

# 热液改造白云石及其与油气的关系

张 中 欣

(西安石油大学油气资源学院, 陕西 西安 710065)

**摘 要:** HTD 储层相一般由张性或扭断层等构造控制, 活动断层对流体和储层的作用很关键。通过分析热液白云石化作用, 找出这种类型岩石的基本特征及区域构造背景, 为热液白云岩储层的分布提供了依据。结合国内外研究的不同进展, 提出了对热液白云石化作用的埋藏深度的不同定义是目前存在的分歧之一, 也是以后研究的方向。

**关 键 词:** 热液白云石化作用; 热液白云岩储层; 埋藏深度; 热液

**中图分类号:** TE 122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0935 (2011) 01-0072-04

长期以来, 国内外的广大地质研究学者一直在探索与研究白云岩的成因问题; 随着科技的进步, 研究手段的多样化, 和不断深入的研究, 特别是在扫描电子显微镜的运用, 沉积地球化学、化学热力学、化学动力学和地下水文动力学的发展, 以及测试技术的提高, 以及碳酸盐岩储层地质学、岩相和成岩作用、地球化学、盆地模拟、构造背景、流体包裹体分析、构造地质学、岩石结构的地质力学意义、碳酸盐岩主岩的矿床地质、地震解释以及在断层中的流体流动等学科间的相互渗透和边缘学科的迅猛发展, 使白云岩化理论更加全面, 更加准确, 日趋完善<sup>[1]</sup>。在这种情况下, 20 世纪 90 年代, 出现了一种新的白云岩化作用—与区域构造、火山运动、变质热液等作用下产生的白云石化作用。2006 年 11 月 AAPG 以“构造控制热液改造的碳酸盐储层”为主题出版了一本专辑, 重点阐述和介绍了热液白云岩<sup>[2]</sup>。热液白云岩在世界碳酸盐岩研究中的地位可想而知。

## 1 热液白云石化作用

### 1.1 基本概念

构造控制的热液白云石化作用作为碳酸盐岩勘探与研究领域的重大进展, 该模式一般认为是: 在深埋藏条件下, 地层深部的富镁热液 (特别是卤水) 在温度 (5 °C 或更高) 和压力 (压力稍高于围岩) 升高的埋藏条件下沿着深部断裂 (拉张断层或转换断层或断裂系统) 运移上升至浅层灰岩中, 碰到灰岩上

部封闭性好的碎屑岩阻挡层 (碎屑岩主要是泥岩、页岩或膏岩等, 因它们孔隙率低, 渗透性差对从下上涌的热源有良好的遮挡作用) 后侧向运移侵入到渗透性好的围岩 (特别是距地表不到 1 km 的灰岩) 中形成的白云石化改造作用。热液白云石化作用也可能发生而且确实可以发生在埋藏较浅深度不足 1 km 的地方; 甚至深度不足 500 m, 不过前提是压力和温度往往与埋藏相当深的相似。

### 1.2 热液成岩作用与埋藏作用的区别

White 的经典定义为: “热液是指温度明显高于周围环境 (5 °C 或更高) 的水或液体。热液的标准是侵入主岩 (灰岩) 的温度至少要高于围岩 5 °C 以上的流体或矿化物质, 通常压力也要高于围岩, 是地热异常存在的证据; 断层作用或裂缝作用是流体移动的机理或通道。热液的主要来源于区域构造变动、岩浆活动、火山运动、变质作用等等。根据 (Machel 和 Lonnee, 2002) 定义, 必须要区分 2 个概念, 热液和地热。热液的成岩温度和压力高于周围围岩环境的压力和温度; 地热是在周围围岩环境下流体缓慢流动产生的成岩作用。

根据 (王小林和金之钧, 2009) 利用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱 (LA-ICP-MS) 对塔里木盆地地下古生界白云岩为对象进行的 REE 分析表明, 不同成因类型的白云石化作用, REE 具有不同的配分特点 (见图 1)。(a) 埋藏白云石, 早期灰岩被浓度高的孔隙流体交代, REE 含量具有核部小于边部, 与其他成因白云石相比, 高于灰岩但低于准同生白

收稿日期: 2010-08-25

作者简介: 张中欣 (1984-), 男, 山东冠县人, 西安石油大学油气资源学院 2009 级硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 研究方向: 层序地层与隐蔽油气藏。E-mail: 634238118@qq.com, 电话 133 7909 7315。

云石。(b) 热液改造白云石, 白云石的形成与热液有密切和及其重要的关系, 造成大量的 REE 流失, 所含的 REE 在成岩(改造)白云石中最低, Eu 正异常显著, 核部 REE 含量大于边部。根据 REE 含量来区分, 埋藏白云石的含量要大于热液白云石; 埋藏白云石的 REE 含量具有核部小于边部, 热液白云石核部 REE 含量大于边部。

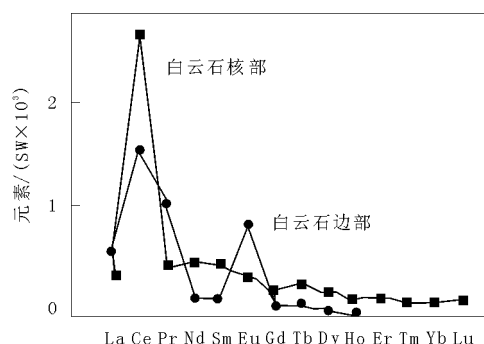


图 1 热液改造白云石的配分特征

与热液白云石相比, 埋藏白云石具有相对封闭的成岩环境, 流体的运移通道不如热液白云石那么快捷, 流动性相对较弱, 一般沿层理、裂隙、缝合线运移, 与热液白云石沿活动断层相比有很大的区别。

### 1.3 国内外勘探成果

在北美关于热液白云岩已经有很长的研究历史, 并取得很好的研究效果, 找到了很多产量丰富, 产值比较高的油田。通过长时间的理论研究和实际勘探、开发, 大量的热液白云岩储层在美国的密歇根盆地<sup>[3]</sup>、阿巴拉契亚盆地<sup>[4]</sup>和其他盆地<sup>[5]</sup>, 主要是下古生界的油气, 以奥陶系为主, 也包含志留系<sup>[6]</sup>和泥盆系<sup>[7]</sup>; 这种热液白云岩油气储层在以及加拿大东部和加拿大西部沉积盆地的泥盆系和密西西比组<sup>[8]</sup>中也被发现。在大西洋断裂边缘的侏罗系<sup>[9]</sup>和阿拉伯海湾地区<sup>[10]</sup>的侏罗系-白垩系也有产出。

在中国, 强烈的岩浆-火山作用发生在塔里木盆地二叠纪, 所引起的深度热液通过不整合面、裂缝、断裂运动, 所经碳酸盐岩围岩发生的热液白云石化作用, 改善了油气储层, 为以后油气成藏疏通了通道, 提供了场所; 构造热液白云石化模式同样在黔桂地区, 孤立碳酸盐台地、连陆碳酸盐台地与台间海槽相间排列的古地理现象被解释为黔桂地区晚古生代由基底断裂控制形成, 断裂与碳酸盐岩区域的有力组合对于碳酸盐岩储层的改善大有裨益; 通过对南京汤山地区上震旦统及古生界同一地区的不同

层位白云岩的成因分析表明, 这些白云岩的都跟构造热液白云岩化作用有关, 被解释为构造热液白云岩。塔里木盆地及鄂尔多斯盆地寒武系-奥陶系碳酸盐岩油气储层, 跟热液白云石化作用有很大的关系。塔中地区深层发育构造-热液白云岩, 川东南丁山-林滩场构造灯影组热液白云岩等等, 这些都表明热液白云岩化作用的普遍性存在, 并记录在这些岩层中。

## 2 热液白云石化改造的基本条件

### 2.1 热液流体于断层的关系

热液白云石化的成岩环境要求其温度和压力均要大于周围环境。要保持相当大温度和压力差, 要在成岩流体环境和成岩埋藏环境形成巨大的温度和压力差, 热液必须沿着快速通道运移, 这种运移是幕式的, 间歇性的, 不可能是沿着渗透性差的通道运移, 只能是沿着活动断层快速运移。这种断层没有发生矿化作用, 对于较深处底部饱含高温、高压流体的含水层盖层有可能其破坏作用, 保证高温、高压流体沿活动断层快速运移(见图 2)。

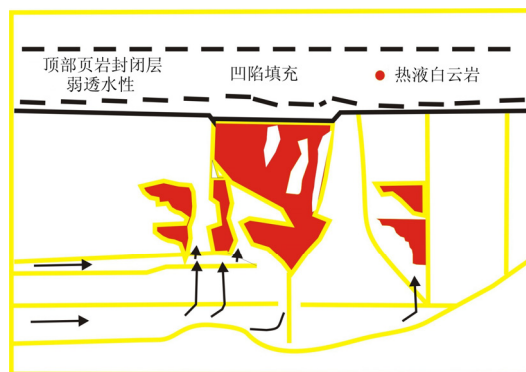


图 2 热液成岩模式图

### 2.2 热液白云石化作用的构造背景

这种白云化作用, 一般发生在构造活动比较强烈的盆地, 比较稳定的克拉通盆地和前陆盆地, 一般分布较少, 或较少发生。热液系统以及在此形成的相关矿物(床)(包括白云岩)优先在热流升高的大地构造背景中发育, 这种背景包括伸展大陆边缘地壳变薄区、弧后伸展盆地内部和向陆一侧、大型裂谷盆地的内部和早期的聚敛型大陆边缘盆地。高的热对流异常可能主要沿深大扭张(走滑)基底断裂处发生。大量热液系统引起的热液白云岩化作用尽管可以在聚敛型盆地的早期发生(特别是斜向应力引起的深大走滑断裂系统的复活), 但其发生的主要时

期在于盆地伸展期(张性构造环境),而非盆地挤压期(强烈收缩的构造环境),这种热液系统异常活跃是幕式的,并且在应力,流体孔隙压力和流体速度等方面有突变,地质作用和产物具有瞬时性。

### 2.3 热液白云石化的优势位置

大量文献表明,热流体大规模运移及由此引起的一系列地质作用都与断裂作用有关,并且对一些特殊的构造背景有一定的偏好,这些有利的构造背景包括<sup>[11]</sup>:①伸展(正)断层,特别是断层的上盘;纯张性断层或扭性断层的上盘(下降盘)对于白云石化的发生非常有利。这是因为断层顶端扩展过程中,压力驱动的流体比较容易进入上盘,增加了上盘的破裂作用②扭张(深大走滑)断层,特别在释压断错处。一般来说,走滑断层是简单剪切作用的结果,我们必须要是里德尔剪切或P剪切的雁列构造要素。扭断层的很多特征对白云岩的形成有很大作用:剪切构造,尤其是垂直和近垂直,从基底延伸转换为倾斜或雁列排列的剪切构造。由基底岩石剪切或位移(和活化)而形成的扭断层。断层的扭张-膨胀作用对流体向上流动和聚集集中起着关键作用。作为断层流体阀门的含水层,对于断层幕式运动提供阶段性的流体。特定构造边角处是扭断层体系内流体最容易发生的地方。花状构造,剪状断层和挤压褶皱是扭应力和扭张应力活跃期。③上述各种断层(包括转换断层)的交汇处。

## 3 热液成因白云岩的岩石学特征

### 3.1 热液白云石

热液白云岩的形成是热液白云石化作用最有力、最直接的证据。热液白云岩主要包括构造热液白云岩和变质热液白云岩,和绝大多数白云岩一样也是一种次生白云岩,以裂缝、溶孔、溶洞内衬壁胶结型白云石和基质交代型白云石为特征。构造热液白云岩,通常沿着断层或裂缝或深切基底的断裂产出,产状一般为脉状,粗晶自形白云石,波状消光,铁泥质环带以及Fe、Mn分带现象明显,包裹体富含烃类气具有一流两相的特征。非晶质白云石,高铁质,富含放射性成因的Sr,具有明显的亲火山热液特征。变质热液白云岩具有明显亲变质热液特征,产状、晶形与构造热液白云石有很大的相似性。

### 3.2 鞍状白云石

鞍状白云石是一般认为是热液成因白云石的一

种关键性的标志物,但是它还不构成热液白云岩的特有标志,也就是说鞍型白云石不一定在所有的热液白云石中存在<sup>[12]</sup>。鞍型白云石的颜色有很多种,当鞍型白云石对印模、孔洞和裂缝发生衬壁和填充时,呈现出弯曲的晶体表面,粗晶的白色群体;这种鞍状白云石是热液环境最有力的证据。鞍型白云石,在对薄片进行显微镜观察时,在正交显微镜下呈现波状消光。鞍型的形态、弯曲形状,在反射光线下的颜色,在薄片较粗基质白云石晶体之间的不平整边界,在全球不同地区不同时代鞍型的白云石的对比,鞍型白云石中流体包裹体的含盐度,氧同位素的含量,碳同位素的比值,锶同位素的比值,在具体实际操作中,必须综合考虑这些因素才能准确判断他们的成因。

## 4 前景展望

关于热液成因白云石化作用的问题,前面已经提到了很多,并且在AAPG以及在国内期刊已经发表了相关的文章,目前热液白云石化的深度问题仍然存在争议。热液成因的要求是流体温度和压力高于围岩的成岩环境,也就是说,其温度和压力比其在普通深度时的温度压力大得多,对于具体的热液成岩深度没有明确的标定和限定,只有了一般埋藏比较浅。Lavoie等<sup>[13]</sup>认为魁北克Gaspé地区下志留统白云岩的形成深度一般不会超过1 km;Smith(2006)发表的论文侧重研究了美国纽约州奥陶系的特伦顿-布莱克里弗群碳酸盐岩,认为热液蚀变在地层沉积后不久,埋藏深度只有几百米的情况下就已经发生。Graham等通过对密歇根盆地、阿巴拉契亚盆地以及加拿大东部及其他盆地分析,认为热液白云石化,通常深度不大。何莹等<sup>[14]</sup>通过对塔里木盆地牙哈-英买力地区寒武系-下奥陶统白云岩埋藏热液白云岩研究,得出的结论是热液白云石化形成的深度>3 500 m。赫云兰等认为白云石化形成的深度一般>2 500 m。

## 5 对未来油气勘探的启示

(1) 热流体总是优先沿着断裂运移,热液白云石化作用也就局限在其附近,由此可见断裂控制了HTD的发生,这样也解释了为什么在台缘断裂带附近发育井的这一层位有HTD现象,而其他井则无。这为进一步精确勘探和研究储层的分布起到了指引

作用,有利于降低风险,节约成本。

(2) 随着我国对海相碳酸盐岩油气勘探力度的加大,那些埋藏较深,时代较老,压实强度较大,在我国南方广泛分布的海相碳酸盐岩、塔里木盆地深部和鄂尔多斯盆地深度广泛发育的寒武系-奥陶系构造热液型的白云岩储层将会是下一步的勘探重点。

(3) 热液白云石化模式的提出,是白云石化作用的一项进步,丰富了白云石化的形成机理,开拓了碳酸盐岩勘探的领域,是碳酸盐岩勘探领域的重要进展。

(4) 深部大断裂以及火山岩比较发育的地区是热液改造白云岩储集层的优势发育地带,也是以后勘探的方向之一。

(5) 构造活动比较强烈的盆地,以及叠合盆地的下古生界海相碳酸盐岩地区,如果基地发育大断裂的提供充足的热液流体供应,也是热液白云岩非常有利的发育区域。

#### 参考文献:

- [1] 罗平,贾爱林,王雪松,等.中国油气储层地质研究现状与发展前见:中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室论文集[C].北京:石油工业出版社,2001:11-16.
- [2] 覃建雄.白云石化研究的新进展[J].地质科技情报,1992,11(2):23-27.
- [3] Davies G R, Smith L B. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview [J].AAPG Bulletin, 2006, 90(11):1641-1690.
- [4] John A L.Evidence against the Dorag (mixing-zone) model for dolomitization along the Wisconsin arch: A case for hydrothermal diagenesis [J].AAPG Bulletin, 2006, 90(11):1719-1738.
- [5] Lavoie D, Chi G, Alpert P B,et al. Hydrothermal dolomitization in the Lower Ordovician Romaine Formation of the Anticosti basin: Significance for hydrocarbon exploration[J].Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2005, 53 (4): 454-471.
- [6] Lavoie D, Morin C. Hydrothermal dolomitization in the Lower Silurian Sayabec Formation in north Gaspé-Matapédia(Quebec): Constraint on timing of porosity and regional significance for hydrocarbon reservoirs[J].Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2004, 52(3): 256-269.
- [7] Lonnee J, Hans G M. Pervasive dolomitization with subsequent hydrothermal alteration in the Clarke Lake gas field, Middle Devonian Slave Point Formation, British Columbia, Canada[J].AAPG Bulletin, 2006, 90(11):1739-1761.
- [8] John A L, William B H, Williams N S. Fractured hydrothermal dolomite reservoirs in the Devonian Dundee Formation of the central Michigan basin [J].AAPG Bulletin, 2006, 90 (11): 1787-1801.
- [9] Aasm I A. Origin and characterization of hydrothermal dolomite in the western Canada sedimentary basin [J].Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78-79: 9-15.
- [10] David A K, Eberli G P, Swart P K, et al. Tectonic-hydrothermal brecciation associated with calcite precipitation and permeability destruction in Mississippian carbonate reservoirs, Montana and Wyoming[J].AAPG Bulletin, 2006, 90(11):1803-1841.
- [11] Wierzbicki R, Dravis J J, Aasm I A, et al. Burial dolomitization and dissolution of Upper Jurassic Albian platform carbonates, Deep Panuke reservoir, Nova Scotia, Canada [J].AAPG Bulletin, 2006, 90(11):1843-1861.
- [12] Swart P K, Cantrell D L, Westphal H, et al. Origin of dolomite in the Arab-D reservoir from the Ghawar field, Saudi Arabia: Evidence from petrographic and geochemical constraints [J].Journal of Sedimentary Research, 2005, 75(3):476-491.
- [13] Lavoie D, Morin C. Hydrothermal dolomitization in the Lower Silurian Sayabec Formation in north Gaspé Matapédia (Quebec): constraint on timing of porosity and regional significance for hydrocarbon reservoirs. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2004, 52(3):256-269.
- [14] 何莹, 鲍志东, 沈安江, 等.塔里木盆地牙哈-英买力地区寒武系-下奥陶统白云岩形成机理[J].沉积学报, 2006, 24(6):806-818.

## Hydrothermal Alteration Dolomitization and Its Relationship With Oil and Gas

ZHANG Zhong-xin

(Xi'an Shiyou University, Shaanxi Xi'an 710065, China)

**Abstract:** HTD reservoirs mostly occur around transtensional faults, active faults make the best conduits and play an important role in hydrothermal fluid and carbonate reservoir. In this paper, through analyzing hydrothermal alteration dolomitization, characteristic and regional structural background of this type of rock were discussed, which can provide a evidence to determine the HTD reservoirs distribution. At last, research trend of hydrothermal alteration dolomitization was put forward.

**Key words:** Hydrothermal alteration dolomitization; Hydrothermal dolomite reservoir; Burial depth; Hydrothermal fluid