

文章编号: 1000-0550(2012)02-0310-08

碳酸盐岩中地开石的分布特征及其成因^①

伏美燕 张哨楠 胡 伟

(油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学) 成都理工大学能源学院 成都 610059)

摘 要 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区石炭系小海子组碳酸盐岩中存在大量地开石,利用 X 射线粉晶衍射对该矿物进行了鉴定,利用阴极发光显微镜和扫描电镜对地开石的形态与分布进行了研究。地开石晶体为短柱状,晶体大小约 3~13 μm,分布在溶蚀孔、白云石晶间孔和缝合线的溶解段中。经岩石薄片和阴极发光观察,发现在地开石出现的岩样中存在萤石。地开石与萤石组合的出现,表明该地区小海子组存在着热液活动。经统计,地开石和萤石通常富集于某一层,可追踪热液流体来源的深度。由于地层中未见地开石的前身矿物,并且在温度低于 100℃ 的地层中也出现了地开石,推断该区地开石为热液成因。热液流体不仅为地开石形成创造了条件,还导致了小海子组碳酸盐岩产生大量溶蚀孔隙。热液与岩石间的水岩反应导致萤石交代白云石,溶孔壁白云石重结晶。通过对储层物性数据的分析,表明热液溶蚀能明显增加孔隙度,但萤石和地开石的形成对孔隙度起破坏作用。热液溶蚀是小海子组碳酸盐岩储层形成的重要机理,对指导该区油气勘探具有实际意义。

关键词 塔里木盆地 小海子组 地开石 萤石 碳酸盐岩 热液

第一作者简介 伏美燕 女 1982 年出生 博士研究生 油气储层评价与油藏地球化学 E-mail: fumeiyan08@cdut.cn

中图分类号 P588.24 P578.96 文献标识码 A

0 引言

高岭石在地壳岩石中分布广泛,高岭石的多型地开石却不太常见,1960 年以前的研究普遍认为地开石与热液改造带和矿石岩脉密切相关。沉积岩中的地开石常出现在煤层地层^[1]和砂岩^[2~4]中。碳酸盐岩中地开石的相关报道尚不多见,如鄂尔多斯盆地中奥陶统风化壳^[5]、塔里木盆地地下奥陶统风化壳^[6]、欧洲西北部石炭系 Chalk 组灰岩^[7]和美国堪萨斯州南部宾夕法尼亚系灰岩^[8]。前人研究认为,砂岩中成岩地开石是高岭石在随埋藏温度升高和水/岩比增加的情况下转化而来^[2],通常发生在 100~130℃^[3,9],因此常作为古地温指示物。而热液成因的地开石能够在较高温度下直接从富 Si 和 Al 的成岩流体中沉淀出来^[7]。本次研究在塔里木盆地巴楚—麦盖提地区石炭系小海子组碳酸盐岩中发现了大量地开石,利用 X 射线粉晶衍射对地开石进行了鉴定,利用阴极发光显微镜和扫描电镜对地开石的形态和分布进行了研究,讨论了地开石的成因,为孔隙流体的演化提供了岩相学证据,并解释了小海子组碳酸盐岩储层发育机理。

1 地质背景

研究区位于塔里木盆地西部巴楚—麦盖提地区,位于中央隆起带西段,面积 $4.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。巴楚—麦盖提地区已有钻井 60 余口,主要分布在该区南部。石炭系小海子组是该区重要的油气产层,储集岩主要为颗粒灰岩和白云岩,储层厚度 50~80 m,分布在巴什托、亚松迪和乌山玛扎塔克构造带。本文研究区包括巴什托与亚松迪两个构造带上的 7 口钻井(见图 1)。钻井所在地区发育两条深大断裂及一些小断层(据完井地质报告)。巴什托构造受到群库恰克断层影响,该断层切割二叠系—寒武系,主要活动期为加里东晚期—海西早期。亚松迪构造位于色力布亚断裂上盘,受色力布亚断裂、亚松迪 I 号断裂及其他小断裂的影响,断裂主要活动期为海西晚期,导致了晚二叠世~早第三世的长期剥蚀。塔里木盆地石炭纪是继奥陶纪后的第二次大的海侵期,海水自西向东入侵,至晚石炭世构造活动性减弱,而海侵的影响达到最高峰,沉积了小海子组,为一套碳酸盐岩夹泥的沉积物。这套地层在研究区埋藏深度从 1 944 m 至 4 457 m,根据周中毅^[10]提出的塔里木盆地西部石炭

^①“十一五”国家重大专项(编号:2008ZX05002-003-003)资助。
收稿日期:2011-01-20; 收修改稿日期:2011-04-21

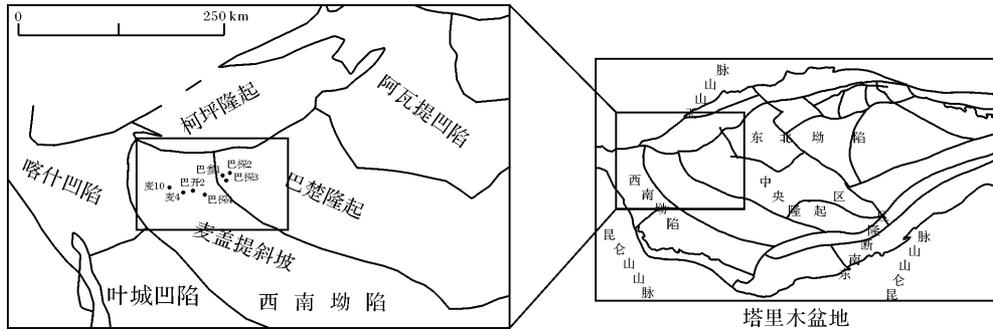


图 1 研究区地理位置及井位图
Fig. 1 Map of the study area and the location of wells

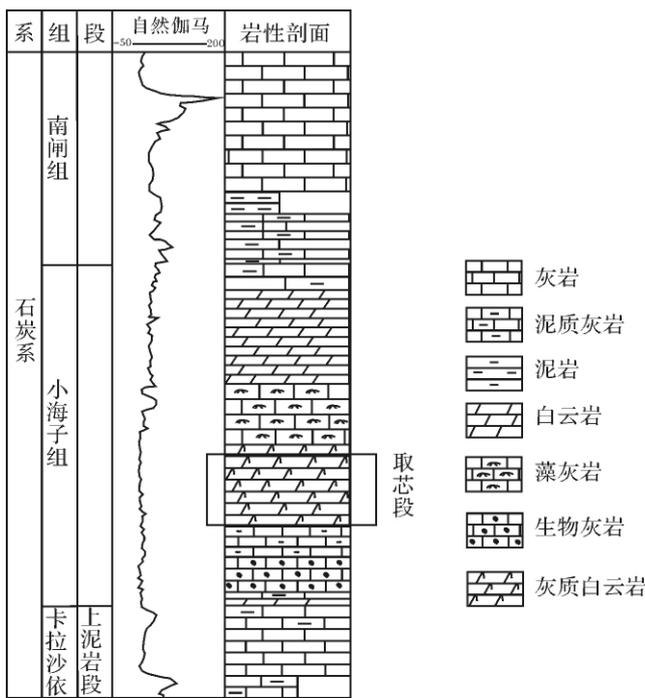


图 2 巴楚—麦盖提地区巴探 3 井小海子组地层综合柱状图
Fig. 2 The stratigraphic column of XiaoHaizi Formation in Well BT3 at Bachu-Markit area

系地温梯度为 3℃/100 m 计算, 现今地温为 83 ~ 158℃。

2 岩性特征与成岩作用

研究区石炭系是一套以碎屑岩为主, 夹三套碳酸盐岩的地层, 自下而上可划分为巴楚组、卡拉沙依组和小海子组(图 2)。碎屑岩段包括巴楚组下泥岩段、中泥岩段和卡拉沙依组的上泥岩段, 以泥岩和粉砂岩为主。碳酸盐岩段包括生屑灰岩段、标准灰岩段和小海子组的纯灰岩段。根据古生物鉴定资料, 晚石炭世马平期存在 5×10^6 a 的沉积间断^[11], 但是未形成明

显的不整合面, 不发育风化壳^[12]。

小海子组岩性以泥晶灰岩为主, 其次为泥微晶粒屑灰岩、亮晶粒屑灰岩和(含)泥质灰岩, 为碳酸盐岩开阔台地沉积^[13]。粒屑成分主要为生物碎屑、砂屑和少量鲕粒。生物碎屑包括有孔虫、腹足、隐藻、藻屑、棘屑及瓣鳃类。颗粒灰岩或白云岩中多发育粒内溶孔和粒间溶孔, 溶蚀孔径一般为 1 ~ 5 μm。研究区构造作用发育, 沿断裂发育的致密泥晶灰岩和白云岩易产生裂缝^[13]。巴楚地区小海子组灰岩具有海水成岩环境特征^[14], 在颗粒灰岩、生屑灰岩中通常可见方解石的两期胶结, 原生粒间孔几乎被破坏殆尽, 仅少量淡水微淋溶改造而形成的粒间溶孔、溶解缝。而高能滩相豆状砾屑灰岩, 由于海水胶结作用较弱, 保存了大量连通性好的原生粒间孔和生物体腔孔, 受淡水淋溶后, 还形成了少量铸模孔^[14]。麦盖提斜坡区小海子组物性条件比巴楚隆起区好, 这与该区普遍经历了大气淡水成岩环境, 加上发生了埋藏白云石化有关, 形成了以淡水溶解—白云化段为主的建设性复合成岩段, 形成以晶间孔为主的早期基质孔隙体系, 后经大气淡水淋溶改造, 早期晶间孔经溶蚀扩大, 而演变为晶间溶孔、晶内溶孔和针孔^[14]。

3 地开石分布特征与成因

3.1 地开石的鉴定与形态特征

研究区内石炭系小海子组碳酸盐岩中发现了大量自生高岭石族矿物, 见于亚松迪构造上的巴参 1 井、巴开 1 井、巴探 2 井和巴探 3 井, 巴什托构造上的巴探 4 井、麦 4 井和麦 10 井等, 在巴什托构造的钻井中该高岭石族矿物含量普遍较高。

这些高岭石族矿物, 在正交偏光下干涉色为一级灰白, 手风琴状。为鉴定该矿物类型, 进行了 X 射线粉晶衍射分析。选取岩石碎样, 找到白色补丁状的粘

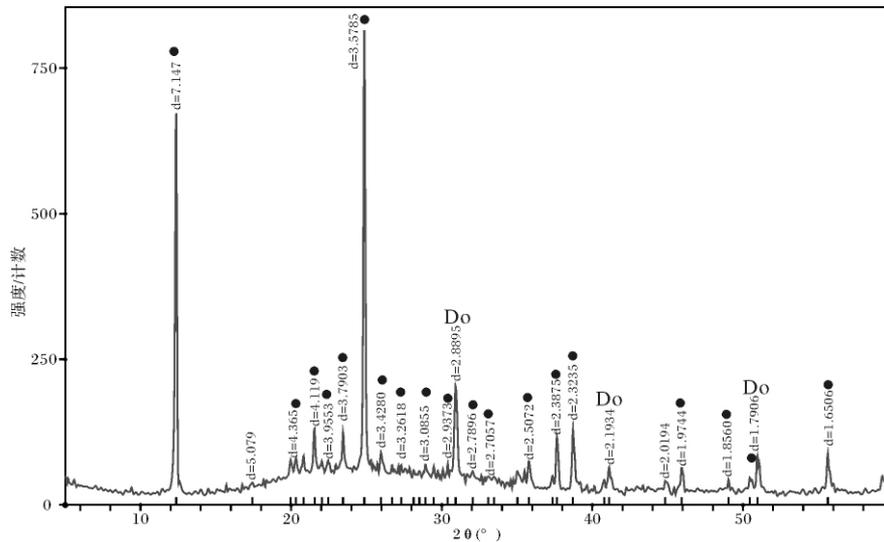


图3 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区石炭系小海子组灰质白云岩中地开石的X射线粉晶衍射图
(图中Do代表白云石的衍射峰; •为地开石衍射峰)

Fig. 3 The X-ray diffraction pattern of dickite in calcite dolostone in Carboniferous Xiaohaizi Formation at Bachu - Markit area in Tarim Basin
(Do—the diffraction peak of dolomite; •—the diffraction peak of dickite)

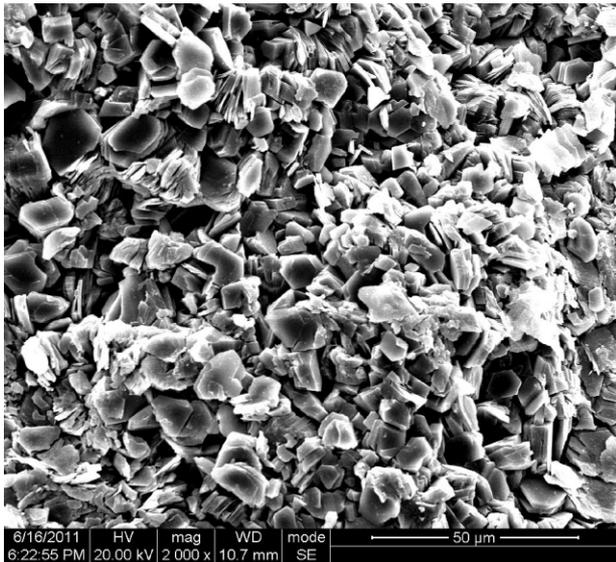


图4 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区石炭系小海子组灰质白云岩中地开石的扫描电镜照片

(放大倍数为2000倍,可见地开石为短柱状晶体,不同于高岭石)

Fig. 4 The SEM photo of dickite in calcite dolostone in Carboniferous Xiaohaizi Formation at Bachu - Markit area in Tarim Basin
(The magnification was 2000. The crystal of dickite was blocky, which was different from kaolinite)

土矿物,刮取少量样品,用于单矿物的X射线粉晶衍射分析。将衍射曲线(图3)与地开石的标准PDF卡片对照后,确认该高岭石族矿物为地开石。衍射曲线

中缺乏高岭石所特有的 $d=4.18, 3.14, 2.56$ 一系列发射。由于取样时混有极少量白云石,衍射曲线上出现的三个杂峰(Do)为白云石的特征发射。

小海子组碳酸盐岩中的地开石全充填或半充填溶孔,生物体腔孔和缝合线的溶解段,并可见地开石分散在白云石的晶间孔中。地开石是高岭石的多型,对二者的描述和X射线衍射特征可见Bailey S W^[15]的报道。地开石晶体较高岭石粗大,直径大约 $3 \sim 13 \mu\text{m}$ (图4)。从晶形上看,高岭石普遍呈书页状、蠕虫状集合体,而地开石为短柱状(图4)。在阴极发光显微镜下观察,地开石的发光颜色为淡紫色。通常高岭石族矿物的阴极发光颜色为深蓝色光,是由 400 nm 附近有一较宽的色散带引起^[16]。本研究中观察到地开石发淡紫色光是由于岩石薄片是由环氧树脂粘合,导致发光颜色产生了偏差。高岭石族矿物能够产生可见的阴极发光与存在辐射诱发的晶体缺陷中心有关,该族矿物包括Si—O, Al—O—Al两种缺陷中心,并且发光强度与晶体缺陷中心的数量正相关^[16]。在地开石充填的孔隙中,未见任何前身矿物的存在,说明了这种矿物是自生矿物而不是碎屑或交代来源。在砂岩中的成岩地开石是由高岭石转化而来,从晶体形态组合上具有从无序高岭石—有序高岭石+无序地开石—无序地开石+有序地开石—有序地开石的演化过程^[17]。因此,大多情况下是高岭石与地开石

的混层矿物^[1]。前人研究^[17]指出在砂岩中高岭石和地开石这两种多型在一段深度内能够共存。因而,在砂岩中使用地开石古地温计时,需考虑结晶度的问题^[5]。而碳酸盐岩中作为自生矿物存在的地开石是在较高温度下直接从富 Si 和 Al 的流体中沉淀的,位于高岭石——地开石演化的顶端,所以结晶度相对较高^[5,7]。

3.2 成岩序列

经岩石薄片鉴定,小海子组中的地开石形成时间较晚。在一些变形的生物体腔孔中可见地开石,反映了地开石形成于粒间压实之后。地开石全充填在缝合线的溶解段中,说明地开石形成于缝合线化之后。

在小海子组粒屑灰质白云岩中方解石是分布最广的胶结物,经茜素红—铁氰化钾染色后部分为红色,少量为蓝紫色,表明以早期胶结的无铁方解石为主,晚期含铁方解石胶结物的分布范围较小。方解石胶结物的来源可能是缝合线化导致碳酸钙溶解并释放至孔隙水中。镜下观察发现在方解石胶结物临近的溶孔内存在地开石,推断地开石形成较方解石晚。

小海子组碳酸盐岩中还可可见少量陆源石英^[13]。在溶蚀孔隙较发育的残余粒屑灰质白云岩中可见碎屑石英发生了次生加大,甚至仅在溶孔一侧发生次生加大,反映成岩过程中发生过硅质胶结,形成于溶蚀作用之后。

经荧光显微镜观察,发现粒屑灰质白云岩的所有溶孔、白云石晶间孔和地开石的晶间孔均发绿色或黄绿色荧光。地开石晶间孔中偶尔可见黄褐色沥青充填,荧光显微镜下发绿色光或黄绿色光。由于油气占据孔隙后,孔隙水被排除,阻止了成岩作用的进行,地开石无法从孔隙水中沉淀。因此,油气应当在地开石形成后充注。巴什托地区油气充注有两期,分别发生在地开石形成和海西晚期和喜玛拉雅晚期^[13]。

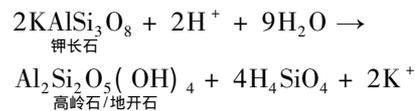
在地开石产出的岩石中,可见萤石与地开石共生。在正交偏光下萤石全消光,阴极发光颜色为带蓝色—紫色。萤石的阴极发光颜色与其含有稀土元素有关^[18],不同于地开石的发光机理。萤石大多全充填或半充填溶孔,少数呈萤石脉充填在微裂缝中。在地开石与萤石共生的岩样中,可见地开石晶体呈镶嵌状分散在萤石晶体之中,推测萤石形成时间应与地开石同时,或地开石稍早。另外,还可见大量黄铁矿零散分布。

3.3 地开石成因

目前,地开石成因研究主要集中在砂岩

中^[17,19,20]。随埋藏深度增加,砂岩中高岭石会逐渐转化为地开石,主要反映在晶体形态上,从蠕虫状集合体转变为短柱状晶体^[3-4]。该过程与温度和埋藏深度有关^[17,19,20]。地开石出现在砂岩中往往是深埋藏条件的重要指示物^[17]。除了温度,较大的水/岩比例也能够加强地开石的转化^[21],而较高的含油饱和度会阻止地开石化^[2]。

砂岩中,高岭石或地开石是酸性环境下富铝矿物与孔隙流体发生水岩反应的产物,需要淡水或富 CO₂ 的有机流体。以钾长石为例的反应式如下:



在大气淡水影响的浅埋藏砂岩中钾长石溶解形成的高岭石为蠕虫状集合体。当温度达到 120 ~ 140℃,高岭石可能与残余的钾长石反应形成伊利石^[22]。而在有机质成熟时的酸性环境中,成岩流体为富有机酸或 CO₂ 的流体。由于富 CO₂ 的有机流体大量形成的温度为 100℃,此时钾长石溶解反应的产物则为地开石。在这种情况下,钾长石溶解和地开石的沉淀应出现在与临近泥质岩地层的接触面上^[4]。但是,大量研究实例表明砂岩中地开石是由蠕虫状高岭石转化而来,并不存在晚期地开石的直接沉淀^[2]。

经薄片鉴定,研究区不同埋深的小海子组碳酸盐岩中均存在地开石。若类似砂岩中,小海子组碳酸盐岩中地开石是随温度增加由高岭石转化而来,则必须离风化壳较近,且要埋藏很深,才能达到形成地开石的温度。然而,研究区小海子组内未见风化壳标志,而且亚松迪地区小海子组的埋深最小 1 944 m,现今地温仅为 83℃。自海西晚期巴楚地区就一直处于隆升状态,亚松迪地区小海子组的最大埋藏深度与现今相差不会太远。根据 Ehrenberg 等^[3],砂岩中高岭石向地开石转化的温度 100 ~ 130℃,而结晶度好的地开石的形成温度在 130℃ 左右。按塔里木盆西部石炭系 3℃/100 m 计算^[10],需要埋藏至 3 500 m 以上才能达到。因此,该地区地开石不可能由高岭石转化形成,而是自生矿物。

一般来说,碳酸盐岩地层中很少出现地开石,因为地开石的形成需要足够的溶解硅和铝。淡水和海水中虽然硅含量较高,但溶解铝的含量很低(分别为 0.1 ~ 1 μg/l 和 2 μg/l)^[7],并且碳酸盐岩中通常缺乏富铝矿物,地开石形成需要的铝源难以得到满足。但在岩浆—火山作用影响下,热液沿断层和裂缝流动可

为碳酸盐岩地层输入溶解铝。当热液穿过泥质岩时,能够带走其中的有机质和铝,铝能通过与有机酸络合而使溶解度急剧增加^[23]。在热液流动产生的较高地层温度下,铝与硅反应可沉淀出结晶有序度好的地开石^[8]。研究区小海子组碳酸盐岩理论上能够提供地开石形成需要的铝和硅。首先,小海子组碳酸盐岩泥质含量较高,实验显示其中酸不溶物含量可达3.2%~12%,并且小海子组下部存在卡拉沙依组泥岩,可以提供铝源。其次,小海子组碳酸盐岩中硅的浓度较高,因为碎屑石英发生了次生加大,说明流体中存在硅的过饱和。在研究区内发育多条断裂,如深大断裂色力布亚断层,主要活动期为海西晚期,石炭系地层在其影响范围之内。这些断层活动为热液流体流动提供了可能。因此,小海子组碳酸盐岩中的地开石很可能是热液作用形成,但需要更多的岩相学证据。经过薄片鉴定和阴极发光显微镜观察,发现在地开石产出的岩样中可见萤石(图5A,B)。萤石为高温氟化物矿物,一般与热液活动相关^[24-25],它与地开石的同时出现,代表了当地确实存在热液活动。小海子组中出现的地开石和萤石矿物组合与塔里木盆地奥陶系的热液矿物组合^[24]不同,可能一方面由于奥陶系埋藏深,得到的深部物质较多,而石炭系埋藏较浅,深部物质输入较少。另一方面是由于热液流经地层的岩性不同,导致化学组成不同,从而形成了不同的矿物组合。奥陶系主要发育海相白云岩和灰岩,而石炭系岩性复杂,发育泥岩、粉砂岩、硬石膏岩、灰岩和白云岩。

根据薄片观察,小海子组碳酸盐岩中地开石和萤石的含量在各井区之间具有明显差异,反映了受热液改造的程度不同,与各井区小海子组所穿过断层和裂缝的分布有关。如巴探4井4312.11m残余粒屑灰质白云岩与上下地层相比,地开石和萤石异常发育,全充填或半充填微裂缝和溶蚀孔洞,仅少量溶孔未被充填,反映了受热液影响程度较大。根据岩芯观察记录,该层对应岩芯中发育垂直裂缝,岩芯破碎严重,具有烘烤现象,充分反映了4312.11m附近受断层引起的热液流体影响最大。巴探3井1911.72m至1921.48m岩石薄片可见大量萤石,并且埋深与萤石含量负相关,随深度增加萤石含量逐渐降低。根据岩芯观察,该井1918.28m~1927.31m发育断层角砾岩,为断层切穿层位,与所观察到的萤石和地开石大量发育的情况相吻合。由于1911.72m萤石含量相对最高,推测沿断层流动的热液在此深度附近进入

岩层。其它钻井,如麦4井、麦10井、巴参1井等地开石和萤石的含量变化也具有富集于某一层的特点,以此可追踪热液流体的来源深度。

4 地开石对储层形成机理的指示

小海子组碳酸盐岩储层是塔里木盆地西部重要的油气产层,油气主要储集空间为裂缝和溶蚀孔隙。前人研究^[14]认为该储层中大量溶蚀孔隙主要产生于淡水溶蚀。然而,小海子组顶部不存在明显的不整合面或风化壳(图2)。因此,淡水溶蚀的影响范围不会太大,该区储层还存在其他形成机理。根据本次研究,小海子组碳酸盐岩中广泛存在的地开石和萤石组合反映了热液流体的存在。热液溶蚀可能是形成小海子组碳酸盐岩储层中大量溶蚀孔隙的主要因素。热液溶蚀的主要依据是萤石交代白云石,以及溶孔壁的白云石发生了重结晶。首先,萤石的形成是富含氟的流体与富 Ca^{2+} 的岩石或水之间相互反应的结果^[26]。图5A中可见大块萤石中存在残余白云石,阴极发光颜色为橙色,说明萤石是通过交代白云石的方式形成。萤石交代白云石可用以下反应式表示:



伴随二叠系的岩浆—火山作用,塔里木盆地存在一定规模的热液流体^[25],热液流体将氟带入碳酸盐岩地层中,通过与白云石发生反应,形成了萤石。萤石交代白云石的过程即是热液流体与白云石之间的水岩反应过程,而在无萤石沉淀处白云石发生溶解,可扩大前期的粒间孔和白云石晶间孔形成大量溶蚀孔隙。其次,在未被地开石或萤石充填的溶蚀孔隙中,可见孔隙壁发生了白云石重结晶(图5E,F),晶粒可达粉晶,区别于微晶基质。在埋藏条件下缺少流动的地层水,白云石不易发生重结晶,而热液流体通常温度较高并且富含 CO_2 ,能加速白云石重结晶,并可使白云石发生溶解^[24]。这些重结晶白云石的阴极发光为暗红色,而基质白云石为橙黄色,发光颜色越暗代表 Fe/Mn 越高, Fe 是阴极发光的淬灭剂,从而说明了流体中富含元素 Fe 。另外,在反射光下观察,在重结晶白云石与基质白云石之间的接触面上可见一圈不连续的黄铁矿边,表明这些黄铁矿是化学成因,流体中富含 H_2S 。 H_2S 可能为石炭系下部地层中广泛存在的硬石膏与烃类反应的产物。同时,也说明了重结晶白云石形成时间在黄铁矿沉淀之后。

热液溶蚀能明显改善小海子组碳酸盐岩储层的物性。通过对巴探4井小海子组碳酸盐岩的实测孔

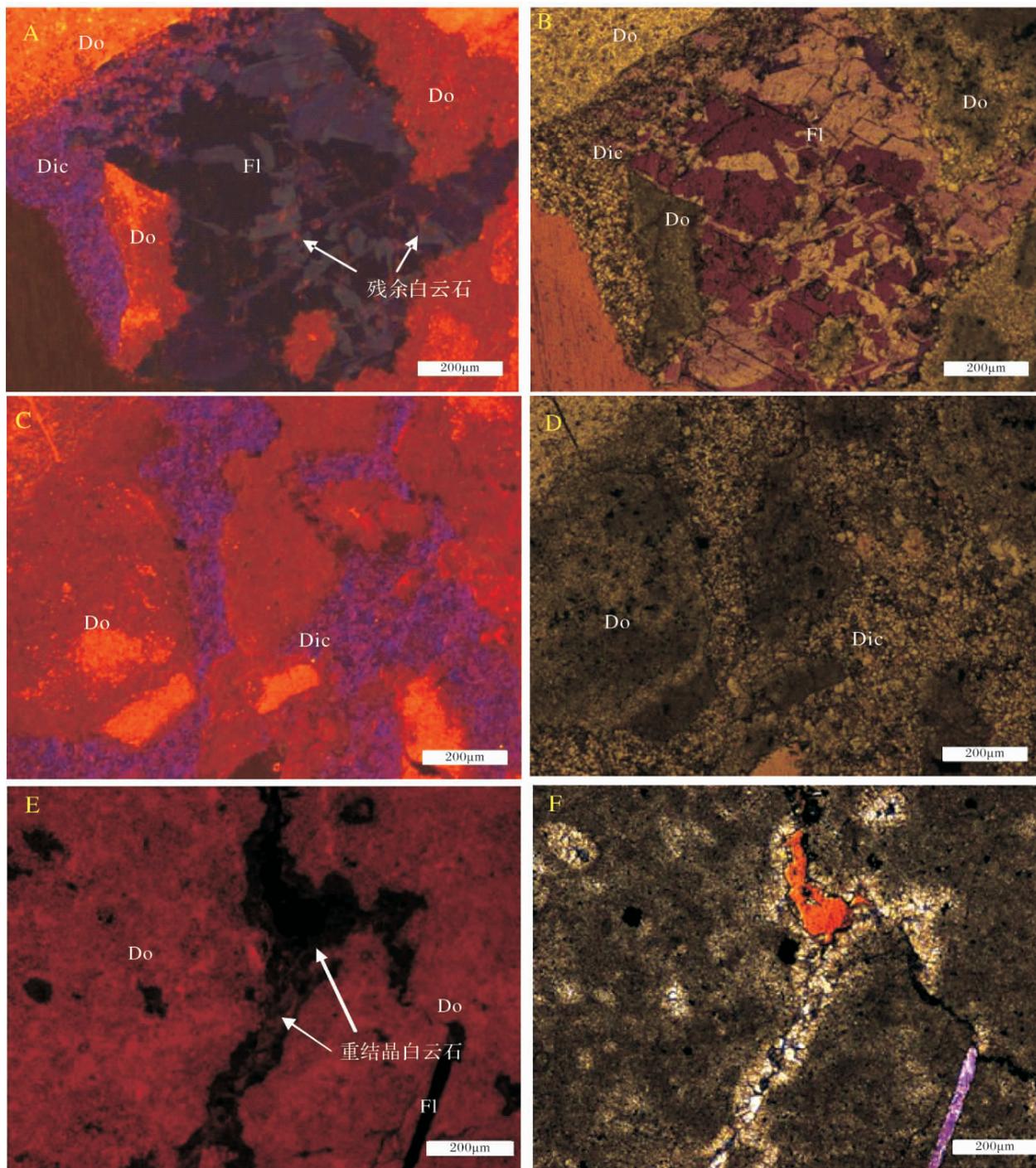


图5 巴楚—麦盖提地区石炭系小海子组巴探4井灰质白云岩薄片照片

(左为阴极发光照片,右为单偏光照片,×100。Do—白云石;Dic—地开石;Fl—萤石)

(A—B: 巴探4井4312.11m薄片,萤石与地开石共同充填溶蚀孔隙,部分地开石晶体呈镶嵌状分布在萤石晶体中。萤石阴极发光为紫色,地开石阴极发光为淡紫色。左下角为薄片边缘;图A中白色箭头所指为残余白云石。C—D: 巴探4井4312.11m薄片,地开石充填粒间孔和溶蚀孔,阴极发光为淡紫色,单偏光下的黄色部分为未全充填的溶孔,因薄片在高电压下被烤焦而成黄色。E—F: 巴探4井4312.11m薄片,沿溶蚀孔壁白云石发生重结晶,晶体变得明亮而粗大,阴极发光为暗红色,而基质白云石晶体小而污浊,阴极发光为橙色。单偏光下的黄色部分为溶蚀孔隙,因薄片在高电压下被烤焦而成黄色。)

Fig. 5 The photos of thin section of calcite dolostone in Well BT4 of Carboniferous Xiaohaizi Formation at Bachu-Makit area (The left is the photo under CL; the right is the photo under single polar. ×100. Do—dolomite; Dic—dickite; Fl—Fluorite)

(A—B: The photos of thin section of BT4, at 4312.11 m. Fluorite and dickite completely filled in dissolved pore together, some dickite crystals scattered in fluorite like mosaic shape. The color of fluorite under CL was violet, and dickite was mauve. The left bottom was the edge of thin section. The white arrow in A was the residual dolomite. C—D: The photos of thin section of BT4, at 4312.11 m. Dickite filled in intergranular and dissolved pore. The color of dickite under CL was mauve. The yellow area under single polar was dissolved pore without completely filled in, because of being roasted under higher voltage. E—F: The photos of thin section of BT4, at 4312.11 m. Dolomites recrystallized along the dissolved pore wall, which were clean and bigger, the color under CL was dark red, while the crystals of matrix dolomite were smaller and dirty, the color under CL was orange. The yellow area under single polar was dissolved pore, because of being roasted under higher voltage.)

隙度的分析,热液溶蚀发育段的孔隙度大于未发生热液溶蚀段。未发生溶蚀段的岩芯孔隙度范围为0.8%~3.6%,平均1.65%,热液溶蚀段岩芯的孔隙度最大可达13.5%,平均9.7%。虽然热液溶蚀能改善储层物性,但是产生的萤石和地开石是堵塞孔隙的矿物,除地开石的晶间孔尚有一定储集空间外,对储层物性具有破坏作用。

5 结论

(1) 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区石炭系小海子组碳酸盐岩中存在大量自生地开石,与萤石共存,表明该地层中存在热液活动。由于地层中未见地开石的前身矿物,并且在温度低于100℃的地层中也出现了地开石,推断该区地开石为热液成因。在热液影响下,当温度超过100℃,由有机酸所络合的铝和地层中的硅反应可沉淀出地开石。

(2) 由于不存在风化壳,小海子组碳酸盐岩储层大量发育的溶蚀孔隙不可能仅由淡水溶蚀形成,埋藏环境中的热液溶蚀是形成小海子组碳酸盐岩储层的重要机理。沿断层和裂缝分布的热液溶蚀孔隙,是小海子组碳酸盐岩主要的油气储集空间,是塔里木盆地石炭系小海子组碳酸盐岩今后油气勘探的重要方向。

致谢 本文曾得到黄思静教授的帮助,在此表示感谢!

参考文献(References)

- 陈芸菁. 沉积岩中地开石—高岭石混层矿物的发现及成因探讨[J]. 沉积学报, 1984, 2(2): 92-96 [Chen Yunqing. Discovery of mixed-layer dickite-kaolinite in sedimentary rock and discussion on its origin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1984, 2(2): 92-96]
- Lanson B, Beaufort D, Berger G, Bauer A, et al. Authigenic kaolin and illitic minerals during burial diagenesis of sandstones: a review[J]. Clay Minerals, 2002, 37: 1-22
- Ehrenberg S N, Aagaard P, Wilson M J, et al. Depth-dependent transformation of kaolinite to dickite in sandstones of the Norwegian Continental shelf[J]. Clay Minerals, 1993, 28: 325-352
- McAulay G E, Burley S D & Johnes L H. Silicate mineral authigenesis in the Hutton and NW Hutton fields: implications for sub-surface porosity development[C]// Parker J R, ed Petroleum Geology of Northwest Europe. The Geological Society, London, 1993: 1377-1394
- 黄思静, 裴锡古, 谢庆邦. 陕甘宁盆地中部奥陶系碳酸盐风化壳中的地开石及其与储层的关系[J]. 成都理工学院学报, 1995, 22(3): 43-51 [Huang Sijing, Pei Xigu, Xie Qingbang. Dickite and its significance in Ordovician carbonate reservoir of Shanganning Basin[J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 1995, 22(3): 43-51]
- 赵杏媛. 塔西南坳陷下奥陶统风化壳中地开石的发现及其意义[J]. 新疆石油地质, 1997, 18(4): 307-311 [Zhao Xingyuan. The discovery of dickite and its significance in Ordovician carbonate reservoir of southwest of Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1997, 18(4): 307-311]
- Maliva R G, Dickson J A D & Fallick A E. Kaolin cements in limestones: potential indicators of organic-rich pore waters during diagenesis[J]. Journal of Sedimentary Research, 1999, 69: 158-163
- Schroeder R J and Hayes J B. Dickite and kaolinite in Pennsylvanian limestones of southeastern Kansas[J]. Clays and Clay Minerals, 1968, 16: 41-49
- McAulay G E, Burley S D, Fallick A E & Kuszniir N J. Palaeohydrodynamic fluid flow regimes during diagenesis of the Brent Group in the Hutton-NW Hutton reservoirs: constraints from oxygen isotope studies of authigenic kaolin and reverse flexural modeling[J]. Clay Minerals, 1994, 29: 609-626
- 周中毅, 刘德汉, 盛国英. 新疆某地区古地温地质模式与生油期推断[J]. 沉积学报, 1983, 1(2): 143-152 [Zhou Zhongyi, Liu Dehan, Sheng Guoying. Geological model of paleotemperature and calculation of oil generation period in the BZ area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1983, 1(2): 143-152]
- 肖传桃, 李罗照, 姜衍文, 等. 新疆巴楚小海子地区小海子组内沉积间断的发现及其意义[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(3): 54-57 [Xiao chuantao, Li Luozhao, Jiang Yanwen, et al. The discovery of sedimentary hiatus in Xiaohaizi Formation in Xiaohaizi Area, Bachu, Xinjiang and its geological significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(3): 54-57]
- 李新民, 丁勇, 张旭, 等. 巴楚—麦盖提地区不整合面特征与油气分布关系[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(6): 475-477 [Li Xinmin, Ding Yong, Zhang Xu, et al. Characteristics of unconformity and its relations to hydrocarbon in Bachu-Mageit area[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(6): 475-477]
- 旷理雄, 郭建华, 陈运平, 等. 塔里木盆地巴麦地区小海子组碳酸盐岩储集层特征与油气成藏[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2010, 4(6): 2288-2295 [Kuang Lixiong, Guo Jianhua, Chen Yunping, et al. The characteristic of carbonate reservoir of XiaoHaizi formation and hydrocarbon accumulation in Bachu-Markit area in Tarim Basin[J]. Journal of Central South university: Science and Technology, 2010, 4(6): 2288-2295]
- 王琪, 史基安, 陈国俊, 等. 塔里木盆地西部碳酸盐岩成岩环境特征及其对储层物性的控制作用[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 548-555. [Wang Qi, Shi Jian, Chen Guojun, et al. Characteristics of diagenetic environments of carbonate rocks in Western Tarim Basin and their controls on the reservoir property[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 548-555]
- Bailey S W. Structures of layer silicates[C]// Brindley G W & Brown G eds. Crystal structures of clay mineral and their X-ray identification. Monograph 5, Mineralogical Society, London, 1980: 1-123
- Götze J, Plötze M, Götze Th, et al. Cathodoluminescence(CL) and electron paramagnetic resonance(EPR) studies of clay minerals[J]. Mineralogy and Petrology, 2002, 76: 195-212

- 17 Beaufort D , Cassagnabère A , Petit S , *et al.* Kaolinite-to-dickite conversion series in sandstone reservoirs [J]. *Clay Minerals* , 1998 , 33: 297-316
- 18 Kempe U , Götze J , Dandar S , *et al.* Magmatic and metasomatic processes during formation of the Nb-Zr-REE deposits Khaldzan Burgete and Tsakhir (Mongolian Altai): Indications from a combined CL-SEM study [J]. *Mineralogical Magazine* , 1999 , 63(2) : 165-177
- 19 Lanson B , Beaufort D , Berger G , *et al.* Late-stage diagenesis of clay minerals in porous rocks: Lower Permian Rotliegendes reservoir offshore of The Netherlands [J]. *Journal of Sedimentary Research* , 1996 , 66: 501-518
- 20 Ruiz Cruz M D & Reyes E. Kaolinite and dickite formation during shale diagenesis: isotopic data [J]. *Applied Geochemistry* , 1998 , 13: 95-104
- 21 De Bona J , Dani N , Ketzer J M , *et al.* Dickite in shallow oil reservoirs from Rec neavo Basin , Brazil: diagenetic implications for basin evolution [J]. *Clay Minerals* , 2008 , 43(2) : 213-233
- 22 Ehrenberg S N & Nadeau P H. Formation of diagenetic illite in sandstones of the Gam formation , Haltenbanken area , mid-Norwegian continental shelf [J]. *Clay Minerals* , 1989 24: 233-253
- 23 Surdam R C , Crossey L J , Boese S W. The chemistry of secondary porosity [J]. *Petroleum Geologists , Memoir 37* , 1984: 127-150
- 24 朱东亚 , 金之钧 , 胡文瑄 , 等. 塔里木盆地深部流体对碳酸盐岩储层影响 [J]. *地质论评* . 2008 , 54(3) : 348-354 [Zhu Dongya , Jin Zhijun , Hu Wenxuan , *et al.* Effects of deep fluid on carbonates reservoir in Tarim Basin [J]. *Geological Review* , 2008 54(3) : 348-354]
- 25 金之钧 , 朱东亚 , 胡文瑄 . 塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响 [J]. *地质学报* 2006 80(2) : 245-253 [Jin Zhijun , Zhu Dongya , Hu Wenxuan , *et al.* Geological and geochemical signatures of their influence on carbonate reservoir hydrothermal activity and beds in the Tarim Basin [J]. *Acta Geologica Sinica* , 2006 80(2) : 245-253]
- 26 朱东亚 , 胡文瑄 , 宋玉才 , 等. 塔里木盆地塔中 45 井油藏萤石化特征及其对储层的影响 [J]. *岩石矿物学杂志* 2005 24(3) : 205-215 [Zhu Dongya , Hu Wenxuan , Song Yucai , *et al.* Fluoritization in Tazhong 45 reservoir: characteristics and its effect on the reservoir bed [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* , 2005. 24(3) : 205-215]
- 27 Icote M , Masse J P , Perinet G *et al.* Pleistocene lacustrine stromatolites , composed of calcium carbonate , fluorite , and dolomite , from Lake Natron , Tanzania: depositional and diagenetic processes and their paleoenvironmental significance [J]. *Sedimentary Geology* , 1990 , 69(1-2) : 139-155

The Distribution and Origin of Dickite in Carbonate

FU Mei-yan ZHANG Shao-nan HU Wei

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation(Chengdu University of Technology) ,
Energy Resource College of Chengdu University of Technology , Chengdu 610059)

Abstract: Dickite was detected in carbonate of Xiaohaizi Formation at Bachu-Markit area , in Tarim Basin in this study. Identification of dickite was made by X-Ray diffraction. Through thin section and CL observing , the morphological character and distribution of dickite were studied. Dickite was blocky , and the size of its crystal was 3-13 μm , which distributing widely in the dissolved pores , intercrystalline pores of dolomite , and in the dissolved segment of stylolites. The thin sections in study area were observed under cathode luminescence , and we found that there were some fluorites coexisting with dickite. The mineral association of dickite and fluorite illuminated that there was hydrothermal activity in Xiaohaizi formation in study area. Generally , dickite and fluorite were rich in certain layer , which can be use to trace the depth of hydrothermal fluid. Because of absence of a precursor mineral , and dickite occurring in the formation with temperature less than 100 $^{\circ}\text{C}$, it was proposed that dickite was hydrothermal origin. Hydrothermal fluid not only created the condition of dickite formation , but also led to form many dissolved pores in carbonate of Xiaohaizi Formation. The reaction between hydrothermal fluid and rock led to dolomite was replaced by fluorite , and dolomite recrystallized along the dissolved pore wall. Base on physical properties data of reservoirs , it's obvious that the hydrothermal corrosion can make porosity increase. However , fluorite and dickite filled in pores could destroy porosity. As a result , we suggest that hydrothermal corrosion was the important mechanism of carbonate reservoir formation in Xiaohaizi Formation , which can guide the oil and gas exploration in the future.

Key words: Tarim Basin; Xiaohaizi Formation; dickite; fluorite; carbonate; hydrothermal