

文章编号: 1001—1749(2012)01—0062—11

# 四川盆地嘉陵江组岩相古地理与聚钾中心预测

徐国盛<sup>1</sup>, 吴庆勋<sup>1</sup>, 孟昱璋<sup>1</sup>, 胡永宏<sup>2</sup>, 彭敬成<sup>2</sup>, 王宪刚<sup>2</sup>, 何曼如<sup>1</sup>

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 成都理工大学, 四川 成都 610059;

2. 邛崃市鸿丰钾矿肥有限公司, 四川 成都 611541)

**摘 要:** 岩相古地理研究和编图是一项重要的基础地质工作。这里首次对四川盆地嘉陵江组九个储层段进行了岩相古地理的恢复, 其中重要的含盐亚段在纵向上分布于 $T_{1j2}^4$ 、 $T_{1j4}^4$ 、 $T_{1j1}^5$ 、 $T_{1j2}^5$ 等层位, 在区域上膏、盐盆主要分布于川中至川东北的局部地区。利用单井卤水层水化学分析数据以及重要的含盐亚段岩相古地理的研究结果, 对四川盆地嘉陵江组卤水分布特征进行分析, 并根据富钾卤水的相关工业开采指标预测圈定了富卤中心和聚钾中心, 为四川盆地三叠统嘉陵江组富钾卤水的勘探指明方向。

**关键词:** 四川盆地; 嘉陵江组; 岩相古地理; 聚钾中心

**中图分类号:** TE 121.1 **文献标识码:** A

## 0 前言

钾是农作物生长所必须的三大元素之一, 钾盐产品的最大用量在农业。我国是农业大国, 同时又是严重缺钾的国家。目前我国钾肥产量只能满足国内需求的30%, 已对我国的粮食安全构成了严重威胁。2008年温家宝总理批示: “建议有计划有重点地对成盐成钾条件好的油气区, 加强钾盐的勘查或复查工作”。我国采取了相关措施加快钾硼等资源的探查, 加强和周边有资源储量国家的合作开发, 并大力支持油~钾资源兼探<sup>[1,2]</sup>。

四川盆地是中国四大盆地之一, 面积约十八万平方公里。盆周山地海拔多在1 000 m~3 000 m之间; 盆底地势低矮, 海拔200 m~750 m, 因为地表广泛出露侏罗纪至白垩纪的红色岩系, 所以又称为红色盆地。盆地内有大量的探井, 业已发现并证实: 三叠系下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组为富钾卤水层<sup>[3~5]</sup>。

作者在本文将对四川盆地嘉陵江组重点含盐层位进行岩相古地理的恢复, 对嘉陵江组卤水分布特征进行分析, 并预测与圈定富卤中心和聚钾中心。

心。

## 1 沉积相划分与沉积微相特征

沉积相是盆地形成、演化和消亡过程的历史产物, 既可反映相关地层和岩石类型的形成条件, 时空展布以及演化规律, 也是分析沉积盆地性质、构造背景的依据。由于沉积相分析是进行岩相古地理恢复, 富钾卤水储层分布, 预测研究的基础, 所以它不仅决定了储层的岩性特征和原生孔隙的发育, 而且还影响储层的成岩作用与孔隙演化。因此, 沉积相分析不仅是富钾卤水储层研究内容之一, 也是有利储卤带预测的重要依据。

据马永生<sup>[6]</sup>等专家对全国、全川嘉陵江组沉积相研究可知: 全国范围内, 西部由东向西, 依次是龙门山陆缘海盆~巴颜喀拉海盆~甘孜理塘海盆, 东部为浙赣湘前陆浊积盆地。即东西两边均为深水洋盆, 中间为川鄂湘中上扬子克拉通浅水盆地。就四川、重庆境内而言, 嘉陵江组是一个浅水碳酸盐台地沉积, 其东部为宜昌~黔江~遵义开阔台地相, 其西部主要为局限台地相, 局部夹蒸发台地相, 西南侧因有康滇古陆, 故出现宜宾~西昌海陆过渡

基金项目: 国家地质调查项目(1212010011803)

收稿日期: 2011-05-17

改回日期: 2011-09-13

相沉积物。

作者在本文中,利用钻井、测井、录井资料对研究区进行了单井沉积微相划分。在此基础上,对不同地区剖面或钻井之间的沉积相进行了综合对比,揭示出研究区不同时期沉积微相特征。

1.1 沉积地层

在下三叠统嘉陵江组纵向上,可分为五段及十一个亚段。各段、亚段间整合接触,由海侵~海退序列沉积的白云岩、石灰岩、石膏及盐岩等,构成二个主要沉积旋回,厚度约为600 m~1 000 m。 $T_{1j}^1-T_{1j}^2$ 为沉积早期第一个完整的旋回, $T_{1j}^1$ 石灰岩为海侵阶段沉积, $T_{1j}^2$ 石膏、白云岩夹石灰岩,以海退沉积为主。 $T_{1j}^3-T_{1j}^5$ 为又一个完整的沉积旋回, $T_{1j}^3$ 石灰岩为海侵阶段沉积, $T_{1j}^4-T_{1j}^5$ 石膏、白云岩夹石灰岩以海退沉积为主(如图1所示)。

1.2 沉积(微)相类型

根据区域大地构造和岩相古地理背景分析,四川盆地嘉陵江组主要为碳酸盐岩局限海~蒸发台地沉积体系,以局限海碳酸盐岩与台地蒸发岩(膏盐岩)为沉积主体。在每一个沉积旋回中,都经历了海进与高水位体系域的沉积。不同体系域沉积物截然不同,特别是高水位体系域又分早晚期,其沉积微环境的变化影响了矿产资源的分布。因此考虑到卤水盐岩层研究的需要,作者以体系域作为研究单元,将四川地区嘉陵江组主要划分出三个沉积相和多种亚相及其微相(如下页表1所示)。

膏盆、盐盆(或称膏、盐质泻湖)在古地理位置上,处于局限海台地~蒸发台地的局部低凹地区,水体循环差,蒸发作用强,从而形成膏盐沉积,层位上主要分布于晚期高水位体系域(LHST),如 $T_{1j}^4$ 、 $T_{1j}^5$ 及部份地区的 $T_{1j}^3$ 、 $T_{1j}^2$ 层位,即盆地内重要的含盐亚段。沉积物主要是灰色、灰白色及灰黑色厚层晶粒状、泥晶粒状及片状、纤维状硬石膏、石膏,常含云质及泥质而形成泥岩/膏质条纹、条带构造或薄互层韵律。在垂向剖面结构上,沉积物常表现为膏盆(石膏)/泻湖(白云岩)韵律性互层的剖面结构。从水体循环性及古地理位置上看,膏盆、盐盆、泻湖在本质上并没有很大的区别,它们往往是泻湖在不同演化阶段的表现形式。初期,在相对低凹处,形成以不含或少含底栖生物的泥晶灰岩、白云岩等泻湖沉积,随着水体循环受限甚至闭塞,加之蒸发作用强,便逐渐形成咸化泻湖,沉积膏质白云岩、泥云质膏岩夹泥岩等,进一步咸化,便形成了以石膏为主的膏盆沉积。如果水份继续蒸发至90%以上,便有可能出现盐岩及钾盐等。在这里,膏盆、盐盆只是一种定性的名称,在剖面上通过横向对比,把石膏连续沉积厚度较大的地区称膏盆,而厚度相对较小,且呈膏云岩互层的环境称之为膏盆边缘相带,把盐岩连续沉积厚度较大的局部地区称为盐盆。

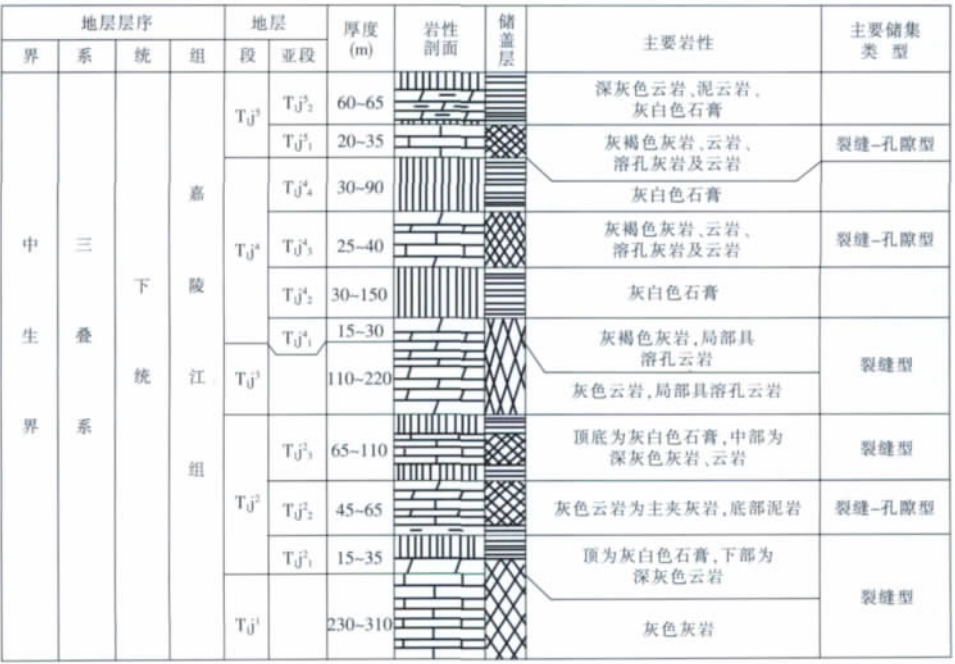


图1 四川盆地嘉陵江组综合柱状图

Fig.1 The comprehensive column of Jialingjiang formation in Sichuan basin

表 1 四川盆地嘉陵江组沉积相及微相类型划分表

Tab.1 Sedimentary facies and microfacies types of Jialingjiang formation in Sichuan basin

地区	沉积相	沉积亚相	沉积微相
川南地区	开阔海台地	台内滩	鲕粒滩、生屑滩、砂屑滩
		开阔潮下	
		台内洼地	泥质洼地、灰泥质洼地
	半局限海台地~局限海台地	局限泻湖	灰质泻湖、云灰质泻湖、膏质泻湖、云膏质泻湖、云质泻湖
		半局限泻湖	泥质泻湖、云质泻湖、泥灰质泻湖
		台内滩	鲕粒滩、砂屑滩
		滩间海	
		局限台坪	灰坪、灰云坪、云坪、云灰坪、云膏坪、膏云坪
川东地区	开阔海台地	台内洼地	台洼
		台内滩	浅滩、点滩、潮沟
	局限海台地	局限台洼	台洼、泻湖(云、膏、盐质)
		台内滩	浅滩、点滩、潮渠
		局限台坪	泥云坪、云坪、灰云坪、云灰坪、灰坪
	蒸发台地	蒸发潮坪	膏盆、盐盆
			泥坪、云膏坪、膏云坪
川中地区	开阔海台地	台内洼地	台内重力流沉积、泥灰质洼地
		开阔潮下	含颗粒灰泥、微晶灰泥、含陆源泥的灰泥
		台内滩	鲕滩、砂屑滩、砾屑滩、生屑滩
	局限海台地	局限潮坪	湿气候:灰坪、泥灰坪、含云灰坪、含藻灰坪、潮沟
			旱气候:含膏云坪、云坪、灰云坪、泥云坪、泥灰坪
		台内雏滩	薄层的鲕滩、砂屑滩、砾屑滩、生屑滩
		局限泻湖	泥灰质泻湖、云灰质泻湖、灰质泻湖、含膏灰质泻湖
			含膏云质泻湖、膏泥质泻湖、泥质泻湖
	蒸发台地	蒸发泻湖	膏质泻湖、云膏质泻湖、盐岩泻湖
		蒸发潮坪	膏质云坪、石膏浅池、盐坪

1.3 重要含盐亚段典型井沉积微相特征

盆地内重要的含盐亚段在纵向上主要分布于 $T_{1j2}^4$ 、 $T_{1j4}^4$ 、 $T_{1j1}^5$ 、 $T_{1j2}^5$ 层位,在区域上膏、盐盆主要分布于川中至川东北的局部地区。作者在此以典型井为代表,分析含盐亚段其沉积微相特征。

(1) $T_{1j2}^4$ 期。川中地区磨溪~龙女寺构造带在这一时期为盆缘云膏坪沉积(见下页图2所示),主要岩性为石膏、白云质石膏等,属于局限海台地相沉积体系。川东北达州~宣汉地区的普光构造带,在这一时期为膏盆沉积(见下页图3),主要岩性为石膏、盐岩、白云质石膏等,属于蒸发台地相沉积体系。

(2) $T_{1j4}^4$ 期。该时期川中地区发育膏盆、盐盆、盆缘云膏坪等沉积微相,磨溪~龙女寺构造带发育膏盆(见下页图4),岩性主要有石膏、盐岩、白云质石膏等。川东北达州~宣汉地区的构造带在这一时期为盐盆沉积(如下页图5所示),岩性主要有盐岩、石膏等。

(3) $T_{1j1}^5 \sim T_{1j2}^5$ 期。川东北达州~宣汉地区的

普光构造带在 $T_{1j1}^5$ 期为云坪微相沉积,岩性主要为灰岩夹少量石膏;在 $T_{1j2}^5$ 期主要为盐质泻湖(盐盆)沉积,岩性主要为盐岩及石膏(见后面图6)。

2 岩相古地理及其演化

岩相古地理研究与编图工作是一项重要的基础地质工作,其目的是通过研究沉积作用,重塑沉积环境,了解地质历史演变及构造发育史,总结各时期的海陆变迁、古气候变化、沉积区及剥蚀区的古自然地理景观特征,分析在不同沉积环境下沉积物的特征及其分布规律,从而达到评价矿产资源,了解矿产规律和预测矿产远景之目的。作者结合前人区域性研究成果<sup>[7~15]</sup>,在编制单井沉积相柱状图、地层厚度等值线图等图件的基础之上,作者运用沉积学基本原理及岩相古地理图编制方法,首次对四川盆地下三叠统嘉陵江组九个储层段进行了岩相古地理的恢复。下面,作者将针对嘉陵江组四个重要含盐亚段的岩相古地理图,分析它们的分

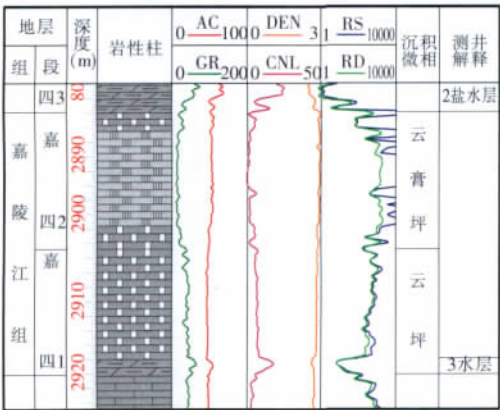


图 2 磨 150 井嘉四<sup>2</sup>亚段沉积微相综合柱状图  
Fig. 2 The sedimentary microfacies profile of T<sub>1j2</sub>, well M150

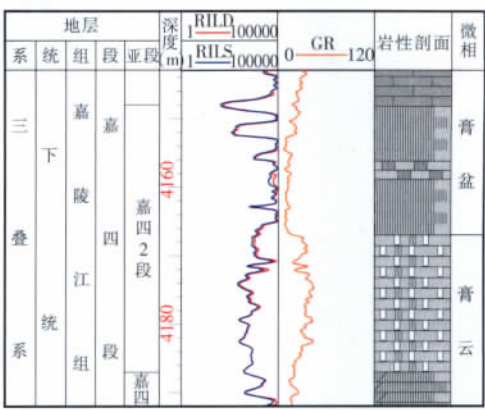


图 3 普光 6 井嘉四<sup>2</sup>亚段沉积微相综合柱状图  
Fig. 3 The sedimentary microfacies profile of T<sub>1j2</sub>, well Puguang 6

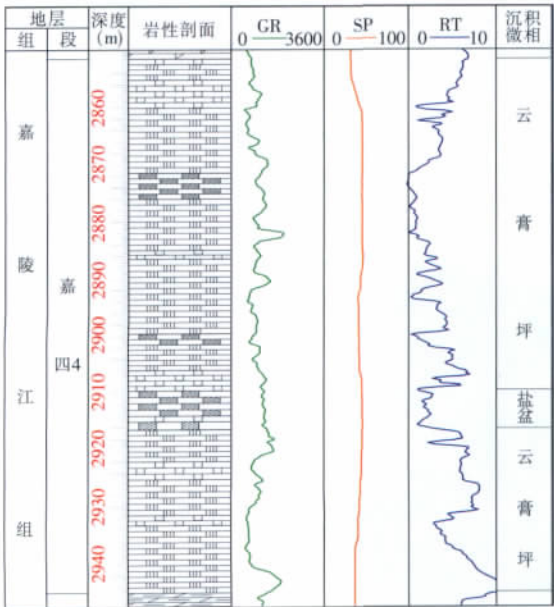


图 4 女深 1 井嘉四<sup>4</sup>亚段沉积微相综合柱状图  
Fig. 4 The sedimentary microfacies profile of T<sub>1j2</sub>, well Nvshen 1

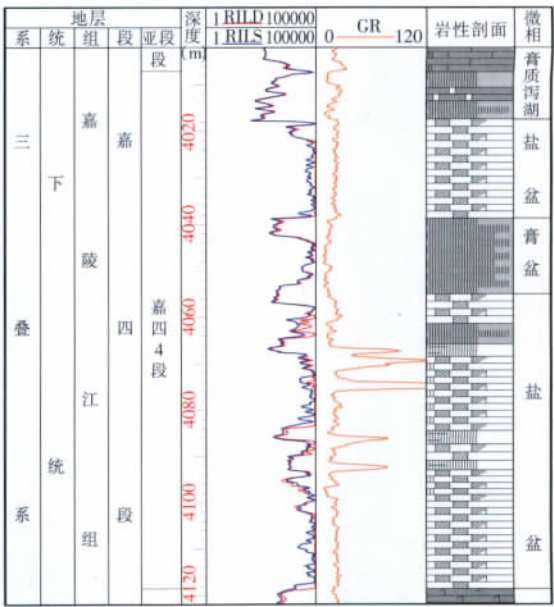


图 5 普光 6 井嘉四<sup>4</sup>亚段沉积微相综合柱状图  
Fig. 5 The sedimentary microfacies profile of T<sub>1j2</sub>, well Puguang 6

布特征及其演化历程。

2.1 T<sub>1j2</sub>期

2.1.1 川东地区

川东地区相当于第二层序早期高水位体系域(见下页图 7)。海平面降低,海水变浅且封闭性增强,但区内没有明显的暴露剥蚀或风化现象。表现在沉积物上,石膏较纯且层厚或层段总体厚度大,石膏/白云岩韵律厚度较大,岩性较单调。沉积厚度呈周边薄,中部厚的格局,变化范围 10 m~290 m,平均 40 m。由于膏岩层在构造形成时作为主要的滑脱及揉皱层系,因此沉积厚度失真较大,相邻二口井厚度相差可达数十倍,这对恢复沉积环

境起到限制和干扰作用。总体看来,垫江~梁平~万州地区是膏盆的沉积中心,在其周围分布有数个规模较小的膏盆,走向为北东向,基本符合沉积~构造格局。T<sub>1j2</sub>岩性在川东差别不大,以膏盐岩为主夹薄层云岩或膏质云岩,盐岩主要发育在垫江~梁平~万州膏盆地周围,说明在其周围为更加封闭的小型凹陷。在川东南部,T<sub>1j2</sub>底部石膏层之上有 5 m~10 m 的云岩,一般含有粒屑。

区内主体沉积环境为台地蒸发岩相,相对于 T<sub>1j2</sub><sup>2</sup>—T<sub>1j2</sub><sup>3</sup>期而言,气候更干旱,蒸发作用更强,且环境闭塞。由于闭塞程度的不同,可分为无盐岩及含盐岩二种类型,据此细分为膏盆、盐盆、盆缘云膏



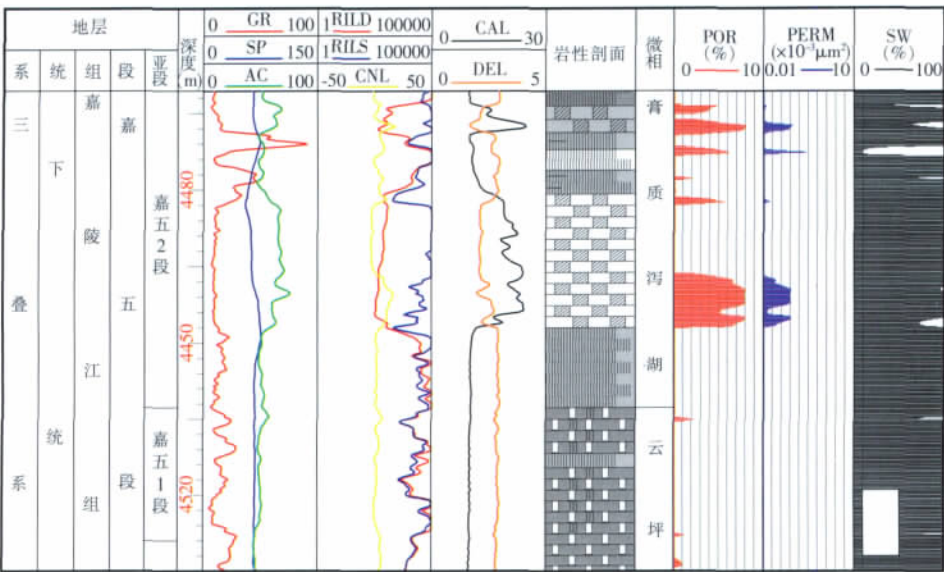


图 6 普光 1 井嘉五段沉积微相综合柱状图

Fig. 6 The sedimentary microfacies profile of  $T_{1j3}$ , well Puguang 1

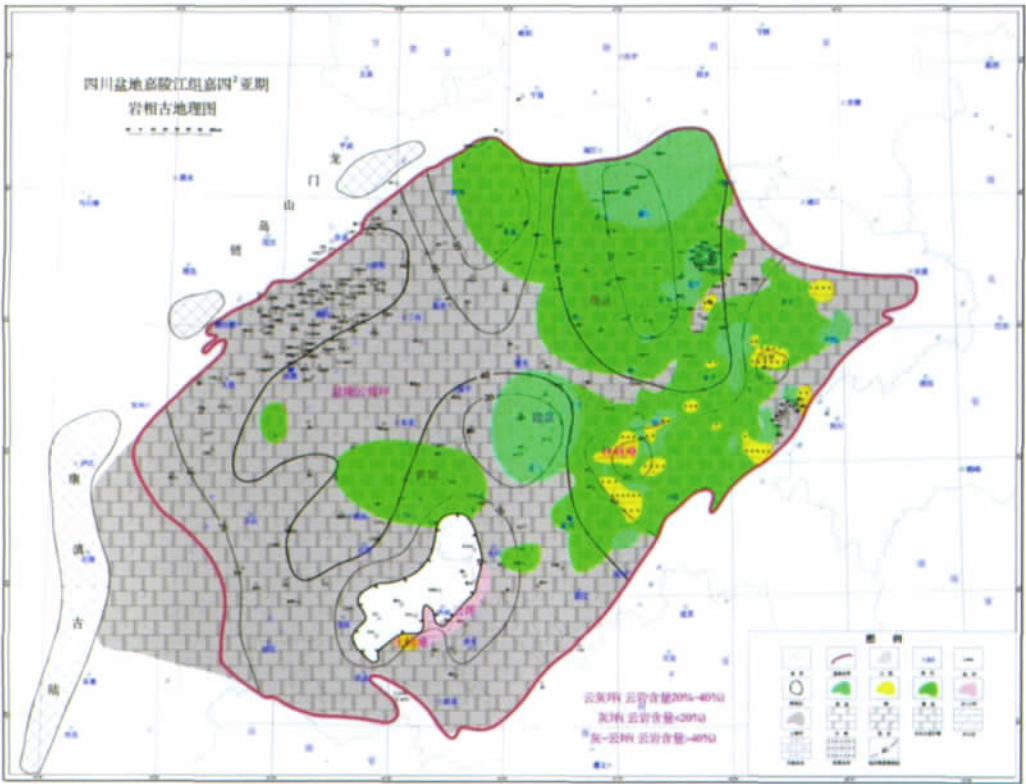


图 7 四川盆地嘉陵江组  $T_{1j2}$  期岩相古地理图

Fig. 7 The lithofacies-paleogeographic map of  $T_{1j2}$  of Jialingjiang formation in Sichuan basin

坪(滩)等微相环境。

(1)膏盆。膏盆在川东中部,以大池干井~明月峡构造带之间为中心,沉积主体为石膏,夹有少许云岩薄层。石膏厚度较大,一般在60 m以上,局部构造  $T_{1j2}$  底部石膏层之上有数米的鲕粒云岩分布。

(2)盐盆。盐盆与膏盆的区别,主要在于石膏层中间夹有盐岩。从盐岩沉积厚度看,川东西部的双石 4 井~七里 28 井(盐岩 40 m)、云和厂~铁山南(盐岩 20 m~60 m)、卧龙河~月东(盐岩 30 m~50 m)等盐盆规模较大,其余盐盆沉积厚度一般数米至十余米。盐盆分布在膏盆的周边,说明盐盆

与膏盆之间存在地貌上的障壁,大潮期海水由膏盆进入盐盆,因此沉积条件比膏盆更为封闭。

(3)盆缘云膏坪(滩)。盆缘云膏坪(滩)主要分布在膏盐盆周边,沉积地貌相对较高,环境相对开放,沉积物较薄,在石膏层中夹有数层云岩甚至灰岩,部份地区发育鲕粒云岩,一般位于 $T_{1j2}^4$ 底部石膏层之上。

2.1.2 川中地区

川中地区的地层沉积厚度为10 m~40 m。合川、龙女寺构造区域为盐盆沉积,其余地区为盆缘云膏坪沉积,主要岩性有石膏、盐岩、白云质石膏等。

2.1.3 川南地区

川南地区这个时段的部份地层已被剥蚀掉,盆缘云膏坪微相为主要沉积,在剥蚀线附近有一部份云坪微相,在付家庙构造上还可可见生物滩,地层沉积厚度为20 m左右。

2.2  $T_{1j4}^4$ 期

2.2.1 川东地区

川东地区相当于第二层序高水位晚期(见图8)。海平面降低,海水变浅且封闭性增强,为局限封闭炎热气候条件下台地蒸发岩相或蒸发潮坪相

沉积。在区内,没有明显的暴露剥蚀或风化现象。

在此地区,沉积厚度呈周边薄、中部厚的格局,变化范围10 m~260 m,平均80 m。与 $T_{1j4}^4$ 膏岩层相似,沉积厚度失真较大,这对恢复沉积环境有一定的影响。总体看来,沉积中心在川东中部,其周围分布有数个规模较小的膏盐盆。 $T_{1j4}^4$ 岩性在川东差别也不大,以膏盐岩为主夹薄层云岩或膏质云岩,盐岩规模与厚度小于 $T_{1j2}^4$ 期,主要分布在高峰场~云安场~硐村、云和寨~铁山、罗家寨、卧龙河、石宝寨、洋渡溪一带。 $T_{1j4}^4$ 内部夹有一到二层硅质页岩,呈高自然伽玛尖峰,是区内重要的对比标志层及沉积等时面。在区内,主体沉积环境为台地蒸发岩相,可细分为膏盆、盐盆、盆缘云膏坪、膏云坪等微相环境。

(1)膏盆。膏盆在川东中西部,以大池干井~明月峡构造带之间为中心,沉积主体为石膏,夹有少许云岩薄层,石膏厚度较大,一般60 m以上。

(2)盐盆。盐盆与膏盆的区别,主要在于石膏层中间夹有盐岩。从盐岩沉积厚度看,川东北罗家寨(35 m)、高峰场~云安场(20 m~50 m)、铁山~云和场(10 m~30 m)、卧龙河~月东(10 m~30 m)

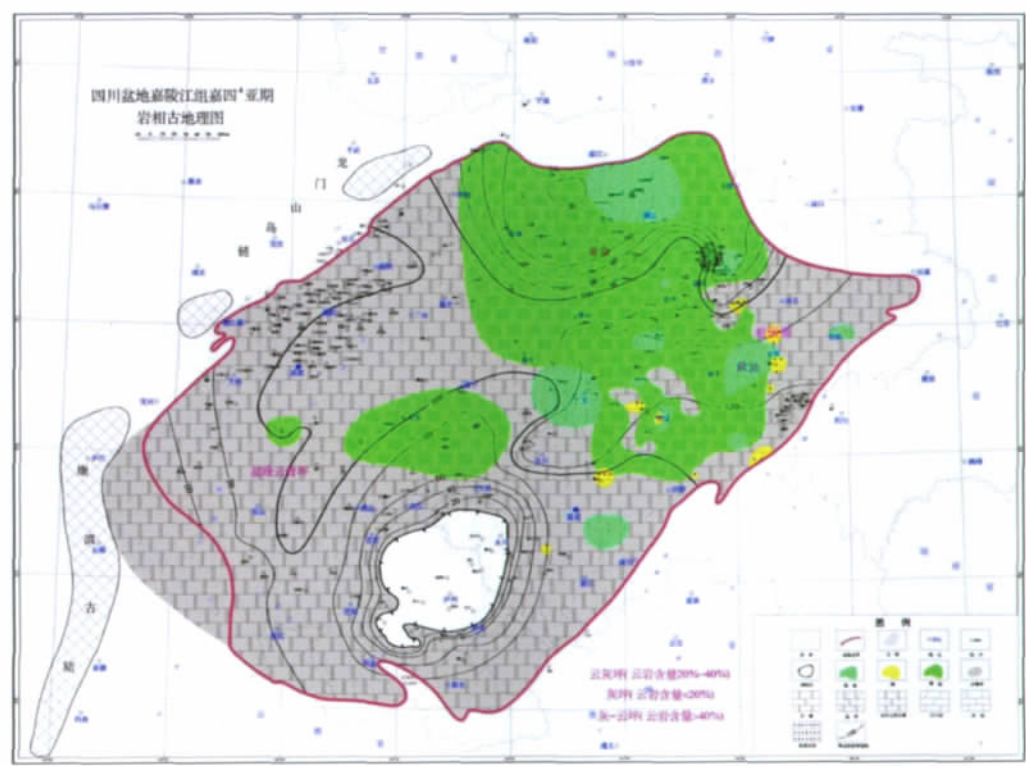


图8 四川盆地嘉陵江组  $T_{1j4}^4$  期岩相古地理图

Fig.8 The lithofacies-paleogeographic map of  $T_{1j4}^4$  of Jialingjiang formation in Sichuan basin

等盐盆厚度较大,其余盐盆盐岩沉积厚度一般数米至十余米。盐盆分布在膏盆的周边,与  $T_{1j_2}^5$  期有一定的继承性。

(3)盆缘云膏坪。盆缘云膏坪主要分布在膏盐盆周边,沉积地貌相对较高,环境相对开放,沉积物较薄,在石膏层中夹有数层云岩。膏云坪则主要为膏质云岩、泥质云岩夹石膏,部份地区也发育粒屑岩。

### 2.2.2 川中地区

川中地区地层沉积厚度为 80 m~120 m,该时期发育膏盆、盐盆、盆缘云膏坪等沉积微相。广安构造区发育盐盆;磨溪构造区发育膏盆,岩性主要有石膏、盐岩、白云质石膏等。

### 2.2.3 川南地区

川南地区地层沉积厚度为 0 m~60 m,该时期主体相为盆缘云膏坪微相,主要岩性为白云质石膏。

### 2.3 $T_{1j_1}^5 \sim T_{1j_2}^5$ 期

#### 2.3.1 川东地区

$T_{1j_1}^5$  沉积厚度为 15 m~40 m,平均 27 m,  $T_{1j_2}^5$  厚度为 9 m~100 m,平均 64 m,部份地区保存 TST 和 HST 沉积。从保存的沉积层序来看,该期包括两个次级旋回( $T_{1j_1}^5$ 、 $T_{1j_2}^5$ ),在  $T_{1j_1}^5$  下部有一

次规模较小的快速海侵,形成了一些地区潮下灰岩、云质灰岩沉积,如开江、云阳、丰都及重庆中梁山地区,灰岩厚度大于 30 m。从  $T_{1j_1}^5$  到  $T_{1j_2}^5$ ,总体反映台地膏化、咸化以及干旱化气候环境,且陆源供给逐渐增强,泥质含量普遍提高。灰坪、云灰坪、云坪主要发育于  $T_{1j_1}^5$  期,  $T_{1j_2}^5$  期是嘉陵江组后期重要的盐盆发育期。

$T_{1j_2}^5$  期盐盆最大发育区位于巴中、通江及以北广大区域,其余分布于达州以西、梁平以西、万州以西和垫江以东的几个区块,嘉五段是四川盆地嘉陵江组盐盆和富钾卤水重要发育层段。

### 2.3.2 川中地区

$T_{1j_1}^5$  期在磨溪、合川一线为灰~云坪微相沉积,周边地区都为云灰坪微相沉积,地层沉积厚度为 30 m 左右。  $T_{1j_2}^5$  期主要为盐盆沉积。

### 2.3.3 川南地区

$T_{1j_1}^5$  期遭受剥蚀,靠近剥蚀线地区为云膏坪微相,向东逐渐变为云灰坪微相,沉积厚度为 0 m~20 m。  $T_{1j_2}^5$  期盆地南部几乎被剥蚀殆尽,剥蚀区附近主要为灰云坪及云膏坪沉积,沉积厚度 0 m~30 m(见图 9 及下页图 10)。

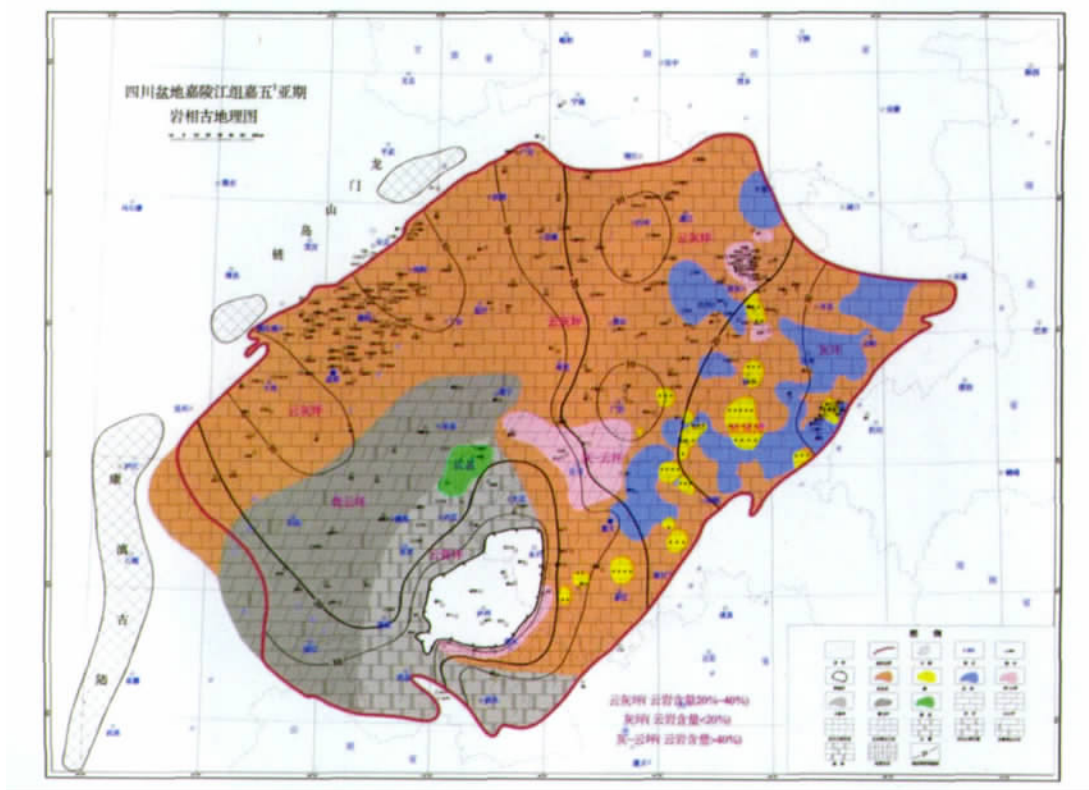


图 9 四川盆地嘉陵江组  $T_{1j_1}^5$  期岩相古地理图

Fig. 9 The lithofacies-paleogeographic map of  $T_{1j_1}^5$  of Jialingjiang formation in Sichuan basin



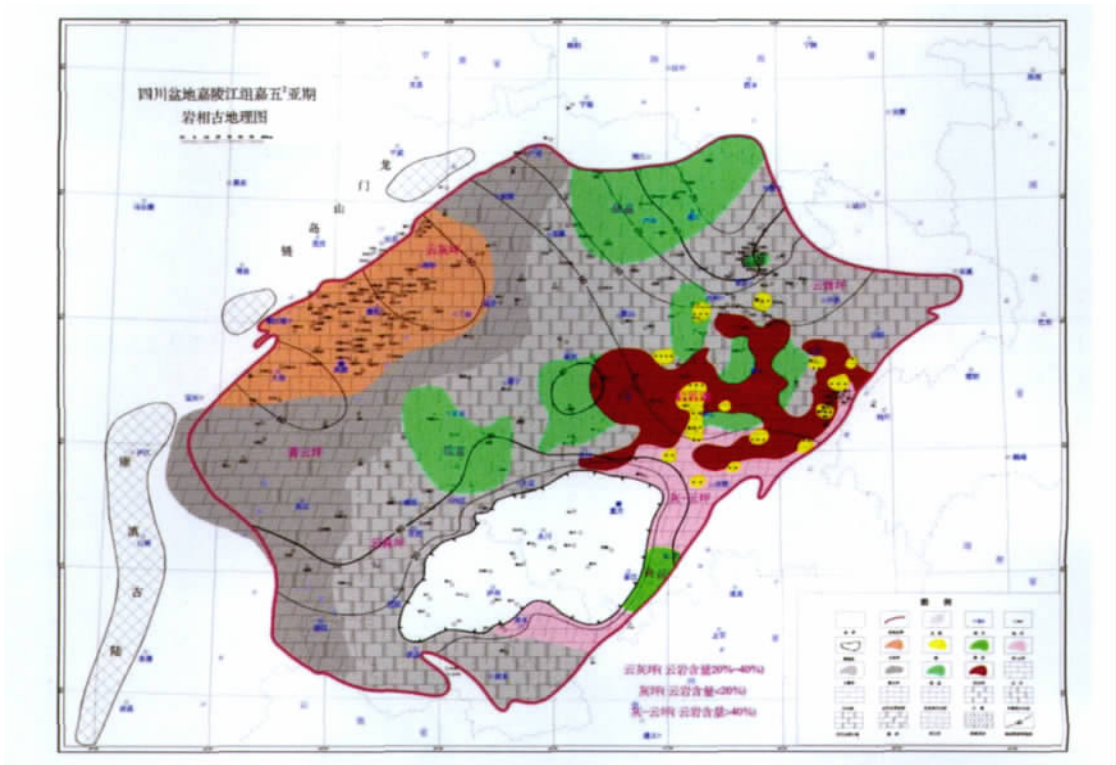


图 10 四川盆地嘉陵江组  $T_{1j_2}$  期岩相古地理图

Fig. 10 The lithofacies-paleogeographic map of  $T_{1j_2}$  of Jialingjiang formation in Sichuan basin

### 3 富卤中心的分布与聚钾中心预测

作者利用单井卤水层水化学分析数据,以及重要的含盐亚段岩相古地理的研究结果,对四川盆地嘉陵江组卤水分布特征进行分析,并根据富钾卤水的相关工业开采指标<sup>[16]</sup>(见下页表 2),预测与圈定了富卤中心和聚钾中心(见下页图 11),为四川盆地地下三叠统嘉陵江组富钾卤水的勘探指明方向。

嘉陵江组盐盆与聚钾中心分布见下页图 11,可以看出,盐盆在平面上主要分布在四川盆地中部及东北部地区,其内发育的构造主要有川中的磨溪~龙女寺、潼南、广安构造,川东的卧龙河、龙门、高峰场构造,川东北部的铁山、黄金口、普光、通南巴构造带等。在纵向上,嘉陵江组盐盆主要发育在嘉四<sub>2</sub>、嘉四<sub>4</sub>、嘉五<sub>1</sub>、嘉五<sub>2</sub>四个时期。其中,嘉四<sub>2</sub>期盐盆最多,共十二个,但分布较为零星,各盐盆面积不大,其中面积最大的位于北部的通南巴构造带附近;嘉四<sub>4</sub>期盐盆与嘉四<sub>2</sub>期具有一定的继承性,发育位置变化不大,盐盆个数有所减少(八个),但单个盐盆的面积较嘉四<sub>2</sub>期有所增大,最大的盐盆仍然分布在四川盆地北部边缘;嘉五<sub>1</sub>期盐盆发育较差,仅在川中磨溪构造的西南部有所表现;嘉五<sub>2</sub>期

盐盆发育较好,六个盐盆连片分布,发育的位置与嘉四期相比差别不大,尤以川中乐至~广安和川北巴中~通江盐盆的面积最大。

因钻探获取的嘉陵江组卤水层水化学分析数据(如后面表 3 所示),基本未将钠和钾含量分开,仅有二口井地层水有测钾含量数据。首先,将钾含量达到工业标准的区域圈定为聚钾中心;然后将未明确钾含量的井或钾含量未达到工业标准的,而矿化度达到卤水标准的区域圈定为富卤中心。

嘉陵江组的聚钾中心分布在川东北的宣汉~达州地区,面积约为 1 457.7 km<sup>2</sup>。川 25 井钾含量为 25.96 g/L,钠含量为 100.52 g/L,矿化度为 352.69 g/L,钾含量远远超过其工业标准(3.24 g/L),因此可以确定其所在的区域为聚钾中心。根据搜集的嘉陵江组卤水层水分析资料,盆地内除川 25 井之外,磨溪构造上有二口井—磨 208 井和磨 160 井也进行了钾含量的测试:钾含量分别为 0.77 g/L 和 0.375 g/L,均未达到工业标准,但矿化度的值分别为 95.94 g/L 和 36.04 g/L,已达到卤水的工业标准。同时,溴的含量分别为 0.36 g/L 和 1.17 g/L,已达到了相应的工业标准。因此,可将磨溪~龙女寺构造带圈定为富卤中心,面积约为 3 077.19 km<sup>2</sup>,此富卤中心具有溴资源的开发远景。



表 2 富钾卤水工业开采指标标准<sup>[16]</sup>  
Tab. 2 The standard of rich potassium brine industrial production index

矿化度(g/L)		K <sup>+</sup> (g/L)	Br <sup>-</sup> (g/L)	I <sup>-</sup> (g/L)	Li <sup>+</sup> (g/L)	Sr <sup>2+</sup> (g/L)	Ba <sup>2+</sup> (g/L)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/L)	钻井涌水量 (m <sup>3</sup> /d)
卤水	35—145	>3.24	>0.3	>0.02	>0.25	>0.3	>0.3	>0.4	>数十,且能 连续开采若干 年
浓卤水	145—335								

注:卤水中有一项指标达到以上相应标准,或卤水中含有其它特殊元素,即具有工业价值。矿化度、钾离子、溴离子含量指标据 2010 年地质出版社的《矿产资源综合利用手册》

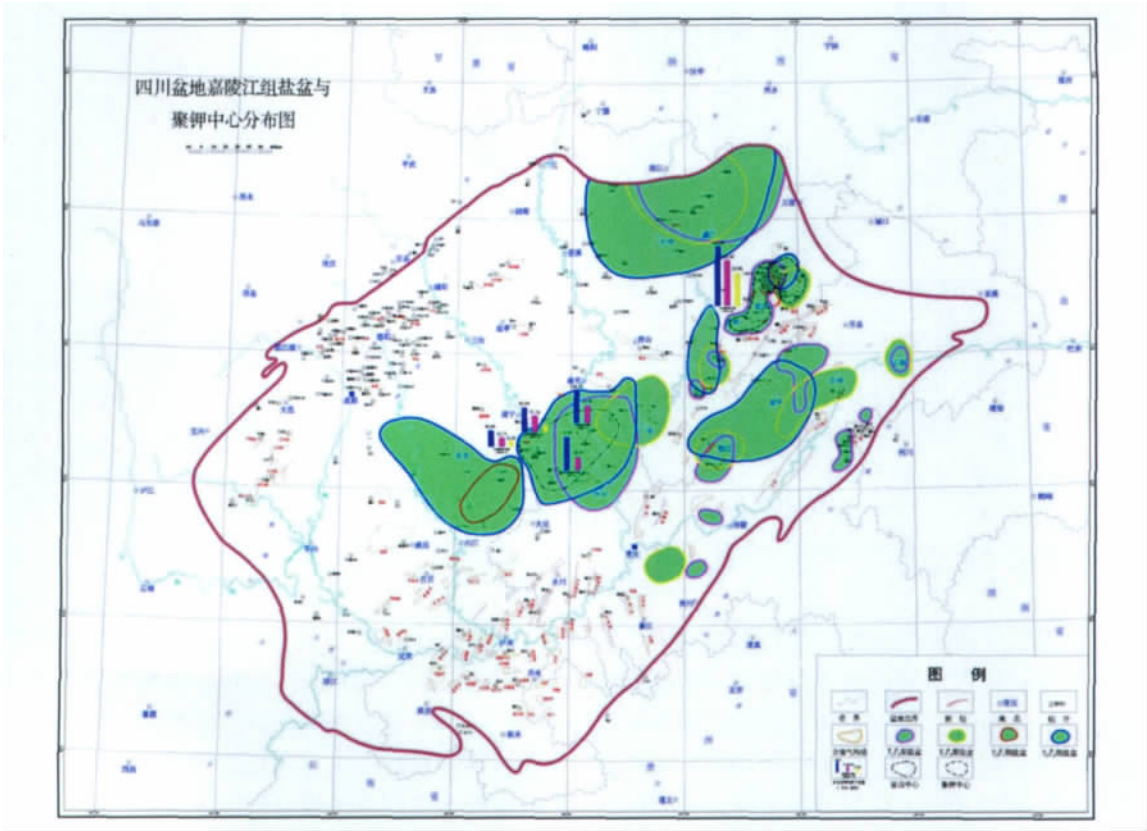


图 11 四川盆地嘉陵江组盐盆与聚钾中心分布图  
Fig 11 The distribution of Salt basins and aggregate potash center of Jialingjiang formation in Sichuan basin

4 结论

(1)下三叠统嘉陵江组在纵向上可分为五段十一个亚段,各段、亚段间整合接触,由海侵~海退序列沉积的白云岩、石灰岩、石膏及盐岩等构成二个主要沉积旋回。 $T_{1j}^1-T_{1j}^2$ 为沉积早期第一个完整的旋回, $T_{1j}^1$ 石灰岩为海侵阶段沉积, $T_{1j}^2$ 石膏、白云岩夹石灰岩,以海退沉积为主。 $T_{1j}^3-T_{1j}^5$ 为又一个完整的沉积旋回, $T_{1j}^3$ 石灰岩为海侵阶段沉积, $T_{1j}^4-T_{1j}^5$ 石膏、白云岩夹石灰岩以海退沉积

为主。  
(2)膏盆、盐盆(或称膏、盐质泻湖)在古地理位置上处于局限海台地~蒸发台地的局部低凹地区,水体循环差,蒸发作用强,从而形成膏、盐沉积,层位上主要分布于晚期高水位体系域(LHST)。其中,嘉陵江组盐盆纵向上主要发育在 $T_{1j}^2$ 、 $T_{1j}^4$ 、 $T_{1j}^5$ 、 $T_{1j}^5$ 四个时期。盐盆在平面上主要分布在四川盆地中部及东北部地区,其内发育的构造主要有川中的磨溪~龙女寺、潼南、广安构造,川东的卧龙河、龙门、高峰场构造,川东北部的铁山、黄金口、普光、通南巴构造带等。

表 3 四川盆地嘉陵江组部份产水井水化学分析结果  
Tab. 3 The partial water analysis data of Jialingjiang formation in Sichuan basin

构造名称	井号	层位	顶界井深 (m)	底界井深 (m)	矿化度 (g/L)	常见阴阳离子含量(mg/L)									微量元素(mg/L)			苏林分类水型
						钾	钠	钾+钠	钙	锶	镁	氯根	硫酸根	重碳酸根	碘	溴	硼	
潼南	潼 6 井	嘉一	3129.40	3140.00	105.1	/	/	14852	15190	0	6202	66499	543	/	39	1417	358	CaCl <sub>2</sub>
潼南	潼 6 井	嘉一	3129.40	3140.00	106.423	/	/	14852	15190	0	6202	66499	543	1672	24	1013	428	CaCl <sub>2</sub>
潼南	潼 6 井	嘉二 <sup>1</sup>	3129.40	3140.00	73.172	/	/	8783	11740	0	4808	46922	402	/	27	471	19	CaCl <sub>2</sub>
潼南	潼 6 井	嘉二 <sup>1</sup>	3129.40	3140.00	75.235	/	/	8783	11740	0	4808	46922	402	1933	30	560	57	CaCl <sub>2</sub>
磨溪	磨深 1 井	嘉三~ 嘉一	3128.60	3138.00	43.999	/	/	15043	652	0	126	20037	5863	611	65	1536	66	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
磨溪	磨深 1 井	嘉三~ 嘉一	/	/	41.674	/	/	15028	692	0	54	19963	5802	/	53	/	82	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
磨溪	磨深 1 井	嘉三~ 嘉一	/	/	42.92	/	/	15028	692	0	54	19963	5802	531	54	715	81	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
磨溪	磨 160 井	嘉二	/	/	36.04	375	12333	12708	460	23	130	18334	4017	/	3	364	/	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
磨溪	磨 208 井	嘉二	/	/	95.94	772	30609	31381	3318	154	971	57228	1706	/	9	1168	/	CaCl <sub>2</sub>
通贤	通 8 井	嘉一	3129.40	3140.00	141.992	/	/	36523	14831	1179	1544	87628	0	78	10	186	13	CaCl <sub>2</sub>
宣汉	川 25 井	嘉五	/	/	352.69	25.96	100.52	126.48	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
其它	王家 1 井	嘉二 <sup>2</sup>	2849.52	/	48.15	/	/	16791	577	0	95	20046	8709	/	41	968	923	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
其它	王家 1 井	嘉二 <sup>2</sup>	2849.52	/	49.516	/	/	16791	577	0	95	20046	8709	1234	42	1164	858	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

(3) 嘉陵江组的聚钾中心分布在川东北的宣汉~达州地区,面积约为  $1\,457.7\text{ km}^2$ 。而磨溪~龙女寺构造带圈定为富卤中心,面积约为  $3\,077.19\text{ km}^2$ ,此富卤中心具有溴资源的开发远景。

#### 参考文献:

- [1] 郑绵平,袁鹤然,张永生,等. 中国钾盐区域分布与找钾远景[J]. 地质学报,2010,84(11):1523.
- [2] VIRENDRA KUMAR, RAM CHANDRA. Geology and evolution of Nagaure-Ganganagar basin with special to salt and potash mineralization[J]. Geological Survey of India, Special Publication, 2005(62):201.
- [3] 林耀庭,潘尊仁. 发挥四川盆地卤水资源优势为实施西部大发展宏图[J]. 四川地质学报,2001,21(1):26.
- [4] 林耀庭,唐庆. 四川盆地卤水分布及开发前景展望[J]. 化工矿产地质,1999,21(4):209.
- [5] 林耀庭. 四川盆地卤水钾硼碘溴资源开发利用可持续发展的对策思考[J]. 盐湖研究,2001,9(2):56.
- [6] 马永生,陈洪德,王国力,等. 中国南方构造—层序岩相古地理图集(震旦系—新近纪)[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [7] 华夏,张勤勤. 岩相古地理研究现状及展望[J]. 科技信息,2009(33):436.
- [8] 蒋维红,董春梅,闫家宁. 岩相古地理学研究现状及发展趋势[J]. 断块油气田,2007,14(3):1.
- [9] 冯增昭. 我国古地理学的形成、发展、问题和共识[J]. 古地理学报,2003,5(2):129.
- [10] 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京:地图出版社,1985.
- [11] 朱筱敏,杨俊生,张喜林. 岩相古地理研究与油气勘探[J]. 古地理学报,2004,6(1):102.
- [12] SCOTSESE C R. Atlas of Earth history, paleogeography. Arlington [M]. Virginia: Paleomap project, 2001.
- [13] WANG HONGZHEN. An outline of the tectonic evolution of China. In: Selected Works of Wang Hongzhen [M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [14] 林良彪,陈洪德,张长俊. 四川盆地西北部中三叠世雷口坡期岩相古地理[J]. 沉积与特提斯地质,2007,27(3):51.
- [15] 李德星,刘树根,张长俊,等. 四川盆地中南部地区中三叠统雷口坡组沉积相研究[J]. 海洋石油,2010:36.
- [16] 李慈君,杨立中,周训,等. 深层卤水资源量评价的研究[M]. 北京:地质出版社,1992.

作者简介:徐国盛(1962—),男,博士,教授,博士生导师,从事储层评价与油气成藏研究。

## 温馨提示

《物探化探计算技术》期刊现已入编“万方数据——数字化期刊群”和“中国核心期刊(遴选)数据库”;入网“ChinaInfo(中国信息)网络资源系统《电子期刊》”;同时还加入了台湾中文电子期刊服务—思博网(CEPS)。所以,凡向本刊投稿并录用的文章,将一律由编辑部统一纳入相关的信息服务系统,进入因特网提供信息服务。凡有不同意见将自己文章纳入因特网传送交流的作者,请在来稿上注明。同时,本刊所付稿酬包含作者著作权使用费、上网服务费以及本刊稿酬,不再另付其它报酬。

请各位继续支持本刊,谢谢!

《物探化探计算技术》编辑部

tion, establishment of low-frequency trend model. The results show that the AVO prestack inversion can identify the sandstone well and reduce the exploration risk.

**Key words:** Xinchang gas field; sand and conglomerate reservoir; medium impedance; AVO pre-stack inversion

#### APPLICATION AND EXPLORATION OF JADE IN SEARCHING THE COMBINATION OF GEO-CHEMICAL ORE-FORMING ELEMENTS

LIU Bing-li<sup>1,2</sup>, GUO Ke<sup>2</sup>, AO Dong<sup>2</sup>, et al. (1. College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Sichuan Province key laboratory of mathematics geology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEO-CHEMICAL EXPLORATION*, 2012, 34(1): 58

Geochemistry ore-forming elements association is an important indicator of ore deposit. In this paper, we adopt JADE algorithm based on the theory of independent component analysis to analyze the character of geochemistry mineralized element association, which discussed the combination anomaly from the point of view of Nonlinearity. It has been applied in Dongga gold deposit point in Tibet and good results were obtained.

**Key words:** elements related to mineralization; independent component analysis; JADE; mineral associations

#### THE LITHOFACIES-PALEOGEOGRAPHIC OF JIALINGJIANG FORMATION IN SICHUAN BASIN AND THE AGGREGATE POTASH CENTER FORECAST

XU Guo-sheng, WU Qing-xun, MENG Yuzhang, et al. (State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2012, 34(1): 62

Lithofacies-paleogeographic research and woven figure is an important basic geological work. This article renews the lithofacies-paleogeographic in nine reservoir section of Jialingjiang formation in Sichuan basin for the first time. The key salty sub horizons distribute in  $T_{1j2}^4$ 、 $T_{1j4}^4$ 、 $T_{1j1}^5$ 、 $T_{1j2}^5$  formations in vertical. In the areas, the

plaster, salinastone basin mainly distributed in midland to northeast of the Sichuan basin. Using single well brine formation water chemical analysis data and the research results of the important salty sub horizons' lithofacies-paleogeographic, the Jialingjiang group brine's distribution was analyzed. According to the standard of rich potassium brine industrial production index, we predict and delineate the rich halogen center and aggregate potash center, which indicate the direction of exploring rich potassium brine in the lower Triassic, Jialingjiang group of sichuan basin.

**Key words:** Sichuan basin; Jialingjiang formation; lithofacies palaeogeography; aggregate-potash center

#### PHYSICAL-CHEMICAL CONDITIONS OF MINERALIZATION AND THE TRANSPORTION AND DEPOSITION OF AU IN SHUIYINDONG GOLD DEPOSIT, GUIZHOU PROVINCE

XIAO De-chang<sup>1</sup>, LI Bao-hua<sup>1</sup>, GU Xue-xiang<sup>2</sup>, et al. (1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. College of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2012, 34(1): 73

Based on the research of fluid inclusions and thermodynamics calculate in shuiyindong gold deposit, we have studied the physical-chemical conditions of mineralization, and the transportation form and deposition mechanism of the deposit. The research shows that the main temperature of gold mineralization is  $215^{\circ}\text{C} \sim 267^{\circ}\text{C}$ , and the pressure is  $28.5\text{MPa} \sim 37.2\text{MPa}$ ; the ore-forming fluid with characteristics of weak acidity ( $\text{pH}=4.312$ ), reducibility ( $f_{\text{O}_2} < 10^{-35.315} \times 10^5 \text{ Pa}$ );  $\text{AuHS}^0$  is the main transportation form of Au in the ore-forming solution; the main deposition mechanisms of Au are the decrease in the activity of  $\text{HS}^-$  and  $f_{\text{O}_2}$  and an increase in pH values.

**Key words:** shuiyindong gold deposit; fluid inclusions; transport and deposition; ore-forming fluid

#### APPRAISAL OF NATURAL RADIOACTIVE ENVIRONMENT FOR RANGTANG OF ABA

WU Yi-shuo<sup>1</sup>, SHI Ze-ming<sup>1,2</sup>, XU Jin-yong<sup>1,2</sup>, et al. (1. Department of Geochemistry, Chengdu