全剥蚀, 有的甚至剥蚀到 T₂^l²(女 301 井)、T₂^l³(角 50 井、华西 2 井、华西 1 井、王家 1 井、潼 10 井、合 25 井、合 12 井、合 1 井、通 3 井、涑 1 井、安 1 井、女 107 井、女深 2 井), 且由磨溪向龙女寺方向, 剥蚀程度逐渐加强(李德星, 2010)。该区域三叠系雷口坡组地层以白云岩为主, 其次为灰岩、膏岩, 有的井甚至存在盐岩, 少见泥岩。嘉陵江组地层岩性较为复杂, 主要为膏岩及白云岩为主, 部分地区及层位存在盐岩及杂卤石。地层及岩性的具体情况见表 1。

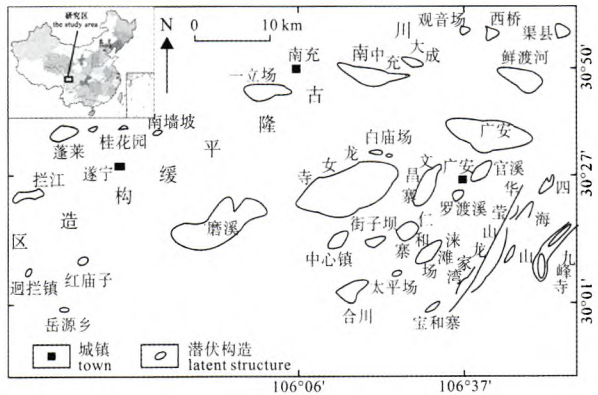


图 1 研究区位置图(据袁海峰等, 2012)
Fig. 1 Location of the work area (after YUAN et al., 2012)

表 1 广安地区地层情况简表
Table 1 Stratigraphy of Guang'an area

系	统	组	段	层	小层	岩性描述
三 叠 系 T	中 统 T ₂	雷 口 坡 T ₂ l	l ₄			白云岩、灰岩、泥质云岩、夹少量硬石膏岩
					l ₃ ³	灰岩中夹少量硬石膏、白云岩, 少见盐岩
				l ₃	l ₃ ²	灰岩夹硬石膏岩、白云岩, 局部发育厚层盐岩
					l ₃ ¹	灰岩为主, 夹盐岩及少量粒屑云岩
			l ₂			白云岩、硬石膏夹灰岩
					l ₁ ²	白云岩、泥质云岩、膏云岩夹硬石膏岩, 局部发育粒屑白云岩
			l ₁		l ₁ ¹⁻³	石膏、灰岩及泥质白云岩
				l ₁ ¹	l ₁ ¹⁻²	白云岩及灰岩
					l ₁ ¹⁻¹	石膏为主, 夹白云岩、杂卤石及岩盐, 底部为绿豆岩
	下 统 T ₁	嘉 陵 江 T ₁ j	j ₅	j ₅ ²		石膏夹泥质云岩、岩盐, 部分地区夹薄层杂卤石
				j ₅ ¹		泥质云岩、膏质云岩及云质灰岩、膏质灰岩
			j ₄	j ₄ ⁴		膏质云岩为主, 夹泥质云岩、膏岩及盐岩
				j ₄ ³		为一层泥质云岩
				j ₄ ²		石膏夹膏质云岩
				j ₄ ¹		白云岩为主, 夹石膏, 底部以白云岩与嘉三分界
			j ₃			大套灰岩为主, 偶夹云质灰岩及鲕粒灰岩, 底部以深灰色灰岩与嘉二 3 分界
				j ₂ ³		顶部为泥晶云岩, 上部为石膏夹云岩, 中部为云岩及灰岩, 底部为石膏
			j ₂		j ₂ ²⁻³	石膏为主, 夹白云岩
				j ₂ ²	j ₂ ²⁻²	白云岩及灰岩
					j ₂ ²⁻¹	以石膏为主, 夹灰质泥岩及鲕粒灰岩
				j ₂ ¹	j ₂ ¹⁻²	灰白色石膏
					j ₂ ¹⁻¹	深灰色白云岩
			j ₁			主要为灰岩

1.3 钾盐勘探状况

研究区钾盐勘探历史由来已久, 对地质资料、地球化学资料的运用已经做了深入研究, 但地球物理资料的运用尚处于起步阶段。地质部第二地质大队先后对研究区含盐系剖面结构及韵律、盐系剖面成盐特征及成钾条件、钾镁盐分布特征及形成条件进行了研究。将研究区划分为 T₁J²、T₁J⁴、T₁J⁵-T₂l¹⁻¹、T₂l¹⁻²-T₂l¹⁻³、T₂l³、T₂l⁴ 六个盐系结构及多个韵律结构。其中 T₁J⁴、T₁J⁵-T₂l¹⁻¹ 具备成钾条件, 含钾矿物类型主要为大量的杂卤石及少量的硫镁钒、无水钾镁钒(林耀庭, 1994)。此外, 地质部第二地质大队及中国地质大学周训还指出龙女寺、磨溪构造为褶皱型储卤构造, 显示了研究区卤水找钾潜力(周训, 1993)。

2 杂卤石地层地球物理识别标志及模型

2.1 杂卤石地球物理测井曲线形态及幅值识别标志

研究区主要存在三种含钾地层, 杂卤石地层、菱镁矿泥岩地层及绿豆岩地层。三种地层均因含放射性同位素 K⁴⁰ 而具有高放射性。

杂卤石: 属高阻难溶含钾矿物, 相对密度在 2.72~2.78 之间, 含结晶水。四川盆地杂卤石主要赋

存于石膏、硬石膏之中, 形态主要有层状、浸染状、团块状、星点浸染状或板块状四种(黄宣镇, 1996)。

测井响应特征为: 自然伽马高值, 通常高于 50 API, 纯杂卤石层自然伽马测井值高于 150 API; 与石膏伴生, 处于较为致密的石膏、灰岩、白云岩中, 声波时差相对高值, 通常高于 45 us/ft, 纯杂卤石层通常高于 55 us/ft。结晶水的存在, 使得补偿中子测井呈现高值, 通常大于 18; 电阻率高值。

菱镁矿泥岩: 泥岩中富含菱镁矿(MgCO₃), 是海水咸化的标志, 可以作为纵横向蒸发岩系剖面成盐相的对比标志, 通常出现在石盐及钾盐层中, 它的存在对钾盐找矿具有一定指示意义。川中地区三叠系蒸发岩中普遍发育有条带状或薄层状的泥质菱镁矿条带(林耀庭等, 2001; 梁婉雪等, 1983)。比重 2.9~3.1, 属致密岩石, 随着泥质含量的增加, 密度降低。菱镁矿泥岩的测井响应特征与普通泥岩层基本一致, 仅密度曲线显示相对高值。

绿豆岩: 一种沉积火山凝灰岩, 主要含粘土矿物、水云母、蒙脱石等。是嘉陵江组与雷口坡组的分界标志(陈忠等, 1999; 金峰等, 1996)。其测井特征具有“三高两低”的特性, 即高自然伽马(GR)、高中子孔隙度(CNL)、高声波时差(AC)、低密度(DEN)、

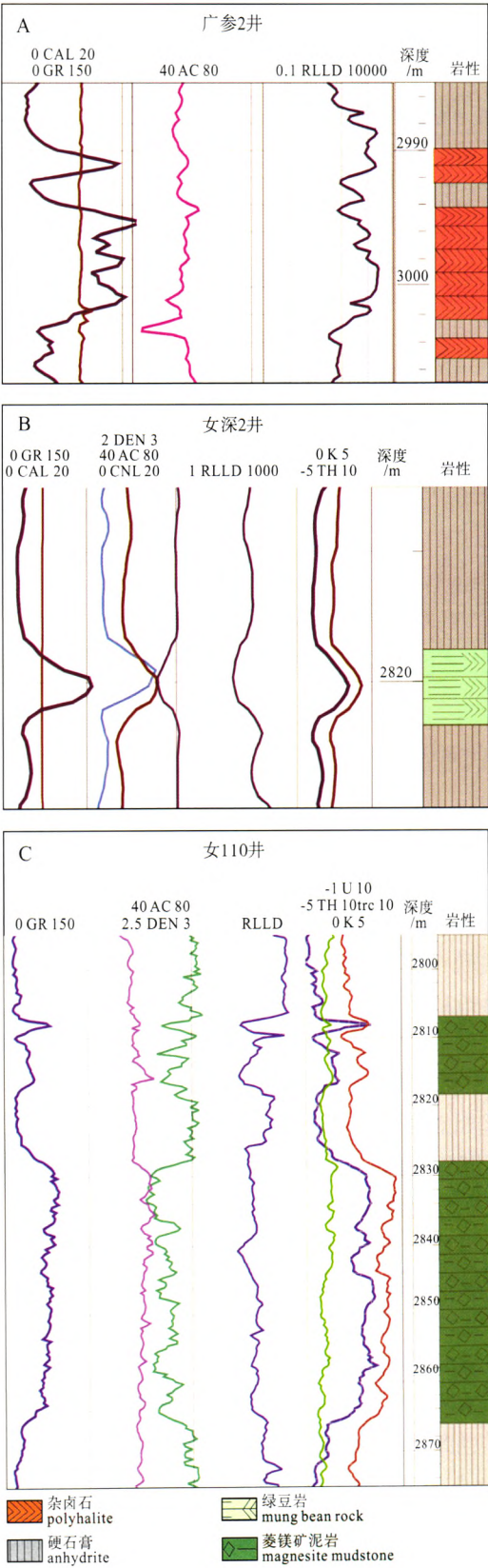


图 2 含钾地层测井响应特征
Fig. 2 Logging response of the potassium-rich formation
A-杂卤石测井响应特征; B-绿豆岩测井响应特征;
C-菱镁矿泥岩测井响应特征
A-logging response of polyhalite; B-logging response of mung bean rock; C-logging response of magnesite mudstone

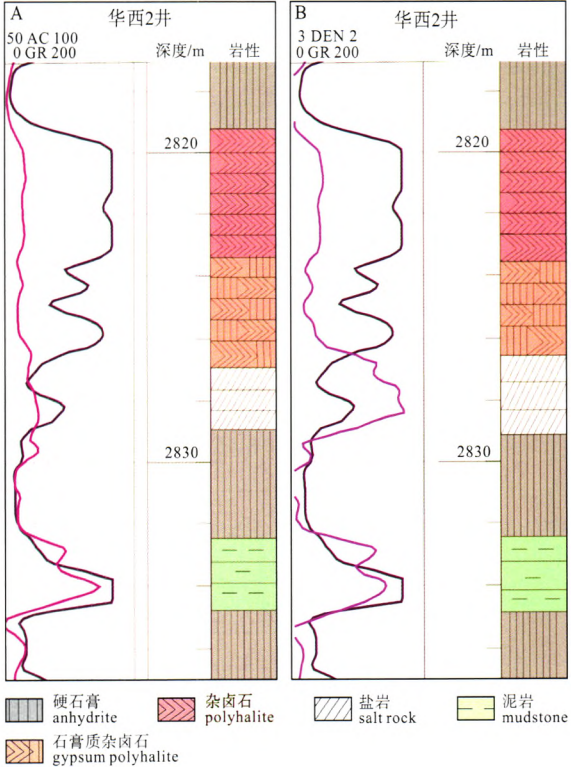


图 3 重叠法识别钾盐层
Fig. 3 Overlap method to identify sylvite layer
A-声波与自然伽马曲线重叠图; B-密度与自然伽马重叠图
A-AC and GR logging curve overlays;
B-DEN and GR logging curve overlays

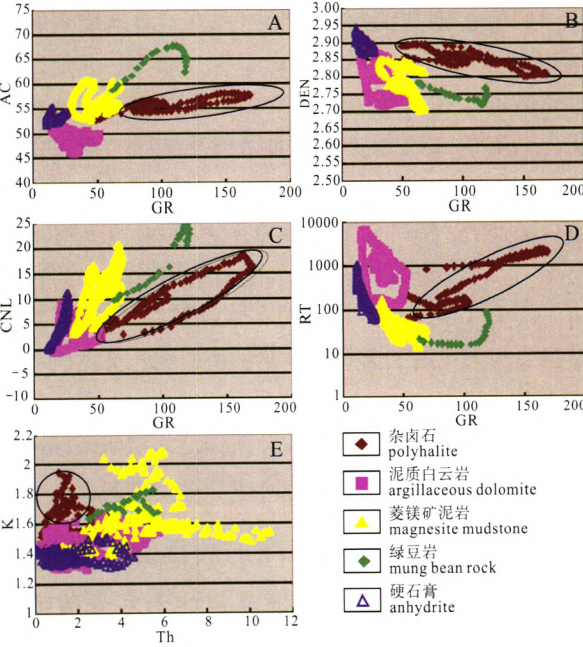


图 4 交会图法识别钾盐层
Fig. 4 Crossplot method to identify sylvite layer
A-自然伽马声波交会图; B-自然伽马密度交会图; C-自然伽马中子交互图; D-自然伽马电阻率交会图; E-钾钍交会图
A-GR and AC crossplot; B-GR and DEN crossplot; C-GR and CNLcrossplot; D-GR and RT crossplot; E-K and Th crossplot

低电阻率的特性。由于富含 K, 在自然伽马能谱测井曲线上, K 含量异常高。

各自的测井曲线特征如图 2 所示。

2.2 杂卤石测井曲线重叠幅度识别标志

根据杂卤石层在测井曲线上的差异, 选择合适的测井曲线, 按照一定刻度排列在同一道中, 根据幅度差异判定杂卤石层。具体做法: 选择标准泥岩层, 将测井曲线在泥岩层段进行重叠, 对高伽马层段幅度差异进行判定, 杂卤石层段出现相应幅度差异, 差异越大, 杂卤石越纯。据分析, 选取自然伽马 (GR) 分别于声波时差 (AC) 及密度曲线 (DEN) 进行重叠。重叠图形见图 3。

由图 3 可知, 杂卤石层声波时差相对较小、密度较大, 泥岩层声波时差较大、密度较小。因此, 在重叠图中, 杂卤石层出现幅度差, 差异越大, 杂卤石越纯, 如上图中的 2819~2823.5 m 段, 随着杂质增多, 幅度差减小, 如上图中的 2823.5~2826.5 m 段。盐岩本属于低放射性矿物, 但由于其易溶解, 容易出现扩径, 受井内泥浆影响, 显示出一定的放射性。

2.3 杂卤石交会图识别标志

由于杂卤石具有放射性, 自然伽马及自然伽马能谱测井信息是识别其最有效的信息之一, 而电阻率曲线、孔隙度曲线在分辨泥岩及其他蒸发岩方面具有很高的可信度, 因此, 分别建立了 GR-AC、GR-DEN、GR-CNL、GR-RT 及 Th-K 五种交会图来进行杂卤石识别。具体图形见图 4 的 A、B、C、D、E。

由图 4 可知, 杂卤石在多种交会图上均有良好显示, 能很容易与其他岩性区分开来。具有典型高自然伽马、高 K、高中子、高电阻率以及低 Th 特征。除此之外, 声波时差及密度亦相对较高。但对于纯度较低或与围岩交界处的杂卤石, 不容易与其他岩石区分开来。

2.4 杂卤石自然伽马能谱判别模型

地层的自然放射性主要源于地层中的 U、Th、K。对于蒸发岩地层剖面, U 主要来源于粘土矿物、地层水、碳酸盐岩等; Th 主要来源于粘土矿物; K 主要来源于粘土矿物、钾盐矿物、杂卤石及富含钾的地层水 (此处仅讨论固态钾盐层, 对富钾卤水层不作探讨) (雍世和等, 2002)。由此可知, 对于杂卤石层, 要得到纯杂卤石贡献, 需排除泥质干扰。

前人已探讨了利用自然伽马能谱测井峰左及峰右曲线关系进行钾盐层与泥岩层的半定量划分 (苏震群, 1983; 魏德元, 1984), 但该方法是在能谱测井原始数据基础上的, 随着技术的进步, 现在用

户拿到手的能谱资料主要为处理后的 U、Th、K 含量数据, 给利用原始数据进行处理带来了一定困难。文章提出了一种新的自然伽马能谱测井识别含钾地层的模型, 使得判别更为简洁、准确。

Th 在地层中的存在相对稳定, 与粘土矿物含量具有良好相关性, 通常用其计算地层中泥质含量。在有自然伽马能谱测井资料及岩性分析资料的基础上, 一般采用回归分析建立泥质含量与 Th 含量间的关系式进行计算 (李召成等, 2006)。对于未有岩心分析资料仅有能谱资料的, 可采用经验公式进行计算,

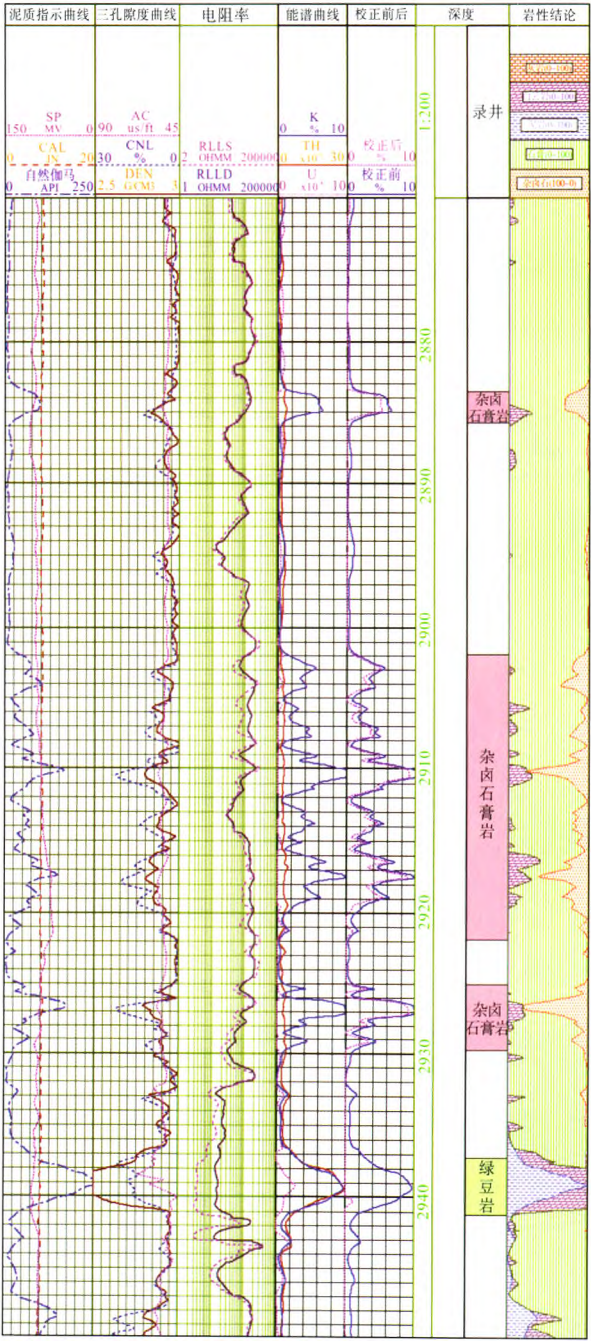


图 5 杂卤石测井解释成果图

Fig. 5 Log interpretation results

表 2 解释结果
Table 2 Interpretation results

井号	录井井段/m	录井分析	本文解释井段/m	解释结果
G100 井	3072.5~3077.5	杂卤石、石膏质杂卤石	3072.5~3077.5	杂卤石
G100 井	3080~3091	杂卤石夹薄层盐岩、石膏、石膏质杂卤石	3080~3091	杂卤石
G100 井	3102~3106	杂卤石膏岩	3102~3106	杂卤石
G100 井	3117.5~3119.5	杂卤石膏岩	3117.5~3119.5	杂卤石
GC2 井	2989~2992	杂卤石夹薄层硬石膏	2989~2992	杂卤石
GC2 井	2994~3002	硬石膏	2994~3002	杂卤石
GC2 井	3007.5~3009	杂卤石	3008~3011	绿豆岩
GC2 井	3015~3016	杂卤石	3015~3020	杂卤石夹薄层硬石膏
GC2 井	3027~3030	杂卤石膏岩	3027~3028	杂卤石
G3 井	3025~3043	杂卤石夹薄层硬石膏	3031~3042	杂卤石夹夹薄层硬石膏
G3 井	3049.5~3050.5	杂卤石	3049~3051	杂卤石

表 3 广安地区蒸发岩剖面各岩性测井响应特征表
Table3 Lithologic logging response of evaporites profiles in Guang'an area

测井曲线 岩性	GR (API)	AC (us/ft)	CNL (%)	ρ (g/cm ³)	K (%)	Th (×10 ⁻⁶)
杂卤石	50~190	52~58	7~26	2.8~3	1.5~2	0.6~1.8
绿豆岩	60~260	56~84	6~34	2.3~2.85	1.6~1.8	1.8~5.8
泥质菱镁矿	20~80	51~62	5~20	2.7~3.1	1.6~2.2	3.6~7.2
泥质白云岩	25~70	48~62	0~14	2.7~2.9	1.4~1.6	0.4~4.9

表 4 杂卤石分布层位及厚度
Table 4 Distribution of layers and thickness of polyhalite

方位	构造	井	层位	深度 (m)	单层厚度 (m)	累计层数	累计厚度 (m)
川中	广安构造	广 3 井	I_1^1	3030.5~3033	2.5	4	7
				3036~3038	2		
				3039.5~3040.5	1		
			j_5^2	3049~3050.5	1.5		
				3072.5~3077.5	5		
				3080~3087	7		
		广 100 井	I_1^1	3089~3091	2	5	20
				3102~3106	4		
				3117.5~3119.5	2		
			j_5^2	2989~2992	3		
				2994~3002m	8		
				3003.5~3005	1.5		
	龙女寺构造	广参 2 井	I_1^1	3015~3020	5	5	19
				3027~3028.5	1.5		
		女深 5 井	I_1^1	2801~2802	1	1	1
				2815.5~2816.5	1		
		女深 2 井	I_1^1	2759.5~2761	1.5	2	3.5
				2767~3769	2		
		女 112 井	j_5^2	2729~2731.5	2.5	2	3
				2739~2740	1		
	华蓥山构造	华西 1 井	I_1^1	2815.5~2816.5	1	4	6.5
				2820~2823	3		
		华西 2 井	I_1^1	2825~2826.5	1.5		
				2828~2829	1		
	罗渡溪构造	罗 7 井	I_1^1	2818~2820.5	2.5	2	3
				2823~2813.5	0.5		
		罗 11 井	I_1^1	2739.5~2743	3.5	1	3.5

如公式(1)、(2)。

$$V_{Th}^* = \frac{Th - Th_{min}}{Th_{max} - Th_{min}} \quad (1)$$

$$V_{Th} = \frac{2^{V_{Th}^* \cdot C} - 1}{2^C - 1} \quad (2)$$

式中: V_{Th}^* 为泥质含量指数; Th_{max} 、 Th_{min} 、 Th 分别为纯泥岩层、纯岩层(砂岩、白云岩、灰岩等)及实测 Th 曲线值; C 为希尔奇指数, 可根据实验室岩心分析资料确定, 通常, 古近系及新近系地层取 3.7, 老地层取 2。

假定地层中不含杂卤石时, 利用 Th 曲线与 K 曲线计算出的地层泥质含量相等, $V_{Th} = V_K$ 。因此, 在利用 Th 曲线计算出的地层泥质含量之后, 可以根据经验公式反求出该地层泥岩中的钾含量。公式如下:

$$V_K^* = \frac{\log_2 [(2^C - 1) \cdot V_{Th} + 1]}{C} \quad (\text{视泥质含量指数}) \quad (3)$$

$$K_{(\text{校正})} = \left(\frac{\log_2 [(2^C - 1) \cdot V_{Th} + 1]}{C} \right) \cdot (K_{max} - K_{min}) + K_{min} \quad (4)$$

(泥质含钾量)

式中: V_K^* 为视泥质含量指数; K_{max} 、 K_{min} 分别为纯泥岩层、纯岩层(砂岩、白云岩、灰岩等) K 曲线值; V_{Th} 为 Th 曲线计算的泥质含量; C 与公式(1)、(2)中意义相同。

公式(4)便是杂卤石层中泥质钾含量校正值。结合自然伽马能谱测井的 K 曲线, 能够得到判定地层含钾情况的模型。如公式(5)所示。

$$K(\text{钾盐}) = K - K(\text{校正}) \quad (5)$$

当 $K(\text{钾盐}) > 0$ 的时候, 判定地层为含杂卤石地层。

利用上述自然伽马能谱判别模型对 N110 井进行了处理, 得出如下成果图(图 5)。对比录井资料, 验证了模型的实用性。

由上图可知, 杂卤石层经过泥质含量校正后, K 含量有所减低, 如深度 2883~2885.5 m、2892~2923 m、2925~2930 m; 泥岩层或含泥质岩石层不再具有 K 显示(此处的 K 为纯钾盐贡献的 K), 如深度 2997~2981 m。

该模型属于较为理想情况下的模型。即利用 Th 、 K 曲线计算出的泥质含量相等。但地层中粘土矿物含量变化多端, 当粘土矿物中富含伊利石等 K 含量较高的矿物时, 会造成一定误差。

3 运用及讨论

采用上述多种方法对川中广安地区不同构造上

的多口井进行了杂卤石层划分。对比录井资料, 验证了方法的可行性, 如表 2 所示。同时, 对研究区多口井含钾层的测井响应特征、分布层位、有效厚度进行了统计, 进一步探索了川中广安地区杂卤石的分布情况。如表 3、4 所示。

由表 2 可知, 文中提出的各种方法具有明显实用性。由表 4 可知, 该地区杂卤石主要分布于雷口坡组的 I_1^1 段及嘉陵江组的 J_5^2 段。华西构造、龙女寺构造、罗渡溪构造及华蓥山构造的杂卤石基本分布在雷口坡组, 仅广安构造嘉陵江及雷口坡组均有分布, 且厚度较大, 揭示了川中广安地区杂卤石沉积是以广安构造为中心, 逐渐向四周扩散分布。

4 结论

(1)四川盆地川中广安地区存在含钾岩石——杂卤石。

(2)利用测井曲线综合识别法、测井曲线重叠法、交会图分析及自然伽马能谱判别模型能快速且较为准确地识别杂卤石层。

(3)当地层中富含伊利石等富含钾的矿物时, 自然伽马能谱判别模型适用性较差, 判别结果将出现较大误差。

(4)研究区杂卤石主要分布于雷口坡组的 I_1^1 段及嘉陵江组的 J_5^2 段, 且以广安构造为中心, 向四周逐渐变薄。

参考文献:

- 陈科贵, 李春梅, 张杰, 吴迎章, 李航. 2012. 运用测井资料进行 K_2O 视含量计算方法研究[J]. 石油天然气学报, 34(3): 96-100.
- 陈忠, 唐洪明, 沈明道, 赵敬松. 1999. “绿豆岩”组分分析[J]. 西南石油学院学报, 21(1): 39-43.
- 付斌, 王兴志, 蒋志斌, 黄建, 屈锐. 2009. 广安构造须家河组须六段储层成岩作用与孔隙演化[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 11(2): 5-25.
- 胡挺. 2012. 识别与评价钾盐层的测井方法研究[D]. 荆州: 长江大学.
- 黄宣镇. 1996. 中国首例杂卤石矿床[J]. 云南地质, 15(1): 52-61.
- 金峰, 文燕. 1996. 四川绿豆岩的运用新领域[J]. 矿产保护与利用, 4: 21-24.
- 李德星. 2010. 川中龙女寺—磨溪地区雷口坡组雷四~雷三段古岩溶储层研究[D]. 成都: 成都理工大学.
- 李召成, 张振城, 孙建孟. 2006. 一种校正自然伽马能谱测井中富钾矿物的有效方法[J]. 石油天然气学报, 28(4): 82-84.
- 梁婉雪, 李秀华, 韩淑静. 1983. 云南勐野井钾盐矿中菱镁矿形态与盐度的关系[J]. 矿物岩石, (2): 17-22.
- 林耀庭, 卞慕英. 2001. 碳酸盐组分在四川盆地三叠纪蒸发岩系中的分布及其成盐标志研究[J]. 化工矿产地质, 23(3): 142-150.
- 林耀庭, 何金权, 叶茂才. 2002. 四川盆地海相三叠系气田水钾

- 矿及其开发利用展望[J]. 四川地质学报, 22(4): 219-223.
- 林耀庭, 何金权. 2004. 四川华蓥山浅层杂卤石矿地质特征及其成因意义[J]. 化工矿产地质, 26(3): 145-149.
- 林耀庭. 1994. 论四川盆地海相三叠系含钾性及找钾方向[J]. 四川地质学报, 14(2): 111-120.
- 石油化学工业部化学矿山局. 1977. 石油勘探中找钾盐矿的方法[M]. 北京: 石油化学工业出版社.
- 苏震群. 1983. 自然伽马能谱在找钾中的运用[J]. 测井技术, 7(4): 57-66.
- 魏德元. 1984. 钾盐能谱测井解释方法研究[J]. 测井技术, (3): 23-37.
- 雍世和, 张超漠. 2002. 测井数据处理与综合解释[M]. 东营: 中国石油大学出版社.
- 袁海峰, 倪根生, 邓小江. 2012. 龙女寺构造须家河组天然气成藏主控因素[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 34(1): 6-12.
- 云南省地质局第十六地质队. 1978. 怎样找钾盐[M]. 北京: 地质出版社.
- 翟中华. 2005. 磨溪构造须家河组气藏地质评价及目标选择[D]. 成都: 西南石油学院.
- 郑绵平, 张震, 张永生, 刘喜方, 尹宏伟. 2012. 我国钾盐找矿规律新认识和进展[J]. 地球学报, 33(3): 280-294.
- 周训. 1993. 四川盆地龙女寺储卤构造深层地下卤水的水文地球化学特征及成因[J]. 现代地质, 7(1): 83-92.
- Sichuan Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- LI Zhao-cheng, ZHANG Zhen-cheng, SUN Jian-meng. 2006. An Effective Method for Correcting Kalium Contained Minerals in Natural Gamma ray Spectrometry Logging[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 28(4): 9-11(in Chinese with English abstract).
- LIANG Wan-xue, LI Xiu-hua, HAN Shu-jing. 1983. The relation of the crystal shape of the magnetite to the salinity in Meng Ye Jing potassium salt, YunNan[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, (2): 17-22(in Chinese with English abstract).
- LIN Yao-ting, BING Mu-ying. 2001. Distribution of carbonate component as salt-forming mark in Triassic evaporate in Sichuan basin[J]. Geology of Chemical Minerals, 23(3): 142-150(in Chinese with English abstract).
- LIN Yao-ting, HE Jin-quan, YE Mao-cai. 2002. Potash-bearing brine and its exploitation in marine triassic gas field water in the Sichuan Basin[J]. Acta Geologica Sichuan, 22(4): 219-223(in Chinese with English abstract).
- LIN Yao-ting, HE Jin-quan. 2004. The characters and genesis meanings of shallow polyhalite potash deposit in Huyingshan, Sichuan[J]. Geology of Chemical Minerals, 26(3): 145-149(in Chinese with English abstract).
- LIN Yao-ting. 1994. On K-bearing property of the marine triassic and search for potash salt of Sichuan basin[J]. Acta Geologica Sichuan, 14(2): 111-120(in Chinese with English abstract).
- Petroleum Ministry of Chemical Industry Chemical Bureau of Mines. 1977. Oil exploration to find potash[M]. Beijing: Petroleum and Chemical Industry Press(in Chinese).
- SUN Zhen-qun. 1983. The use of NGS in potash exploration[J]. Well Logging Technology, 7(4): 57-66(in Chinese).
- WEI De-yuan. 1984. The NGS interpretation methods of potash[J]. Well Logging Technology, (3): 23-37(in Chinese).
- YONG Shi-he, ZHANG Chao-mo. 2002. Logging data processing and comprehensive interpretation[M]. Dongying: China Petroleum university Publishing house: 80-96, 178-180.
- YUAN Hai-feng, NI Gen-sheng, DENG Xiao-jiang. 2012. Control Factor of Natural Gas Accumulation in Xujiache Formation, Longnüsi Structure, Sichuan Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition), 34(1): 6-12(in Chinese with English abstract).
- ZHAI Zhong-hua. 2005. The geological evaluation and target selection of Xu jiahe gas reservoir in Moxi structure[D]. Chengdu: Engineering Journal of Southwest Petroleum Institute(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mian-ping, ZHANG Zhen, ZHANG Yong-sheng, LIU Xi-fang, YIN Hong-wei. 2012. Potash Exploration Characteristics in China: New Understanding and Research Progress[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(3): 280-294(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Xun. 1993. Hydrogeochemical characteristics and formation of subsurface brines of deep aquifers in Longnu temple brine-bearing structure, Sichuan basin[J]. Geoscience, 7(1): 83-92(in Chinese with English abstract).

References: