

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

地震隐性层序界面识别、高频层序格架建立 与岩性圈闭勘探

杨占龙

中国石油勘探开发研究院 西北分院, 兰州 730020

摘要: 地震资料识别的层序界面精度低于测井资料建立的空间层序格架精度, 难以满足具层圈闭特征岩性圈闭勘探的需求。提出了一种基于井-震时频匹配分析与地震全反射追踪相结合的地震隐性层序界面识别及高频层序格架建立方法, 主要包括逐级细化的测井时频分析与井-震标定, 得到与测井资料相适应的地震反射旋回变化关系; 在小时窗地震时频分析基础上, 通过地震全反射追踪技术, 建立高频空间层序格架。

利用该方法建立的层序格架中的层序界面既具有反映沉积旋回变化特征的明确地质含义, 又具有足够的分辨率, 能有效识别地震资料中采用常规方法难以识别的隐性层序界面, 进而满足岩性圈闭识别、描述等对于层序地层研究的精度要求; 结合吐哈盆地西缘地区侏罗系等开展了实例应用并取得了良好效果。该方法的提出有助于深入挖掘现有地震资料的地质解释潜力、开展地震高频层序地层研究和岩性油气藏勘探。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

海相深层油气成藏类型及其主控因素

刘文汇^{1,2}, 张东东¹, 王晓峰¹, 张殿伟², 罗厚勇¹

1. 西北大学地质学系, 西安 710069;

2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206

摘要: 海相碳酸盐岩油气勘探领域是中国陆上常规油气勘探的第二大领域, 在塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地的碳酸盐岩领域发现了中国大型油气田。深层油气勘探不断取得的重要发现, 使其成为油气资源的重要战略领域。国际上一般将埋深超过 15000 英尺 (4500m) 的油气藏定义为深层油气藏; 一些学者根据我国深部的地质条件以及勘探资料, 将深层油气藏的埋深定为 4500-6000m, 认为深层油气指储于 4500m 以下的油气和源岩在 5000m 深度之下生成的油气, 6000m 以上则认为是超深层油气; 在中国油气资源总量中, 埋深大于 4500m 的深层油气资源约占 40%, 其中 2/3 以上分布在塔里木、四川和鄂尔多斯三大盆地中, 大型碳酸盐岩油气藏占主要组成部分。

海相盆地深层经历了多期次的生烃、充注和成藏, 油气成烃-成藏期长, 富油更富气, 油气分布更为复杂。构造演化的长期性和复杂性决定了海相盆地深层含油气的特殊性。深层气的形成受温度、压力和介质条件等多种因素的控制。深层油气成藏不仅涉及深层油气的来源, 同时涉及深层地质条件下油气供给、运移、聚集等动态过程。经过对深层油气形成、聚集成藏以及含油气系统形成因素的梳理与分析, 将深层油气藏类型分为浅成深埋、浅备深成和深部成藏

三种类型: ①浅成深埋型: 油气藏早期在浅层已经形成, 伴随盆地沉降迅速埋深至深层保持成藏, 油气藏的储层、盖层等保存条件不发生较大变化, 仅所储藏的烃类物质发生一定的相态和组分的变化。②浅备深埋型: 在地层浅部成烃和储备条件不足以成藏, 但随着地层埋深过程中深层温度和压力的提升, 以及成岩作用的改造, 不同类型的烃源可以形成足够的烃类物质聚集在改造后的储层中得以最终深层成藏。③深部成藏型: 伴随盆地深部构造作用、热液作用以及热力作用等大量无机物质和能量的强烈交换与改造下, 并在有机-无机相互作用的参与中, 在盆地内或者边缘以及构造活动区的深部地层中形成油气藏, 该类油气藏不同于传统油气成因, 属于非传统深层油气成藏。

深层油气科学问题中油气成源和成烃机理和过程最为重要, 也是油气勘探与资源评价的理论基础。海相碳酸盐岩层系深层有效烃源的类型具有明显多样性, 分散可溶有机质和有机酸盐是构成海相碳酸盐岩烃源的重要组成部分。深层所处的温压条件、流体性质和相态的变化, 使得水-岩-烃相互作用, 有机-无机相互作用程度更甚, 因此, 深层油气形成的关键在于深部的有机与无机相互作用, 特别是深层外源氢的参与对高过成熟有机质的成烃成藏意义重大。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

新疆乌恰县乌拉根-萨热克矿集区生态资源环境研究

王磊, 方维萱*, 鲁佳

有色金属矿产地质调查中心矿山生态环境资源创新实验室, 北京 100012

新疆乌恰地区位于塔里木板块塔里木中-新生代沉积盆地的西部, 地处南天山造山带、西昆仑造山带与塔里木地块三大构造单元的交汇部位, 为典型盆山原镶嵌构造区(方维萱等, 2018a; 方维萱, 2018b), 具有金属矿产-煤-铀-油气资源同盆共存富集成藏成矿特征, 该地区的构造地貌、生态景观格局与生态环境资源与社会协调发展的关系等基础科学问题仍需进一步解决。

乌恰地区生态景观格局主要以克孜勒苏河、康苏河、膘尔托阔依河形成格子状的廊道, 以城镇景观、工业用地、山地景观、绿洲景观形成的斑块(肖笃宁等, 2003; 贡璐等, 2009; 陈曦等, 2008; 王磊等, 2020a; 王磊等, 2020b)。受人类活动的影响城镇景观、工业用地又镶嵌在山地景观、绿洲景观中, 形成复合的生态景观。沿克孜勒苏河两岸地处帕米尔前缘逆冲带与西南天山褶皱带的交汇部位, 发育荒漠-绿洲景观类型(贡璐等, 2009; 陈曦等, 2008), 本区典型景观格局为荒漠-河流-绿洲-侵蚀山地等不同生态景观单元组成, 其中构造地貌对景观格局具有重要控制作用。

矿产资源以中生代层控、层控-改造型铅锌铜矿为主。区内围绕苏鲁铁列克隆起周缘主要为中生代地层, 出露有中生代层控型砂砾岩型铅锌铜矿的三大赋矿层位($J_3\backslash K_1\backslash N_1$), 区域上可以划分出 3 个规模较大的矿带, 即北部以萨热克砂砾岩型铜矿

为代表的砾岩型铜矿带、中部以乌拉根砂砾岩铅锌矿为代表的砂砾岩型铅锌矿带和南部以花园砂岩型铜矿为代表的砂岩型铜矿带。围绕苏鲁铁列克隆起产出的多处大型-超大型铅锌铜矿以及众多的矿床矿点, Cu 资源量达 70.90 万吨、Pb+Zn 资源量 648.50 万吨, 已然形成中生代层控砂砾岩型铅锌铜矿大型矿产资源基地。

矿山地质环境问题主要分布于乌拉根铅锌矿、萨热克铜矿区、大红山铁矿区。环境问题类型主要为地表土壤破坏、废石堆场的土地压占。乌拉根矿区主要为南北两侧废石堆场, 萨热克铜矿为矿部西侧废石堆场, 大红山铁矿为沿流域两侧地表露采形成的山体裸露及矿石运输过程中飘散的褐红色矿石粉末。三个矿山对流域河流几乎无影响。地质灾害易发区分布于城镇生态景观单元和矿业生态景观单元。山间冲积扇-盆地-绿洲-河谷景观, 地势地平, 地表植被盖度高, 不易形成地质灾害。地质灾害类型主要为崩塌和泥石流, 次之为滑坡和其它灾害。

通过生态景观格局、矿产资源、地质环境综合研究, 乌恰地区划分为水源涵养功能区、荒漠化控制功能区、水土保持功能区、水域河流功能区、城镇功能区、农业功能区、资源基地功能区等 7 个生态功能区。叠加分析划分为 1 处鼓励开发区, 3 处限制开发区, 6 处禁止开采区, 以期当地政府矿业开发与生态环境保护提供决策依据。

基金项目: 中国地质调查局公益性项目(20170418)和国土资源部行业公益性科研专项(201511016-1)

第一作者简介: 王磊(1983-), 高级工程师, 研究方向: 资源环境研究. E-mail: 149534403@qq.com

*通信作者简介: 方维萱(1961-), 研究员, 研究方向: 矿产普查与勘探. E-mail: 569026971@qq.com

• 专题 4: 盆地与沉积 •

塔里木盆地轮探 1 井下寒武统微量元素分布特征 与有机质富集保存机制

邓倩^{1,2}, 程斌^{1,2}, 廖泽文^{1,2*}

1. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640;

2. 中国科学院深地科学卓越创新中心, 广州 510640

塔里木盆地是我国最重要的含油气盆地之一。其中下寒武统玉尔吐斯组分布广泛且具有很高的有机质丰度, 被认为对塔里木盆地海相油气资源提供了主要贡献。最近的勘探进展中, 轮探 1 井在 8200m 之下的碳酸盐储层中获得轻质原油, 并钻揭了一套玉尔吐斯组优质烃源岩和两套储盖组合, 在超深层油气勘探中再次获得重大突破 (杨海军等, 2020)。本研究对轮探 1 井玉尔吐斯组烃源岩开展了有机碳含量 (TOC) 和微量元素分析, 以探讨轮探 1 井的沉积条件和成藏特征。

轮探 1 井玉尔吐斯组下段为薄层黑色泥页岩, 上段为泥质灰岩和灰岩。相对于玉尔吐斯组上段, 玉尔吐斯组下段具有更高的有机质丰度和更高浓度的 Ba、Cu、Mo、Ni、U、V、Zn 等微量元素。在整个玉尔吐斯组层段内, 这些微量元素浓度与 TOC 之间呈现出良好的正相关关系 (如 TOC 和 U 浓度的相关系数 $R^2=0.91$; TOC 和 V 浓度的相关系数 $R^2=0.78$), 体现了有机质和微量元素的伴生关系。前人研究认为下寒武统底部高浓度的微量元素来自于广泛的热液

活动和上升洋流 (Yu et al., 2009)。一方面, 这些微量元素在生物化学循环中促进了初级生产力, 被生物体吸收后随着生物遗体一起沉降到沉积物中; 另一方面, 有机质在被微生物降解后产生的还原的沉积界面有利于沉积物对海水中微量元素的吸附和沉淀, 导致了这些微量元素的富集。氧化还原敏感微量元素比值 V/Cr、Ni/Co、U/Th 以及 $Mo_{EF}-U_{EF}$ 共变模式指示了玉尔吐斯组沉积于缺氧-硫化的半局限水体环境中, 有利于有机质的保存。

玉尔吐斯组下段具有高有机质丰度, 是一套优质的烃源岩, 具备为轮探 1 井油藏提供油源的物质基础。玉尔吐斯组上段及肖尔布拉克组、吾松格尔组 TOC 含量较低, 岩性主要为泥灰岩、灰岩、灰质云岩、砂屑云岩, 发育良好的裂缝与沿裂缝发育的溶蚀孔洞, 与上覆阿瓦塔格组膏岩构成储盖组合。轮南低凸起断裂带的发育有利于轮探 1 井玉尔吐斯组生成的油气垂向运移至吾松格尔组白云岩储层。因此, 轮探 1 井的轻质油可能来自于下伏玉尔吐斯组烃源岩的贡献。

表 1 轮探 1 井玉尔吐斯组 TOC 和微量元素含量

埋深/m	层位	样品数/个	TOC/%	Ba/ppm	Cu/ppm	Mo/ppm	Ni/ppm	U/ppm	V/ppm	Zn/ppm
8615~8662	玉尔吐斯组	24	0.27~2.43	2760~7700	4.1~29.3	1.0~27.6	3.3~61.1	0.8~10.6	8~244	11~114
	上段		/1.10	/4644	/16.2	/12.7	/24.8	/5.3	/94	/50
8664~8696	玉尔吐斯组	12	2.21~9.84	3250~10000	34.4~100.5	51.1~191.5	76.6~202	14.6~57.3	212~717	67~191
	下段		/6.11	/5128	/70.4	/109.8	/156.8	/35.8	/446	/127

注: 最小值~最大值/平均值

基金项目: 国家“十三五”油气专项研究课题 (2017ZX05008002)

第一作者简介: 邓倩 (1993-), 博士后, 研究方向: 有机地球化学. E-mail: dengqian@gig.ac.cn

*通信作者简介: 廖泽文 (1969-), 研究员, 研究方向: 有机地球化学. E-mail: liaozw@gig.ac.cn

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

新疆乌恰-康苏铅锌铜-煤-铀-天然气同盆共存富集区 生态资源环境综合调查评价

鲁佳, 方维萱*, 王磊, 刘增仁

有色金属矿产地质调查中心矿山生态环境资源创新实验室, 北京 100012

新疆乌恰-康苏地区位于西南天山、昆仑山、帕米尔高原、塔里木盆地的盆山原耦合部位, 具有金属矿产-煤-铀-油气资源同盆共存富集成藏成矿特征(方维萱等, 2018a; 方维萱等, 2021)。同时, 帕米尔高原和西南天山不但是我国重要水源涵养源区, 也是内陆地区重要的“水塔”(张兆永等, 2011; 申元村等, 2013; 李新武等, 2016)。

区内矿产资源丰富, 有铜矿、铅锌矿、铁矿、铀矿、石油天然气、煤矿和石膏等矿产。煤矿主要分布在康苏镇北侧, 有康苏煤矿、前进煤矿、团北煤矿、团南煤矿等。石油天然气以阿克气田为主。铅锌矿主要有乌拉根铅锌矿床、萨里塔什铅锌矿床、佰什布拉克铅锌铜矿; 铜矿有萨哈尔铜矿、花园铜矿、硝若布拉克铜矿等(方维萱等, 2017; 刘增仁等, 2011)。现今已然形成中生代层控砂砾岩型铅锌铜矿大型矿产资源基地。

乌恰-康苏地区属于干旱荒漠生态系统, 地势北高南低, 高中山区基岩裸露, 稀疏草原覆盖, 冲积扇-盆地多为砂砾土中高植被覆盖。从高山到盆地具有明显的垂直自然带谱, 高山冰川、高山冻原、高山草甸、山地草原、荒漠草原和河流阶地等, 从而构成了独特的景观生态系统特征(王磊等, 2019; 王磊等, 2021)。本区可划分为荒漠景观生态单元、草原景观生态单

元、矿业景观生态单元、农田景观生态单元和城镇景观生态单元等 5 类景观生态单元。它们呈镶嵌结构分布于干旱荒漠生态系统中, 局部又形成了复合型景观生态单元。

矿业开发活动主要面临的生态环境问题是地表土壤破坏和土地压占。虽然矿业开发会导致区内土壤受到不同程度的损害, 但对矿山周边地区影响和污染范围有限, 可控性强。矿山土壤健康评价显示, 土壤中金属元素潜在生态程度为 $Cd > Pb > As > Zn > Cu > Ni > Cr$, 生态危害程度较高的区域为采矿场、堆矿场、排土场等矿山活动频繁区域。

通过对矿区的优势植物的地球化学调查, 筛选出盐生草、红柳、盐生假木贼、黑果枸杞、白刺、麻黄草、沙棘、苜蓿等先锋植物作为矿山生态环境修复的植物品种。对 Cu 富集能力较强的植物是黑果枸杞、白刺; 对 Pb 富集能力均较弱; 对 Zn 富集能力较强的植物是盐生假木贼、甘草; 对 Cr 富集能力较强的麻黄草、盐生假木贼、盐生草; 对 Cd 富集能力较强的是盐生草、盐生假木贼、红柳。根据修复物种的筛选原则和标准, 评出矿区生态修复的最佳植物配置模式, 并对于矿山活动的不同时期, 提出“封育-修补-重建”的生态修复措施。

基金项目: 中国地质调查局公益性项目(20170418)和国土资源部行业公益性科研专项(201511016-1)

第一作者简介: 鲁佳(1988-), 工程师, 研究方向: 矿产普查与勘探. E-mail: 401912436@qq.com

*通信作者简介: 方维萱(1961-), 研究员, 研究方向: 矿产普查与勘探. E-mail: 569026971@qq.com

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

云南个旧高松矿田构造岩相学格架及找矿预测

郭玉乾¹, 方维萱¹, 帅磊¹, 折士焜¹, 谢小明², 马振飞³

1. 有色金属矿产地质调查中心 矿山生态环境资源创新实验室, 北京 100012;

2. 云南锡业股份有限公司老厂分公司, 云南 661000;

3. 云锡红河资源有限责任公司, 云南 661000

高松矿田位于个旧东区五子山复式背斜北段, 区内与锡铜矿有关的燕山期花岗岩隐伏标高在 1840m 以下, 埋深 1200-1400m, 位于马松斑状花岗岩体与老卡等粒花岗岩体之间的深凹部位, 隐伏岩体表面形态与断裂构造的空间耦合控制着区内锡铜多金属矿的空间分布 (庄永秋等, 1996)。

采用构造岩相学研究思路 (方维萱等, 2018), 认为高松矿田构造岩相学格架为: (1) 背阴山-马吃水隐伏花岗岩突起区+岩浆底拱/岩浆流体热孤峰构造区, 以岩浆底拱/岩浆流体热孤峰+碎裂岩化相/热液角砾岩化相+层间热储构造带为主要构造岩相组合; (2) 马吃水-大箐东-芦塘坝不对称侧压旋转力偶作用中心构造区, 以岩浆侧向挤压旋转网格状热启断裂+热液角砾岩筒+层间热储构造带为主要构造组合。(3) 松树脚隐伏侧向挤压花岗岩体+个松幔型基底断裂构造区。动力学机制为: 不对称侧压旋转力偶作用, 即大箐东-阿西寨复式向斜南翼的老卡岩体自南东向北西方向侵入挤压与个松隐伏花岗岩自北西向南东侵入挤压, 在马吃水-大箐东-芦塘坝区域形成不对称侧压旋转力偶作用中心。表现为高松矿田的大箐东-阿西寨复式向斜+菱形格状断裂构造+岩浆热孤峰式底侵的构造格架特征。

从构造岩相学角度, 高松矿田断裂级可划分为

(方维萱等 1996, 2018): (1) 幔型基底断裂带, 如高松矿田北界个松断裂带; (2) 壳型热启断裂带, 如高松矿田南界背阴山-炸药库断裂带; (3) 基底型热启断裂带, 如北西西向麒麟山-马吃水-高阿断裂和北东向芦塘坝断裂带, (4) 帚状分布的大箐东、大箐南山及驼峰山和石灰窑等热启断裂带, 其形成与热孤峰式岩浆侵位方式有关。

构造岩相学研究认为: (1) 背阴山断裂带 1800m 标高附近, 分布隐伏黑云母花岗岩突起群和凹槽带, 芦塘坝、坳头山断裂与背阴山断裂交汇处发育背阴山突起群, 沿背阴山壳型热启断裂侵入, 发育花岗岩接触带型和层间氧化矿型锡铜多金属矿, 突起群西侧炸药库、驼峰山断裂深部具有找矿前景。(2) 1700m 标高附近, 分布有高峰山隐伏花岗岩突起和凹槽带, 向北延伸形成花岗岩岩舌, 在岩舌项底部及舌根部位, 分布有形态复杂的锡铜多金属矿体, 受花岗岩突起形态及底拱热启旋扭断褶带控制, 矿体呈似层状、透镜状及层脉相交状产出, 为高峰山矿段控矿构造特征。(3) 驼峰山钻孔揭露隐伏花岗岩埋深为 1180-1300m, 大地电磁测深、构造岩相学编录和波普测量成果显示, 物探 I-2、I-3 异常与热孤峰式岩浆侵位形成的层间热储构造相对应, 为驼峰山矿段深部隐伏层间氧化矿的有利靶位。

• 专题 4: 盆地与沉积 •

不同生物降解程度原油在热演化过程中 化学组成及生物标志物的变化

廖玉宏^{1,2}, 刘卫民^{1,2}, 姜春庆³, 潘银华⁴,
黄越义^{1,2}, 王晓锋⁵, 王云鹏^{1,2}, 彭平安^{1,2}

1. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640;

2. 中国科学院大学, 北京市 100049;

3. 加拿大地质调查局, 卡尔加里;

4. 广西师范大学, 桂林 541004;

5. 西北大学, 西安 710069

叠合盆地油气藏经历了复杂的次生蚀变作用的改造, 比如先生物降解后热蚀变在塔里木台盆区下古生界油藏中较为常见。本研究通过在黄金管封闭体系热模拟实验体系中人工熟化同源但生物降解程度不同的一系列原油, 模拟了不同程度的生物降解和热成熟作用相叠加的过程, 分析了对生物标志物影响; 探讨了可用于叠合盆地油源对比和热成熟度评价的生标参数及其适用范围, 为叠合盆地油藏演化过程的恢复提供一些思路和方法。

图 1 展示了生物降解程度不同的初始原油及其热解产物 ($\text{Easy}\%R_o = 0.66-1.41$) 饱和烃组分的总离子流图 (TIC)。正构烷烃是未降解原油 L0 饱和烃组分中含量最高的化合物, 正构烷烃在轻度生物降解原油 L2 中的碳数分布范围缩小, 含量也明显减少, 并在中度和严重降解的 L5 和 L8 中几乎被消耗殆尽。同时, L2、L5 和 L8 中都出现了“UCM”大鼓包。

此后如果油藏经历了热蚀变, 丰富的重组分裂解仍能够生成大量的正构烷烃。在重度降解的 L8 的热解油中, 出现了正构烷烃与 25-降藿烷共存的现象。因此, 不能将正构烷烃的消失与否作为判断叠合盆地油藏是否发生过生物降解的标志, 同时正构烷烃与 25-降藿烷共存未必就一定就是混源或多期充注造成的, 还需要结合盆地的埋藏史来判断。

常用的热成熟度指标也会受到早期生物降解的影响。其中, 生物降解作用对基于异构体的热成熟度指标的影响可以分为两类: 一类包括升藿烷异构化指数和甲基菲指数等, 会因为生物降解的选择性而呈现“欠平衡”特征, 它们会在后续的热演化过程中通过异构化反应逐渐趋同于正常原油; 另一类包括甾烷异构化参数, 会因为生物降解作用的选择性而呈现“过平衡”特征, 它们可能会在热演化过程中键合态生物标志化合物释放的影响下逐渐趋同于正常原油。而基

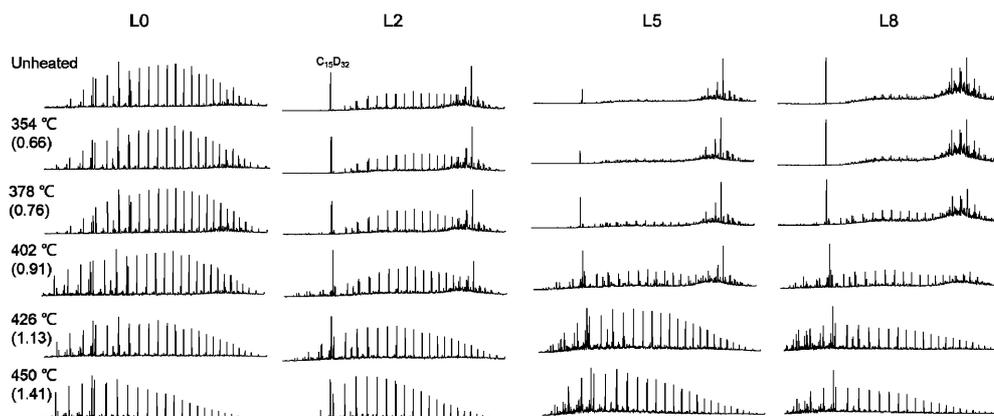


图 1 遭受了不同程度生物降解 (PM 0-8 级) 和热蚀变 ($\text{Easy}\%R_o = 0.66-1.41$) 原油的总离子流图, 括号内为 $\text{Easy}\%R_o$ 值。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41672128)

第一作者简介: 廖玉宏 (1977-), 研究员, 研究方向: 有机地球化学研究. E-mail: liaoyh@gig.ac.cn

于取代基大小的热成熟度指标, 包括(孕甾烷+升孕甾烷)/C27-29 甾烷和短链三芳甾/长链三芳甾等, 会在中度-严重生物降解阶段发生改变失效, 并且不会在后续的热演化过程中趋近正常原油。

目前还没有成熟的方法能够对埋深加大后发生了明显热蚀变的油藏的早期生物降解程度进行预测。

笔者认为需要同时综合多个生物标志化合物参数, 或者结合其他地球化学分析手段, 以发现不同生物标志化合物参数的“矛盾”之处。比如, 如果结果显示甾烷异构化参数呈现明显的“过平衡”状态而 MPI-R 指数又呈现明显的“欠平衡”状态, 则表明油藏曾经应该发生过度-严重的生物降解。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

中国近海古近纪源渠汇与泥岩沉积耦合关系

李胜利, 李顺利, 付超

中国地质大学(北京) 100083

摘要: 随着深水与页岩油气勘探发展, 源渠汇(S2S)与细粒沉积逐渐成为近年来沉积学界研究的两个热点问题。然而, 常规“源渠汇”研究侧重相对粗粒沉积的分析, 目前仍鲜见对细粒沉积(尤其是泥岩)的影响研究。中国近海盆地古近纪沉积环境既有陆相湖泊、也有海陆过渡环境, 其中烃源岩贮存的母体(泥岩)类型与形成过程显然不同, 与盆地沉积物源-搬运体系密切相关。本文通过分析近海盆地盆外与盆内基底岩性、风化剥蚀速率, 并结合古沉积通道的识别, 明确了中国近海古近纪盆地的古沉积物源特点、沉积搬运通道类型; 结合现代沉积解剖、泥岩沉降实验、

近海盆地海/湖侵特征与沉积格局等研究, 分析了源渠汇体系与泥岩沉积耦合关系。研究表明: 咸水环境水体易分层, 喜盐生物与藻类发育, 水深影响小, 若有絮凝快速沉积则好; 而淡水环境火山供养分, 淡水藻类集中勃发, 半深湖-深湖占比越大越好, 局部咸化有利。湖泊物源搬运沉降联控, 优质烃源沉积条件: 花岗质母岩为主, 多源混合, 源汇高差大(>1000m) 面积大(~120km²), 沉积速率快(~300m/Ma)。海陆过渡与海相物源沉降约束, 中等-好烃源沉积条件: 远源细粒, 海侵作用, 煤系发育。研究对中国近海盆地潜在富生烃凹陷的优选有借鉴意义。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

吐哈盆地侏罗-白垩系碎屑锆石年代学： 对东天山晚中生代构造演化的意义

秦阳^{1,2}, 刘池洋^{1,2*}, 彭恒^{1,2}, 杨丽华^{1,2}

1. 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069;

2. 西北大学含油气盆地研究所, 陕西 西安 710069

碎屑锆石 U-Pb 地质年代学被广泛应用于解析物源的历史, 并且已经成为制约古沉积系统物源的最常用方法之一。同时, 沉积盆地对于记录其周围山系的构造演化至关重要。随着碎屑锆石数据数量的积累, 便利与麻烦结合在一起, 特别是当数据分析之间存在不一致、出现矛盾的时候。在这种情况下, 有必要从整体、综合的角度来审查这些数据。以东天山为例, 东天山的侏罗纪-白垩纪构造演化及其对周边的吐鲁番-哈密盆地的物源转换的影响仍有很大争议。本文对吐鲁番-哈密盆地及其周边的侏罗纪-白垩纪地层的 41 个锆石 U-Pb 测年样品进行了整理, 并结合统计方法和定量表征, 剖析了吐鲁番-哈密盆地的侏罗

纪-白垩纪源-汇系统和东天山造山带的隆升过程。最值得注意的是, 博格达山在晚侏罗世之前具有分段式的差异隆起和剥蚀演化模式, 而在侏罗纪晚期则是快速、大规模隆起。与博格达山相反, 觉罗塔格构造带和中天山的物源在中生代晚期逐渐下降。这种构造演化模式可能是由于不同时间和方向上的, 不同地球动力学机制的叠加。此外, 基于对东天山造山带中生代的碎屑锆石数据集的定量分析, 我们发现蒙特卡洛混合模型用于解析砂岩样品物源常常受限于碎屑锆石种群、源区年龄谱、同时代岩浆作用和沉积地层的回返。精确制约古地理学重建的效果往往因地质、分析和统计的不确定性而变得复杂。

基金项目: 本文受助于国家自然科学基金 (42102128, 42072132, 41972153), 陕西省自然科学基金 (2021JQ-591, 2018JM4001), 中国国土资源调查项目 (DD20189612, 1212010881632)

第一作者简介: 秦阳 (1998-), 硕士研究生, 研究方向: 含油气盆地地质学研究. E-mail: yangQin202021427@163.com

*通信作者简介: 刘池洋 (1953-), 陕西西安人, 教授, 从事盆地动力学与油气勘探教学和科研. Email: lcy@nwu.edu.cn

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

Melut 盆地拗陷期源-汇系统要素特征与耦合关系

陈彬滔^{1*}, 史忠生¹, 赵艳军², 马轮¹, 薛罗¹, 王磊¹, 史江龙¹

1. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 兰州 730020;

2. 中油国际尼罗河公司, 苏丹喀土穆 10687

源-汇系统要素特征与耦合关系分析作为当前沉积学领域的研究热点, 已成为定量预测沉积体及油气储集体规模的重要思路与手段之一(朱红涛等, 2017; 李顺利等, 2017; 刘强虎等, 2017)。Melut 盆地新近系 Jimidi 组沉积时期构成完整的湖盆拗陷期源-汇系统, 基于钻测井资料以及高分辨连片三维地震资料和盆缘区二维地震资料, 刻画了拗陷湖盆的源-汇要素特征, 探讨了源-汇系统耦合关系, 表征了各源-汇要素之间的相关性。结果表明:

(1) Melut 盆地北部拗陷基岩岩石类型为变质岩(千枚岩)和花岗片麻岩, Jimidi 组沉积时期, 西北、东南、西南部共识别出 3 个一级汇水单元, 5 个二级汇水单元, 汇水单元总面积约 740 km²。

(2) Melut 盆地 Jimidi 组沉积时期(拗陷期)发育四种典型搬运通道类型, 分别为 V 型、U 型、W 型下切谷型以及断槽型, 其中以 U 型和 W 型下切谷

为主。

(3) Melut 盆地 Jimidi 组沉积时期发育 3 个源-汇系统, 西北部 Kaka-Ruman 源汇系统为典型的斜坡型源-汇耦合模式, 盆内发育面积约 600 km² 的河流-浅水三角洲沉积体系; 东北部的 Gandool-Wengi 源-汇系统和西南部的 Tean-Ruman West 源-汇系统具有断裂坡折型源-汇系统的特征, 盆内分别发育面积约 400 km² 和 112 km² 的扇三角洲沉积体系。

(4) 源-汇系统要素定量分析结果表明, 湖盆拗陷期盆内沉积物总量与源区汇水面积和地形高差密切相关, 但汇水单元面积是决定沉积体系规模的首要影响因素, 汇水单元面积大, 则易于形成大规模沉积体系。

基于源-汇系统要素耦合关系和定量分析结果, 准确预测了 Ruman 地区 Jimidi 组的物源方向、沉积体系类型、以及有利储集砂体展布, 有效指导了勘探部署并推动了勘探发现。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

碎屑岩沉积体（系）的“物-坡”耦合效应

于兴河

中国地质大学（北京）

摘要：碎屑岩沉积体系的三维展布特征及其成因机制是建立沉积模式与预测其砂体分布的关键，更是沉积学研究的关键性科学问题。绝大多数沉积体系从物源区到汇水区，其地形坡降（高差）呈规律性从陡到缓的转换过程，这一过程（突变与渐变）决定着沉积物的搬运方式与能量变化，致使其流态与沉积过程发生变化，由此形成不同沉积体系或相同沉积体系的不同相带。然而，国内外学者对碎屑岩沉积体系研究的结果，绝大多数认为其平面形态和剖面充填结构均与其沉积的地形坡度、粒度粗细有关密切的联系，但量化的规律至今并无统一而明确的认识。基于此点，本次研究将碎屑沉积物的侵蚀、搬运及沉积过程进行简化，从不同颗粒大小与

地形坡度的相互变化入手，系统分析碎屑物质搬运与沉积的动力过程，进而模拟与揭示不同坡降下的沉积体系砂体三维空间展布的机理，明确提出碎屑岩沉积体的“物-坡”耦合效应：沉积体的平面形态主要受控于地形地貌特征，其本质是坡度的控制；但从不同坡降下碎屑物质的叠加样式而言，则更多是碎屑物质类型与地形坡度的相互耦合结果。这一理论认识解释了碎屑岩沉积体系“陡坡小而多、缓坡大而少，陡坡扇形水道少、缓坡朵叶河弯多，陡坡主砾、缓坡为砂、湾者多泥”自然界的沉积现象。最后基于对不同坡度沉积体粒度、垂向粒序成因、剖面加积样式及平面分布形态的研究，构建了利用“物-坡”效应预测砂体的思路与方法。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

青海湖黑马河三角洲沉积演化及其主控因素

马嫡, 于兴河*, 李顺利, 付超, 孙洪伟, 高明轩

中国地质大学(北京)能源学院 北京 100083

青海湖黑马河三角洲具有下部富砾、上部富泥的特征, 其沉积演化过程复杂。在层序地层学和沉积学理论的指导下, 通过无人机航空摄影、野外露头及浅层探槽实测、剖面精细解剖、粒度分析等方法, 从构造沉降、湖平面升降、物源供给及气候变化 4 个方面入手, 划分了黑马河三角洲层序类型与垂向序列, 重建三角洲沉积演化过程并探讨其主控因素。根据湖平面的变化, 将黑马河三角洲的沉积演化过程划分为三个阶段, 分别为低位体系域阶段、湖侵体系域阶段和强制性湖退体系域阶段。在低位体系域阶段为扇三角洲富砾沉积, 气候干冷为主, 地形坡度大, 物源供给充足, 结构和成分成熟度较低; 湖侵体系域阶段为富

砂泥沉积的转化阶段, 气候较为波动偏冷湿, 地形坡度中等, 物源供给较充足, 结构和成分成熟度中等; 强制性湖退体系域阶段为富泥沉积三角洲, 气候暖湿, 植被发育, 地形坡度小, 物源供给不足, 结构和成分成熟度较高。研究表明该三角洲沉积转换的主控因素为断层活动与相对湖平面的变化。早期构造活动使南山隆起, 剥蚀作用强, 湖平面位置较低, 形成富砾的粗碎屑沉积; 中期南山边界断裂强烈活动导致湖盆下降湖面上升, 发生大范围湖侵; 晚期宗务隆山-青海南山断裂带的持续活动, 使南山不断隆起湖泊不断下沉, 造成湖面的快速后退, 在盆地和南山之间形成多级阶地。

基金项目: 国家“十三五”科技重大专项(2017ZX05001-002-004)

第一作者简介: 马嫡(1987-), 博士研究生, 研究方向: 沉积学研究. E-mail: madi87@163.com

*通信作者简介: 于兴河(1958-), 教授, 博士生导师, 主要研究方向为沉积学、储层表征建模及油气地质. E-mail: billyu@cugb.edu.cn

• 专题 4: 盆地与沉积 •

川西南地区埃迪卡拉系陡山沱组元素地球化学特征及有机质富集因素

戴博凯^{1,2,*}, 马行陟¹, 罗忠¹, 吴楠², 鲁雪松¹, 刘强¹

1. 中国石油勘探开发研究院;

2. 长江大学

在埃迪卡拉时期介于 Marinioan 冰期 (635-660Ma) 和 Gaskiers 冰期之间 (582-585Ma) 存在一段间冰期, 该时期是有机质生成和保存的有利时期, 该时期的研究对于全球含油气系统具有重要意义。在上扬子地区, 由于古老地层的深埋和有限的钻井资料, 对新远古界烃源岩的研究仍存在空白。借助盆地周缘古老地层的露头来展开烃源岩的分析于评价是一种可行的选择, 本次研究选取了位于四川盆地西南部峨边先锋剖面。对于出露的陡山沱组地层进行了详细的岩石学和地球化学研究。结果显示, 基于地球化学变化的特征将研究区陡山沱组划分为四个单元 (Unit1 - Unit4)。氧化还原指标 (V-EF, U-EF, Mo-EF) 指示沉积期水体环境总体上由亚氧-还原-亚氧的一个转变, 并且在 Unit2-3 沉积期进行了多次交替 (还原-亚氧)。衡量古气候变化和评估母源风化程度的指标的化学变化指数 (CIA) 指示在 Unit2 泥页岩段沉积时期, 气候由寒冷干燥向温暖潮湿转变, 使得化学风化作用增强, 最终导致进入水体的蒙脱石含量增加, 在一定程度上促进了有机质的沉降。古生产力指标 Ba-bio 显示了 Unit2 泥页岩具有中-高古生产力, 为有机质的富

集提供了有利条件。综合各因素得出, 四川盆地陡山沱组有机质富集受到沉积环境和保存条件影响。冰川消融后海平面的上升和全球气候向温暖潮湿转变。化学风化增强导致陆源输入增加, 产生的蒙脱石使得有机质富集效率的提升。水体加深导致上升流带来的元素补给和缺氧的保存环境。良好的 TOC 含量使得陡山沱组泥页岩段成为极具潜力的潜在烃源岩, 可能为四川盆地前寒武含油气系统勘探提供参考。

表 1 四川盆地峨边先锋剖面陡山沱部分微量元素 (%) 含量

	Mo	U	Ni	Cu	Zn
XF-1	0.176	0.376	15.4	2.43	76
XF-2	0.189	0.736	15.1	2.55	84.6
XF-3	0.175	0.5	15.5	2.09	65.2
XF-4	0.179	0.561	16.3	2.52	72.6
XF-5	0.141	0.466	16.3	1.96	69.6
XF-6	0.169	0.539	16.2	2.27	79.8
XF-7	3.8	0.748	16.4	4.5	39.4
XF-8	29.3	7.51	19.2	41.3	37.2

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

利用多元统计方法建立基于金刚烷的 原油母质类型及成熟度判识模型

李芸, 蒋文敏, 熊永强*

中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室

金刚烷类化合物因其较强的抗生物降解和抗热降解的能力, 在油气地化领域应用广泛。尽管各类指示原油来源和成熟度的金刚烷指标被提出, 例如金刚烷绝对浓度、浓度比值和异构化比值等 (Fang et al., 2012, 2013), 但其应用并不如预期的普遍和有效。原因可能是: 1) 金刚烷指标与热成熟度之间缺乏统一的对应标准; 2) 关于来源对金刚烷类化合物组成和分布的影响的认识有限; 3) 多种因素的叠加使得金刚烷数据解释变得复杂。

天然样品中金刚烷化合物种类多、单个化合物浓度变化大、影响因素复杂 (如来源、热演化程度和次生蚀变)。如何充分利用原油金刚烷数据, 评估不同因素对这些数据的影响至今仍是一个挑战。多元统计分析是一种强大的数据处理方法, 已被用于多个领域 (Kujawinski et al., 2009; Banaset al., 2010; Hur et al., 2010)。主成分分析 (principal component analysis, PCA) 是最常见的多元统计分析方法之一, 它可以降低分析对象的维度、同时保留大部分原始信息, 通常用于研究变量之间的相关性。判别分析 (discriminant analysis, DA) 用于从已知的对象组中建立分配规则, 根据此规则对具有相同变量的研究对象进行分组。回归分析 (regression analysis, RA) 通过确定数据集中因变量和自变量之间的相关性建立回归方程, 利用回归方程可以根据新的自变量对因变量进行定量预测。

本研究综合不同统计方法的特点, 对原油中金刚烷数据进行分析, 尝试建立基于金刚烷的原油母质类型和成熟度判识模型。

本次用于统计分析建模的金刚烷数据主要来自针对三种不同类型干酪根和一种原油进行的热模拟实验, 关注的主要影响因素暂时只考虑了母质类型和热成熟度。PCA 结果表明: PC1 反映原油成熟度, PC2 反映原油母质类型。将 PCA 和 DA 结合, 建立了金刚烷参数与油源类型的关系模型。利用该模型对我国部分含油气盆地原油母质类型的判识结果表明: 准噶尔盆地中部、塔中隆起、库车坳陷和白云凹陷的原油分别来自 I-II 型、I 型、II-III 型和 II 型干酪根。将 PCA 和 RA 结合, 建立了金刚烷参数与热成熟度之间的定量关系模型。利用该模型对准噶尔、塔里木等实际含油气盆地原油成熟度的评价结果表明: 准噶尔盆地中部原油成熟度最低 (EasyRo = 0.8% ~ 1.2%), 对应生油窗阶段; 塔里木盆地塔中隆起原油成熟度介于 1.8% ~ 2.1% EasyRo 之间, 对应生油窗晚期; 珠江口盆地白云凹陷原油 (EasyRo = 1.4% ~ 1.9%) 成熟度介于上述两组之间; 塔里木盆地库车坳陷原油成熟度有分异, 这可能与库车坳陷多期次排烃事件有关。基于以上两类判识模型取得的认识与前人基于其它地化指标的研究结论一致, 初步证实了这两类模型的应用前景和有效性。

第一作者简介: 李芸 (1984-), 副研究员, 研究方向: 油气地球化学. E-mail: liyun@gig.ac.cn

*通信作者简介: 熊永强 (1967-), 研究员, 研究方向: 油气地球化学. E-mail: xiongyq@gig.ac.cn

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

广西荔浦市土壤 ——农作物中重金属迁移转化及生态效应

蒋羽雄¹, 文美兰¹, 罗桥花², 邱尚文¹, 刘攀峰¹

1. 桂林理工大学地球科学学院, 桂林 541004;

2. 广西壮族自治区三一〇核地质大队, 桂林 541004

广西荔浦市四面环山, 中部是起伏的低中丘台地, 另有石山峰林, 将市境切割成数块小盆地, 荔浦锰矿是研究区内最大的锰矿矿床, 分布于双江镇南部与马岭镇南部交界一带, 处于马岭构造盆地轴部附近, 属堆积锰矿床。锰矿由上二叠统孤峰组含锰硅质岩风化后堆积型形成, 其矿化影响范围的重金属元素含量普遍较高, 多种重金属元素不同程度地超标, 影响着研究区内农产品的安全。荔浦市是一个农业大市, 长期致力于打造现代特色农业, 当地特色农产品荔浦芋、荔浦马蹄、荔浦砂糖橘先后入选全国名特优新产品目录并获得国家地理标志认证。本区已有的土地调查工作对本区土壤重金属的生态效应及农产品安全性了解很少, 难以满足当前农业经济发展需求。本文基于荔浦市土地质量地球化学评价工作, 为了解土壤和农作物中重金属含量及其分布特征, 采集了荔浦市土壤及水稻、荔浦芋、柑橘、马蹄等主要农作物样品, 土壤样品测定了 pH 值和 As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb、Cu、Zn 全量及其形态含量, 农作物样品测定了 As、Cd、Cr、Hg、Pb 含量, 计算了重金属

元素的生物富集系数(BCF)和活性因子指数(MFI), 探讨了土壤—农作物系统中重金属元素迁移转化和生态效应, 旨在为研究区农作物种植结构调整、发展特色农业、生产安全健康农产品提供参考。结果表明: (1) 区内表层土壤 As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb、Cu、Zn 平均含量均高于全国土壤背景值。(2) 不同农作物中重金属含量不同, 水稻中重金属含量最高。水稻根、茎、籽实中重金属含量不同, 其中籽实 As 含量为 0.183mg/kg, 根 As 含量达 62.29mg/kg。30 件水稻籽实样品有 5 件 Cd 超标, 3 件 As 超标, 18 件荔浦芋样品中有 9 件 Cd 超标, 其余农作物中未见重金属超标。(3) 重金属元素的生物富集系数在水稻中普遍偏高, 水稻根部生物富集系数最大, 籽实最小。重金属在土壤-水稻系统的迁移能力显著强于荔浦芋、柑橘和马蹄。(4) 研究区 Cd 的可交换态占全量比高于 As、Cd、Hg、Pb, 应重点关注 Cd 的生态风险情况, 对于 Cd 等重金属有生态风险的区域应重新进行规划, 调整土地利用类型, 调整农作物种植结构, 改种柑橘、马蹄等不易吸收重金属的农作物。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

桂林市临桂区土壤硒含量分布特征及影响因素

张健, 文美兰

桂林理工大学地球科学院地, 桂林 541000

本文依托广西临桂县土地质量地球化学评价项目, 以临桂县为研究区, 表层土壤中硒为研究对象, 共采集表层样品土壤样品 4389 件, 系统地分析了研究区表层土壤中硒的分布特征和地球化学特征及其与成土母质、土壤类型、土地利用类型、有机质、土壤 pH 值的关系, 以及土壤硒的受控因素及物质来源。结果表明, 研究区表层土壤硒平均含量为 0.38mg/kg, 硒含量平均值高于全国土壤表层平均值 0.29mg/kg, 是其 1.31 倍, 但低于广西表层土壤背景值 0.702mg/kg。总体来说, 研究区土壤硒含量相对丰富, 具有广泛的富硒土地, 足硒和富硒土壤面积分别占总面积 52.33%和 42.94%, 硒不

足、潜在硒不足及硒中毒分布极小, 仅零星散落分布。可以看出本区具有良好的富硒土地资源, 有一定的开发富硒资源的潜力。研究区土壤硒含量主要受控于成土母质, 其主要物质来源为石炭系灰岩夹碎屑岩, 且石炭系与第四系物质来源最为复杂, 其硒元素含量相对较高, 该类成土母质的硒元素经过多次叠加富集。土壤类型、土地利用类型是影响硒含量的主要控制因素, 对土壤硒的迁移富集也具有一定的影响。林地土地利用方式受到外界因素的干扰较小, 更有利于富集硒元素。有机质含量高可促进硒元素富集, 而 pH 值的高低对硒元素含量变化具有重要的控制。

• 专题 4: 盆地与沉积 •

烃类流体参与下 MVT 型铅锌成矿模拟实验研究

李荣西¹, 李斯文², 关贵元¹

1. 长安大学地球科学与资源学院;
2. 长安大学水利与环境学院

铅锌矿床成因类型多样,包括 MVT 型、Sedex 型、VMS 型、斑岩型和矽卡岩型等,其中 MVT 型(Mississippi Valley Type)铅锌矿床数量和储量分别占大型和超大型铅锌矿床数量和储量 24%和 23%(戴自希, 2005)。大量研究表明,MVT 铅锌矿床主要发育在前陆盆地,与油气田烃类流体关系密切。MVT 型铅锌矿成矿流体具高盐度(10-25%NaCleq)油田卤水地球化学特征,还原硫(H_2S, HS^- 或 S^{2-})是必须具备条件之一,成矿温度与油气形成温度一致(60-200 $^{\circ}C$),普遍有固体沥青、油气包裹体等烃类流体。人们建立的 MVT 型铅锌矿多个成矿模式,大都是基于前陆盆地构造演化背景下含矿流体汇聚、烃类流体直接参与成矿、或通过提供还原剂还原硫酸盐成矿而建立的(Sverjensky, 1986; Anderson, 2015)。本文以此为依据建立铅锌矿烃类流体地质模型,通过地球化学实验模拟烃类流体携带 Pb/Zn 元素与 H_2S 还原反应成矿过程,揭示烃类流体在成矿中的角色与作用。

模拟实验选用国际油标(锌含量为 1000 ppm 的原油),以浓盐酸(HCl)和硫化钠(Na_2S)为原料制备 H_2S 还原气体进行地球化学反应。实验时以外

压鼓入手段将反应生成的 H_2S 气体引入至上层为油标,下层为质量浓度为 15%的卤水混合溶液中,在一定温度和压力下静置 48 h,使烃类流体与金属离子在还原条件下充分反应。实验结束后,通过过滤洗涤实验沉淀产物,并将其放入烘箱内在 80 $^{\circ}C$ 烘干 10-12h,即得到反应最终产物。

依据化学反应物质平衡原理,通过消耗的初始国际油标中 Pb/Zn 量定量计算出反应产物的闪锌矿量,从而确定出烃类流体对 Pb/Zn 成矿的贡献。本研究通过改变实验反应温度和卤水类型,研究温度和流体性质对成矿作用的影响。实验结果如图 1 和图 2 所示,其中图 1 为不同温度条件下反应产物 XRD 谱图,图 2 为不同卤水类型条件下反应产物 XRD 谱图,可以看出,随着温度的改变,在实验温度低于 80 $^{\circ}C$ 时,几乎没有闪锌矿形成,但是温度一旦达到 80 $^{\circ}C$,闪锌矿大量形成并急剧增多,对应的特征峰强度不断增加。分别选择 NaCl, $CaCl_2$ 以及 NaCl+ $CaCl_2$ 混合物作为不同卤水类型,结果表明在盐度一定时 NaCl+ $CaCl_2$ 混合液卤水条件下可大量成矿。实验表明 80 $^{\circ}C$ 是 MVT 型形成的最低温度,混合卤水有利于成矿。

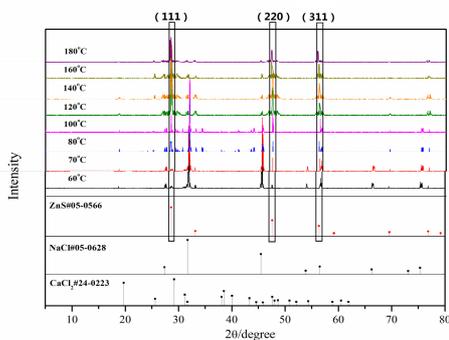


图 1 不同反应温度下反应产物的 XRD 谱图

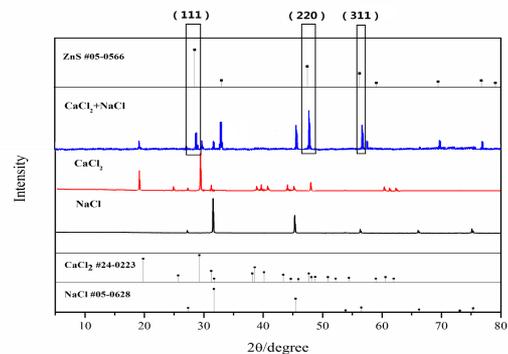


图 2 不同卤水下反应产物的 XRD 谱图

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

陕西府谷地区中二叠统盒 8 段砂岩中自生黏土矿物特征及其对储层的影响

管晋红, 胡作维, 李云, 史格, 詹旗胜, 李韶昱, 郭涛

成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059

摘要: 黏土矿物是沉积成岩过程中的重要产物, 其组合类型、产状在储层储集能力评估及油气藏“甜点”预测等方面具有重要意义。前人对苏东地区盒 8 段黏土矿物的研究都是基于钻井岩心、测井等井下资料, 没有相应露头与之对应, 由于府谷天生桥剖面与盒 8 段物源相似, 古地理格局也相同, 所以选择该剖面作为研究重点。本文通过铸体薄片鉴定、扫描电镜观察、粒度分析、黏土矿物 X 射线分析等资料对鄂尔多斯盆地东北缘府谷天生桥剖面盒 8 段黏土矿物特征及沉淀机制进行研究, 探讨其对储层的影响。府谷天生桥剖面盒 8 段为含较多蚀变凝灰质的长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩, 黏土矿物的主要类型为自生高岭石和自生绿泥石, 其中自生高岭石含量最高, 平均含量约为 55%, 其次为绿泥石, 伊利石, 伊蒙混层; 高岭石和伊利石含量从盒 8_下²亚段到盒 8_上¹亚段逐渐减少, 绿泥石含量逐渐增多。自生高岭石主要是在酸性流体影响下长石和凝灰质蚀变的产物, 分布于孔隙中央, 其表面较

“脏”; 绝大多数的自生绿泥石是以绿泥石包膜的形式产出, 还有部分自生绿泥石是由黑云母和凝灰质蚀变而成, 充填于粒间孔隙中。盒 8 段砂岩成岩作用主要集中在中成岩阶段, 其主要黏土矿物的成岩作用的顺序总结如下: 压实作用→绿泥石包膜的形成→长石等岩屑溶解→方解石胶结→石英次生加大→自生高岭石沉淀。

府谷天生桥剖面盒 8 段黏土矿物对储层的影响具有两面性: 当自生高岭石含量<5%时, 有利于储层的发育, 当自生高岭石含量>5%时, 则会充填孔隙导致面孔率降低; 当自生绿泥石以包膜的形式存在时有利于孔隙的发育, 当自生绿泥石以孔隙充填方式产出时, 则会堵塞孔隙。通过孔隙度的定量计算, 盒 8 段主要的黏土矿物对储层有负面影响, 其中高岭石充填作用导致孔隙度降低 3.72%, 其损失率为 7.79%, 绿泥石充填作用导致孔隙度降低 1.97%, 其损失率值为 4.2%, 高岭石对储层的破坏作用大于绿泥石, 是影响盒 8 段储层的主要黏土矿物。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

青藏高原东北缘新生代沉积环境变化及其意义 ——碳氧同位素和地球化学分析

王晔桐^{1, 2*}, 孙国强², 张顺存², 郭晖², 陈国俊²

1. 中国科学院大学, 北京 100049;

2. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000

青藏高原在晚新生代的隆升被认为是控制亚洲气候的重要因素之一。柴达木盆地位于东部季风区、西部干旱区和高原寒区的交界处, 连续沉积的新生代以来的碎屑沉积物, 详细记录了研究区古气候、古环境演化的信息。本文运用地球化学方法对柴达木盆地整个新生代地层沉积环境进行了系统研究, 以探究青藏高原隆升与古气候演化的耦合关系。通过环境敏感性地球化学指标和参数表征古盐度、古温度和沉积环境演化过程, 恢复和重建柴达木盆地沉积古环境, 建立系统精细的新生代沉积环境演化序列。研究表明, 柴达木盆地北缘新生代路乐河组—油砂山组沉积物的碳氧同位素比值、Rb/Sr、MgO/CaO、Sr/Cu、V/Cr 等地球化学元素对古气候

环境变化非常敏感, 能较好地反映区域气候环境变化的相关信息。柴达木盆地新生代沉积环境演化可分为 4 个阶段: 1、古新世—始新世, 沉积环境早期相对温暖湿润, 晚期逐渐干燥寒冷, 气候主要受全球气候变化的影响; 2、始新世中晚期气候最干燥, 水深最浅, 主要受板块碰撞的远程影响; 3、上新世晚期至中新世早期, 柴达木盆地气候经历了多次干湿交替, 逐渐向暖湿交替转变, 主要受构造事件的影响; 4、早中新世晚期至晚中新世早期, 下油砂山组气候变化频繁, 干湿交替, 整体上比上干柴沟组更湿润; 上油砂山组主要受全球气候变化的影响, 气候趋于干旱, 但同时由于青藏高原的隆升, 柴达木盆地存在局部气候差异。

· 专题 4: 盆地与沉积 ·

元素地球化学在烃源岩生烃潜力评价中的应用及方法探讨

薛罗, 史忠生, 马轮, 陈彬滔, 王磊, 徐飞, 张斌

中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020

烃源岩生烃潜力是烃源岩研究的重要组成部分, 目前针对烃源岩生烃潜力的研究主要是通过实验室有机地球化学分析法来分析。随着元素地球化学的发展, 目前利用某些常量元素、微量元素也可实现对烃源岩生烃潜力的定性分析, 如通过古水深、古盐度、氧化还原环境的解释来分析烃源岩沉积环境, 进而判断烃源岩的生烃潜力。而如何实现元素地球化学定量判别烃源岩生烃潜力是目前研究探讨的热点。

以国内某凹陷为例, 选取凹陷内 5 个洼陷烃源岩层位作为研究对象, 其中 A1 洼陷是已证实的富生烃凹陷, 而其他 4 个洼陷 (A2、A3、A4、A5) 勘探程度低, 烃源岩生烃潜力有待落实。选取 5 个洼陷具有代表性的 W1、W2、W3、W4、W5 五口井为样本, 每口井纵向间隔 30-40m 取泥岩样品, 对选取的样品进行常量元素、微量元素分析。以富生烃 A1 洼陷 W1 井优质烃源岩发育所具备的沉积环境及富营养水系元素组成为标准, 采用多元统计因子分析法, 分析其他 4 口井与 A1 井沉积环境的相似性因子综合得分。根据常量元素、微量元素不同因子的方差贡献率 (C), 得到一个反映待预测及已知烃源岩沉积环境综合得分 Q 计算公式:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n C_n \cdot F_n}{\sum_{i=1}^n C_n + \sum_{i=1}^m C_m \cdot F_m} \bigg/ \frac{\sum_{i=1}^m C_m}{\sum_{i=1}^m C_m}$$

(n 为常量元素因子个数、m 为微量元素因子个数、F 为常量、微量元素每个主因子的综合得分); 同时基于已知 W1 井烃源岩生烃潜力 P_{A1} 及相应烃源岩沉积环境综合得分 Q, 采用类比法, 计算出待预测凹陷生烃潜力:

$$P_{A \text{ 待预测}} = P_{A1} / Q_{A1} * Q_{A \text{ 待预测}}$$

研究表明: 元素地球化学参数可以较好的反映烃源岩沉积环境特征, 不同井沉积环境综合因子得分存在明显差异, 多元统计因子分析法提取常量元素 4 个主因子, 其分别代表自生沉积、粒度、物源、气候等信息; 微量元素提取三个主因子, 分别代表生物生长必须的微量元素、古生产力、古氧相等信息, 其中 W1 井 Q 响应值为 1.42, W2、W3、W4、W5 井 Q 响应值为: 0.95、0.55、0.46、0.32, 值越大, 代表越是有利的烃源岩沉积环境, 进而反应出烃源岩生烃潜力的大小。

利用 W1 井实测生烃潜力值 19.53mg/g 为标准, 结合单井沉积环境 Q 响应值, 计算得到 W2、W3、W4、W5 井烃源岩的生烃潜力分别为: 13.07mg/g、7.56mg/g、6.32mg/g、4.40mg/g, 通过与这 4 口井实测生烃潜力相比, 四者误差范围均在 20%之内, 表明通过利用多元统计分析元素地球化学参数, 来预测烃源岩生烃潜力结果具有良好的效果。具有可行性。

• 专题 4: 陆相盆地与沉积 •

超高密度流主控的湖相扇三角洲沉积：以准噶尔盆地玛湖凹陷三叠系百口泉组夏子街扇为例

袁晓光^{1,2}, 李维锋^{2*}

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 长江大学地球科学学院, 湖北 武汉 430100

近年来,湖相或海相各类异重流沉积引起了国内外沉积学者的广泛关注,但是针对发育在前陆盆地湖相扇三角洲中的砾质异重流还认识不足。

以准噶尔盆地玛湖凹陷三叠系百口泉组夏子街扇为例,通过岩相及其岩相组合、岩相演化特征研究,本文发现:百口泉组夏子街扇内可识别出 3 类砾岩岩相、4 类含砾砂岩岩相、5 类砂岩岩相及 2 类粉砂岩-泥岩岩相类型,其中砾岩可分为块状颗粒支撑砾岩(Gcm)、正粒序颗粒支撑砾岩(Gn)及交错层理颗粒支撑砾岩(Gt) 3 类,含砾砂岩可分为块状含砾砂岩(GSm)、正粒序含砾砂岩(GSn)以及交错层理含砾砂岩(GSt)、平行层理含砾砂岩(GSp) 4 类,砂岩可分为块状砂岩(Sm)、正粒序砂岩(Sn)以及交错层理砂岩(St)、平行层理砂岩(Sp)以及小型爬升砂纹层理砂岩(Sc) 5 类,粉砂岩-泥岩可分为块状粉砂岩-泥岩(Fm)及水平层理粉砂岩-泥岩(Fh) 2 类。识别出 7 类岩相组合,分别为 1、Gcm-Gcm 组合,代表水上或水下超高密度流(Hyperconcentrated flow)成因的重力流水道沉积; 2、Gn-Gn 或 Gn-Sm 或 Gn-Sn 组合,代表水下高密度流(Concentrated flow)或砾质与砂质高密度浊流(Gravelly -sandy high-density turbidity flow)成因的水下重力流水道沉积; 3、Gt-St 或 Gt-St-Sp 组合,代表水下满载沉积物湍流(Sediment-laden turbulent flow)或水下砾质与

砂质低密度浊流(Gravelly-sandy low-density turbidity flow)成因的水下牵引流水道沉积; 4、Sc-Fh 组合,代表水下砂质低密度浊流(sandy low-density turbidity flow, 类比鲍马序列的 Tc-Td 段)成因的堤岸沉积; 5、Sp-Sc-Fh 组合,代表水下低密度浊流(low-density turbidity flow, 类比鲍马序列的 Tb-Td 段)成因的水道前缘朵体; 6、Fm-Fh 代表水上越岸细粒沉积或水下支流间湾细粒沉积; 7、Fh 代表三角洲最前端的细粒悬浮沉降。

夏子街扇三角洲可分为 3 个亚相、9 个微相类型,亚相类型包括扇三角洲平原亚相、扇三角洲前缘亚相和前扇三角洲亚相。其中,扇三角洲平原包含水上超高密度流水道和越岸沉积 2 类微相;扇三角洲前缘包含水下超高密度流水道、水下高密度浊流水道、水下低密度浊流水道、前缘朵体以及堤岸、支流间湾共计 6 类微相;前扇三角洲亚相由前三角洲泥微相组成。纵向上,自底部百口泉组一段到顶部百口泉组三段,该夏子街扇三角洲逐渐向物源方向退却,平原面积逐渐缩小,而前缘面积逐渐增大,反映出潮湿气候条件下,伴随湖平面上升的退积式扇三角洲的典型规律。

本研究丰富和发展了异重流沉积和扇三角洲沉积理论,对于百口泉组的砾岩优质储层预测也具有重要的指导意义。

基金项目: 陆相湖盆大型扇三角洲沉积特征及来自古气候的影响(编号: 41872118)

第一作者简介: 袁晓光(1991-), 博士研究生, 研究方向: 碎屑岩沉积学. E-mail: 1159220669@qq.com

*通信作者简介: 李维锋(1960-), 教授, 研究方向: 沉积学与石油地质. E-mail: liweifeng_1960@126.com

• 专题 4: 盆地与沉积

深海重力流与底流交互作用基础理论创新与勘探重大突破

龚承林^{1*}, 徐长贵²

1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249;

2. 中国海洋石油集团有限公司, 北京 100010

本世纪初, 人们提出“顺坡而下的重力流(浊流)与沿坡流动的底流(等深流)可能时空上交互作用”的假说。这一科学假说是综合大洋钻探计划(IODP) 339 航次核心科学问题, 也是当前深水沉积学理论研究的前缘热点与薄弱环节。

当深海重力流与底流交互作用时, 在水道内形成 K-H 波, 这些 K-H 波的头部发育在陡岸, 以侵蚀作用为主, 而其低速的尾部则出现在水道的缓岸, 以沉积作用为主。从而形成“陡岸侵蚀-缓岸沉积”的差异剥蚀-沉积响应, 驱动水道向陡岸迁移, 形成持续稳定向一个方向有序迁移的深水单向迁移水道。现有深水沉积学理论认为受可容空间驱动, 浊积水道在剖面上左右摆动无序分布。深水单向迁移水道的提出改变了早期对深水水道沉积模式的认识, 为独立于前人提出的“无序迁移的浊积水道沉积模式”之外的第二种新的深水水道沉积模式。

当深海重力流与底流交互作用时, 重力流所携带的沉积颗粒会被底流淘洗、改造, 所形成的规模优质油气储集体(改造浊积砂)总是单向迁移、有序叠置。现有深水沉积学理论认为浊积水道内有利储层往往左右叠置, 无序展布; 与此截然不同是深水单向迁移水道内有利储层在剖面上总是向水道迁移一侧不断迁移、叠加; 在平面上靠近水道迁移一侧呈条带展布。这一有序叠置的底流改造砂分布模式突破了“传统沉积学理论”的束缚, 将深水油气勘探从“单一浊积水道找油”拓展到“浊积+迁移水道找油”, 开拓了深水油气勘探新领域。

在“深海重力流与底流交互作用形成有序叠置的底流改造砂这一新的优质储层形成机制与分布模式”的指导下, 相继在东非莫桑比克陆缘和南海西北陆缘陵水 25 构造区识别了底流改造型优质油气储集体, 实现了深水油气勘探重大突破。

第一作者简介: 龚承林(1983-), 教授, 研究方向: 深水沉积与层序源汇. E-mail: chenglingong@cup.edu.cn

*通信作者简介: 龚承林(1983-), 教授, 研究方向: 深水沉积与层序源汇. E-mail: chenglingong@cup.edu.cn

• 专题 4: 盆地与沉积

渤中凹陷深层砂砾岩成分构成对微裂缝形成的控制作用

王清斌^{1*}, 臧春艳², 万琳¹, 李新琦¹

1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津, 300459;

2. 中海油能源发展有限公司渤海实验中心, 天津, 300452

渤中凹陷西南部深层多口井钻遇巨厚孔店组砂砾岩, 由于整体埋深大, 储层明显致密化, 部分井段压裂后油气当量产能不足 $10\text{m}^3/\text{d}$, 少部分井产能较高, 储层差异演化机制是制约勘探的核心问题。针对储层差异演化机制, 本文开展了薄片, 扫描电镜, 压实与溶蚀模拟等实验。研究表明, 砾石内微裂缝的发育程度是决定储层物性的关键控制因素, 也影响了储层产能。裂缝发育程度主要受到砾石成分构成及杂基含量的影响: 以花岗岩为母岩的低杂基砂砾岩, 钾长石裂缝发育, 溶蚀作用强, 储层物性好; 以花岗岩为母岩的高杂基砂砾岩, 裂缝不发育, 溶蚀作用弱, 测试产低; 混杂了大量碳酸盐岩砾石的砂砾岩, 储层早期胶结作用强, 整体致密, 压裂改造后效果仍较差。

压实应力物理模拟实验表明, 在 3000 米以下, 砾石接触部位出现了的大量裂缝, 与岩心薄片下观察到的裂缝发育特点相似, 证实压实背景下, 杂基含量较低的净砂砾岩压实成缝是研究区裂缝形成的重要机制, 低杂基含量让颗粒直接接触, 形成明显的应力桥效应, 有利于裂缝的形成; 高杂基含量产生大量应力缓冲垫, 消减了应力桥效应, 很难产生压实破碎。在同等压力条件下, 钾长石更容易生破裂缝, 裂缝进一步接受后期流体溶蚀改造, 形成粒内溶蚀扩大缝。斜长石由于易发生高岭土化, 钠黝帘石化等次生改造作用, 改变了矿物的力学性质, 不易产生裂缝。另外, 斜长石书斜式的晶格滑动变形也降低了其裂缝形成能力。

基金项目: 国家“十三五”科技重大专项(2016ZX05024003)

作者简介: 王清斌(1975-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事油气勘探及石油地质研究工作

*通信作者简介: 0000-0003-4900-8700, E-mail: wangqb@cnooc.com.cn.