

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2018.04.014

塔中奥陶系储层硫化氢成因及主控因素

程汉列¹,王连山¹,高创波²,单永乐²,李勇²,冯毅²

(1. 恒泰艾普集团股份有限公司,北京 100084;

2. 中国石油青海油田分公司涩北作业公司,甘肃 敦煌 736202)

摘要: 塔中奥陶系储层内硫化氢广泛分布,由于其剧毒、易溶于油水中、腐蚀性强,给勘探开发工作带来一定难度。为了弄清奥陶系储层的硫化氢成因及分布规律,在分析现有关储层中 H_2S 来源研究成果的基础上,结合塔中地区奥陶系碳酸盐岩中的矿物组分、 H_2S 及其硫碳同位素分析来探讨其 H_2S 原因。结果表明:三期方解石交代硫酸盐矿物,且硫酸盐未被 TSR 还原;奥陶系内硫化氢硫同位素普遍比寒武系内硫化氢硫同位素低;奥陶系内硫化氢硫同位素和地层水硫酸根硫同位素具有伴生关系,TSR 发生在烃水过渡带;TSR 反应物与硫化氢含量无相关关系,并出现了沥青质碳同位素值的负偏;甲烷碳同位素值与硫化氢含量无相关关系,甲烷并未参与 TSR。奥陶系与寒武系内硫化氢为不同阶段各自的产物;硫化氢生成时期为奥陶系良里塔格组 (O_3l) 和鹰山组 (O_{1-2y}) 内 TSR 发生在晚燕山期-喜山期,寒武系内 TSR 发生在晚海西期和晚燕山期-喜山期。总体上,奥陶系内硫化氢为原地 TSR 成因,受控于走滑断裂注入寒武系高矿化度、富镁地层水和油气,以及沿 I 号断裂运移的贫硫化氢干气稀释作用。

关键词: 塔中地区;奥陶系;碳酸盐岩;硫化氢;硫同位素组成;新疆

中图分类号: TE122 **文献标识码:** A

0 引言

近年来塔里木盆地碳酸盐岩油气勘探取得一系列重大的进展,也遇到了碳酸盐岩油气藏中常见的高含 H_2S 问题^[1]。实际上 1995 年就在塔中地区 TZ12 井碳酸盐岩中检测出 H_2S 气体,由于含量低、含 H_2S 井少,当时并未受到重视^[2]。随着在塔中 I 号坡折带多个井区油气水井中检测出 H_2S 气体,由于其剧毒性,以及对套管具有很强的腐蚀作用,同时地质成因上 H_2S 形成多与油气藏的改造具有直接的关系,因此对 H_2S 的研究越来越受到重视。

塔中地区经历了多次地质构造抬升和风化剥蚀作用,区内地层平面上区带分割明显、剖面上不同井区的地层厚度变化大,现今埋深差异大、油气水分布

复杂,储层孔洞缝分布不均一。区内存在多套烃源岩多期生烃,从下寒武统到上奥陶统均含有油气或沥青,中寒武统分布有膏盐岩;区内具有多期流体流动、油气运移的特征。 H_2S 的分布并不受温度或埋深控制^[3]。 H_2S 既可以随甲烷等天然气一起运移,或以水溶相态流动,或以储集 H_2S 的油气藏本身形成^[4]。由此可见,塔里木盆地 H_2S 成因、分布与国内外报道的实例相比,具有明显的复杂性。

本文将综合分析现有关储层中 H_2S 来源的研究成果,结合塔中地区奥陶系碳酸盐岩中的矿物组分、 H_2S 及其硫碳同位素分析,将现今流体(油、气、水)和古流体(流体包裹体、胶结物、裂缝充填物)作为一个体系来研究硫化物成因,根据硫化氢、地层水和原油地球化学的非均质性,重塑古今流体化学组成的演变。

收稿日期: 2017-10-18; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 国家科技重大专项“塔里木盆地大型碳酸盐岩油气田勘探开发示范工程”(编号:2011ZX05049);国家科技重大专项《大型油气田及煤层气开发》“塔中、库车地区深层-超深层油气成藏过程及有利勘探目标”(编号:2017ZX05008-004-001)联合资助。

作者简介: 程汉列,男,工程师,硕士,地质工程专业,从事油气田开发及油气藏工程研究。E-mail:chenghl0405@sina.com

1 硫化氢成因机理

储层中 H_2S 的来源包括:地幔来源、干酪根热成熟裂解作用、微生物硫酸盐还原作用(BSR)和热化学硫酸盐还原作用(TSR)等方面。地层温度、 H_2S 含量和硫同位素值已经广泛用于 H_2S 的成因研究,并取得了令人信服的结果。储层中的高 H_2S 浓度($>5\%$)一般被认为来自 TSR,即油气与硫酸盐在 120°C 以上油气藏中所发生的氧化-还原作用产生的 H_2S 、 CO_2 等^[5]。例如,美国上侏罗统 Smackover 组,加拿大 Nisku 气田泥盆系,中东 Abudubi 二叠系 Khuff 组气藏,我国四川盆地嘉陵江组和飞仙关组气藏。

在多数情形下,TSR 直接发生在油气层中,由于含水量低,来自硬石膏等矿物溶解产生的 SO_4^{2-} 或 MgSO_4 非常有限,全部被还原^[6];TSR 的产物 H_2S 大多与硫酸盐母质硫同位素组成相近^[7]。如果 TSR 发生在气-水、油-水过渡带中,往往只有部分 SO_4^{2-} 被还原,于是,产生了硫同位素分馏效应,导致 H_2S 硫同位素值比硫酸盐母质低,而残余的或未反应的 SO_4^{2-} 则具有比先质硫同位素值高的特征。

相反,有机质热裂解成因和 BSR 成因的 H_2S 含量大都 $<3\%$,并具有比有机质或硫酸盐母质硫同位素组成轻的特征。

(1) H_2S 运移来源推断

以往的研究认为塔中奥陶系油气藏在喜山期受到了来自寒武系高成熟干气的充注作用,高成熟的天然气以很高的干燥系数和甲烷碳同位素值为特征。因此,若 H_2S 确实是与干气一起来自寒武系,与干气的混合,将导致油气藏气油比增高的同时,也会伴随着 H_2S 含量增高、干燥系数增高及甲烷同位素值正偏移^[8]。实际上,鹰山组(O_{1-2}y)储层中 H_2S 含量 $>5\%$ 的 12 口井,其中有 3 口井为水井,所测 H_2S 值比实际要高;除了其中 1 口井靠近走滑断层受到一定的气侵影响外,其它井没有或很少受到后期的气侵(见下文甲烷的同位素值)。因此,可推断干气与 H_2S 不是伴生的。

ZG5 和 ZG501 井储层埋深相近, H_2S 含量的差异不可能由温度变化造成,同时两口井紧邻,储层沉积相(或膏盐分布)基本一致,因此沉积相也非 H_2S 差异的原因。由此可推断出:① H_2S 来自鹰山组内硫酸盐与油气之间的热化学硫酸盐还原作用,液态

的长链烷烃比气态的短链烃更易发生 TSR,低干燥系数天然气气顶的油藏热化学硫酸盐还原作用更强, H_2S 浓度更高。同样分子结构的液态烃比气态烃更容易被硫酸盐还原,前者反应活性更强,反应需要更低的 Gibbs 自由能。最典型的例子是,北美 Mobile 湾侏罗系 Norphlet 组气藏显示乙烷被氧化,而甲烷明显地没有参与反应^[9-11]。② ZG5 井凝析气藏在被改造前是古油藏,后期因为气侵导致了气油比值增高, H_2S 含量降低。从 ZG5 井凝析气藏流体仍含有较多的重烃上分析,进一步认为是气洗导致了 H_2S 浓度降低。

(2) H_2S 原地成因依据

1) 方解石交代硫酸盐矿物

对奥陶系方解石胶结物和裂缝充填物进行普通薄片、阴极发光和流体包裹体温度、盐度测试,结果表明:良里塔格组(O_3l)和鹰山组(O_{1-2}y)灰岩和白云岩中方解石胶结物和裂缝充填物形成于三个时期,其中第三期方解石被观察到交代了硫酸盐矿物。在 TZ3 井 3 907.7 m 处,交代天青石的方解石(图 1A、B)所测得的均一温度范围为 $93\sim 165^\circ\text{C}$ ($n=27$),盐度 $w(\text{NaCl}, \text{eq})=15.8\%\sim 18.9\%$ ($n=6$)和 $1.4\%\sim 9.21\%$ ($n=4$)。在 ZG51 井 5 003.4 m 处被交代的方解石(图 2A、B、C、D)所测的均一温度范围为 $107\sim 151^\circ\text{C}$,盐度范围为 $w(\text{NaCl}, \text{eq})=4.8\%\sim 16.2\%$ 。该处的天青石是未被 TSR 还原的硫酸盐,与 Sr^{2+} 共沉淀的产物,硫同位素值达到了 46.1×10^{-3} (VCDT)。方解石交代重晶石晶体在电子探针背散射电子图像显示,嵌晶方解石中可见重晶石残余。成分分析表明:边缘 $w(\text{CaO})/w(\text{BaO})=11.75$,Ca 含量高;中心 $w(\text{CaO})/w(\text{BaO})=0.16$,Ca 含量低。显示了三期方解石交代重晶石,交代作用从边缘向中心进行。重晶石硫同位素值 $\delta(^{34}\text{S})=45.3\times 10^{-3}\sim 46.57\times 10^{-3}$ (VCDT),为 TSR 作用残余硫

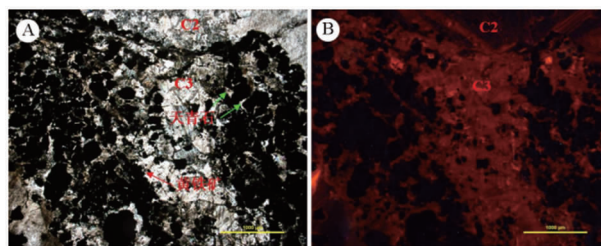


图1 TZ3 井, 3 907.7 m, O_{1-2}y

Fig. 1 Ordovician rock of O_{1-2}y encountered at 3 907.7 m in drill hole TZ3

A. 方解石和黄铁矿交代天青石; B. 对应 A 的阴极发光照片

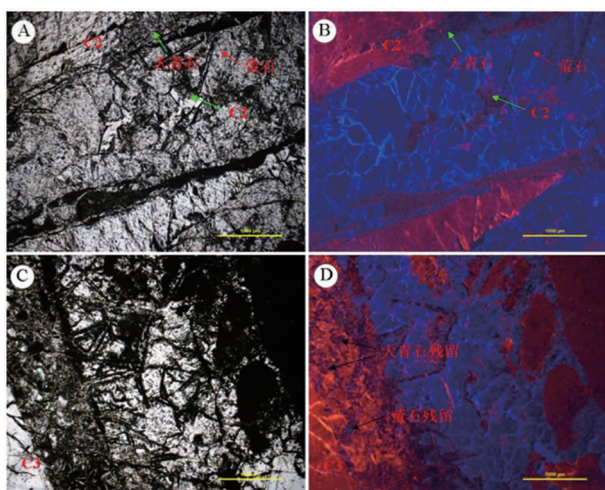


图 2 ZG51 井, 5 003.4 m, O_3l

Fig. 2 Ordovician rock of O_3l encountered at 5 003.4 m in drill hole ZG51

- A. 天青石交代方解石; B. 对应 A 的阴极发光照片;
C. 巨晶方解石交代天青石、萤石, 方解石中有其残留;
D. 对应 C 的阴极发光照片

酸盐沉淀物。

在寒武系中, TZ408 井也可见方解石交代硬石膏的现象(图 3)。

2) 硫和碳同位素值

① 寒武系与奥陶系 H_2S 硫同位素值对比

ZS1 井在寒武系 6 579.63~6 835 m 检测到 H_2S 实测 $\rho(H_2S)$ 值含量约 40 000 mg/m^3 (表 1), H_2S 实测 $\delta(^{34}S)$ 值为 33×10^{-3} , 接近于寒武系硬石膏的 $\delta(^{34}S) = 33.7 \times 10^{-3}$, 符合 TSR 作用没有或硫同位素分馏效应小的特征, 也表明该 H_2S 是寒武系内 TSR 的产物。奥陶系 H_2S 被广泛接受为 TSR 成因, 其 $\delta(^{34}S)$ 值为 $9 \times 10^{-3} \sim 21 \times 10^{-3}$, 比寒武系 H_2S 的 $\delta(^{34}S)$ 值低 $13 \times 10^{-3} \sim 25 \times 10^{-3}$, 如此大的

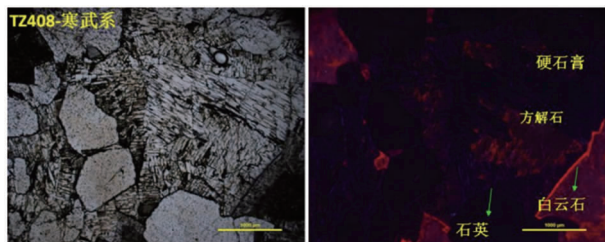


图 3 TZ408 井岩芯电镜薄片: 寒武系方解石交代硬石膏

Fig. 3 Thin section of core from Well TZ408 for electronic analysis showing replacement of anhydrite by calcite in Cambrian system
左. 单偏光; 右. 正交偏光

同位素值差异, 不大可能来自运移分馏, 说明奥陶系储层中的 H_2S 并非来自寒武系。

气相的 H_2S 在向浅层运移过程中, 由于其分子量比甲烷、乙烷高, 同时 H_2S 易于在运移途中与金属离子发生化学作用, 所以一般随运移距离的增大其含量变低。如果 H_2S 是以溶于水的相态向浅层运移的, 那么气态烃从水中脱失时可以出现比源自天然气高得多的 H_2S 。考虑到甲烷比乙烷、乙烷比丙烷更易于溶于水, 故从水溶气中释放的气体将具有更高的干燥系数^[12]。也就是说, 天然气无论以水溶气还是游离气运移, 干燥系数将变大, 游离气运移 H_2S 将降低, 而水溶气运移, H_2S 气将升高。若天然气以溶解于液态烃形式运移的话, 所解析出来的天然气干燥系数则变低, H_2S 浓度将比原来低得多。不过, 这种来源的天然气储量有限。如果天然气经过水洗后, 天然气中 H_2S 和 CO_2 的含量则会明显降低。

表 1 ZS1 井硫化氢含量、天然气干燥系数和 $\delta(^{34}S)$ 值

Table 1 Hydrogen sulfide content, natural gas aridity coefficient and $\delta(^{34}S)$ value of drill hole ZS1

井号	深度/m	$\rho(H_2S)/$ $mg \cdot m^{-3}$	$\delta(^{13}C_1)$	$\delta(^{13}C_2)$	干燥系数
ZS1	6 488~6 439	380	-44.7	-35.5	0.746
ZS1	6 835~6 579.63	40 000	-42.1	-35.0	0.988
ZS1C	6 944~6 861	118 000	-41.4	-24.8	0.986

基于上述考虑, ZG5 井天然气可以来自寒武系干气气侵, 而 ZG501 井低的干燥系数显示, 即使存在气侵, 寒武系来源的天然气贡献比例也很低, 不可能贡献有意义量的 H_2S 。由此表明, ZG501 井中 H_2S 应主要来自奥陶系。由于 ZG501 与 ZG5 井具有类似的地质背景, 反过来说, ZG5 井 H_2S 也完全可以与 ZG501 井一样, 来自地层本身。ZG5 井 H_2S 硫同位素 $\delta(^{34}S)$ 值仅为 15.1×10^{-3} , 远低于 ZS1 井 H_2S 的 $\delta(^{34}S) = 33 \times 10^{-3}$, 进一步证实 ZG5 井 H_2S 不是来自 ZS1 寒武系现今储集的 H_2S 。

② H_2S 含量与地层水化学和同位素组成间的关系

ZG43 井鹰山组 H_2S 硫同位素 $\delta(^{34}S)$ 值为 13.9×10^{-3} , 远低于奥陶纪海水; 而该地层水 SO_4^{2-} 同位素 $\delta(^{34}S)$ 值高达 37.9×10^{-3} , 高于显生宙海水最高硫同位素值, 说明正是封闭体系下同位素分馏中动力同位素分馏效应的产物。在一个相对封闭体系, 或硫酸盐补给受限的环境中, 随着硫酸盐还原作用

的进行,富 ^{32}S 的 SO_4^{2-} 不断被优先还原,产生富 ^{32}S 的 H_2S ,而残余硫酸盐富 ^{34}S 。这种现象在油气藏中比较少见,世界各地油气藏中所发生的 TSR 大多没有或很少具有同位素分馏效应,一般为 $-1\times 10^{-3}\sim -3\times 10^{-3}$,少数可达 -7×10^{-3} ;主要因为硬石膏溶解速率低,一旦被溶解就完全被还原,即还原的速率快于硬石膏的溶解速率。

因此,ZG43 井富 ^{32}S 的 H_2S 和富 ^{34}S 的 SO_4^{2-} 地层水伴生,说明 TSR 发生在烃—水过渡带,是地层水中的硫酸盐被部分还原的产物。类似的情况见于川东北普光 3 井、加拿大 Nisku 泥盆系气藏。富 ^{32}S 的 H_2S 和富 ^{34}S 的 SO_4^{2-} 地层水伴生,很好地指示了 TSR 发生在原地,这是因为:其一,不大可能两者同时通过较长距离运移而至。若以水溶相态运移,运移而来的 H_2S 是有限的,而且 H_2S 要不断地脱失,不可能在 ZG43 井检测到高达 7% 的 H_2S ;若分别以气相和液相运移,那么在运移途中的井,显然会有类似特征的水样或气体分布,但在鹰山组中未见类似的特征,说明分别以气相和液相运移也是不可能的。其二,目前尚未在寒武系中发现富 ^{34}S 的硫酸盐。其三,即使今后可能发现富 ^{34}S 的硫酸盐,若该地层水与鹰山组地层水相对富 ^{32}S 的 SO_4^{2-} 混合,也会很大程度上降低 $\delta(^{34}\text{S})$ 值。

实际上,ZG43 井 H_2S 和地层水 SO_4^{2-} 的硫同位素值,充分支持了鹰山组内部发生了 TSR(图 4、图 5)。

(3) H_2S 含量与石油烃 $\delta(^{34}\text{S})$ 的关系

TSR 的反应物(如甲烷、乙烷、液态石油烃)随 TSR 的进行,富 ^{12}C 的烃类优先被氧化,导致残余的烃类富 ^{13}C 。研究过程并未发现 H_2S 含量与甲烷、乙烷、饱和烃碳同位素值间存在正相关关系。但这并不能断定饱和烃没有参与 TSR,很有可能仅仅很

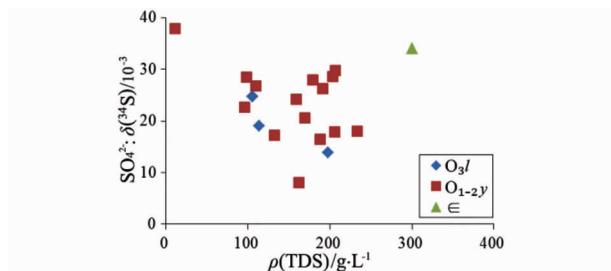


图 4 地层水总矿化度与硫酸根硫同位素关系

Fig. 4 Relationship between total mineralization degree of formation water and S isotopes of SO_4^{2-}

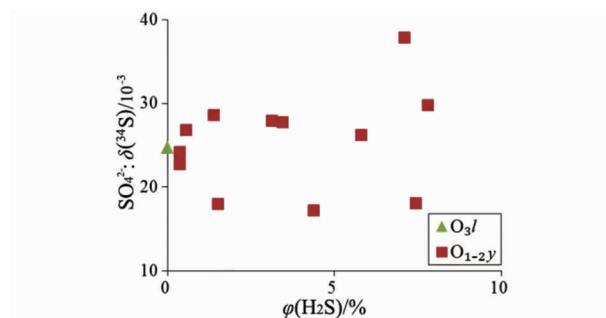


图 5 地层水硫化氢含量与硫酸根硫同位素关系

Fig. 5 Relationship between hydrogen sulfide content of formation water and S isotopes of SO_4^{2-}

少部分饱和烃被氧化了,所产生的碳同位素分馏效应很小。实际上,研究过程发现 H_2S 含量与沥青质族组分间具有负相关关系(图 6),说明饱和烃中 ^{12}C 被优先氧化,并入 S 等杂原子,而转化为沥青质,导致了沥青质的碳同位素值发生负偏。随着 H_2S 含量的增高,沥青质与饱和烃具有相近的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值(图 7)。

(4) H_2S 与天然气干燥系数的关系

奥陶系 H_2S 含量与烷烃气干燥系数关系表明,干燥系数与 H_2S 含量大体上存在负相关关系(图 8)。最直接的解释是: H_2S 和烷烃气为同一成因,TSR 优先消耗甲烷^[13-15]。但这个解释明显存在问题,因为乙烷等重烃比甲烷热力学稳定性差,更容易被还原;而且,研究发现甲烷 $\delta(^{34}\text{S})$ 值与 H_2S 含量没有相关关系,也说明了甲烷并不参与 TSR。因此,属于富含 H_2S 、低干燥系数的天然气与贫 H_2S 、高干燥系数天然气混合的产物成为了最可能的成因。其中,富含 H_2S 、低干燥系数的天然气应该来自奥陶系原地的油气藏,而贫 H_2S 、高干燥系数的天然气则来自寒武系,这一解释与 H_2S 的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值反映的结果一致。

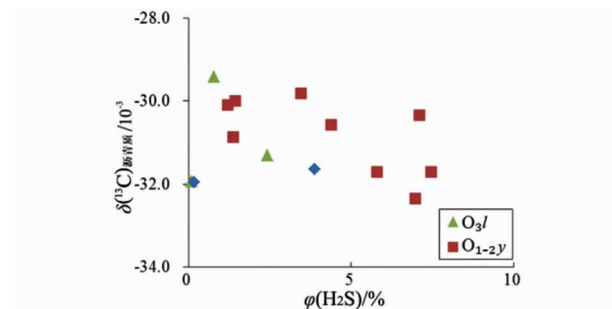


图 6 硫化氢含量与沥青 $\delta(^{34}\text{S})$ 关系

Fig. 6 Relationship between hydrogen sulfide content and $\delta(^{34}\text{S})$ of bituminous material

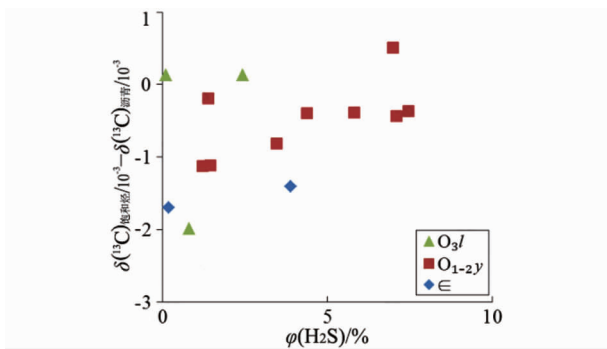


图7 硫化氢含量与饱和烃和沥青 $\delta(^{34}\text{S})$ 差值关系

Fig. 7 Relationship between hydrogen sulfide content and difference of $\delta(^{34}\text{S})$ value of saturated hydrocarbon and asphaltum

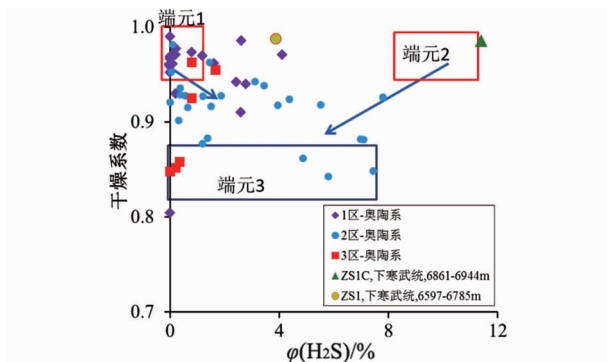


图8 天然气硫化氢含量与干燥系数之间关系

Fig. 8 Relationship between hydrogen sulfide content and aridity coefficient of natural gas

2 硫化氢生成时期

H_2S 生成时期应与油气藏地温或埋藏历史、成岩作用相对序列和油气成藏史紧密相关。塔中地区一般认为至少存在三期油气充注,即晚加里东期、晚海西期和喜山期。晚加里东期石油,目前多演化为沥青,而晚海西期和喜山期油气普遍影响塔中地区^[16]。在本次研究工作中,在 ZG51 井 5 003.4 m 处的 O_3l 储层泥晶灰岩中发现早期沥青,且见早期沥青切断一期细晶方解石(图 9A),说明早期沥青晚于一期方解石,早期沥青有可能是反映晚海西期的油气充注;另外,又发现早期沥青又被含有萤石、天青石和二、三期方解石脉体切断(图 9B)。在 ZG51 井 5 002.7 m 处的 O_3l 储层部位见晚期沥青充填在天青石被溶蚀的孔隙中(图 10A、B),并且在天青石、萤石和晚期巨晶方解石中都发现了具有蓝白色

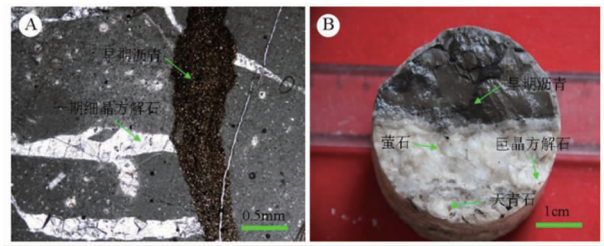


图9 ZG51 井, 5 003.4 m, O_3l

Fig. 9 Ordovician rock of O_3l encountered at 5 003.4 m in drill hole ZG51

A. 早期沥青切断一期细晶方解石;
B. 早期沥青被含有萤石、天青石和二、三期方解石脉体切断

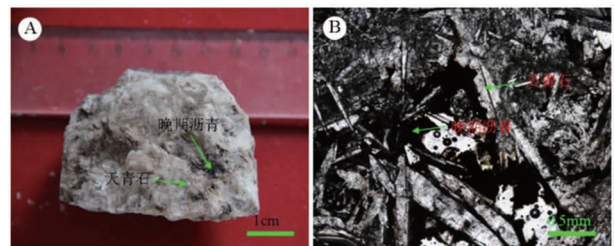


图10 ZG51 井, 5 002.7 m, O_3l

Fig. 10 Ordovician rock of O_3l encountered at 5 002.7 m drill hole ZG51

A. 晚期沥青充填在天青石孔隙中;
B. 对应 A 的 4 倍薄片单偏光照片

荧光的包体,其表明晚期油气充注与天青石、重晶石、萤石、晚期方解石等矿物形成时间相近或稍晚一些。根据晚期沥青与矿物的交切关系及荧光特征,认为晚期沥青代表喜山期的干气气洗的产物。

根据塔中地区各成岩作用之间的先后关系、流体包裹体分析结果,并结合埋藏史,总结出塔中区块寒武系、奥陶系碳酸盐岩成岩序列如图 11 所述。从图 11a 可知,良里塔格组和鹰山组内的 TSR 发生在晚燕山期—喜山期;而寒武系内 TSR 有两期,一期发生在晚海西期以前,另一期则发生在晚燕山期—喜山期(图 11b)。

寒武系油气藏在晚海西期以前所发生的 TSR,产生了富 ^{34}S 的 H_2S ,其硫同位素值接近于寒武纪古海水, $\delta(^{34}\text{S}) = 26 \times 10^{-3} \sim 34 \times 10^{-3}$;这一期生成的 H_2S 目前分布于:①寒武系油气藏中,②以黄铁矿的形式分布志留系、奥陶系储层中。寒武系油气藏目前仍适合于 TSR 作用,实际上 TSR 应该仍在发生。

奥陶系储层鹰山组内的 TSR 是目前奥陶系内油气藏中 H_2S 的主要来源,良里塔格组中的 H_2S 主要来自鹰山组。目前 H_2S 含量分布具有极大不均

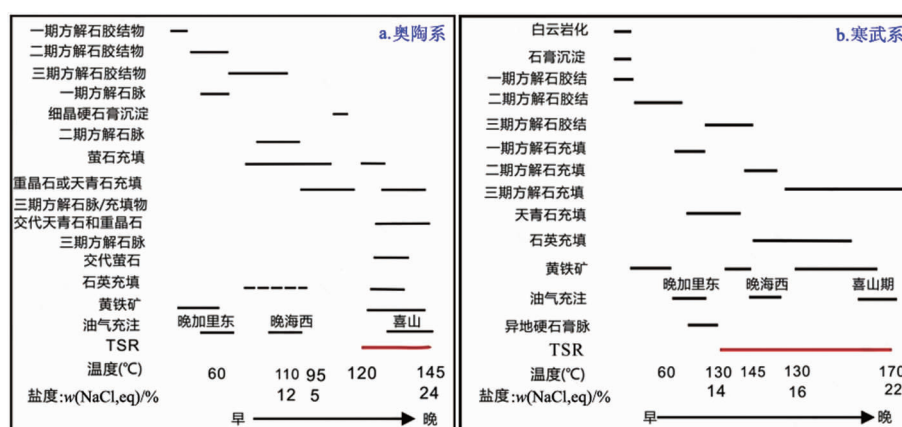


图11 储层成岩作用相对时间序列

Fig. 11 The temporal sequence of rock-forming of reservoirs

a. 奥陶系储层成岩作用相对时间序列; b. 寒武系储层成岩作用相对时间序列

一性,可能与流体多期流动、油气水调整,特别是喜山期寒武系来源的天然气的洗混合稀释有关。

3 结语

(1)塔中地区鹰山组内的 H_2S 硫同位素组成明显不同于寒武系,说明鹰山组内 H_2S 主要不是来自寒武系油气藏中 TSR 的 H_2S 。

(2)塔中奥陶系储层 H_2S 是上寒武统一奥陶统石油饱和烃与硫酸盐之间反应产生,混有来自中下寒武统水溶 H_2S 。

(3)塔中奥陶系储层 H_2S 含量,受控于地层水 TDS、 Mg^{2+} 浓度、干气的稀释和来自寒武系的水溶 H_2S ;寒武系地层水沿走滑断层流入奥陶系,高 Mg^{2+} 流体特别是高 $MgSO_4$ 接触离子促进了 TSR 的发生。

参考文献:

- [1] 郭鸣,刘兴华,陈光智. 塔里木油田含硫试采油井的原油密闭转运技术的应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(5): 62-64+104.
- [2] 姜福杰,杨海军,沈卫兵,等. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩油气输导格架及其控藏模式[J]. 石油学报, 2015, 36(S2): 51-59.
- [3] 张保涛,杨海军,刘星旺,等. 塔中地区奥陶系出水井类型及其控制因素[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(6): 49-52+114.
- [4] 何宏,李红霞,张科,等. 塔中地区奥陶系喜马拉雅山期贫 H_2S 干气充注的证据[J]. 地质科学, 2014, 49(4): 1327-1336.

- [5] 刘可禹, Julien Bourdet, 张宝收, 等. 应用流体包裹体研究油气成藏——以塔中奥陶系储集层为例[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(2): 171-180.
- [6] 杨海军, 李开开, 潘文庆, 等. 塔中地区奥陶系埋藏热液溶蚀流体活动及其对深部储层的改造作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 783-792.
- [7] 罗春树, 杨海军, 李江海, 等. 塔中奥陶系优质储集层特征及断裂控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(6): 716-724.
- [8] 易金, 曾乔松, 李鹏春, 等. 塔中奥陶系碳酸盐岩流体包裹体特征及其对成岩作用和深部流体作用的指示意义[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 425-433.
- [9] 张鼎, 王招明, 杨文静, 等. 塔中东部奥陶系烃包裹体特征及成藏意义[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(3): 267-271.
- [10] 张鼎, 田隆, 邢永亮, 等. 塔中地区奥陶系储层烃包裹体特征及成藏分析[J]. 岩石学报, 2011, 27(5): 1548-1556.
- [11] 陈瑞银, 赵文智, 王红军. 塔中地区奥陶系油气充注期次的流体包裹体证据[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(5): 537-542.
- [12] 邓虎成, 周文, 张娟, 等. 塔中地区奥陶系烃源岩测井定量识别及评价[J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(4): 380-385+337.
- [13] 刘洛夫, 王伟力, 姜振学, 等. 塔中地区奥陶系储层特征及其与油气聚集关系[J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(3): 395-401+407.
- [14] 郭建军, 陈践发, 师生宝, 等. 塔中奥陶系原油的地球化学特征及其来源[J]. 沉积学报, 2009, 27(4): 732-739.
- [15] 韩剑发, 梅廉夫, 杨海军, 等. 塔里木盆地塔中奥陶系天然气的非烃成因及其成藏意义[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 314-325.
- [16] 马红强, 王恕一, 雍洪, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩埋藏溶蚀特征[J]. 石油实验地质, 2010, 32(5): 434-441.

Origin of hydrogen sulfide and the main control factor of its distribution in Ordovician carbonate reservoirs of Tazhong area

CHENG Hanlie¹, WANG Lianshan¹, GAO Chuangbo², SHAN Yongle², LI YONG², FENG Yi²

(1. LandOcean Energy Services Co. Ltd, Beijing 100084, China;

2. Sebei operation company of PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang 736202, Gansu, China)

Abstract: Hydrogen sulfide is widely distributed in Ordovician reservoir of Tazhong area. The gas is soluble in oil-water fluid, poisonous and corrosive and brings difficulty for the exploration and development. In order to define its origin and distribution in the reservoir analysis of its source, mineralogy of Ordovician carbonate rocks and chemical analysis of S, C isotopes and the gas were conducted and the result shows that calcite of the third stage replaces sulfide minerals and the sulfide is not reduced by TSR and that S isotopes of the hydrogen sulfide of the Ordovician system is generally lower than that of Cambrian system and that company relation of isotopes exists between the Ordovician hydrogen sulfide and SO_4^{2-} of the formation water and that TSR occurs at transitional zone of hydrocarbon and water and that reactants of TSR is not correlated with content of hydrogen sulfide and C isotopes of bituminous material is biased toward negative values and that C isotope value of methane is not correlated with content of hydrogen sulfide. Thus methane is not incorporated with TSR. Hydrogen sulfide of Ordovician system is the product different from that of Cambrian system and was formed in Lianglitage formation (O_3I) and Yingshan formation (O_{1-2}y) of Ordovician system and TSR occurred in Yanshan-Himalaya period. TSR of Cambrian system occurred in Late Hercynian period and Late Yanshanian-Himalayan period. In general hydrogen sulfide in Ordovician system is generated from the autochthonous TSR that is controlled by filling of highly mineralized and Mg-rich formation water and oil along the strike sliding fault and dilution of dry hydrogen sulfide-poor gas along fault I.

Key Words: Tazhong area; Ordovician system; carbonate rocks; hydrogen sulfide; sulfur isotopes; Xinjiang