

# 云南会泽超大型铅锌矿床 HTD 白云岩的厘定及其形成机制

文德潇<sup>1,2</sup>, 韩润生<sup>1</sup>, 王峰<sup>2</sup>, 贺姣姣<sup>1</sup>, 邱文龙<sup>1</sup>, 夏颜乐<sup>2</sup>, 陈随海<sup>3</sup>, 倪尔建<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 有色金属矿产地质调查中心西南地质调查所, 云南 昆明 650093; 2. 云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 655011; 3. 昆明理工大学 土木工程学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:** 会泽超大型铅锌矿床是世界著名的特富铅锌矿床之一, 热液白云岩(HTD)是其赋矿围岩, 本文在典型剖面精细测量和镜下鉴定的基础上, 将矿区的白云岩划分为埋藏白云岩与 HTD 白云岩两类, 并结合包裹体研究对 HTD 白云岩进行厘定, 结果表明: ① 研究矿床 HTD 白云岩产出受 NE 向压扭性层间断裂控制, 优先发育在断层上盘。② 发育大量裂(孔)隙, 溶孔具有线状与面状分布特征。③ 鞍状白云石颗粒粗大, 呈肉红色、灰白色或棕色, 具独特尖顶、他形鞍状、曲面鞍形、曲面接触、晶内微裂隙、溶孔, 见波状消光与雾心亮边。④ 鞍状白云石呈厚层状产出, 与黄铁矿等热液矿物共生, 并发育晶洞充填物。⑤ 鞍状白云石具基质交代型和孔-缝充填型, 在 HTD 白云岩与灰质白云岩狭窄过渡带, 见伴随其形成而形成的斑马状构造、角砾状构造。⑥ NW 向张性断裂带为构造流体运移通道, 发育网脉状白云石化, 其白云石包裹体均一温度高(250~438℃), 盐度变化范围大(3.4%~17.2%)。NE 向压扭性断裂带为构造流体成岩场所, 控制厚层状白云石化展布, 其白云石包裹体均一温度高(180~354℃), 盐度低(1.1%~5.9%)。通过对矿区 HTD 白云岩形成的流体驱动机制、流体性质、裂(孔)隙特征、矿化指示分析, 得出“在挤压背景下, 受碳酸盐岩地层中的 NE 向压扭性层间断裂带控制”的 HTD 白云岩成因认识, 即: ① 区域冲断褶皱作用是流体运移的深部动力机制; ② 偏酸性富 CO<sub>2</sub> 的中高温-中盐度流体在冲断褶皱构造系统内大量集聚, 在其配套的 NE 向压扭性层间断裂上盘与膨胀部位形成厚层状白云岩。③ 裂(孔)隙对流体多期次与成岩强度具有指示意义。④ HTD 白云岩岩性分带、成岩强度、构造特征(显微构造)对矿体产出具有指示意义。

**关键词:** HTD 白云岩; 鞍状白云石; 会泽铅锌矿床; 滇东北矿集区

中图分类号: P618.4; P588.24+5

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)06-1086-13

## Features and formation mechanism of HTD dolomites in the Huize lead-zinc deposit, Yunnan Province

WEN De-xiao<sup>1,2</sup>, HAN Run-sheng<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>2</sup>, HE Jiao-jiao<sup>1</sup>, QIU Wen-long<sup>1</sup>, XIA Yan-le<sup>2</sup>, CHEN Sui-hai<sup>3</sup> and NI Er-jian<sup>2</sup>

(1. College of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology; Southwest Geological Survey, Geological Survey Center of Nonferrous Metal Resources, Kunming 650093, China; 2. Yunnan Chihong Resource Exploration and Development Co., Ltd., Qujing 655011, China; 3. Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

**Abstract:** The Huize lead-zinc deposit has become one of world-famous deposit for its extremely high reserves of ores and a large number of dispersed elements (Ge, Ga, Cd and In, etc.). The hydrothermal dolomite is the

收稿日期: 2014-03-20; 修订日期: 2014-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1133602, 40863002); 中国地调局典型矿集区评价示范子项目“滇东北矿集区找矿预测(2014)”; 国家危机矿山专项(20089943); 云南省自然科学基金重点项目(2010CC005); 云南省矿产资源预测评价工程实验室(2010)和省、校创新团队项目

作者简介: 文德潇(1988-), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业, E-mail: 597103713@qq.com; 通讯作者: 韩润生(1964-), 研究员, 矿床学、构造成矿动力学及隐伏矿预测研究方向, E-mail: 554670042@qq.com.

most important host rock in this orefield. On the basis of identification of typical sections in combination with geological logging and inclusion investigation of dolomites, the authors divided the dolomites in the ore district into burial dolomites and HTD (Structure Controlled Hydrothermal Dolomite). Some conclusions have been reached based on the study of the HTD dolomites: ① The formation of HTD was controlled by NE-trending compresso-shear interlayer fractures, and the HTD dolomites are especially well-developed on the upper side of the fracture. ② There exist large quantities of fissure (hole) gaps which reflect the intensity of diagenesis. ③ Dolomites show coarse grains, are pink, gray or brown in color, and exhibit unique spire, anhedral saddle shape, curved face saddle shape, curved face contact, intracrystalline microcracks and dissolved pores as well as wavy extinction and fog core bright side. ④ Saddle-shaped dolomites are thick layered and have geode filled with hot brine. They are associated with disseminated spotted pyrite and some other hydrothermal minerals. ⑤ Saddle-shaped dolomites with microcracks are divided into matrix metasomatic type and pore fracture filling type. In the narrow transition zone between HTD and limestone, they form zebra-shaped structure and brecciated structure. ⑥ HTD inclusions related to NW-trending faults are characterized by high temperature (250 ~ 438 °C) and wide salinity range (3.4% ~ 17.2%), whereas HTD inclusions related to NE-trending faults have high temperature (180 ~ 354 °C) and low salinity (1.1% ~ 5.9%). Through analyzing the driving mechanism of fluid, fluid properties, and indicators of mineralization, the authors revealed the diagenetic mechanism of HTD, i. e., under compression, the formation of HTD was controlled by NE-trending compresso-shear interlayer fissures: ① The regional fold and thrust constituted the deep dynamic mechanism of fluid migration. ② Hot brine fluids with acidic high temperature and salinity were concentrated in the thrust fold system. With the CO<sub>2</sub> boiling occurring on the upper side and in the expansion position of NE-trending compresso-shear interlayer fissures related to the thrust fold system, the thick-layered dolomites were formed. ③ Crack (hole) gaps reflect the intensity of diagenesis. ④ lithologic zoning, diagenetic strength and structural characteristics (microstructures) of HTD are indicators of orebodies.

**Key words:** HTD; saddle-shaped dolomite; Huize lead-zinc deposit; northeast Yunnan ore concentration area

会泽铅锌矿床是世界著名的特富铅锌矿床,除 Pb-Zn 品位特高外,还集众多分散元素(Ge、Ga、Cd 和 In 等)于一身,暗示成矿环境极为特殊(黄智龙等,2004)。热液白云岩是其容矿地质体(柳贺昌等,1999),对成矿环境具有重要指示作用。断裂构造控制的热液白云岩(HTD)是白云岩成岩主流模式(Davies and Smith, 2006; 黄思静等, 2009),其是在温度和压力升高的埋藏条件下,富镁热液沿着拉张断层或转换断层或断裂系统上升,碰到渗透性差的隔挡层后侧向侵入到渗透性好的围岩中而成的(Davies and Smith, 2006)。一般而言,HTD 白云岩与张性构造背景密切相关,常受拉张断层、转换断层或断裂系统控制,发育在扭张性断层和膨胀构造及其上盘(李荣等,2008)。会泽铅锌矿床受冲断褶皱构造控制,处于挤压背景下(韩润生等,2006, 2012),其也产出受构造控制的热液白云岩,其产状特殊: ① 产于埋藏白云岩或交代灰岩中,热液白云岩呈厚层状沿层交代,热液白云岩带厚度为 30 ~ 70

m,少量呈团块状、脉状、网脉状产出,具分带性,过渡带不明显且范围窄,暗示其强烈白云石化处于相对封闭的体系; ② 受压扭性层间断裂带控制; ③ 在成矿前或成矿期都有产出; ④ 白云石包裹体均一温度 110 ~ 400 °C,盐度 5% ~ 20% (张振亮,2006),明显不同于全球 22 处 HTD 白云岩中白云石包裹体均一温在 80 ~ 235 °C 与盐度 5% ~ 30% 的特征(Davies and Smith, 2006)。

HTD 白云岩与铅锌矿化都优先发生在拉张断层上盘,鞍状白云石是其指示矿物(李荣等,2008)。白云岩产状是判别原生与次生白云岩最可靠的标志(刘英俊等,1984),热液白云岩为次生白云岩(韩林,2006),许多研究者(Diehl *et al.*, 2010)也将白云岩宏观产状作为两者区别的重要特征。白云石矿物特征也是区分白云岩成因的可靠标志(黄思静等,2009; 王丹等,2010)。为此,本文在对会泽铅锌矿床典型剖面详细地质编录与镜下鉴定的基础上,划分出埋藏白云岩与 HTD 白云岩,并结合包裹体研究对

HTD白云岩进行厘定,通过构造背景与形成条件分析,提出该矿床“在挤压背景下,受压扭性层间断裂圈闭作用控制的HTD白云岩”的成因认识。

### 1 矿区地质

会泽超大型铅锌矿是我国铅锌、锗生产基地的主力矿山之一,是滇东北矿集区富铅锌矿床的典型代表,由矿山厂、麒麟厂两个大型铅锌矿床及银厂坡小型银铅锌矿床组成(图1)。韩润生等(2001a, 2001b, 2006, 2012)总结了该矿床的地质特征:①矿体主要产于下石炭统摆佐组中上层位的层间断裂带内,在泥盆统宰格组也见零星矿化;②矿体多呈“似层状”、脉状、透镜状、囊状、扁柱状及网脉状;③构造控矿和热液成矿特征显著,常见矿体骤然尖灭

或膨缩等现象,矿体与围岩接触界线截然,矿体平面上呈左列式展布,剖面上呈斜列式阶梯状延伸;④矿石组成简单,主要矿石矿物为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿,脉石矿物主要为白云石和方解石,矿石构造以致密块状构造为主,可见少量的不规则条带状构造等,矿石结构主要为自形-他形晶粒状结构、交代结构;⑤矿床铅锌品位极高(Pb+Zn 平均品位大于30%,部分大于60%),矿体向深部规模增大,品位升高,并共(伴)生Ag、Ge、Ga、Cd、In等有用元素;⑥矿体分带明显,从矿体底板到顶板分为3个带:黄铁矿带(块状细晶黄铁矿+脉状深褐色闪锌矿)、棕色-褐色闪锌矿带(块状棕色-褐色闪锌矿+细粒黄铁矿)、玫瑰色-浅黄色闪锌矿带(块状粗晶玫瑰色-浅黄色闪锌矿+脉状方铅矿);⑦围岩蚀变以(铁)白云石化为主,近矿出现黄铁矿化,方解石化分布范围广。

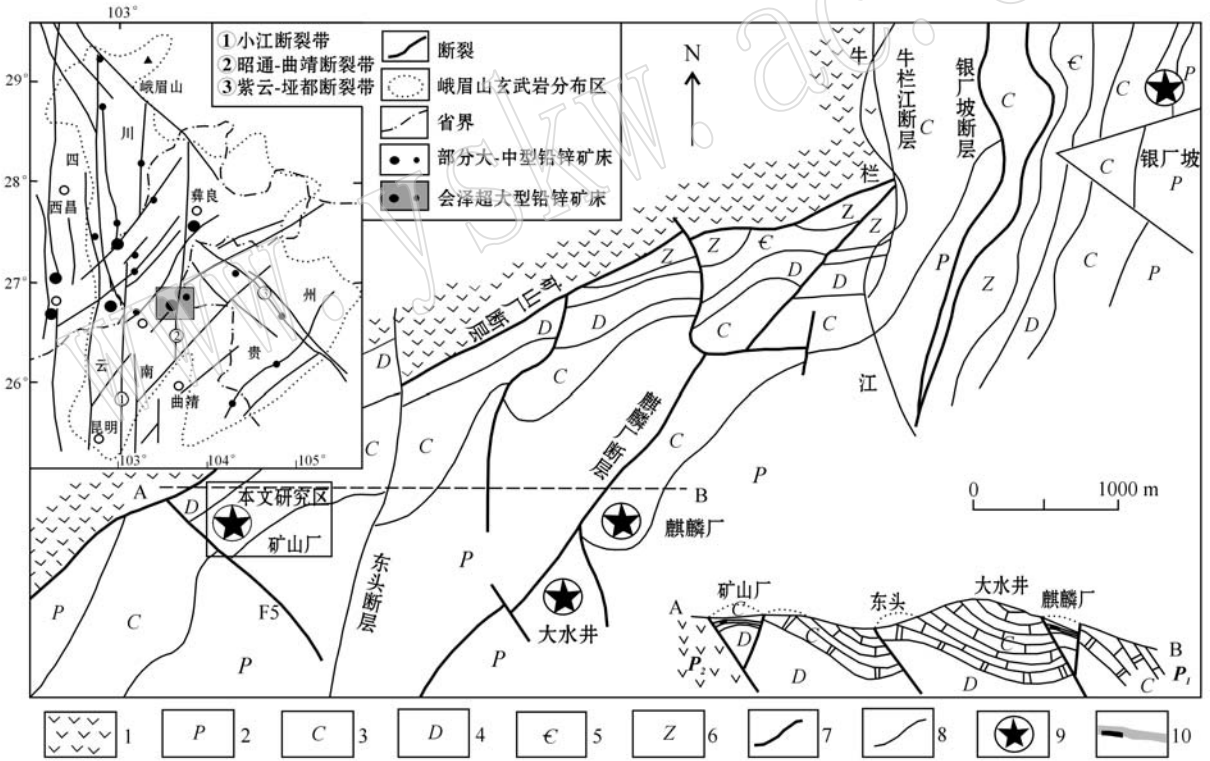


图1 会泽铅锌矿床地质简图(韩润生等,2006)

Fig. 1 Simplified geological map of the Huize lead-zinc deposit (after Han Runsheng *et al.*, 2006)

1—二叠系峨眉山玄武岩; 2—二叠系: 包括栖霞-茅口组(P<sub>1q+m</sub>)灰岩、白云质灰岩夹白云岩, 梁山组(P<sub>1l</sub>)炭质页岩和石英砂岩; 3—石炭系: 包括马平组(C<sub>3m</sub>)角砾状灰岩, 威宁组(C<sub>2w</sub>)鲕状灰岩, 摆佐组(C<sub>1b</sub>)粗晶白云岩夹灰岩及白云质灰岩, 大塘组(C<sub>1d</sub>)隐晶灰岩及鲕状灰岩; 4—泥盆系: 包括宰格组(D<sub>3zg</sub>)灰岩、硅质白云岩, 海口组(D<sub>2h</sub>)粉砂岩和泥质页岩; 5—寒武系: 包括筇竹寺组泥质页岩夹砂质泥岩;

6—震旦系: 包括灯影组(Z<sub>2d</sub>)硅质白云岩; 7—断裂; 8—地层界线; 9—铅锌矿床; 10—HTD与矿体

1—Permian Emeishan basalt; 2—Permian: limestone and dolomitic limestone intercalated with dolostone beds of Qixia Formation-Maokou Formation (P<sub>1q+m</sub>), carbonaceous shale and quartz sandstone of Liangshan Formation; 3—Carboniferous: gravel limestone of Maping Formation (C<sub>3m</sub>), oolitic limestone of Weining Formation (C<sub>2w</sub>), sparry dolostone intercalated with limestone and dolomitic limestone beds of Baizuo Formation (C<sub>1b</sub>), aphanitic limestone and oolitic limestone of Datang Formation (C<sub>1d</sub>); 4—Devonian: limestone, siliceous dolostone and dolostone of Zaige Formation (D<sub>3zg</sub>), siltstone and muddy shale of Haikou Formation (D<sub>2h</sub>); 5—Cambrian: mudstone-shale intercalated with sandy mudstone of Qiongzhusi Formation; 6—Sinian: siliceous dolostone of Dengying Formation (Z<sub>2d</sub>); 7—fault; 8—stratigraphic boundary; 9—lead-zinc deposit; 10—HTD and orebody

## 2 白云岩分带

本次选择了一条穿过摆佐组(C<sub>1b</sub>)、威宁组

(C<sub>2w</sub>)地层的典型剖面(图 2)进行研究,摆佐组(C<sub>1b</sub>)为赋矿地层。C<sub>1b</sub>岩性见浅灰色灰质白云岩、肉红色中-粗晶白云岩、白色中-粗晶白云岩、灰白色粗晶白云岩,而 C<sub>2w</sub> 见深灰色灰岩。

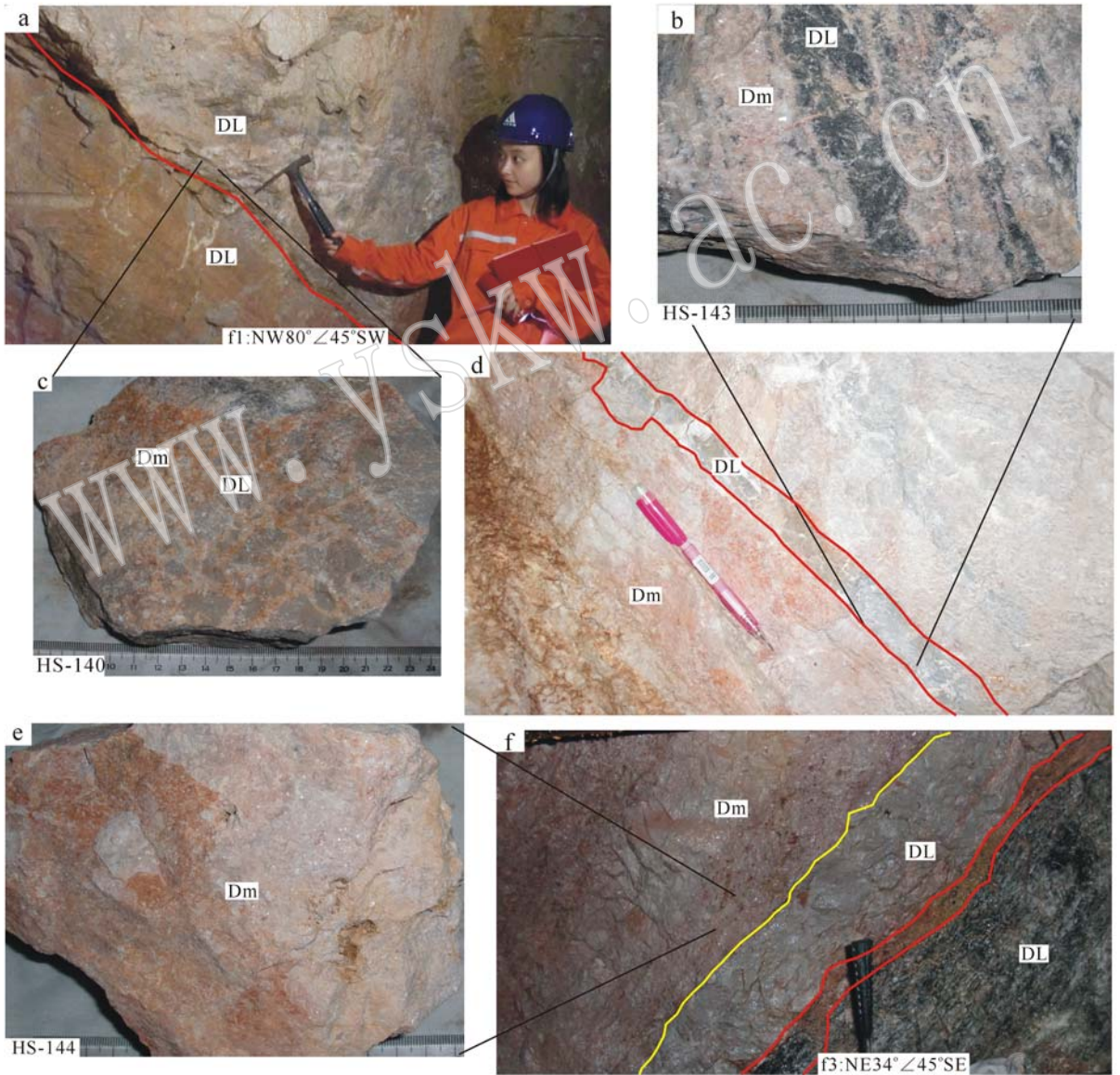
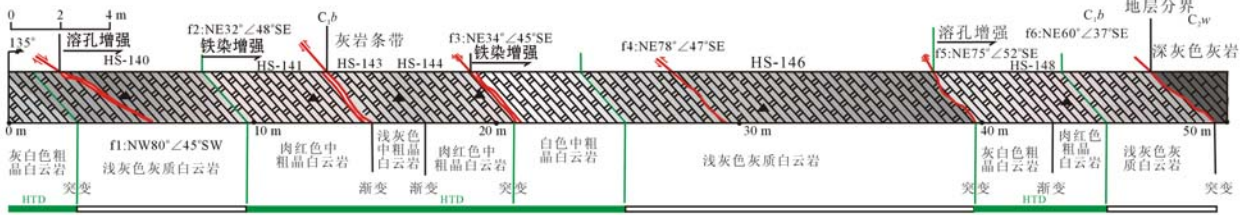


图 2 1584 中段 026 穿脉白云岩分带特征

Fig. 2 Zoning characteristics of dolomite in 026 transverse drift at 1584 level

a, c—网脉状粗晶白云岩分布于灰质白云岩中; b, d—一条带状灰质白云岩分布于粗晶白云岩中; e, f—灰岩、泥化带(断裂带)、灰质白云岩与粗晶白云岩分带性明显; Dm—中粗晶白云岩; DL—灰质白云岩

a, c—stockwork of sparry dolomite distributed in gray limy dolomite; b, d—banding of limy dolomite distributed in sparry dolomite; e, f—limestone, mudding zone (fault zone), limy dolomite and sparry dolomite exhibiting significant zoning; Dm—dolomite; DL—limy dolomite

浅灰色灰质白云岩带: 具有沉积地层特征, 见生物碎屑, 属埋藏白云岩。其与中粗晶白云岩具过渡关系(图 2a, 2c), 其中见中粗晶白云石细脉。矿物主要为白云石、方解石, 少量黄铁矿。白云石含量大约 65%, 粒度 < 0.2 mm、自形-半自形、平直晶面、直面接触。黄铁矿量少, 分布于裂隙带。发育大量方解石粗脉或网脉, 见溶孔与裂隙, 其比中粗晶白云岩带强。矿物生成顺序: 白云石(埋藏白云岩化)→脉状方解石→裂隙带黄铁矿→晶洞方解石。

肉红色中粗晶白云岩带: 浅灰色灰质白云岩残块分布其中(图 2b, 2d), 或二者呈互层产出, 发育溶孔(图 2e, 2f)与裂隙, 沿裂隙见铁染。矿物主要为铁白云石, 含少量方解石、黄铁矿。白云石含量大约 75%, 粒度 0.4~0.8 mm、他形鞍状、曲面鞍形、曲面接触、波状消光、晶内裂隙。黄铁矿量少, 立方体细晶, 散点状分布于白云石晶间。脉状方解石充填顺层裂隙, 乳白色。矿物生成顺序: 肉红色中粗晶白云

石-细晶立方体黄铁矿→脉状方解石→晶洞方解石。

白色中粗晶白云岩带: 少量角砾状灰白色灰质白云岩分布其中, 裂隙发育。矿物主要为铁白云石, 少量方解石。铁白云石大约 80%, 纯白色、粒度 0.4~0.8 mm、他形鞍状、曲面鞍形、曲面接触、波状消光、晶内裂隙。脉状方解石充填顺层裂隙, 乳白色。矿物生成顺序: 白色中粗晶白云岩→脉状方解石→晶洞方解石。

灰白色粗晶白云岩带: 呈厚层状, 见少量角砾状肉红色中粗晶白云岩, 晶洞内见方解石或偶见五角十二面体黄铁矿, 裂隙发育。矿物主要为铁白云石, 少量方解石、黄铁矿。白云石大约 80%, 灰白色、粒度 > 1 mm、他形鞍状、曲面鞍形、曲面接触、波状消光、晶内裂隙。立方体、五角十二面黄铁矿含量少, 粒度 0.2~0.5 mm。脉状方解石充填顺层裂隙, 乳白色。矿物生成顺序: 灰白色粗晶白云石-粗晶黄铁矿→细晶黄铁矿→脉状方解石→晶洞方解石。

表 1 白云岩成因类型与分带  
Table 1 Genetic types and zonation of dolomites

白云岩分带	白云岩构造	白云石		白云石				黄铁矿		方解石构造	晶洞充填物	裂隙	成因	
		含量/%	粒度/mm	晶形	晶面	晶间接触	消光	显微裂隙	构造					结构
浅灰色灰质带	网脉	65	< 0.2	自形-半自形	直面	直面	无	-	-	-	粗脉	Dol, Cc	发育	埋藏
白色中粗晶带	块状	80	0.4~0.8	鞍状	鞍形	曲面	波状	晶内裂隙	-	-	细脉	-	发育	热液
肉红中粗晶带	块状	75	0.4~0.8	鞍状	鞍形	曲面	波状	晶内裂隙	散点状	五角十二面-立方	细脉	Dol, Cc, py	发育	热液
灰白色粗晶带	块状	80	> 1	鞍状	鞍形	曲面	波状	晶内裂隙	散点状	五角十二面-立方	细脉	Dol, Cc, py	发育	热液

### 3 埋藏白云岩的特征

埋藏白云岩除了灰质白云岩, 还存在白云石化鲕粒状灰岩(图 3b)。鲕粒状灰岩内的白云石化呈两种类型(图 3b): 其一为分布于鲕粒间隙, 呈粉晶。其二分布于鲕粒间溶孔内, 溶孔边缘发育的晶体细小, 溶孔中部发育中晶、自形-半自形晶体, 晶面为直面, 晶间关系为点面与直面接触, 在正交偏光下均匀消光或见机械双晶。从白云石分布看, 其沉淀与岩屑溶解作用有关(Taylor *et al.*, 2000), 钙质生物碎屑溶解形成晶间孔与溶孔, 并被白云石所充填。其形成于浅-中深埋藏, 以交代为主并胶结增生, 鲕粒被压扁拉长说明受到后期构造应力作用。

### 4 HTD 白云岩的厘定

#### 4.1 热液白云岩与构造关系

##### 4.1.1 断裂控制热液白云岩展布

表 2 列出了断裂构造与热液白云岩的关系。在此穿脉见一条 NW 断裂(图 2), 穿过灰质白云岩, 产状 85° NW/45° SW, 带宽 2~5 cm, 裂面呈微波状, 具缓宽陡窄特征, 带内为土黄色碎粉岩与粒化岩(具方解石脉的灰质白云岩质粒化岩), 显示早期压性与后期压扭性。断裂上盘灰质白云岩见溶孔, 并发育网脉状肉红色中粗晶白云岩(图 2a), 在断裂下盘发育灰岩条带与团块, 显示热液运移通道。

NE 向层间断裂控制厚层状白云岩展布(图 2),

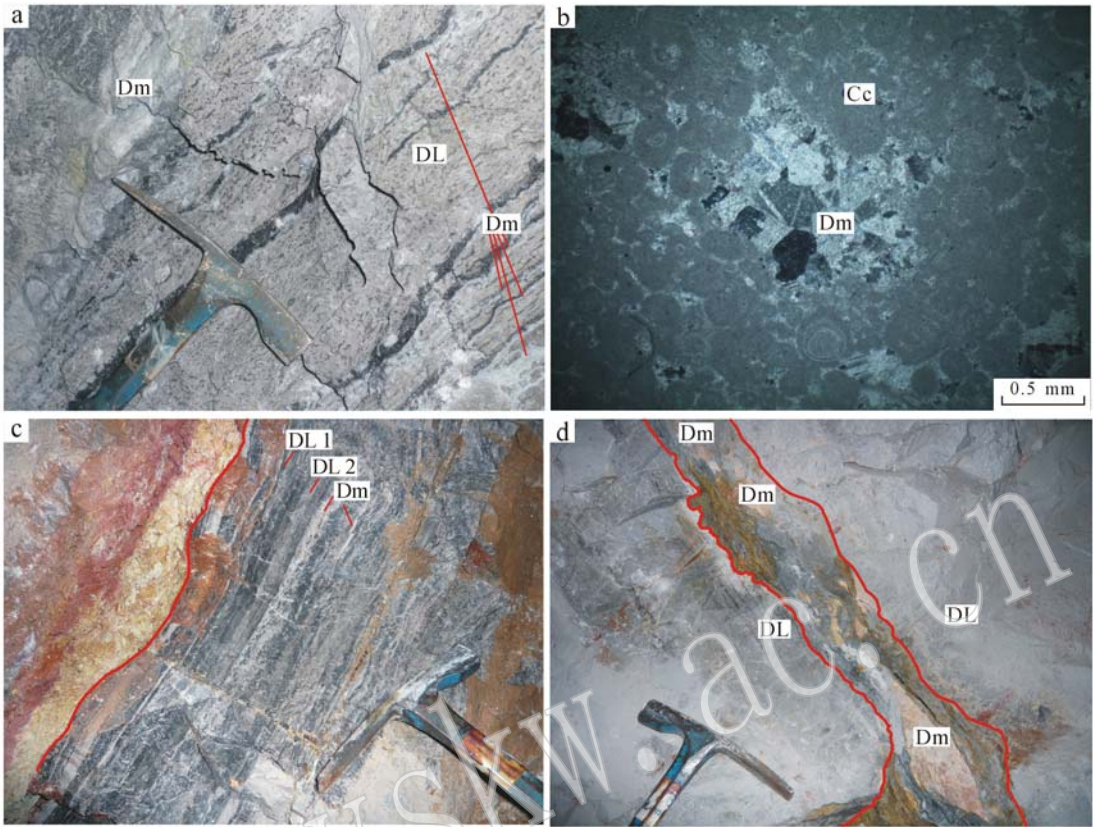


图 3 埋藏灰质白云岩与细脉状热液白云岩的关系

Fig. 3 Relationship between burial limy dolomite and hydrothermal dolomite

a—细脉状粗晶白云岩分布于灰质白云岩中；b—埋藏白云岩充填于鲕粒状灰岩间隙，白云石发育机械双晶，正交偏光；  
 c—灰岩与灰质白云岩互层，细脉状粗晶白云岩沿顺层裂隙充填；d—粗晶白云岩透镜体；Dm—粗晶白云岩；DL—灰质白云岩  
 a—small vein of sparry dolomite distributed in gray limy dolomites；b—buried dolomite filling the gap of oolitic limestone, mechanical twinning in dolomite crystals, crossed nicols；c—limestone interbedded with limy dolomite, small vein of sparry dolomite distributed in bedding fractures；  
 d—lens of sparry dolomite；Dm—dolomite；DL—limy dolomite

表 2 1584 中段 026 穿脉断裂构造与热液白云岩关系

Table 2 Relationship between fractures and hydrothermal dolomites along 026 transverse drift at 1584 level

断裂构造	性质	下盘						上盘						构造 流体相		
		岩性	热液 Dm 类型	热液 Dm 构造	溶孔	铁染	灰岩 条带	岩性	热液 Dm 类型	热液 Dm 构造	溶孔	铁染	灰岩 条带			
NW 向	f1	压扭	浅灰色 灰质	-	-	-	-	√	浅灰色 灰质	肉红中 粗晶	网脉状	√	-	-	-	通道相
	f2	压扭	肉红中 粗晶	肉红中 粗晶	块状	√	√	-	灰白色 粗晶	灰白色 粗晶	块状	√	√	√	成岩相	
	f3	压扭	肉红中 粗晶	肉红中 粗晶	块状	-	-	-	白色中 粗晶	白色中 粗晶	块状	-	√	-	成岩相	
NE 向	f4	压扭	浅灰色 灰质	-	-	-	-	-	浅灰色 灰质	-	-	-	-	-	-	
	f5	压扭	浅灰色 灰质	-	-	-	-	-	灰白色 粗晶	灰白色 粗晶	块状	√	-	-	成岩相	
	f6	压扭	浅灰色 灰质	-	-	-	-	-	深黑色 灰岩	-	-	-	-	-	-	

为成岩空间,密度为 10 m/条,两盘为粗晶白云岩。热液白云岩在上盘较宽,并具有两套蚀变分带模式:

①纯白色中粗晶白云岩-浅灰色灰质白云岩组合:出现在 21~29 m 之间,纯白色中粗晶白云岩为致密块状,溶孔不发育,见少量细小裂隙,沿裂隙分布铁染。

②灰白色针孔状粗晶白云岩-肉红色中粗晶白云岩-浅灰色灰质白云岩组合:此穿脉出现两段此组合,第一段在 6~21 m,受 15 m 处断裂控制,呈现断裂→灰白色针孔状粗晶白云岩→肉红色中粗晶白云岩→浅灰色灰质白云岩的渐变关系,断层下盘出现远离断层带溶孔密度减小与 Fe 染减弱,断层上盘见灰质白云岩条带与肉红色中粗晶白云岩条带互层(图 2b),为流体沿顺层断裂置换反应结果(Allan and Wiggins, 1994)。第二段在 39.5~49 m,受 39.5 m 处断裂控制,断裂上盘呈现断裂→灰白色针孔状粗晶白云岩→肉红色中粗晶白云岩→浅灰色灰质白云岩的渐变关系,溶孔密度逐渐减小。

#### 4.1.2 裂(孔)隙与热液白云岩关系

围岩裂隙由热液脉与裂(孔)隙构成。①热液脉:主要为方解石脉,见少量铁白云石脉。铁白云石脉分布范围窄,分布于中粗晶白云岩与灰质白云岩接触带的灰质白云岩顺层裂隙(图 3a、3c、3d)。②裂(孔)隙:灰质白云岩裂隙密度 >> 中粗晶白云岩裂隙密度,中粗晶白云岩溶孔密度 >> 灰质白云岩溶孔密度,同时少量灰质白云岩发育溶孔,而白色中粗晶白云岩不发育溶孔。中粗晶白云岩溶孔分布具有两种类型,呈线性和呈面状:线性分布是沿着顺层裂隙分布,受顺层缝化程度制约。面状分布发育在块状粗晶白云岩中,受裂隙化程度与成岩强度影响。

### 4.2 鞍状白云石的厘定

鞍状白云石是 HTD 白云岩的主要指示物(李荣等, 2008),但研究鞍状云石对热液成因指示,还需考虑含量、共生矿物组合、宏观产状、地质背景等(Machel, 1987)。

#### 4.2.1 晶体形态与含量

矿区中粗晶白云石晶粒粗大(图 4d),呈肉红色、灰白色或棕色,具有独特的尖顶、他形鞍状、曲面鞍形、曲面接触、晶内微裂隙、溶孔,正交偏光镜下见波状消光与雾心亮边,为鞍状白云石。鞍状白云石不一定是热液成因,当宿主地层发生强烈压溶作用时也形成鞍状白云石(卿海若等, 2010),但其形成少(Machel, 1987)。矿区鞍状白云石发育广泛,呈厚层状产出,为热液成因。

#### 4.2.2 矿物共生关系

矿区中粗晶白云岩与热液成因矿物共生,如闪锌矿、方铅矿、黄铁矿(图 4b)、重晶石等,显示其为 HTD 白云岩(Qing and Mountjoy, 1994)。发育晶洞充填物,晶洞充填物是“热卤水流体(或成矿流体)”的性质、活动范围与活动强度的指示(Davies and Smith, 2006)。晶洞充填物分为 2 类矿物组合:①白云石-方解石组合:白云石分布于洞壁,为多期酸性流体对基质的重结晶作用,方解石呈晶簇状产出,与流体作用无关。②黄铁矿-白云石-方解石组合:“幕次性热卤水流体”的多次充注造成晶洞加大,并被鞍状白云石、黄铁矿部分充填,方解石呈晶簇状产出,与流体作用无关。

#### 4.2.3 在碳酸盐岩中的产状

在 NE 向压扭性层间断裂控制下,厚层状 HTD 白云岩产出于灰质白云岩的断裂带,并见少量细脉状沿裂隙分布。鞍状白云石具基质交代型和孔-缝充填型,白云石内发育微裂隙,在中粗晶白云岩与灰质白云岩的狭窄过渡带内,见伴随其形成而形成的斑马状构造、角砾状构造。

(1)厚层状构造:中粗晶白云岩呈厚层状产出于灰质白云岩中(图 2、图 3a),两者呈过渡关系,但过渡带窄。中粗晶白云岩的形成受热液白云岩化流体影响,同时封盖层和断裂也起着重要作用(Esteban and Taberner, 2003)。致密灰岩地层可起到良好的岩性圈闭作用(陈轩等, 2012),而层间压扭性断裂是流体运移通道与沉淀场所。致密灰质白云岩(封盖层)与层间压扭性断裂对流体具有构造-岩性圈闭作用,促进大量热液白云岩化流体积聚,为厚层状白云岩形成提供了稳定物化条件。

(2)细脉状构造:在灰质白云岩中,微裂缝被白云石充填(图 4a)或沿顺层裂隙充填(图 3a、3c)。中粗晶白云岩中,细脉状构造发育较少,但白云石内见晶内裂隙与晶间裂隙,显示矿物结晶后构造应力作用。

(3)斑马状构造:斑马状构造最常见的是由浅肉红色糖粒状白云岩充填于浅灰色中-细晶白云岩中(图 4c)。斑马状构造是低渗透率白云岩受应力作用的结果(陈代钊, 2008),反映出白云岩受异常高压作用与孔隙流体压力不易释放,而形成微裂隙,并伴随方解石胶结物广泛溶解与形成铸模孔洞或裂隙的白云石作用(图 4d)。当白云岩具有高孔渗性时,则发生广泛的热液交代作用,形成鞍形白云石基质(图 4e),而不形成斑马状构造。斑马状构造发育的范围

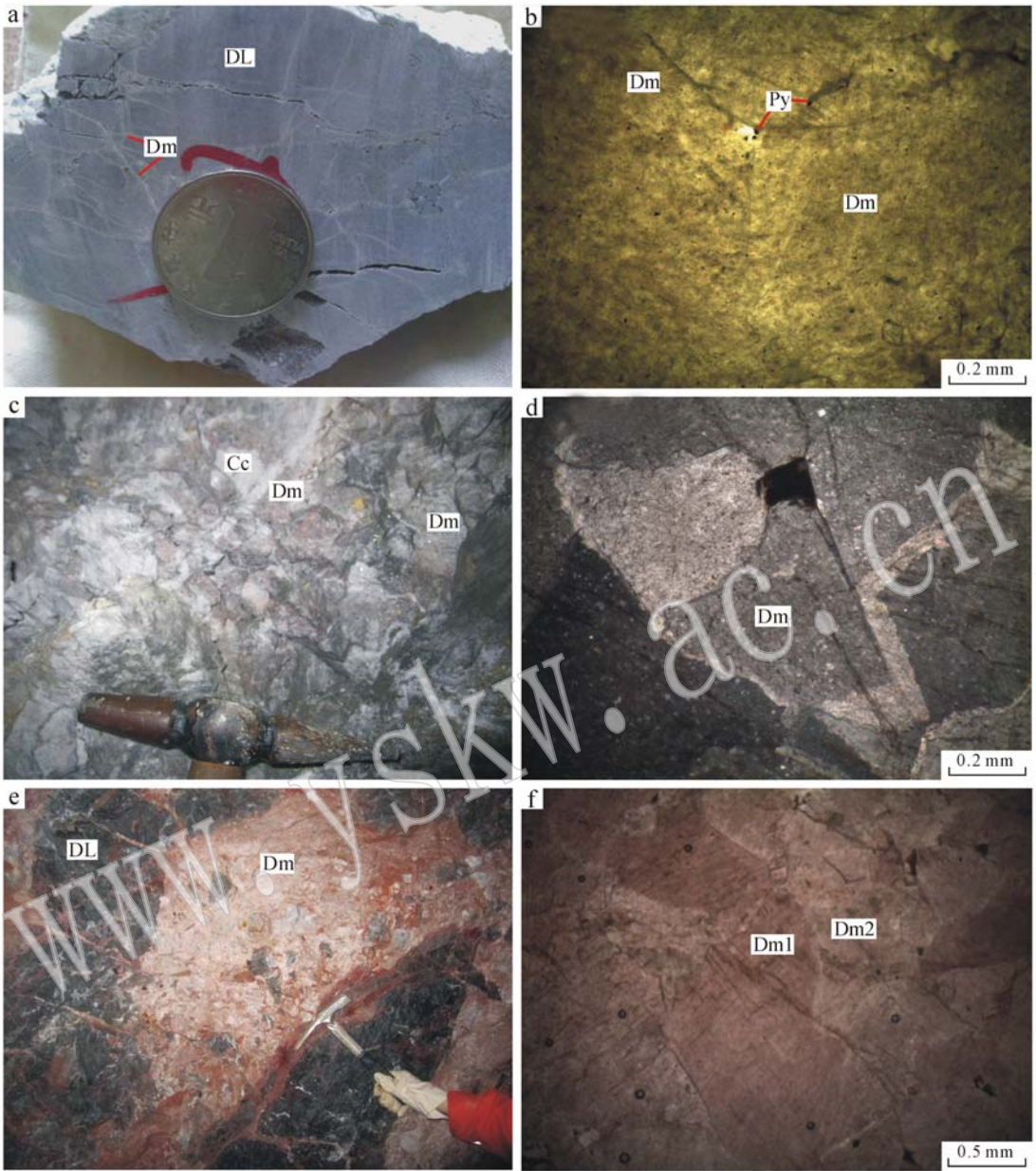


图 4 鞍状白云石特征

Fig. 4 Characteristics of saddle-shaped dolomite

a—网状中细晶白云石分布于灰色灰质白云岩中；b—鞍状白云石与立方体黄铁矿共生，单偏光；c—具斑马状构造的粗晶白云岩；  
 d—鞍状白云石具尖顶、弯曲晶面、波状消光、微裂隙，正交偏光；e—灰色灰质白云岩角砾；f—两期白云石，单偏光；Dm—白云岩；  
 DL—灰质白云岩；Py—黄铁矿

a—stockwork of fine-grained dolomite distributed in gray limy dolomite; b—saddle-shaped dolomite intergrowth with cubic pyrites, plainlight; c—zebra-shaped sparry dolomite; d—saddle-shaped dolomite exhibiting spire, curved crystal face, wavy extinction and microcracks, crossed nicols; e—breccias of gray limy dolomite; f—two stages of dolomite, plainlight; Dm—dolomite; DL—limy dolomite; Py—pyrite

比较窄，主要发育在浅灰色灰质白云岩与中粗晶白云岩过渡带。

(4) 角砾状构造：角砾状构造是 HTD 白云岩的典型构造(李荣等, 2008)。矿区内具有灰岩角砾(图 4e)、中-细晶白云岩角砾、肉红色中粗晶白云岩角

砾，发育在热液蚀变程度更高的白云岩中。3 类角砾状构造代表早期剪切作用形成的 3 次碎裂岩系，并伴随 3 次热液交代。角砾状构造发育少，只在蚀变带边部的小范围内发育，且角砾细小(图 4f)。白云岩形成于高温条件(张振亮, 2006)，并处于挤压环



境,热液交代完全,角砾岩少而细小。

## 5 HTD 白云岩流体包裹体特征

NW 向断裂控制 HTD 白云岩包裹体样品 HS-140 采自断裂上盘(图 2),岩性为网脉状铁白云石化灰质白云岩(图 2c)。

- ① 包裹体类型主要为纯气相、纯液相,少量气液两相,包裹体多。
- ② 原生包裹体粒度大( $>20\ \mu\text{m}$ ),形态规则,边界不规则,数量少(后期构造破坏作用强)(图 5a);次生包裹体多而小( $>5\ \mu\text{m}$ ),具定向性,呈串珠状产出。
- ③ 均一温度高( $250\sim 438^\circ\text{C}$ ),盐度 $[\omega(\text{NaCl})/\%, \text{下同}]$ 范围大( $3.4\%\sim 17.2\%$ )。
- ④ 包裹体液相充填度与均一温度相关性值为  $-0.416$ (压降-温增),液相充填度与盐度相关性值为  $0.231$ (压降-盐降),同时均一温度

与盐度相关性值为  $-0.413$ ,这反映出随压力降低,温度增加而盐度降低。

NE 向断裂控制 HTD 白云岩包裹体样品 HS-143 采自断裂上盘(图 2),岩性为夹灰质白云岩条带的中粗晶 Dm(产于厚层状肉红色中粗晶白云岩带中上层位)(图 2b)。

- ① 包裹体类型主要为纯气相或纯液相,见少量气液两相(图 5b)。
- ② 包裹体多而小( $<5\ \mu\text{m}$ ),部分包裹体呈串珠状产出,为次生包裹体。
- ③ 均一温度高( $180\sim 354^\circ\text{C}$ );盐度变化范围小( $1.1\%\sim 5.9\%$ )。
- ④ 液相充填度与均一温度相关性值为  $-0.363$ ,充填度与盐度相关性值为  $-0.678$ ,均一温度与盐度相关性值为  $0.440$ ,这反映随压力降低,温度与盐度增加。

NW 向断裂控制 HTD 白云岩包裹体具有高的均一温度与盐度,而 NE 向断裂控制 HTD 白云岩包

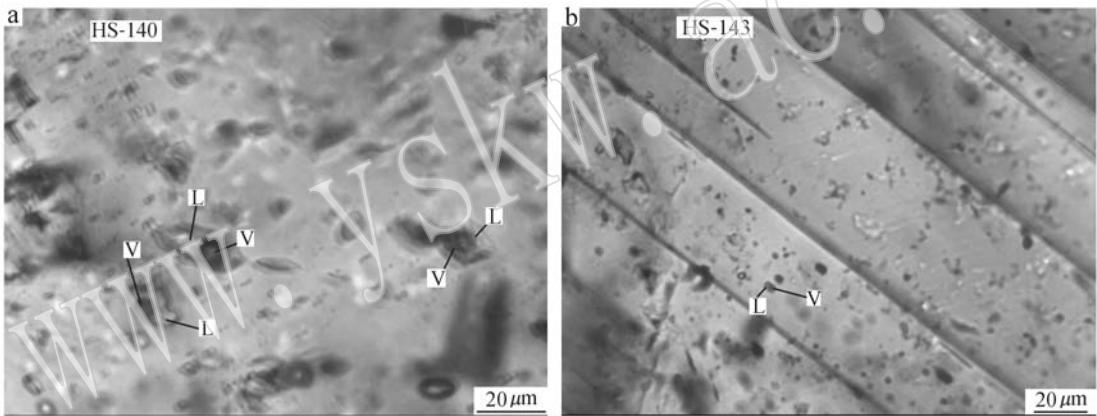


图 5 HTD 包裹体照片

Fig. 5 Fluid inclusions of HTD

裹体均一温度与盐度低一些。这一结果与 NW 向断裂为构造流体运移通道而 NE 向断裂为构造流体成岩场所的特征相符:富  $\text{CO}_2$  热卤水沿 NW 向断裂运移,充填旁侧裂隙形成网脉状白云岩,随着热液从 NW 向断裂向 NE 向层间断裂运移,流体的温度与盐度降低,在 NE 向层间断裂内的张性空间流体大量积聚形成厚层状白云岩。

## 6 HTD 形成机制及对矿化的指示

在灰岩地区发育白云石化应该具备两个条件(Allan and Wiggins, 1994): ①  $\text{Mg}^{2+}$  供给充足; ② 必要的运移机制使  $\text{Mg}^{2+}$  运抵白云石化所发生的位置,并使白云石化反应完成,同时成千上万的孔隙使其

相互交换并达到平衡。矿区 HTD 白云岩形成于挤压背景,其形成受构造-岩性圈闭作用控制,产出于层间压扭性断裂内,同时其成岩流体温度高(最高达  $400^\circ\text{C}$ ),从而产出厚层状 HTD 白云岩。

### 6.1 流体驱动机制

流体驱动机制主要为构造驱动,并受沉积物压实与热对流影响,其构造驱动机制为: ① 印支期,矿集区周边的造山事件诱发本区发生强烈的构造推覆并形成冲断褶皱构造(韩润生等, 2012)。区域的构造推覆作用为流体运移提供了深部动力机制,伴随先期存在的基底断层重新活化而形成热液疏导体系(李荣等, 2008),促使大规模的深部高温高压热卤水流体沿断裂向上运移。小江深断裂带为深部流体向上运移提供通道(韩润生等, 2006),也为深部流体溶

解白云石提供了条件(杨永强等, 2006)。② 矿田显示冲断褶皱的构造格局, 麒麟厂、矿山厂与银厂坡为 3 条斜冲压扭性断裂, 其与 D、C、P 的碳酸盐岩地层组成的背斜形成冲断褶皱构造系统(韩润生等, 2006)。对于 HTD 热液作用, 逆断层不是热液白云岩化作用的有利场所(Davies and Smith, 2006), 但冲断褶皱可为热卤水流体交代碳酸盐岩提供有利条件, 冲断褶皱形成过程中, 热卤水可发生大量聚集, 并向与冲断褶皱构造体系配套的层间压扭性断裂运移, 同时断裂活动也为流体提供了来源(张军涛等, 2008)。③ NE 向层间压扭性断裂带是流体运移的通道和封盖层, 具有构造-岩性圈闭作用, 而其张扭性空间是流体沉淀场所。随流体压力和温度改变, 碳酸盐矿物发生溶解与沉淀(Leach *et al.*, 1991; Marfil *et al.*, 2005; 陈昭佑等, 2010)。NE 向层间压扭性断裂控制热液白云岩展布, 在断层上盘张性空间蚀变增强, 流体从断裂向围岩流动出现蚀变减弱。④ 在粗晶白云岩与灰岩的狭窄过渡带, 见伴随典型鞍状白云石形成而形成的斑马状构造、角砾状构造, 显示过渡带处于不稳定的物理化学环境。

## 6.2 流体性质

矿区中粗晶白云岩与黄铁矿共生显示偏酸性流体特征。NW 向断裂控制的 HTD 白云岩中包裹体均一温度高(250~438℃), 盐度变化范围大(3.4%~17.2%)。NE 向断裂控制的 HTD 白云岩包裹体均一温度高(180~354℃), 盐度低(1.1%~5.9%)。这一结果与张振亮(2006)获得矿床热液白云石与方解石中包裹体测试结果相一致, 其获得均一温度分布于 110~400℃ 之间, 盐度 5%~20%, 即中高温中盐度。但全球 22 处 HTD 包裹体均一温度主要在 80~235℃, 盐度 5%~30%, 即中温-中高盐度(Davies and Smith, 2006)。这显示矿床 HTD 白云岩具有特殊的成岩环境。随着温度的增加, 形成白云岩所需的 Mg/Ca 将会降低(Allan and Wiggins, 1994), 同时 CO<sub>2</sub> 从热液流体析出对白云石充填物沉淀具有控制作用(Leach *et al.*, 1991)。矿床偏酸性富 CO<sub>2</sub> 的中高温中低盐度流体为强烈白云石化作用提供了条件, 使 HTD 白云岩呈厚层状产出。

## 6.3 裂(孔)隙对成岩强度的指示

在碳酸盐岩地层中, 裂(孔)隙发育受 5 个因素影响: ① 地层越薄越容易发育构造裂缝(刘宏等, 2008; 孟庆峰等, 2011); ② 碳酸盐矿物晶粒越大构造裂缝越发育(潘文庆等, 2013); ③ 碳酸盐岩晶洞

构造是热卤水流体交代作用的结果(Davies and Smith, 2006), 溶孔发育受骨架颗粒(或蒸发岩)遭受淋漓与裂缝化制约影响(Allan and Wiggins, 1994); ④ 在与断裂有关的幕式流体作用下, 溶孔在断裂破碎强烈处或流体运移遇到堵塞的区域发育(舒晓辉等, 2012); ⑤ 顺层岩溶作用可以有效增强晶洞的形成(赵文智等, 2013)。

矿区裂(孔)隙发育受地层、岩性、构造动力学条件与多阶段热液作用影响, 其表现为: ① 在热液卤水作用早期, 灰质白云岩形成大量裂隙, 富 Ca<sup>2+</sup> 流体沿裂隙充填形成大量热液方解石脉, 并对少量富含蒸发岩的灰质白云岩进行热液淋漓, 形成溶孔。② 在白云石化作用早阶段, 形成白色中粗晶白云岩, 由于没有形成裂缝与多期热液流体淋漓, 不发育溶孔。③ 在强白云石化流体作用阶段, 流体选择更容易形成裂隙的中粗晶白云岩进行交代, 富 Mg<sup>2+</sup> 流体沿中粗晶白云岩裂隙对骨架颗粒溶蚀, 形成大量溶孔。④ 构造热液沿顺层裂隙进行溶蚀, 形成线性分布晶洞, 而大规模与多期次构造热液沿着层间断裂对骨架颗粒或蒸发岩进行淋漓, 促进面状分布晶洞发育。⑤ 在白云石化作用晚阶段, 见少量富 Ca<sup>2+</sup> 流体沿裂隙作用形成方解石细脉。⑥ 裂隙脉发育范围显示热液活动范围, 溶孔发育强度显示流体多期次作用, 并反映幕次流体的动力学条件, 溶孔黄铁矿充填物显示成矿作用。

## 6.4 HTD 对矿化的指示

白云岩是川滇黔铅锌矿床最主要的容矿围岩, 矿床(矿化点)主要容矿岩石有粗晶白云岩、硅质白云岩、硅质条带白云岩, 其次为白云质灰岩(柳贺昌等, 1999)。矿床热液白云岩随着矿体埋深增加、矿体规模增大、矿体厚度增大、矿石品位增高显示出蚀变增强, 预示蚀变与成矿有密切联系(韩润生等, 2006)。在富 CO<sub>2</sub> 中高温酸性成矿流体运移到冲断褶皱带时发生减压沸腾作用和中和反应, 导致大量富 CO<sub>2</sub> 流体逃逸进入碳酸盐岩发生大规模白云石化(韩润生等, 2006, 2012)。HTD 白云岩是流体在冲断褶皱构造体系下的产物, 但不是所有的 HTD 白云岩都赋存矿体。成矿流体呈中-弱碱性, 金属矿物是从中-弱碱性溶液中析出(张振亮, 2006), 矿体定位时水岩反应弱, 则矿体定位主要取决于均一化流体贯入层间断裂的动力条件。HTD 白云岩分带性是幕次构造热液作用的结果, 其分带性与矿体产出关系密切, 矿体定位受构造动力影响, 并在 HTD 白云

岩中反映出来(热液白云石化与显微构造),则白云石重结晶程度、显微构造、黄铁矿、晶洞充填物及裂隙是识辨赋矿白云岩的重要标志(文德潇等,2014)。

## 7 结论

(1) 赋矿白云岩为 HTD 白云岩,产出于挤压背景下,受碳酸盐岩地层中压扭性层间断裂控制,其特征为:①产出受 NE 向压扭性层间断裂控制,优先发育在断层上盘。②发育大量裂(孔)隙,溶孔具有线状与面状分布特征。③鞍状白云石颗粒粗大,呈肉红色、灰白色或棕色,具有独特尖顶、他形鞍状、曲面鞍形、曲面接触、晶内微裂隙、溶孔,正交偏光镜下见波状消光与雾心亮边。④鞍状白云石呈厚层状产出,与黄铁矿等热液矿物共生,并发育晶洞充填物。⑤鞍状白云石具基质交代型和孔-缝充填型,在 HTD 白云岩与灰岩狭窄过渡带,见伴随鞍状白云石而形成的斑马状构造、角砾状构造。⑥NW 向张性断裂为构造流体运移通道,发育网脉状白云石化,其白云石包裹体均一温度高(250~438℃),盐度变化范围大(3.4%~17.2%)。NE 向压扭性断裂带为构造流体成岩场所,控制厚层状白云石化展布,其白云石包裹体均一温度高(180~354℃),盐度低(1.1%~5.9%)。

(2) 矿区 HTD 白云岩是在挤压背景下,受碳酸盐岩地层中的压扭性层间断裂带控制而形成,即:热卤水流体驱动机制主要为构造驱动,区域冲断褶皱作用是流体运移的深部动力机制。偏酸性富 CO<sub>2</sub> 的中高温中盐度热卤水流体在冲断褶皱体系内大量集聚,在其配套的压扭性层间断裂带上盘与膨胀部位形成厚层状白云石化。裂(孔)隙对成岩多期次与强度具指示意义。

(3) 矿区 HTD 白云岩岩性分带、热液作用强度、构造特征(显微构造)对矿体产出具有指示意义。

**致谢** 本文撰写过程中得到昆明理工大学王加昇讲师的指导,编辑和评审专家也提出了有益的修改建议,在此一并致谢!

## References

Allan J R and Wiggins W D. 1994. Dolomite Reservoirs-Geochemical Techniques for Evaluating Origin and Distribution[M]. American of

- Petroleum Geologists, 1~128.
- Chen Daizhao. 2008. Structure-controlled hydrothermal dolomitization and hydrothermal dolomite reservoirs[J]. Oil&Gas Geology, 29(5): 614~622(in Chinese with English abstract).
- Chen Xuan, Zhao Wenzhi, Zhang Liping, *et al.* 2012. Discovery and exploration significance of structure-controlled hydrothermal dolomites in the Middle Permian of the central Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 33(4): 562~569(in Chinese with English abstract).
- Chen Zhaoyou and Wang Guangqiang. 2010. A ssemblage types and genetic models of the Shanxi sandbodies in Daniudi gasfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 31(5): 623~639(in Chinese with English abstract).
- Davies G R and Smith B S Jr. 2006. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: all overview[J]. AAPG Bulletin, 90(11): 1 641~1 690.
- Diehl S F, Hofstra H A, Koenig E A, *et al.* 2010. Hydrothermal Zebra Dolomite in the Great Basin, Nevada-Attributes and Relation to Paleozoic Stratigraphy, Tectonics, and Ore Deposits[J]. Geosphere, 6(5): 663~690.
- Esteban M and Taberner C. 2003. Secondary porosity development during late burial in carbonate reservoirs as a result of mixing and/or cooling of brines[J]. Journal of Geochemical Exploration, 78: 355~359.
- Han Lin. 2006. Study Actuality and trend on classification of dolomite origin[J]. West China Petroleum Geosciences, 2(4): 400~406(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Chen Jin, Huang Zhilong, *et al.* 2006. Dynamics of Tectonic Ore-forming Processes and Localization-prognosis of Concealed Orebodies—as exemplified by the Huize Super-large Zn-Pb-(Ag-Ge) District, Yunnan[M]. Beijing: Science Press, 1~200(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Chen Jin, Li Yuan, *et al.* 2001a. Ore-controlling Tectonics and Prognosis of Concealed Ores in Huize Pb-Zn Deposit, Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 21(2): 265~269(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Hu Yizhao, Wang Xuekun, *et al.* 2012. Mineralization model of rich Ge-Ag-bearing Zn-Pb polymetallic deposit concentrated district in Northeastern Yunnan, China[J]. Acta Geologica Sinica, 86(2): 280~294(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Liu Congqiang, Huang Zhilong, *et al.* 2001b. Genesis modeling of Huize Lead-Zinc ore deposit in Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 21(4): 674~680(in Chinese with English abstract).
- Huang Sijing, Zhang Xuehua, Liu Lihong, *et al.* 2009. Progress of re-

- search on carbonate diagenesis[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(5): 219~231(in Chinese with English abstract).
- Huang Zhilong, Li Wenbo, Han Runsheng, *et al.* 2004. Several problems involved in genetic studies on Huize Superlarge Pb-Zn deposit, Yunnan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 24(2): 105~111 (in Chinese with English abstract).
- Leach D L, Plumlee G S, Hofstra A H, *et al.* 1991. Origin of late dolomite cement by CO<sub>2</sub>-saturated deep basin brines: Evidence from the Ozark region, central United States[J]. *Geology*, 19(4): 367~386.
- Li Rong, Jiao Yangquan, Wu Liqun, *et al.* 2008. Structurally controlled hydrothermal dolomitization: A new model in international carbonates field[J]. *Geological Science and Technology Information*, 27(3): 35~40(in Chinese with English abstract).
- Liu Hechang and Lin Wenda. 1999. Pb-Zn-Ag Metallogenic Regularity In Northeast Yunnan[M]. Yunnan University Press, 1~470 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hong, Cai Zhengqi, Tan Xiucheng, *et al.* 2008. Forecasting of fracture reservoirs in thin carbonate rocks of precipitous structure belt, East Sichuan[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 35(4): 431~436(in Chinese with English abstract).
- Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, *et al.* 1984. *Geochemistry of Element*[M]. Beijing: Science Press, 1~548(in Chinese with English abstract).
- Machel H G. 1987. Saddle dolomite as a by-product of chemical compaction and thermochemical sulfate reduction[J]. *Geology*, 15: 936~940.
- Marfil R, Caja M A, Tsige M, *et al.* 2005. Carbonate-cemented stylolites and fractures in the Upper Jurassic limestones of the Eastern Iberian Range, Spain: A record of palaeofluids composition and thermal history[J]. *Sedimentary Geology*, 178(3): 237~257.
- Meng Qingfeng, Hou Guiting, Pan Wenqing, *et al.* 2011. Layer thickness controls on surface density and fractal dimension of structural fractures in carbonate strata[J]. *Geological Journal of China Universities*, 17(3): 462~468(in Chinese with English abstract).
- Pan Wenqing, Hou Guiting, Qi Yingmin, *et al.* 2013. Discussion on the development models of structural fractures in the carbonate rocks [J]. *Earth Science Frontiers*, 20(5): 188~195(in Chinese with English abstract).
- Qing Hairou and Chen Daizhao. 2010. Non-hydrothermal saddle dolomite: Petrological and geochemical evidence from the Ordovician Yeoman Formation, Southeastern Saskatchewan, Canada[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(5): 980~986(in Chinese with English abstract).
- Qing H R and Mountjoy E W. 1994. Formation of coarsely crystalline, hydrothermal dolomite reservoirs in the Pregel'ile barrier, Western Canada sedimentary basin[J]. *AAPG Bulletin*, 78(1): 55~77.
- Shu Xiaohui, Zhang Juntao, Li Guorong, *et al.* 2012. Characteristics and genesis of hydrothermal dolomites of Qixia and Maokou Formations in northern Sichuan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 33(3): 442~458(in Chinese with English abstract).
- Taylor K G, Gawthorpe R L, Curtis C D, *et al.* 2000. Carbonate cementation in a sequence-stratigraphic framework upper cretaceous sandstones, Book Cliffs, Utah-Colorado[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 70(2): 360~372.
- Wang Dan, Chen Daizhao, Yang Changchun, *et al.* 2010. Classification of Texture in Burial Dolomite[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(1): 17~25(in Chinese with English abstract).
- Wen Dexiao, Han Runsheng, Wu Peng, *et al.* 2014. Huize lead-zinc deposits alteration dolomites features and rock-geochemistry Prospecting indicators[J]. *Geology in China*, 41(1): 235~245(in Chinese with English abstract).
- Yang Yongqiang, Zhai Yusheng, Hou Yushu, *et al.* 2006. Study of metallogenic systems of sediment-hosted lead and zinc deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(3): 200~205(in Chinese with English abstract).
- Zhang Juntao, Hu Wenxuan, Qian Yixiong, *et al.* 2008. Feature and origin of dolomite filling in the Upper Cambrian-Lower Ordovician dolostone of the Central Uplift, Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26(6): 957~966(in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Pan Wenqing, *et al.* 2013. A research on carbonate karst reservoirs classification and its implication on hydrocarbon exploration: Cases studies from Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(9): 3 213~3 222 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhenliang. 2006. Feature and sources of ore-forming fluid in the Huize Lead-Zinc ore deposits, Yunnan Province, China: Evidence from fluid inclusions and water-rock reaction experiments[D]. Chinese Academy of Sciences and for the Diploma of the Institute of Geochemistry, 1~128(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 陈代钊. 2008. 构造-热液白云岩化作用与白云岩储层[J]. *石油与天然气地质*, 29(5): 614~622.
- 陈 轩, 赵文智, 张利萍, 等. 2012. 川中地区中二叠统构造热液白云岩的发现及其勘探意义[J]. *石油学报*, 33(4): 562~569.
- 陈昭佑, 王光强. 2010. 鄂尔多斯盆地大牛地气田山西组砂体组合类

- 型及成因模式[J]. 石油与天然气地质, 31(5): 623~639.
- 韩林. 2006. 白云岩成因分类的研究现状及相关发展趋势[J]. 中国西部油气地质, 2(4): 400~406.
- 韩润生, 陈进, 黄智龙, 等. 2006. 构造成矿动力学及隐伏矿定位预测——以云南会泽铅锌(银、锗)矿床为例[M]. 北京: 科学出版社, 1~200.
- 韩润生, 陈进, 李元, 等. 2001a. 云南会泽铅锌矿床构造控矿规律及其隐伏矿预测[J]. 矿物学报, 21(2): 265~269.
- 韩润生, 胡煜昭, 王学琨, 等. 2012. 滇东北富铬银铅锌多金属矿集区矿床模型[J]. 地质学报, 86(2): 280~294.
- 韩润生, 刘从强, 黄智龙, 等. 2001b. 论云南会泽富铅锌矿床成矿模式[J]. 矿物学报, 21(4): 674~680.
- 黄思静, 张雪花, 刘丽红, 等. 2009. 碳酸盐成岩作用研究现状与前瞻[J]. 地学前缘, 6(5): 219~231.
- 黄智龙, 李文博, 张振亮, 等. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床成因研究中的几个问题[J]. 矿物学报, 24(2): 105~111.
- 李荣, 焦养泉, 吴立群, 等. 2008. 构造热液白云石化——一种国际碳酸盐岩领域的新模式[J]. 地质科技情报, 27(3): 35~40.
- 柳贺昌, 林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 云南大学出版社, 1~470.
- 刘宏, 蔡正旗, 谭秀成, 等. 2008. 川东高陡构造薄层碳酸盐岩裂隙性储集层预测[J]. 石油勘探与开发, 35(4): 431~436.
- 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 1984. 元素地球化学[M]. 科学出版社, 1~548.
- 孟庆峰, 候贵廷, 潘文庆, 等. 2011. 岩层厚度对碳酸盐岩构造裂缝面密度和分形分布的影响[J]. 高校地质学报, 17(3): 462~468.
- 潘文庆, 候贵廷, 齐英敏, 等. 2013. 碳酸盐岩构造裂缝发育模式探讨[J]. 地学前缘, 20(5): 188~195.
- 卿海若, 陈代钊. 2010. 非热液成因的鞍形白云石: 来自加拿大萨斯喀彻温省东南部奥陶系 Yeoman 组的岩石学和地球化学证据[J]. 沉积学报, 28(5): 980~986.
- 舒晓辉, 张军涛, 李国蓉, 等. 2012. 四川盆地北部栖霞组-茅口组热液白云岩特征与成因[J]. 石油与天然气地质, 33(3): 442~458.
- 王丹, 陈代钊, 杨长春, 等. 2010. 埋藏环境白云石结构类型[J]. 沉积学报, 28(1): 17~25.
- 文德潇, 韩润生, 吴鹏, 等. 2014. 云南会泽 HZT 型铅锌矿床蚀变白云岩特征及岩石-地球化学找矿标志[J]. 中国地质, 41(1): 235~245.
- 杨永强, 翟裕生, 候玉树, 等. 2006. 沉积岩型铅锌矿床的成矿系统研究[J]. 地学前缘, 13(3): 200~205.
- 张军涛, 胡文煊, 钱一雄, 等. 2008. 塔里木盆地中央隆起区上寒武统-下奥陶统白云岩储层中两类白云石充填物: 特征与成因[J]. 沉积学报, 26(6): 957~966.
- 赵文智, 沈安江, 潘文庆, 等. 2013. 碳酸盐岩岩溶储层类型研究及对勘探的指导意义——以塔里木盆地岩溶储层为例[J]. 岩石学报, 29(09): 3213~3221.
- 张振亮. 2006. 云南会泽铅锌矿床流体性质和来源——来自流体包裹体和水岩反应实验的证据[D]. 中国科学院研究生院, 1~128.