

文章编号: 1000-0550(2011)05-0986-08

流体包裹体微量元素在油气勘探中的应用^①

——以塔里木盆地塔中地区为例

王祥^{1,2} 吕修祥^{1,2} 张艳萍^{1,2} 白忠凯^{1,2}

(1. 中国石油大学资源与信息学院盆地与油藏研究中心 北京 102249;

2. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249)

摘要 采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测试分析技术,对塔中地区10口井16个志留系沥青砂岩包裹体微量元素进行了分析,探讨了包裹体微量元素分布特征及变化规律,并深入分析了其所指示的地质意义。结果表明,所测得的微量元素丰度差异明显,同一井区内或不同井区之间,各井主要的微量元素分布规律表现出从构造低部位向构造高部位方向,微量元素丰度总体上呈增大的趋势。较低的V/Ni比值和较高的Fe含量指示一种强还原的沉积环境;单个微量元素与微量元素组的变化规律表现出较好的一致性,反映出塔中志留系油气向构造高位置或地层尖灭方向的运移,在平面上从西北向东南方向运移。因此,包裹体微量元素在研究油气运移方向时可以提供有效的依据。

关键词 流体包裹体 微量元素 油气勘探 塔中地区 塔里木盆地

第一作者简介 王祥 男 1980年出生 博士研究生 石油地质 E-mail: wangxiang_1980@163.com

中图分类号 P593 **文献标识码** A

0 引言

在原油及岩石有机质中广泛存在着以金属元素为主的微量元素,它们除直接来源于动、植物体外,更普遍的情况是与生烃有机质或石油围岩的介质条件有关。随着分析测试技术水平的不断提高,对微量元素的研究日渐深入,因而越来越为石油地球化学工作者所重视。国外学者 Hitchon 等曾报道过加拿大 Alberta 原油中的微量元素分布,并对其原油进行过成功地分类^[1],国内对原油和生油岩中微量元素的研究也多见报道^[2~12],主要集中于沉积环境判识、油气演化过程以及油源对比等方面。尽管如此,原油和生油岩中微量元素的研究仍然处在探索之中。

流体包裹体在油藏地球化学研究中有着重要的应用价值,有着许多其他方法无法比拟的优势。包裹体形成后没有外来物质的加入和自身物质的溢出,作为原始的成矿液体来研究,可提供大量地质信息。笔者采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测试分析技术对塔中地区10口井16个志留系沥青砂岩有机包裹体微量元素进行了分析,探讨了包裹体微量元素分布特征及变化规律,并深入分析了其所指示的地质意义,且取得了初步的认识,以期为进一步扩大微量

元素在油气勘探领域的应用前景起到推波助澜的作用。

1 区域地质概况

塔中地区位于塔里木盆地的中央隆起部位,包括塔中低凸起、满加尔凹陷南部和塘古孜巴斯凹陷北部(图1)。经历了塔里木、加里东、海西、印支、燕山、喜马拉雅运动的多期改造,其中最明显的是早奥陶世末的加里东早期、晚奥陶世末的加里东中期、志留纪末期的加里东晚期、泥盆纪末的海西早期等构造运动^[13~16]。由北而南主要的大型断裂有塔中I号断裂带、塔中10号断裂带和中央背冲断裂带。整个断裂体系在平面上向西撒开、向东收敛,总体上具有呈帚状或“鸟足”状的展布特征。主体构造走向为北西、北西西向,并具右旋压扭特征。

结合区域构造背景,通过地震和钻井资料研究表明,塔中地区地层发育比较齐全,除了缺失侏罗系和面积缺失震旦系外,寒武系至第三系均有分布^[17]。许多层系由于受构造运动影响,有不同程度地剥蚀,主要发育3大区域不整合,即Tg5''(中上奥陶统/下奥陶统)、Tg5'(上奥陶统颗粒灰岩顶面)、Tg5(志留系底面反射)(图2)。塔中地区不整合界面上下岩性

^①国家重点基础研究发展规划973项目(编号:2005CB422108)和国家重大专项(编号:2008ZX05004-004)资助。
收稿日期:2010-09-05;收修改稿日期:2011-01-15

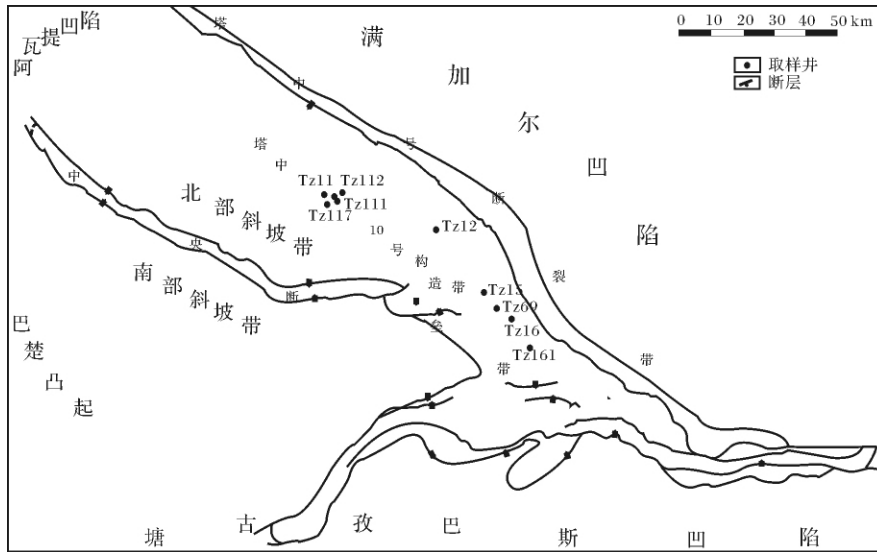


图 1 塔中地区构造位置与样品分布

Fig. 1 Map showing structural location of Tazhong area and distribution of samples

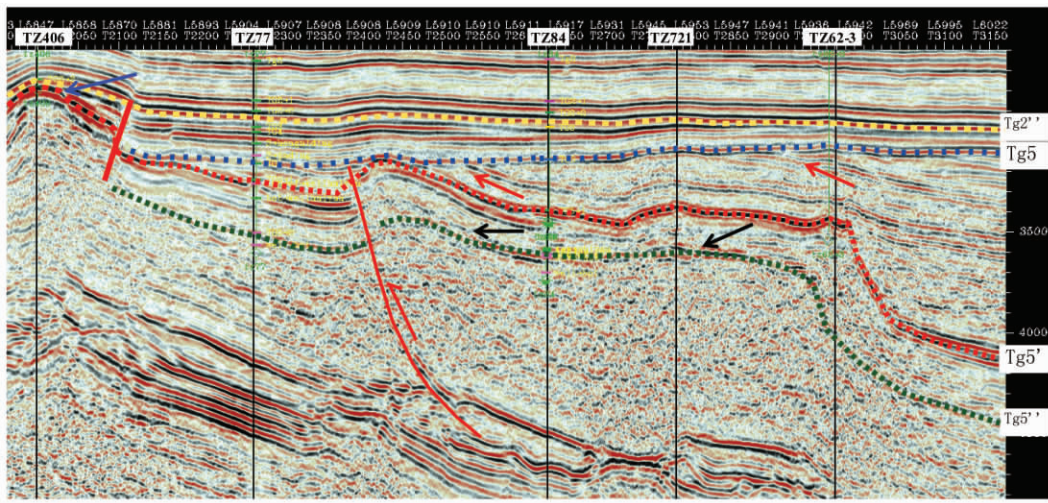


图 2 塔中地区主要不整合特征

Fig. 2 The stratigraphic position of the main unconformities in Tazhong area

接触关系主要有碎屑岩/碎屑岩、碎屑岩/灰岩和碎屑岩/白云岩等几种主要的岩性接触类型。塔中北部地区志留系不整合于桑塔木组泥岩之上,下伏的上奥陶统桑塔木组泥岩段仍有发育;塔中中部地区志留系直接覆于良里塔格组颗粒灰岩段之上;至塔中南部志留系、泥盆系和中上奥陶统也被剥蚀殆尽,石炭系直接覆于下奥陶统上丘里塔格群之上,不整合界面上下地层产状基本相同。这些不整合是构造运动的产物,反映了塔中隆起演化具有多期构造活动的特点。

2 样品与实验

本次研究的样品主要采自塔中地区 10 号构造带志留系地层中具有油气显示的下沥青砂岩段(图 1,表 1),主要测试对象是石英矿物中的有机包裹体。

2.1 样品处理

考虑到岩芯样品大部分经历了碳酸岩化阶段,样品在加酸处理过程中可能会对微区的测定产生影响,故将 16 个样品分别进行了加酸和清水处理。测试的样品粒级为 60~40 目,样重 2.5~5 g,单矿物样品纯

表1 研究区样品概况及微量元素组成

Table 1 Sample description and compositions of partial trace elements of oil-bearing fluid inclusion

井号	井深/m	层位	样品描述	测定对象	微量元素组成			
					V/Ni	Zn/Fe	Fe/Cu	Ca/Fe
塔中16	4128	S	褐灰色油浸细砂岩	石英	0.231	0.0001	2208.1	0.0215
塔中16	4177	S	褐灰色油斑细砂岩	石英	0.132	0.0002	209.9	0.0194
塔中161	4128.5	S	褐灰色油浸细砂岩	石英	0.129	0.0005	282.8	0.036
塔中161	4176.7	S	褐灰色油斑含砾细砂岩	石英	0.044	0.001	318.7	0.085
塔中11	4313.18	S	灰色油迹细砂岩	石英	0.182	0.0003	452.3	0.025
塔中11	4418.8	S	褐灰色油斑含砾细砂岩	石英	0.121	0.001	285.9	0.215
塔中15	4309.5	S	褐灰色油斑细砂岩	石英	0.112	0.001	247.9	0.153
塔中69	4218	S	褐灰色油斑细砂岩	石英	0.068	0.0003	1443.1	0.0242
塔中69	4232.12	S	褐灰色油迹细砂岩	石英	0.066	0.0004	352.7	0.101
塔中117	4299.41	S	黑褐色稠油油斑细砂岩	石英	0.358	0.0008	410.3	0.053
塔中117	4418	S	灰褐色油斑中砂岩	石英	0.077	0.0002	389.9	0.028
塔中111	4358.38	S	浅灰色油迹细砂岩	石英	0.683	0.006	175.8	1.56
塔中111	4472.43	S	灰褐色油斑粉细砂岩	石英	0.066	0.0003	286.4	0.024
塔中122	4345.3	S	沥青质细砂岩	石英	0.049	0.0004	597.5	0.262
塔中12	4388.21	S	灰褐色油斑细砂岩	石英	0.069	0.005	241.7	0.122
塔中112	4511.2	S	褐灰色油迹粉细砂岩	石英	0.139	0.001	296.1	0.027

度 >99%。先用 2:1 的稀盐酸浸泡并低温加热半小时,促进盐酸与碳酸盐矿物的反应,以去除样品裂隙中的次生碳酸盐矿物。然后每天用蒸馏水冲洗 4~5 遍,大约 10 d,以清洗除去吸附在表面的污染物及盐酸。在 80℃ 烘箱中烘干后进行称样。

2.2 仪器与工作条件

ICP-MS 测试的实验仪器为 Finnigan MAT 生产的 ELEMENT 型等离子质谱仪,分辨率 300,RF 功率 1.25 kW。ICP 条件:样品气流速 1.04 L/min,辅助气流速 0.96 L/min,冷却气流速 14.0 L/min,分析室真空 6×10^{-6} Pa,玻璃同心雾化器,带水冷的玻璃雾化室,带膜去溶进样装置。MS 条件:镍锥,孔径 0.8 mm;双聚焦磁质谱系统;分辨率 300~10 000。

2.3 分析流程

清洗干净的样品放入石英管中,260℃ 爆裂 15 min,冷却后加 3 ml、 1×10^{-12} Rh 的 5% HNO₃ 溶液,超声震荡 10 min,进行离心,然后进行等离子质谱(ICP-MS)测定。

3 结果与讨论

3.1 微量元素组成与分布

ICP-MS 分析测试结果表明,在具有油气显示的石英砂岩中共检测出 Ni、Fe、Al、Cu、Ti、Mg、Cr 等 60 多种微量元素,与采用发射光谱法和中子活化分析法所列举的石油灰分元素数量基本一致^[18],各微量元素丰度差异明显,表现为极强的非均一性,其中 Ni、

Fe、Al、Cu、Ti、Mg、Cr 等元素丰度较高,对于同一样品,各元素之间丰度相差倍数小至 1 个数量级以内,大至上百数量级,不同样品之间,同一元素丰度相差一般在一个数量级以内,个别元素丰度相差倍数达 1 个数量级以上,如 Ni 和 Ti 等。在同一个井区内,不同井样品的部分元素丰度分布呈现出很好的规律性,如 Ni、Fe、Al、Cu、Ti、Mg、Cr 等元素,其中 Ni、Cu 和 Ti 元素丰度的分布规律较为一致(图 3a),Cr、Al、Mn 和 Mg 元素丰度分布规律较为相似(图 3b、c、d)。而在不同井区之间各元素丰度之间也存在着一定规律的变化趋势,如图 4 所示,塔中 11 井区各井微量元素变化趋势较为平缓,而从塔中 11 井区至塔中 12 井区的塔中 12 井,变化趋势呈现出明显的“翘起”现象,说明塔中 12 井区的塔中 12 井的微量元素丰度明显高于塔中 11 井区各井,而且个别元素(Mg)的丰度甚至达到了 10^{-2} 级别,与塔中 11 井区相差倍数最大达 4 个数量级。因此,无论是在同一井区内,还是不同井区之间,各井微量元素分布规律都存有一个共同的特点,即从塔中 11 井向构造高部位方向,微量元素丰度总体上呈增大的趋势,在某种程度上,这种变化趋势是否具有某种指示意义呢?

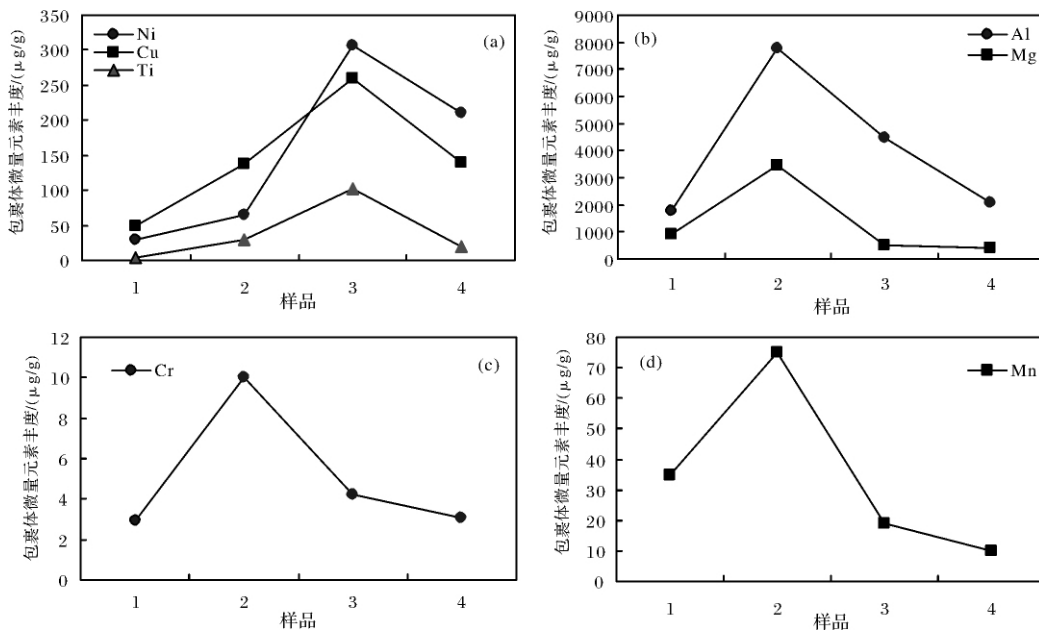
3.2 在油气勘探中的应用

3.2.1 沉积环境的指示意义

原油和生油岩中微量元素含量及分布,常可以用来推测其沉积环境,尤其是一些相关元素比值的研究,如 Fe 含量、V/Ni、Sr/Ba 比值等。V、Ni 同属铁族

元素 在海水中, V 和 Ni 主要被胶体质点或黏土矿物等吸附沉淀, 但 V 易于在氧化环境及酸度较大的条件下被吸附富集, Ni 则在还原环境、碱度较大的条件下更易于富集。因此, 较低的 V/Ni 比值可以用来指示还原性强、碱度高的沉积环境。本次研究分析的 16 件样品中, V/Ni 比值普遍较低, 介于 0.044 ~ 0.683 之间(表 1), 有 15 件样品 V/Ni 比值小于 0.5,

反映其形成于强还原的沉积环境。此外, 样品中 Fe 元素含量较高, Zn/Fe 比值介于 0.001 ~ 0.006, Fe/Cu 比值介于 175.8 ~ 2208.1, Ca/Fe 比值介于 0.0194 ~ 1.56(表 1), 高含量的 Fe 元素很可能与地层岩石中含有大量的黄铁矿有关, 这也正反映了沉积环境的强还原性。方孝林等(1999 年)曾用正负电子对撞机的同步 X 射线荧光分析技术, 系统研究了塔里木盆



1. Tz11 - 4 418.8 m; 2. Tz117 - 4 299.41 m; 3. Tz111 - 4 472.43 m; 4. Tz112 - 4 511.2 m

图 3 塔中 11 井区包裹体微量元素分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of inclusion trace elements in TZ11 well field

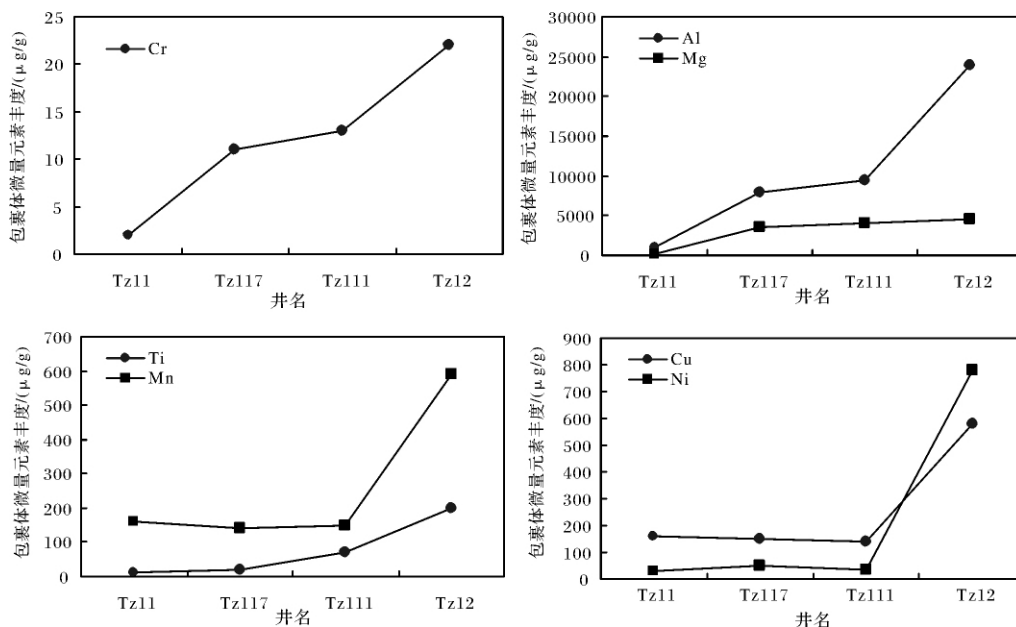


图 4 塔中 10 构造带北斜坡包裹体微量元素分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of inclusion trace elements in the northern slope of TZ10 structural belt

地不同类型原油中微量元素组成和分布,本次研究所测定的微量元素的分布和组成特征基本上具有海相原油 I₂ 的特征。

3.2.2 油气运移

利用微量元素进行油气运移示踪研究一直是国内外学者努力研究的方向。多数学者认为,微量元素的地球化学特征在油气运移方面的应用具有很大前景。鉴于其受多种因素影响,很少有学者真正将这一技术应用到烃类运移规律方面。Wen Baihong 和 Putikov^[19] 已用物理化学实验和数学模拟证实了油气藏中的微量元素可以在油气水界面张力的作用下被吸附在微泡表面,与微泡一同渗漏迁移机制的可行性。研究表明,油气杂环和芳环化合物中广泛存在未配对的电子或未成键电子及各种功能团,常与过渡金属元素杂化形成以配位键结合的金属有机化合物^[20]。油气微渗漏中的微量元素通常以挥发性或具有表面活性的金属有机化合物的形式,存在于油气微泡中和吸附在微泡壁膜上,在浮力作用下在岩石孔隙中作近垂向或侧向迁移^[19]。由于物理化学作用,部分微量元素(特别是微量金属元素)以多种形态被分配到岩石和土壤组分中赋存^[21]。国内学者周景田早在上世纪80年代就曾利用原油中微量元素的含量和某些元素的比值的变化规律对松辽盆地南部原油的运移方向进行了研究,认为原油中微量元素的含量、某些元素比值及元素间相关关系产生差异的原因主要取决于其生油母质及石油运移过程中层析作用的影响^[22]。俄国学

者 К. И. Степанов 等通过对普里库姆斯克—苏霍姆库斯克含油气区 10 个油田的石油灰分进行了半定量光谱分析,认为原油在侧向运移过程中, Ni、Cu、Cr、Al、Mg、Mn 和 Ti 等微量元素的浓度增大^[23]。鉴于微量元素在油气运移过程中所表现出来的规律性特征,作者根据本次研究所分析的包裹体微量元素的分布特征对塔中地区的油气运移规律进行了尝试性的研究。

前已述及,从塔中 11 井向构造高部位方向,微量元素丰度总体上呈增大的趋势,反映出塔中 10 号构造带北斜坡的油气从西北向东南方向运移。由于样品中烃类包裹体多属于含沥青质包裹体,因此,其微量元素的变化趋势基本反映出塔中志留系古油藏中油气的运移方向。此外,塔中 16 井区的单个微量元素 Ni、Cu、Al 和 Ti 的含量变化规律也比较明显,分别从距离塔中 I 号构造带的塔中 69 井和塔中 10 号构造带隆起处的塔中 15 井向志留系地层尖灭线方向的塔中 16、161 井增加(图 5),从而证实了油气向地层尖灭方向的运移。

К. И. Степанов 等人还结合侧向运移中的元素习性的共生性,根据运移距离和微量元素、石油组分和油藏地质参数之间的相关性,建立了 11 个元素组,这 11 个元素组在侧向运移中依次聚集和降低,或者一些元素组在加里宁格勒长垣一些个别油藏中形成聚集的最大值,具体参数如下: Ni + B、V + I、Na + Li + Ca + Mg + Sr + Ba、Ce + La + Pr + Nd、Ti + Zr + Hf + Nb + Y、Fe + Mn + Mo + As + Ge、P + Ci、Si + Sn、S +

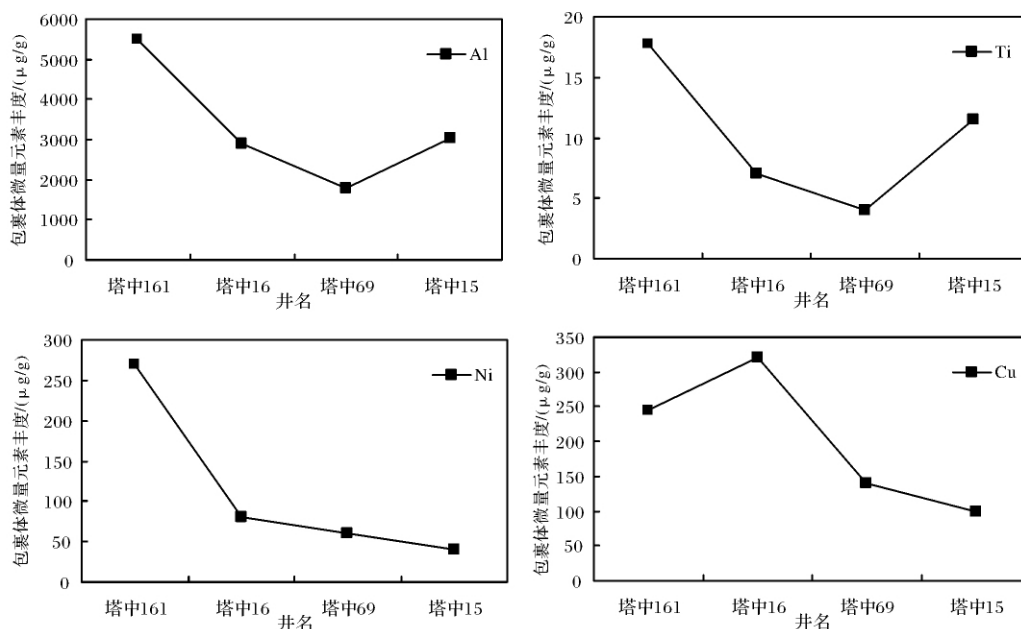


图 5 塔中 16 井区包裹体单个微量元素的变化趋势

Fig. 5 Variation characteristics of single inclusion trace element in Tazhong 16 well field

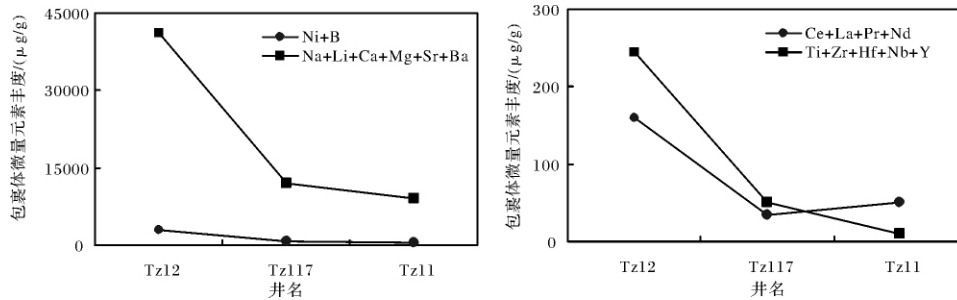


图6 塔中10构造带北斜坡包裹体微量元素组变化趋势

Fig.6 Variation characteristics of inclusion trace elements suite in the northern slope of TZ10 structural belt

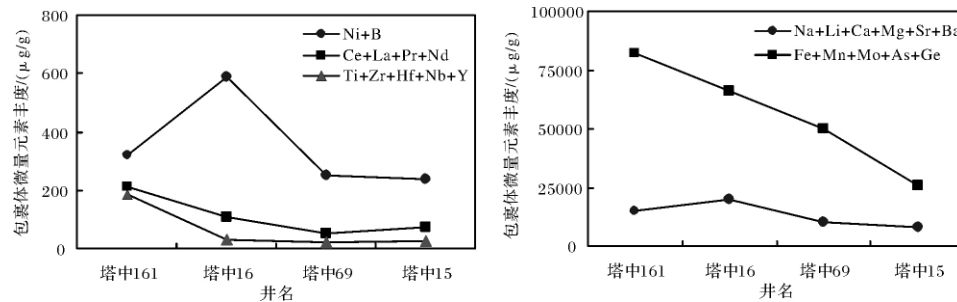


图7 塔中16井区中包裹体微量元素组的变化趋势

Fig.7 Variation characteristics of inclusion trace element suite in Tazhong16 well field

Cr、K + Cd、Ag + Ir 等^[23]。这些规律性认识对于本区借助微量元素手段研究运移方向,提供了有效的参考和指导。由于有些元素在塔中地区并未检测到,故本文根据所检测到的元素主要对以下几个元素组: Ni + B、Na + Li + Ca + Mg + Sr + Ba、Ce + La + Pr + Nd、Ti + Zr + Hf + Nb + Y、Fe + Mn + Mo + As + Ge 进行了分析,结果表明,这些元素组的变化特征与单个微量元素所表现的规律基本一致(图6和图7),进一步佐证了油气向构造高位置或地层尖灭方向的运移。

上述包裹体微量元素和元素组所反映出的规律,与前人对于塔中地区借助干沥青中卟啉类含量所指示的志留系早期(古油藏)油气运移方向基本相同,即塔中地区在志留纪末第一期成藏时,烃类在志留系的运移平面上有从北西向南东方向向志留系尖灭线附近运移的趋势^[24]。因此可以认为,塔中地区早期充注的油藏基本以侧向运移为主,经过长距离的搬运到达塔中地区,受油气运移规律的控制,塔中10号构造带北斜坡的志留系地层仍然是现今塔中地区志留系油气勘探的有利方向。

4 结论

(1) 塔中地区同一井区内或不同井区之间,各井

微量元素分布规律都存有一个共同的特点,即从构造低部位向构造高部位方向,微量元素丰度总体上呈增大的趋势。

(2) V/Ni 比值普遍较低,反映出强还原的沉积环境。Fe 元素含量较高,高含量的 Fe 元素很可能与地层岩石中含有大量的黄铁矿有关,进一步反映出沉积环境的强还原性。

(3) 包裹体单个微量元素与微量元素组的变化规律表现出明显的相似性,反映出塔中志留系油气向构造高位置或地层尖灭方向的运移,在平面上从西北向东南方向运移,与前人的所得结论是一致的。可见,包裹体微量元素在研究油气运移方向时可以提供有效的依据。

参考文献 (References)

- Hitchon B, Filby R H. Use of trace elements for classification of crude oils in families example, Canada [J]. AAPG Bulletin, 1984, 68(7): 838-849
- 丁祖国,柴之芳,马建国,等. 江汉油田原油和生油岩有机抽提物中过渡族微量元素特征及其石油地球化学意义 [J]. 沉积学报, 1992, 10(1): 108-117 [Ding Zuguo, Chai Zhifang, Ma Jianguo, et al. Characteristics and petroleum geochemical significance of trace transition elements in crude oils and organic materials extracted from

- Jianghan oil field [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10(1): 108-117]
- 3 刘小微,程克明. 微量元素在煤成烃研究中的应用[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(5): 40-44 [Liu Xiaowei, Cheng Keming. Application of trace element in the study of petroleum from coals [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1995, 22(5): 40-44]
 - 4 苗耀,桑树勋,林会喜,等. 渤海湾盆地石炭—二叠系微量元素特征及其指相意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(4): 27-32 [Miao Yao, Sang Shuxun, Lin Huixi, et al. Trace element signatures of the Carboniferous-Permian deposits in the Bohai Gulf Basin and their facies significance [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2007, 27(4): 27-32]
 - 5 宗国宪,黄正吉. 莺歌海盆地原油中微量元素分布特征及其地质意义[J]. 海洋石油, 2003, 23(4): 27-29 [Zong Guoxian, Huang Zhengji. Characteristics and significance of trace elements in crude oil of Yinggehai basin [J]. *Offshore Oil*, 2003, 23(4): 27-29]
 - 6 丁志敏. 微量元素在霸县凹陷油源对比中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1987, 8(2): 138-144 [Ding Zhimin. Application of trace element in oil-source correlation in Baxian Sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 1987, 8(2): 138-144]
 - 7 赵孟军,黄第藩,廖志勤,等. 原油中微量元素地球化学特征[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(3): 19-23 [Zhao Mengjun, Huang Difan, Liao Zhiqin, et al. Geochemistry of trace element in crude oils [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1996, 23(3): 19-23]
 - 8 赵增义,赵建华,王海静,等. 准噶尔盆地微量元素的分布特征及其应用[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(2): 30-32 [Zhao Zengyi, Zhao Jianhua, Wang Haijing, et al. Distribution characteristics and applications of trace elements in Junggar basin [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2007, 30(2): 30-32]
 - 9 卢红选,孟自芳,李斌,等. 微量元素对褐煤有机质热解成烃的影响[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 64-66 [Lu Hongxuan, Meng Zifang, Li Bin, et al. Effects of trace elements on pyrogenic hydrocarbon generation of lignite [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2008, 15(2): 64-66]
 - 10 肖芝华,胡国艺,钟宁宁,等. 矿物中的微量元素对有机质产气的影响[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(1): 33-36 [Xiao Zhihua, Hu Guoyi, Zhong Ningning, et al. Effect of microelement in mineral on hydrocarbon generation of organic matter [J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2008, 32(1): 33-36]
 - 11 刘刚,周东升. 微量元素分析在判别沉积环境中的应用——以江汉盆地潜江组为例[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 307-311 [Liu Gang, Zhou Dongsheng. Application of microelements analysis in identifying sedimentary environment: Taking Qianjiang Formation in the Jianhan basin as an example [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29(3): 307-311]
 - 12 金强,田海芹,戴俊生. 微量元素组成在固体沥青—源岩对比中的应用[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 285-290 [Jin Qiang, Tian Haiqin, Dai Junsheng. Application of microelements composition to the correlation of solid bitumen with source rocks [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, 23(3): 285-290]
 - 13 张振生,李明杰,刘社平,等. 塔中低凸起的形成和演化[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 28-30 [Zhang Zhensheng, Li Mingjie, Liu Sheping, et al. Generation and evolution of Tazhong low uplift [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(1): 28-30]
 - 14 解晨,王保才,尚雅珍,等. 塔里木盆地塔中低隆起构造演化对油气藏的控制[J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(2): 4-6 [Xie Chen, Wang Baocai, Shang Yazhen, et al. Control on the oil and gas reservoirs by the structural evolution of Tazhong Low Uplift in Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2003, 22(2): 4-6]
 - 15 吕修祥,胡轩. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集与分布[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 288-294 [Lü Xiuxiang, Hu Xuan. Hydrocarbon accumulation and distribution in Tazhong low uplift of Tarim basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 1997, 18(4): 288-294]
 - 16 吕修祥. 塔里木盆地塔中低凸起志留系油气成藏机理初探[J]. 石油实验地质, 1997, 19(4): 328-331 [Lü Xiuxiang. Preliminary investigation on the formation mechanism of Silurian reservoir in Tazhong low uplift of Tarim basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 1997, 19(4): 328-331]
 - 17 刘克奇,蔡忠贤,张淑贞,等. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩不整合带的结构[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 41-44 [Liu Keqi, Cai Zhongxian, Zhang Shuzhen, et al. Structure of Ordovician carbonate unconformity zone in Tazhong area [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2006, 28(2): 41-44]
 - 18 张厚福,方朝亮,高先志,等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 15-16 [Zhang Houfu, Fang Chaoliang, Gao Xianzhi, et al. *Petroleum Geology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 15-16]
 - [19] Wen Baihong, Putikov O F. Gas bubble facilitated transport of metals in lithosphere [J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 1999, 9(1): 152-157
 - 20 柴之芳,祝汉民. 微量元素化学概论[M]. 北京: 原子能出版社, 1994: 172-177 [Chai Zhifang, Zhu Hanmin. *Introduction of Microelements Chemistry* [M]. Beijing: Nuclear Energy Press, 1994: 172-177]
 - 21 Van Loon J C, Barefoot R R. Overview of analytical methods for elemental speciation [J]. *Analyst*, 1992, (117): 563-570
 - 22 周景田. 松辽盆地南部原油中微量金属元素分布特征并判断油气运移方向[J]. 大庆石油学院学报, 1983, 2(18): 44-53 [Zhou Jingtian. Distribution characteristics of microelements in crude oils and identify migration direction in Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 1983, 2(18): 44-53]
 - 23 К. И. Степанов, С. А. Вешев. Влияние Латеральноймиграции Углеводородовна Изменение Микроэлементноло Состава Нефтей Калининлралсколо Вала [J]. *Геология нефтингаза*, 2000, (1): 44-49]
 - 24 刘洛夫,康永尚. 运用原油吡咯类含氮化合物研究塔里木盆地塔中地区石油的二次运移[J]. 地球化学, 1998, 27(5): 475-482 [Liu Luofu, Kang Yongshang. Investigation on secondary migration of oils in central Tarim, Tarim Basin using pyrrolic nitrogen compounds [J]. *Geochimica*, 1998, 27(5): 475-482]

Application of Inclusion Trace Elements in Oil and Gas Exploration: A case from central Tarim Basin

WANG Xiang^{1 2} LÜ Xiu-xiang^{1 2} ZHANG Yan-ping^{1 2} BAI Zhong-kai^{1 2}

(1. Research Center of Basin and Reservoir, Faculty of Resources and Information, China University of Petroleum, Beijing 102249;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract Trace elements of oil-bearing fluid inclusion in sixteen Silurian oil-containing sandstones from ten wells in Tazhong area were performed by inductively coupled plasma mass spectroscopy(ICP-MS) , the distribution characteristics were analyzed , and their demonstrative geological significance were furthermore discussed. The results show that for the same sample , each trace element abundance is small to one order of magnitude , and large to hundreds orders of magnitude , but for the different samples , the difference times of the same element abundance is ordinarily lower than one order of magnitude , some element(Ni and Ti) may reach up to one order of magnitude or more. In the same well field , the abundance distribution of part trace elements of samples from different wells present preferable regularity , such as Ni , Fe , Al , Cu , Ti , Mg , Cr and so on , and the distribution rules of Ni , Cu and Ti show a certain similarity , whereas the distribution of Cr , Al , Mn and Mg are similar to each other. As a whole , the distribution rule of main trace elements is that the abundance is increasing from downstructure location to structural high. Of all the samples , the ratios of V/Ni is generally low , range from 0.044 to 0.683 , most of samples are less than 0.5 , lower V/Ni ratio and high Fe content represent a strong reductive depositional environment. Variation characteristics of the single trace elements , such as Ni , Cu , Al and Ti , obviously disappear a noticeable rule and indicated that oil migrated from Well Tazhong 69 and Well Tazhong 15 to Well Tazhong 16 and Well Tazhong 161 , namely Silurian hydrocarbons in Tazhong area migrated towards structural high or stratigraphic pinch out direction , from northwest to southeast on the plane , which also reflected by the trace element suite. Therefore , trace elements of oil-bearing fluid inclusion can provide effective evidence for studying oil and gas migratory direction.

Key words oil-bearing fluid inclusion; trace element; oil and gas exploration; Tazhong area; Tarim Basin