

文章编号: 1001-1749(2023)04-0443-07

川东三叠系白云岩与蒸发岩差异组合 测井相模式及勘探意义

林晓杨¹, 张兵¹, 肖红平², 曹高权¹, 刘人和², 曹倩²,
王艳¹, 郑元超², 施亦做², 杨凯¹, 裴文彬¹

(1. 成都理工大学 地球勘探与信息技术教育部重点实验室, 成都 610059;

2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 川东三叠系蒸发岩与白云岩共生体系中, 赋存了丰富的油气资源和大量富含稀有元素的深层卤水, 开发潜力巨大。这里根据岩心、薄片、钻测井等资料, 结合前人的研究, 总结了白云岩与蒸发岩的岩性特征及差异组合序列, 将其分为 A、B、C、D 四种常见组合序列类型: 白云岩上覆蒸发岩、蒸发岩上覆白云岩、白云岩与蒸发岩互层、厚层白云岩, 分别对应钟形、漏斗形、尖指形和箱形四种测井相模式, 探讨了不同组合下的沉积环境, 进一步厘定川东地区三叠系白云岩与蒸发岩差异组合的测井—沉积综合模式, 并利用实例进行可靠性验证, 同时通过分析研究区内井资料和镜下薄片资料, 发现 D 型组合序列最有利于卤水发育, 对川东地区下一步的“天然气、深层卤水”兼探具有重要意义。

关键词: 川东地区; 三叠系; 白云岩; 蒸发岩; 测井相

中图分类号: P 624 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.04.05

0 引言

白云岩储层在四川盆地是极为受关注的储层类型之一, 其富含油气和卤水的特点被众多学者所认可^[1]。蒸发岩是由含盐度较高的溶液或卤水, 通过蒸发作用产生化学沉淀而形成的岩石, 本身就是重要的矿产资源(如钾盐、石膏、硼等), 又因其良好的封闭能力还可以成为油气赋存的盖层^[2]。随着近年来锂、钾等稀有元素应用途径越来越广泛, 人们对富含稀有元素的卤水资源越来越关注, 认为川东地区三叠系嘉陵江—雷口坡组具有巨大潜力和希望。虽然国际上诸多学者已经对白云岩和蒸发岩分别开展了相关研究^[3-5], 如蒸发岩的形成过程^[6]、白云岩的

储层特征^[7]等, 但对类似于川东地区存在的多种白云岩与蒸发岩组合沉积的特征及其测井相特征的研究仍有欠缺, 需要开展深入地研究。笔者在岩心和镜下薄片观察的基础上, 结合前人的分类原则和方法^[8], 对川东三叠系白云岩和蒸发岩差异组合类型进行划分, 通过探讨不同岩性组合序列的测井特征, 建立了不同岩性组合序列的测井相响应模式, 其结果可为川东地区油气资源和卤水资源开发提供指导。

1 区域地质背景

四川盆地在经历了中元古代多次地壳增生作用、晋宁运动、印支运动和喜山运动等多期构造运动后, 才形成现今的构造面貌^[9]。根据构造特征、现今

收稿日期: 2022-04-12

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目(2021DJ5302)

第一作者: 林晓杨(1994—), 男, 硕士, 主要从事测井地质学研究, E-mail: 1169507997@qq.com。

通信作者: 张兵(1981—), 男, 博士后, 副教授, 主要从事储层沉积学的教学和研究, E-mail: zb4819890@qq.com。

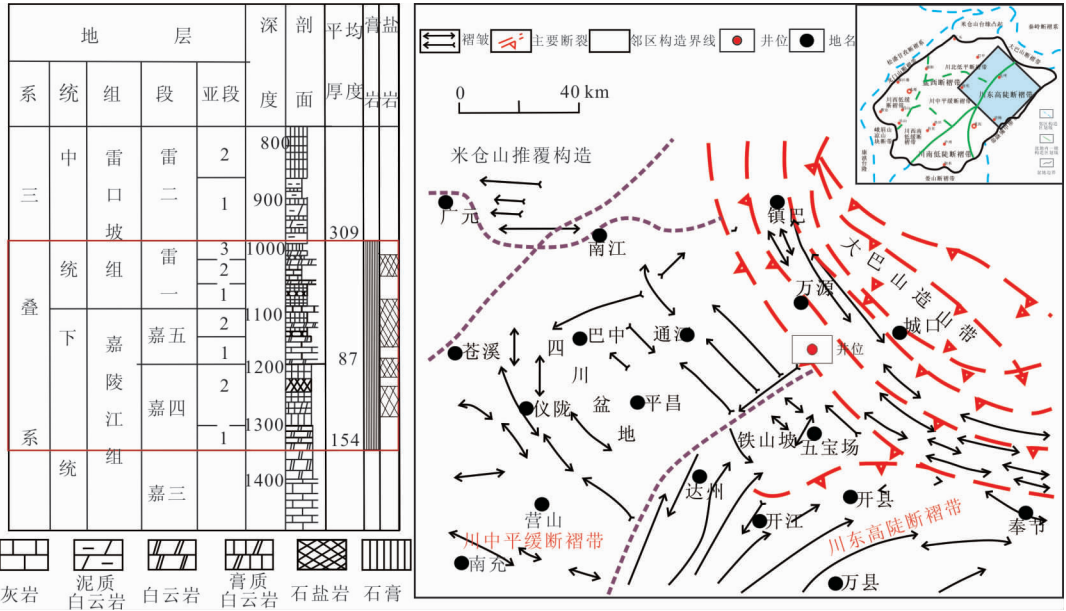


图1 工区构造及单井柱状图

Fig.1 The structure of work area and single well histogram

构造形迹及前人研究成果,自北东向南西可以将其划分成6个构造分区:①川东高陡断褶带;②川南低陡断褶带;③川西南低缓断褶带;④川中平缓断褶带;⑤川北平缓断褶带;⑥川西低缓断褶带^[9]。研究区地处四川盆地东部,从构造来看,处于川东高陡断褶带、米仓山一大巴山前缘构造带和川中平缓断褶带的交汇区域(图1)。三叠系为上扬子地台由海相转为陆相的关键时期,在特提斯洋关闭时期,沉积了嘉陵江组—雷口坡组白云岩—蒸发岩含盐岩系^[10]。

2 地层展布特征

川东嘉陵江组四、五段和雷口坡组一段都沉积了大量蒸发岩和白云岩,但根据岩心和剖面观察,各段岩性与沉积相有着明显差异,且白云岩与蒸发岩组合序列明显受到了沉积相的控制。

嘉四段(T1j4)蒸发强烈,具有台地膏化、咸化和干旱气候的环境,泥质含量较多,可分为两个亚段。上亚段为褐灰色硬石膏夹盐岩及含硬石膏质白云岩,局部地区盐岩增厚至百米以上;下亚段为褐灰色白云岩,上部含泥质较多,下部含膏质,区内分布稳定。

嘉五段(T1j5)沉积时期是研究区蒸发岩发育最好时期,成钾潜力极好,主要发育石灰岩、白云岩,按岩性组合也可分为两个亚段。上亚段为硬石膏夹薄层盐岩、白云岩;下亚段发育灰、深灰色石灰岩和

白云岩,顶底多为白云岩。嘉四、五段整体沉积环境以蒸发台地为主,发育蒸发潮坪亚相,盐盆、膏盆、膏云坪、云膏坪等沉积微相^[11]。

雷一段(T2l1)是本区重要的含卤层段,可分为三个亚段:①上亚段:浅褐灰色白云质硬石膏与褐灰色粉晶白云岩互层,局部地区夹较厚盐岩;②中亚段:褐灰、深灰色粉晶石灰岩,顶底为白云岩,白云岩一般具砂屑、凝块等结构;③下亚段:灰、褐灰色硬石膏夹薄层白云岩。区内南部多井下部夹薄层盐岩,蒸发岩较为发育,是区内主要含盐层系,沉积环境大多以局限台地为主,发育泻湖和局限台坪亚相,膏质泻湖、云质泻湖、云坪等微相^[12]。

3 岩性特征

川东地区嘉四五段到雷一段时期台缘古陆相对比较稳定,气候日趋干旱,是一个较广阔的蒸发潮坪环境,沉积了以膏盐岩和白云岩为主要岩性的一套地层,其中白云岩以泥晶白云岩、灰质白云岩、膏质白云岩等为主,而蒸发岩以硬石膏岩、盐岩等为主。

1)硬石膏岩。灰白色,致密,主要由硬石膏组成(图2(a)),具半自形—他形粉—细晶结构,白云石、方解石常与硬石膏混生,含量进一步增多可形成白云质硬石膏岩(图2(b))、灰质硬石膏岩等过渡性岩石。该类岩石主要发育在蒸发台地环境云膏坪、膏云坪微相或局限台地环境膏质泻湖微相。

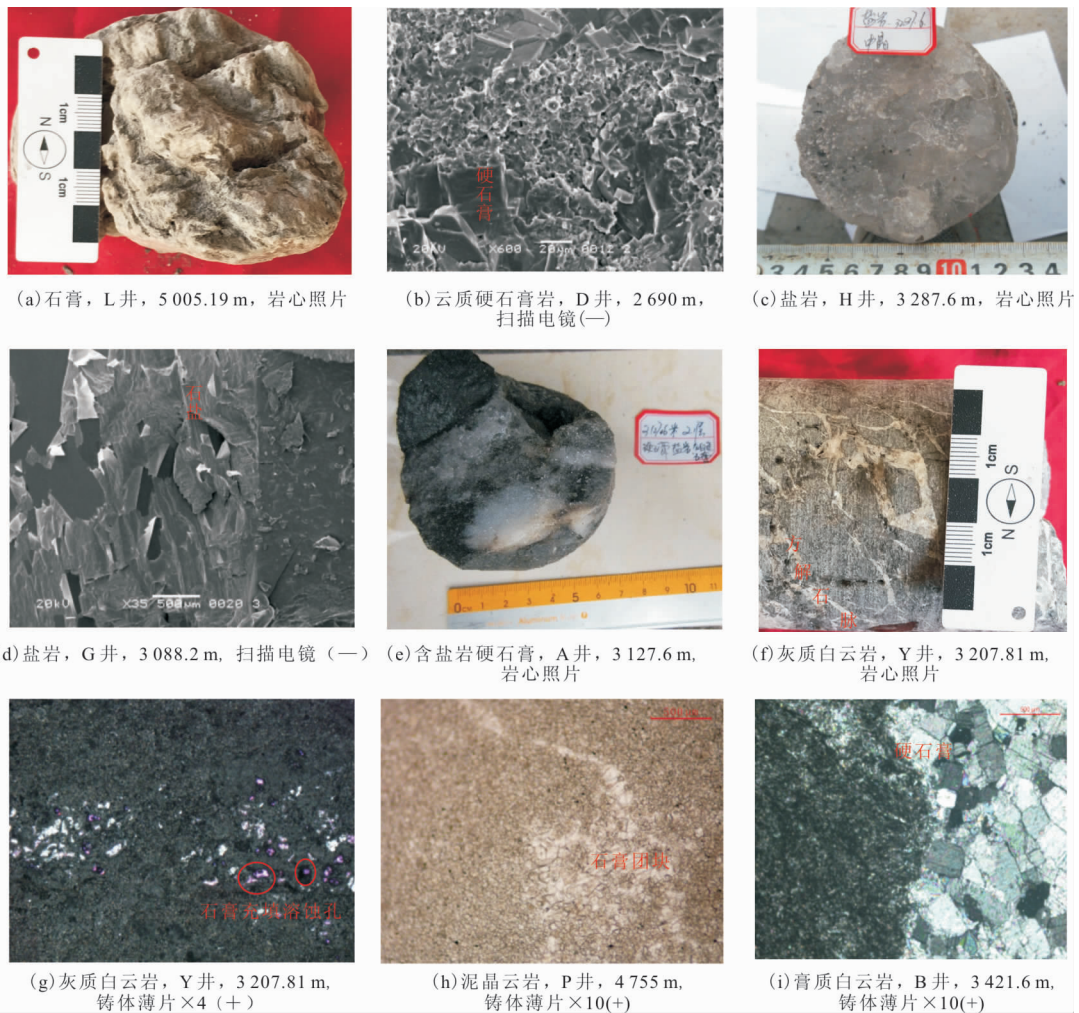


图2 川东地区三叠纪白云岩与蒸发岩岩心及镜下薄片特征

Fig.2 Core and microscopic thin section characteristics of Triassic dolomite and evaporate in eastern Sichuan

2) 盐岩。白色,主要由石盐组成,岩石具细一粗晶结构(图2(c)),石盐呈半自形粒状镶嵌接触,偶见立方体解理,少量硬石膏呈板状被石盐包裹(图2(d)),该类岩石发育于蒸发台地环境中膏、盐盆微相。

3) 含盐岩硬石膏。灰白色,主要由硬石膏、石盐组成,岩石具板状一鳞片状结构,硬石膏杂乱分布,局部呈板状,石盐充填硬石膏间(图2(e)),该类岩石代表蒸发台地相沉积,发育于膏、盐盆微相。

4) 灰质白云岩。浅灰黑色,主要由白云石、方解石组成,方解石脉杂乱充填(图2(f)),孔洞发育,内部溶孔被石膏充填(图2(g)),多发育于局限台地环境云质泻湖、云坪微相。

5) 泥晶白云岩。灰色,主要由白云石组成,泥晶结构,见灰白色硬石膏团块(图2(h)),该类岩石多发育于局限台地环境云质泻湖、云坪微相或蒸发台

地环境膏云坪微相。

6) 膏质白云岩。主要由白云石、硬石膏组成,具微晶结构,硬石膏呈板状一鳞片状杂乱分布,表面含杂质显浑浊(图2(i)),该类岩石发育于局限台地环境膏质泻湖微相或蒸发台地环境膏云坪微相。

4 岩性组合划分及测井特征

在岩心观察的基础上,根据钻井资料与测井解释,结合前人的划分方法^[8],把川东地区嘉四、五和雷一段各层的白云岩和蒸发岩划分为4种组合序列(图3),包括:A、白云岩上覆蒸发岩,B、蒸发岩上覆白云岩,C、白云岩与蒸发岩互层,D、厚层白云岩。

为了进一步总结出A、B、C、D四类组合序列的测井曲线特征,笔者采用交会图分析法,揭示四种组合序列的测井响应规律,建立相应的测井相模

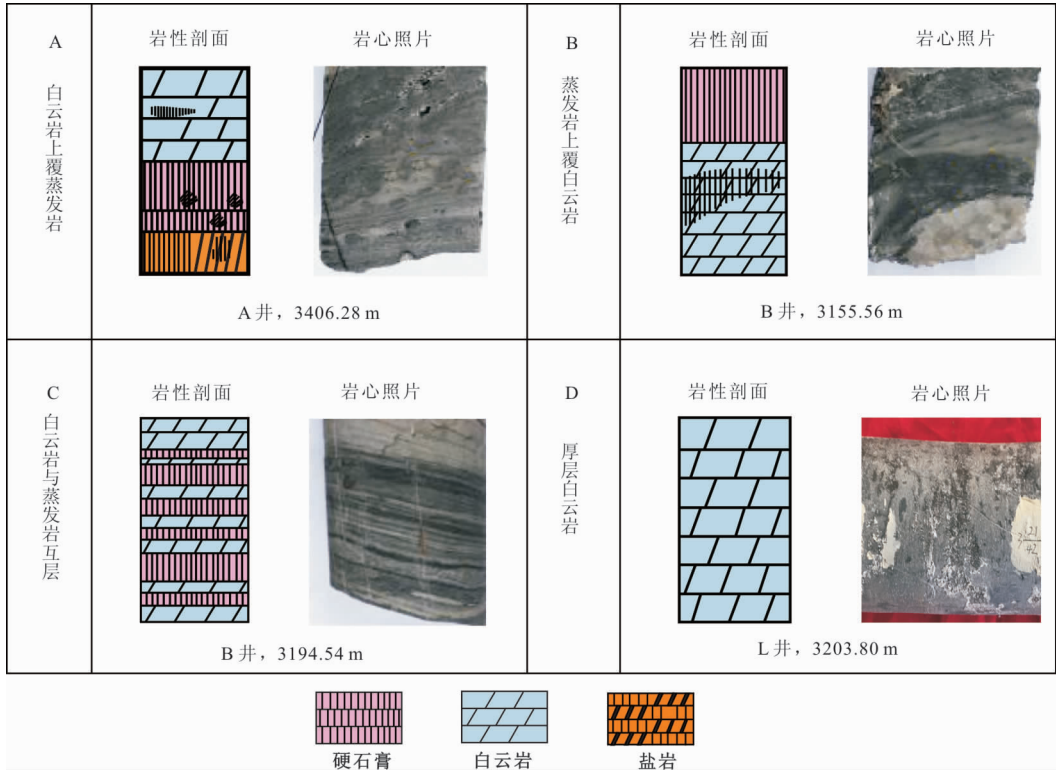


图3 川东地区三叠纪白云岩与蒸发岩4类岩性组合序列及特征

Fig. 3 Sequence and Characteristics of four lithologic combinations of Triassic dolomite and evaporate in eastern Sichuan

型^[13]。根据川东地区P井、H井、D井、M井的测井数据,通过自然伽马(GR)、深侧向电阻率(RD)和声波时差(AC)之间的交会分析(图4),可以发现四种组合,由于岩性都以白云岩和蒸发岩为主,每种测井曲线的数值相差不大,变化区间较小,但是岩性组合序列的不同,导致测井曲线形态和变化趋势有所差别。观察图4可知,四类岩性组合序列的 GR 值都偏低,在10 API~80 API范围内变化,变化区间较小。而 AC 值在45 $\mu\text{s}/\text{m}$ ~80 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间变化,其中C型的 AC 值最高,变化最大,易于识别。 RD 值整体偏高,其中A型的 RD 值最高,且变化较为稳定。

1)白云岩上覆蒸发岩。A类组合序列定义为白云岩上覆蒸发岩,伽马值自上而下逐渐减小,顶部为渐变接触,而底部为突变接触,曲线呈钟形形态^[14],这种自下而上由蒸发岩逐渐向白云岩转变的形式,可能表明同期海水盐度逐渐降低。该类组合序列多见于蒸发台地环境云膏坪微相中,沉积环境较为闭塞,蒸发作用较强,导致了石膏的大量沉淀,提高了水介质的 Mg/Ca 比值,从而有利于白云石化^[15]。通过镜下薄片鉴定,川东地区P井3 945.87m~3 958.65 m井段岩性上段为白云岩,下段为硬石膏

岩,其自然伽马曲线值范围为12 API~34 API,平均值为18 API,深侧向电阻率变化范围较大,由下往上逐渐增高,声波时差值位于49 $\mu\text{s}/\text{m}$ ~53 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间,总体变化比较稳定(图5)。

2)蒸发岩上覆白云岩。B类组合序列定义为蒸发岩上覆白云岩,这种表现形式多是蒸发岩原本覆盖于灰岩上,只是在后期发生白云石化,导致发育了一套下部白云岩、上部蒸发岩的沉积序列。自然伽马值从上往下逐渐增加,顶部、底部的接触关系也刚好相反,顶部自然伽马曲线接触性质表现为突变,而底部自然伽马曲线接触性质表现为渐变,曲线呈漏斗形态,反映水体向上变浅^[16]。该类组合序列多见于局限台地环境膏质泻湖中,主要发育于低水位的干热时期,在强烈蒸发作用下,大量卤水回流至台内低洼处,形成硬石膏岩、盐岩、膏质白云岩为主的沉积序列。D井2 589.37 m~2 600.62 m井段可见该种岩性组合,该段自然伽马值范围为14 API~70 API,平均值为32 API,深侧向电阻率变化范围相对较小,变化幅度较大,其值整体偏低,声波时差比较稳定,数值在50 $\mu\text{s}/\text{m}$ ~53 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间变化(图5)。

3)白云岩与蒸发岩互层。C类组合序列定义为白云岩与蒸发岩互层,且向下蒸发岩含量逐渐增加,

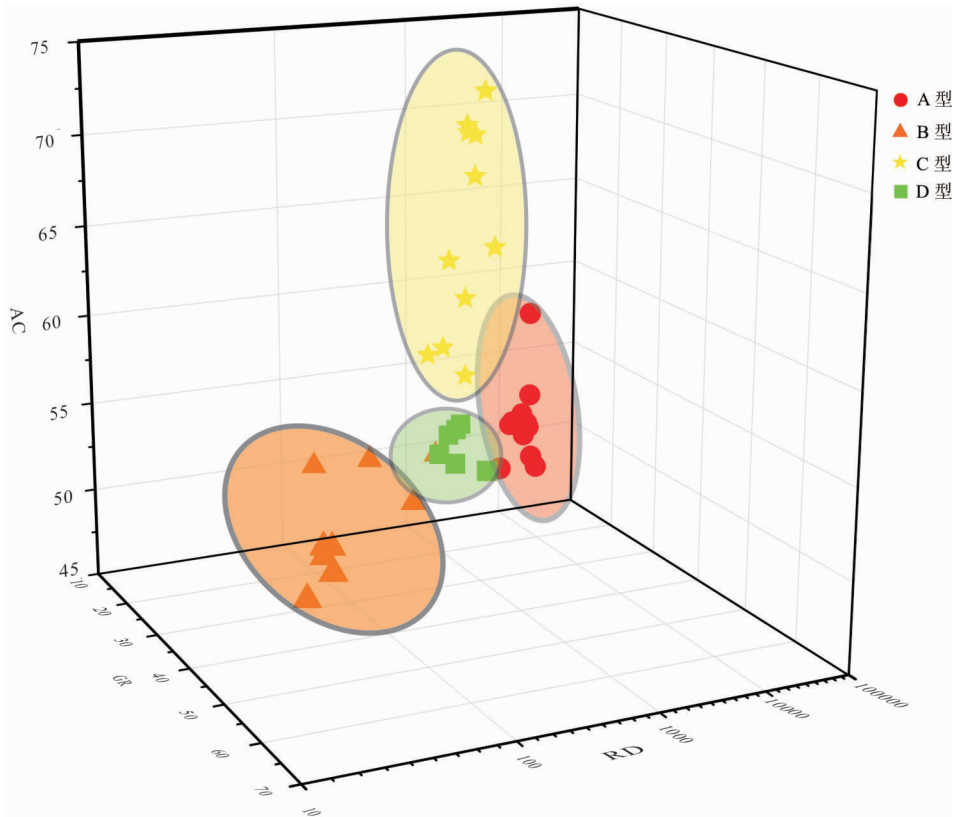


图4 川东地区三叠系白云岩与蒸发岩差异组合测井关系图

Fig. 4 Differential combination logging relationship diagram of Triassic dolomite and evaporation rock in eastern Sichuan

反映了气候逐渐变干旱^[17],其自然伽马曲线形态幅度变化较大,但总体数值大部分呈相对低值。自然伽马值曲线呈变化幅度较大的兀突尖峰状或圆滑指形,表现出明显的尖指形特征,代表相对水力条件频繁振荡^[15],这种互层现象主要与气候和海平面多期快速变化有关,多见于蒸发台地的膏、盐盆微相中,该类微相为最有利的聚盐场所。川东地区 H 井 3 182 m~3 197 m 井段岩性主要以白云岩与石膏岩、含膏盐岩互层为主,自然伽马曲线值范围为 7 API~25 API,平均值为 14 API,深侧向电阻率变化范围较大,声波时差相对偏高,数值在 50 $\mu\text{s}/\text{m}$ ~70 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间变化,总体曲线形态幅度变化较大(图 5)。

4) 厚层白云岩。D 类组合序列定义为厚层白云岩,伽马曲线表现出明显的微齿化箱形曲线特征,伽马为相对低值,相对于围岩呈平缓箱形^[18],曲线的顶部和底部都呈低—高值间的高幅突变接触关系,表明处于较为稳定的沉积环境。该类组合序列多见于白云岩较为发育的局限台地云质泻湖和蒸发台地膏云坪等沉积微相中,主要发育于浅水和较浅水环

境中,在大气淡水淋溶、埋藏溶蚀作用等后期成岩作用下^[19],白云岩粒间溶孔和裂隙比较发育,构成储集性能最为优越的储集体。川东地区 M 井 3 074 m~3 082 m 井段可见该种岩性,自然伽马值范围为 16 API~50 API,平均值为 23 API,相对于围岩的自然伽马为相对低值,深侧向电阻率变化范围较大,声波时差整体偏高,数值在 50 $\mu\text{s}/\text{m}$ ~65 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间,变化相对稳定(图 5)。

5 勘探意义及实例应用

5.1 勘探意义

川东地区主要为局限台地~蒸发台地沉积体系,以碳酸盐岩与蒸发岩为沉积主体,发育硬石膏岩、盐岩、膏质白云岩、泥晶白云岩等多种岩性。蒸发岩不仅是重要矿产资源,而且封闭性良好,控油气能力强,具有成为良好盖层的潜力;白云岩则是很好的储层,不仅蕴含丰富的天然气资源,更赋存了大量具有丰富稀有元素的深层卤水资源。近十年该地区

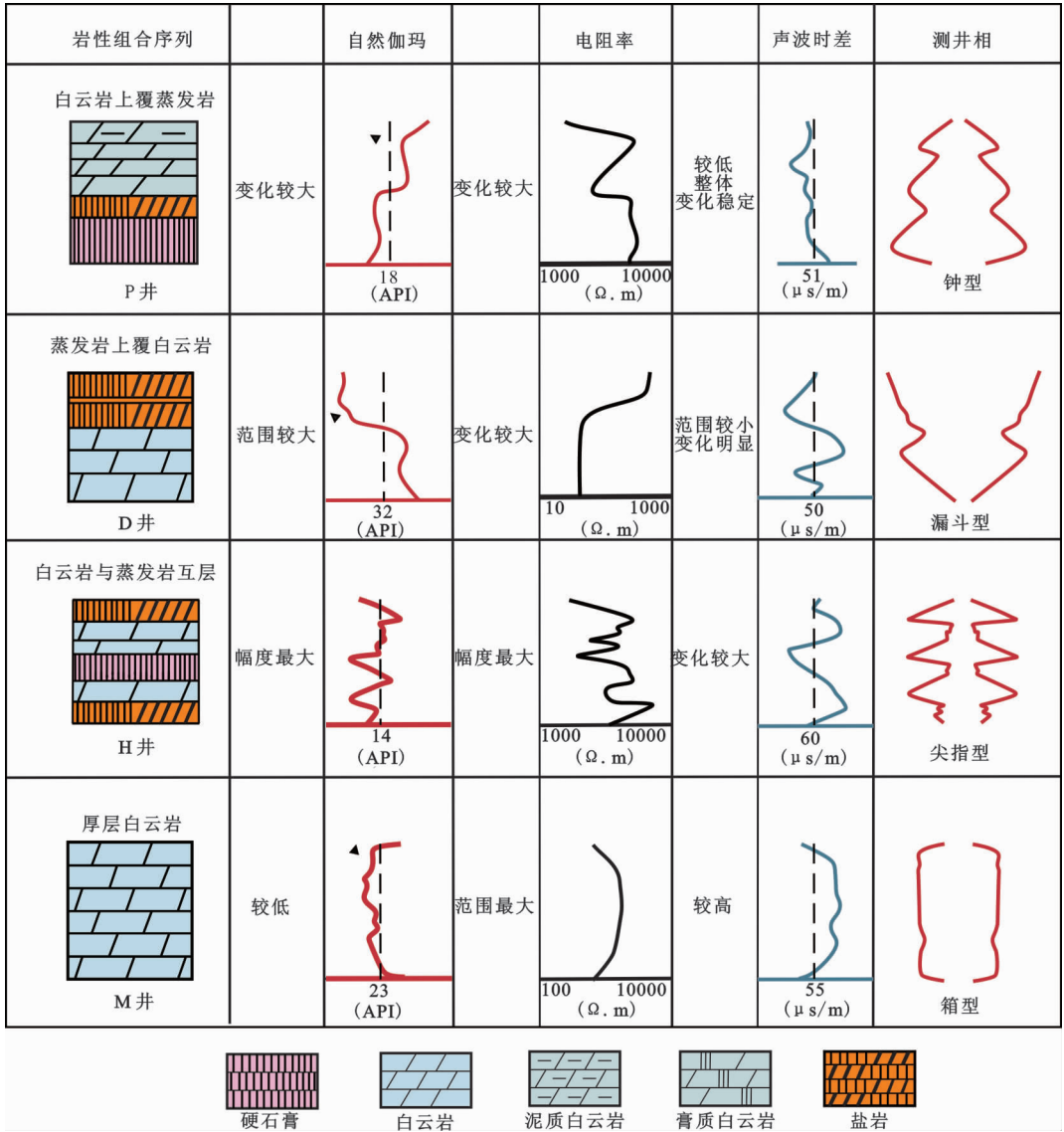


图5 川东地区三叠系白云岩与蒸发岩差异组合测井相图

Fig. 5 Differential combination logging model diagram of Triassic dolomite and evaporate in eastern Sichuan

海相地层成为天然气勘探开发的重点区域,不仅发现了普光气田、元坝气田等大型气田,还在宣汉黄金口背斜发现了资源量巨大的三叠系富锂、钾卤水^[12],表明白云岩与蒸发岩共生体系中蕴藏着丰富的油气资源和深层卤水资源,具有巨大的开发潜力。笔者对川东地区常见的白云岩与蒸发岩组合,开展了不同组合序列的地质特征和测井特征研究,建立了不同类型白云岩与蒸发岩组合的测井—沉积综合模式(图6)。

5.2 实例应用

为了验证上述模式的可靠性,笔者以G5井作

为实例井,按照上述模式进行实例应用,结果识别出A、B、D三种组合序列,并且认为卤水赋存于这些组合序列之内(图7)。其中3 947 m~3 855 m井段为A型组合序列,岩性序列表现为白云岩上覆蒸发岩,伽马曲线呈钟形,发育于蒸发台地云膏坪微相中;3 795 m~3 806 m井段为B型组合序列,岩性序列表现为蒸发岩上覆白云岩,伽马曲线呈漏斗形,发育于局限台地膏质泻湖微相中;3 890 m~3 910 m井段为D型组合序列,岩性序列表现为白云岩,伽马曲线呈箱形,发育于蒸发台地膏云坪微相中。在分析G5井录井资料基础上,结合钻井的岩心观察和

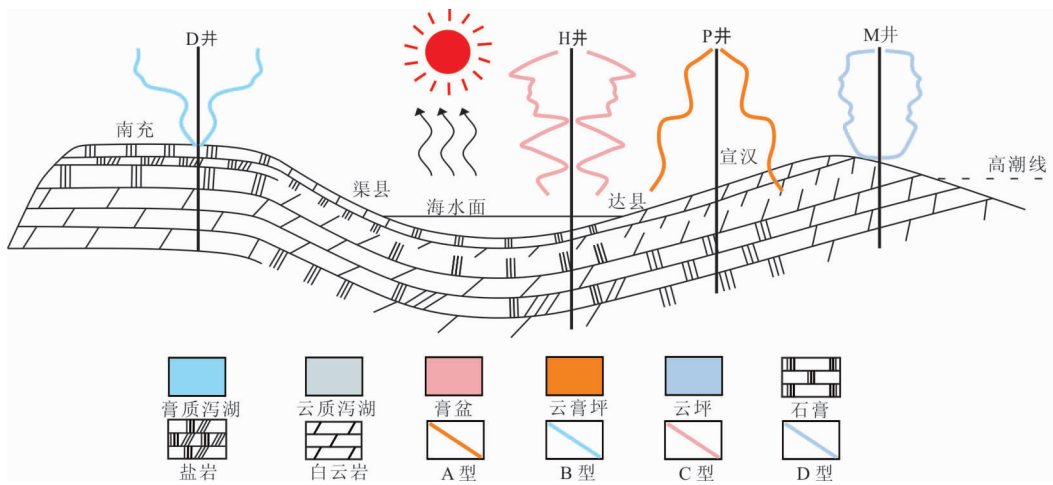


图6 川东地区三叠系白云岩与蒸发岩差异组合测井—沉积综合模式图

Fig. 6 Comprehensive well logging - sedimentary model map of Triassic dolomite-evaporate differential combination in eastern Sichuan

镜下薄片鉴定,运用上述方法对识别出的卤水层进行可靠性验证,其结果与录井、物性资料的分析 and 岩心的观察结果相符合,所识别井段确实含卤水层,表明模式具有可靠性。

同时,为了从四种组合序列中找出卤水资源最为发育的组合序列类型,笔者根据研究区内数口井的钻、测井报告,结合镜下薄片鉴定,发现白云岩粒间溶孔和裂隙比较发育,构成储集性能最为优越的储集体。而D型组合序列大量发育白云岩,储集性能优于A、B、C其余三种组合序列,认为是卤水发育的最有利组合序列。因此,相较于其他三类白云岩与蒸发岩的组合,厚层白云岩是川东地区卤水发育的最有利组合序列,这可为川东地区三叠系“天然气、深层卤水”兼探提供勘探方向。

6 结论

笔者根据研究区内岩心、薄片、钻测井等资料,结合前人的研究,对四川盆地川东地区三叠系白云岩与蒸发岩差异组合测井相模式展开研究,总结了白云岩与蒸发岩的岩性特征及差异组合序列,得到以下结论:

1)川东地区早三叠世嘉陵江期—中三叠世雷口坡期属于碳酸盐岩台地沉积环境,沉积了大量膏岩和白云岩。其中雷一段沉积相以局限台地为主,岩性以灰质白云岩、泥晶白云岩和膏质白云岩等白云

岩为主,嘉四段、嘉五段沉积相以蒸发台地为主,岩性以硬石膏岩、盐岩、含盐岩硬石膏等蒸发岩和白云岩为主。

2)川东地区白云岩和蒸发岩的组合序列主要有四种模式,其测井相特征分别为:①白云岩上覆蒸发岩组合序列多发育于云膏坪中,呈钟形;②蒸发岩上覆白云岩组合序列多发育于膏质泻湖中,呈漏斗形;③白云岩与蒸发岩互层组合序列多发育于膏、盐盆中,呈尖指形;④厚层白云岩组合序列多发育于膏云坪或云质泻湖中,呈箱形。

3)建立了白云岩与蒸发岩四种组合序列的测井—沉积综合模式,并且通过比较分析,发现D型组合序列最有利于卤水发育,可为川东地区三叠系“天然气、深层卤水”兼探提供勘探方向。

参考文献:

- [1] 徐国盛,吴庆勋,孟昱璋,等.四川盆地嘉陵江组岩相古地理与聚钾中心预测[J].物探化探计算技术,2012,34(1):62-72.
XU G S, WU Q X, MENG Y Z, et al. The lithofacies paleogeographic of Jialingjiang formation in Sichuan basin and the aggregate potash center forecast[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 34(1): 62-72. (In Chinese)
- [2] WARREN J K. Evaporate through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine

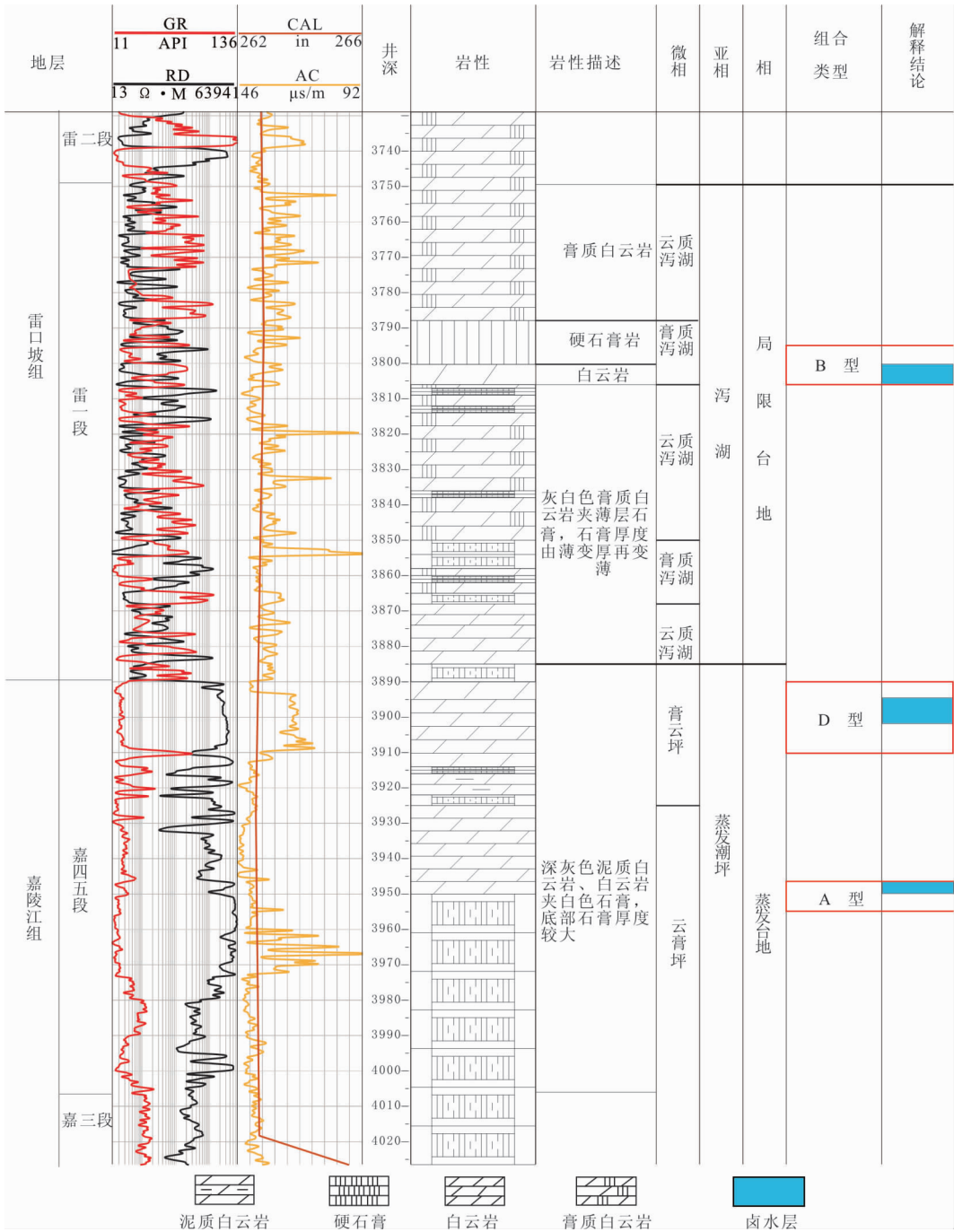


图 7 G5 井嘉陵江—雷口坡组卤水层识别验证图

Fig. 7 Verification diagram of brine layer identification in Jialingjiang-leikoupo formation of Well G5

deposits[J]. Earth—Science Reviews, 2010, 98(3/4): 217—268.

[3] 顾志翔, 何幼斌, 彭勇民, 等. 四川盆地寒武统膏盐岩“多泻湖”沉积模式[J]. 沉积学报, 2019, 37(4): 834—846.

GU Z X, HE Y B, PENG Y M, et al. "Multiple-lagoon" sedimentary model of the lower Cambrian gyp-

sum salt rocks in the Sichuan basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 37(4): 834—846. (In Chinese)

[4] ALLEN P A. The Huqf Supergroup of Oman: Basin development and context for Neoproterozoic glaciation [J]. Earth Science Reviews, 2007, 84(3/4): 139—185.

[5] PRINCE J K G. Evaporite deposition in the mid-Neoproterozoic as a driver for changes in seawater chemis-

- try and the biogeochemical cycle of sulfur[J]. *Geology*, 2019, 47(4): 375—379.
- [6] WARREN J K. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and non-marine deposits[J]. *Earth Science Reviews*, 2010, 98(3/4): 217—268.
- [7] 翟常博. 川北地区栖霞组白云岩储层特征及主控因素[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2022, 49(02): 162—174.
- ZAI C B. Characteristics and main controlling factors of Qi xia Formation dolomite reservoir in northern Sichuan basin, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science&Technology Edition)*, 2022, 49(02): 162—174. (In Chinese)
- [8] 文华国, 霍飞, 郭佩, 等. 白云岩—蒸发岩共生体系研究进展及展望[J]. *沉积学报*, 2021, 39(06): 1321—1343.
- WEN H G, HUO F, GUO P, et al. Advances and prospects of dolostone—evaporite paragenesis system[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2021, 39(06): 1321—1343. (In Chinese)
- [9] 孟昱璋. 四川盆地嘉陵江组岩相古地理与天然气成藏研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- MENG Y Z. The lithofacies paleogeographic and the natural gas accumulation of Jialingjiang formation in Sichuan basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011. (In Chinese)
- [10] 周家云, 龚大兴, 李萌, 等. 四川盆地三叠纪蒸发岩特、盐盆迁移及其构造控制[J]. *地质学报*, 2015, 89(11): 57—64.
- ZHOU J Y, GONG D X, LI M, et al. The characteristic of evaporite migration of salt basins and its tectonic control in Triassic Sichuan basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(11): 57—64. (In Chinese)
- [11] 张兵, 刘威, 杨凯, 等. 川东北地区三叠系聚盐成钾机制及富集模式[J]. *地球科学*, 2022, 47(01): 15—26.
- ZHANG B, LIU W, YANG K, et al. Salt Accumulation, Potassium formation mechanism and Enrichment model of triassic in Northeast Sichuan basin[J]. *Earth Science*, 2022, 47(01): 15—26. (In Chinese)
- [12] 朱洪发, 刘翠章, 林付律, 等. 四川盆地中下三叠系含盐系岩石类型的成因和沉积相特征[J]. *矿物岩石*, 1986(3): 78—88+197—198.
- ZHU H F, LIU C Z, LIN F L, et al. Characteristics of sedimentary facies of salt sequences and origin of their rock types in lower and middle Triassic, Sichuan basin[J]. *Mineralogy and Petrology*, 1986(3): 78—88. (In Chinese)
- [13] 张军涛, 胡文瑄, 钱一雄, 等. 塔里木盆地白云岩储层类型划分、测井模型及其应用[J]. *地质学报*, 2008, 82(03): 380—386.
- ZHANG J T, HU W X, QIAN Y X, et al. Classification and logging modes of dolomite reservoirs in the Tarim basin, Northwestern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(03): 380—386. (In Chinese)
- [14] 傅海成, 张承森, 赵良孝, 等. 塔里木盆地轮南奥陶系碳酸盐岩储层类型测井识别方法[J]. *西安石油大学学报*, 2006, 21(5): 38—42.
- FU H C, ZHANG C S, ZHAO L X, et al. Identification of the reservoir space types of the carbonate reservoir in Lunnan area of Tarim basin by means of logging data[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University*, 2006, 21(5): 38—42. (In Chinese)
- [15] 胡安平, 沈安江, 杨翰轩, 等. 碳酸盐岩—膏盐岩共生体系白云岩成因及储盖组合[J]. *石油勘探与开发*, 2019, 46(5): 916—928.
- HU A P, SHEN A J, YANG H X, et al. Dolomite genesis and reservoir—cap rock assemblage in carbonate evaporite paragenesis system[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2019, 46(5): 916—928. (In Chinese)
- [16] 张兵, 郑荣才, 史建南, 等. 四川盆地东部长兴组礁滩相储层测井地质特征[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(S1): 17—25.
- ZHANG B, ZHENG R C, SHI J N, et al. Well Logging geological characteristics of reef and shoal facies reservoir of Changxing formation in Eastern Sichuan Basin[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2012, 42(S1): 17—25. (In Chinese)
- [17] 王立成, 刘成林, 张华, 等. 华南地块震旦纪晚期—早寒武世古大陆位置暨灯影组蒸发岩成钾条件分析[J]. *地球学报*, 2013, 34(5): 585—593.
- WANG L C, LIU C L, ZHANG H, et al. Tectonic and sedimentary settings of evaporites in the Dengying Formation, South China Block; implications for the potential of potash formation[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2013, 34(5): 585—593. (In Chinese)

- [18] 杨雨,钟原. 四川盆地北部地区飞仙关组测井相特征[J]. 天然气勘探与开发,2020,43(04):1-9.
YANG Y,ZHONG Y. Logging facies characteristics of Feixianguan Formation, northern Sichuan basin [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2020, 43 (04):1-9. (In Chinese)
- [19] 夏明军,邓瑞健,姜贻伟,等. 普光气田鲕滩储层形成的物质基础和保存成因[J]. 断块油气田,2009,16(06):5-9.
XIA M J,DENG R J,JIANG Y W,et al. Exposition on material base and preservation causes of oolitic beach reservoir in Puguang gas field[J]. Field Fault Block Oil&Gas Field,2009,16(06):5-9. (In Chinese)

Logging facies mode and exploration significance of a differential combination of Triassic dolomite and evaporite in the eastern Sichuan Basin

LIN Xiaoyang¹, ZHANG Bing¹, XIAO Hongping², CAO Gaoquan¹, LIU Renhe², CAO Qian²,
WANG Yan¹, ZHENG Yuanchao², SHI Yizuo², YANG Kai¹, PEI Wenbin¹

(1. Earth Exploration and Information Technology Key Laboratory of Ministry of Education, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

Abstract: In the symbiotic Triassic evaporate and dolomite system in the eastern Sichuan basin, there are huge oil and gas resources and a large number of deep brine rich in rare elements. This paper summarizes the lithologic characteristics and differential combination sequences of dolomite and evaporate and divides them into four common combination types A, B, C, and D based on data from cores, thin sections, drilling, and logging, as well as previous studies; dolomite on evaporating, dolomite on evaporating, interbedded dolomite and evaporate, and thick dolomite. These four combination sequence types correspond to the logging facies modes of bell-type, funnel-type, finger-type, and box-type. We also discussed the sedimentary environment in different combinations and developed a logging-sedimentary comprehensive model of the differential combination of Triassic dolomite and evaporite in eastern Sichuan. Simultaneously, an example is used to confirm the reliability. The D-type combination sequence is most favorable to the formation of brine, according to good data and microscopic thin-section data in the research area. This is critical for the upcoming combined natural gas and deep brine detection in the eastern Sichuan basin.

Keywords: east Sichuan basin; triassic; dolomite; evaporite; logging facies