

鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟群 块状白云岩的包体研究*

张永生 张传录 康祺发

(石油大学地球科学系, 北京 100083)

主题词 鄂尔多斯 马家沟群 块状白云岩 包体 均一温度 热水白云化

提 要 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟群的块状白云岩,按晶粒结构可分为细砂糖状白云岩(晶粒大小为0.01—0.1mm)和粗砂糖状白云岩(晶粒大小为0.05—0.25mm)。包体分析为块状白云岩的成因研究提供了最直接的信息。细砂糖状白云岩的主体白云石中液态包体不发育,但孔隙充填方解石中的包体发育,由24个孔隙充填方解石中的包体测出的均一温度为49—74℃,测算的包体形成深度的最大值为172m。由此可以推断,其主体白云石应形成于埋深小于172m的浅埋藏环境。粗砂糖状白云岩的主体白云石中液态包体发育,激光拉曼光谱分析测得的包体成分中普遍含有甲烷(CH₄)等有机成分,说明这类包体形成于深埋藏的有机质干气演化阶段。所测的包体均一温度的最低值为104℃(未经压力校正),由此测算的包体形成深度的最小值为2600m。由此可见,粗砂糖状白云岩形成于埋深不小于2600m的深埋藏热水白云化环境。

1 引言

“块状白云岩”是指广泛分布的(特别是下古生界)、厚度较大的、与台地碳酸盐岩伴生的、交代成因的白云岩。由于这类岩石与油气的储集关系密切,因此,块状白云岩的成因研究具有重要的理论和实际意义。目前,人们对块状白云岩成岩环境的认识尚存在较大分歧,主要有两种不同的意见:一种以巴的奥扎曼尼^[1]、兰德^[2]和莫雷^[3]为代表,认为块状白云岩只能在近地表(主要是混合水)环境中形成;另一种以马托斯和蒙托教^[4]、恩格^[5]为代表,认为块状白云岩是在地下埋藏环境中形成。

矿物的包体是矿物形成过程中被捕获的成矿介质,被称为成矿成岩环境中流体的样品,它相当完整地记录了矿物形成的条件和历史,是矿物最重要的特征之一,可作为解译成矿成岩作用,特别是内生成矿作用的密码^[6]。不同类型的包体代表不同的成因机制,具有不同的环境意义。无论是在沉积成岩期,还是在成岩后期,只要沉积物发生结晶或重结晶、次生加大或自生矿物的形成作用,矿物晶体中就会形成包体并保存至今。

近年来,包体在块状白云岩的成因研究中越来越受到重视。但所有这方面的报道都只限于白云岩孔隙或裂隙中充填的、粗大白云石或方解石胶结物中包体的研究,而对组成白云岩的主体白云石中包体的研究还未曾有报道。笔者认为,要想对块状白云岩形成环境有一个正确的、客观的认识,就必须对组成白云岩的主体白云石中的原生包体加以研究,以取

* 本文于1996年11月收到,1996年12月改回。

得直接有效的、指示成岩环境的信息。基于这一研究思路,笔者在对本区马家沟群块状白云岩孔隙充填方解石中的包体进行研究的同时,把重点放在对主体白云石中的包体的研究上。就包体测试提供的成岩流体的成分及古温度信息,对鄂尔多斯地区马家沟群块状白云岩的形成时期和形成环境的深度进行具体的推算,不妥之处敬请批评指正。

2 地质概况

鄂尔多斯地区位于华北地台的西部,西至贺兰山西麓,南至秦岭,东至吕梁山,北至阴山,横跨陕、甘、宁、晋、蒙五省区,面积约 32 万平方公里。

鄂尔多斯地区奥陶纪地层自下而上分为冶里组、亮甲山组、马家沟群(包括马一组、马二组、马三组、马四组、马五组、马六组)、平凉组及背锅山组。奥陶系上覆地层为中或上石炭统,下伏地层为上或中寒武统。奥陶系与石炭系之间缺失志留系、泥盆系和下石炭统(表 1)。

表 1 鄂尔多斯地区奥陶系对比表

Table 1 Correlation of Ordovician strata of Ordos area

系	统	西部及南部	中东部	
石炭系		本溪组或太原组	本溪组或太原组	
	上统	背锅山组(局部)		
奥陶系	中统	平凉组		
		马家沟群	马六组	马六组
			马五组	马五组
			马四组	马四组
			马三组	马三组
			马二组	马二组
	马一组	马一组		
	下统	亮甲山组	亮甲山组	
		冶里组	冶里组	
	寒武系			

本区马家沟群中的白云岩类型较多,按成岩阶段可分为准同生白云岩和准同生后白云岩两大类^[7]。块状白云岩系准同生后白云岩,其外观砂糖感强,故又称为砂糖状白云岩。根据晶粒大小,可进一步分为细砂糖状白云岩(即粗粉晶—极细晶白云岩,照片 1)和粗砂糖状白云岩(即极细晶—细晶白云岩,照片 2)两大类^[8]。细砂糖状白云岩主要分布在鄂尔多斯南部渭北地区的马六组中。粗砂糖状白云岩主要分布在马四组和马六组中。

这类砂糖状白云岩呈灰色、褐灰色至深灰色,普遍具细斑状不等粒结构,常见残余结构,残余颗粒以残余砂屑(照片 2)为主,残余生屑(主要是介形虫和海百合茎,照片 1,2)次之。

在阴极发光下,细砂糖状白云岩具中等亮橙红色至橙黄色发光;粗砂糖状白云岩则具均匀的昏暗褐红色发光,发光性的不同反映了二者在成因上的差异。

3 块状白云岩中包体的特征、成分和均一温度

3.1 细砂糖状白云岩的孔隙充填方解石中包体的特征和均一温度

显微镜下观察表明,这类白云岩的主体白云石中很少见到液态包体,故只能对白云岩的

孔隙充填方解石中的包体进行研究。这些在晶间孔隙或溶孔中沉淀的亮晶方解石中含有大量的气-液两相包体和含氯化钠子晶多相包体(照片3,4)。选择测试的包体呈星散状孤立分布,不受后期构造裂隙的控制,应为原主包体。

表2 细砂糖状白云岩的孔隙充填方解石中包体的均一温度
Table 2 Homogenization temperatures of inclusions in pore-filling calcite within fine saccharoid dolostones

岩石	主矿物	包体	均一温度	子矿物特征	层位
粗粉晶白云岩	孔隙充填方解石	三相包体	49—62℃	无色,立方体状,均质,加热至253℃时子矿物溶解。	马六组
极细晶白云岩	孔隙充填方解石	三相包体	59—74℃		

24个包体的均一测温结果见表2。从表2中可以看出,粗粉晶白云岩的孔隙充填方解石中包体的均一温度为49—62℃;极细晶白云岩为59—74℃,立方体固相氯化钠子晶的溶解温度高达253℃。固相氯化钠子晶的较多出现,表明方解石结晶时液体的盐度较高。

3.2 粗砂糖状白云岩的主体细晶白云石中包体的特征、成分和均一温度

这类白云岩由粗粉晶—极细晶白云石“基质”和细晶白云石“斑”组成,但以后者为主。主体白云石较污浊,一般具薄的亮边。在阴极发光下,白云石的雾心和薄亮边均呈均匀的昏暗褐色发光,属同期形成。因此,包体无论分布在雾心还是在亮边,其成因意义是等同的。

显微镜下观察表明,组成“基质”的、晶粒较细的主体白云石中包体较少见。组成“斑”的主体细晶白云石中包体较发育。包体多为气-液两相,有时见含氯化钠子晶的多相包体,个体一般较小,长径在5—10 μm 之间,少数达15—20 μm ,形态不一,呈星散状孤立不均匀分布(照片5,6),不受后期构造裂隙的控制,多为原生包体。包体中不见布朗运动现象。为了确定包体中成岩流体的成分,兹选出5个典型的主体细晶白云石中的包体进行激光拉曼光谱分析,测试结果见表3。

从表3中可以看出,所测包体的气相和液相均由有机成分和无机成分两部分组成。就有机成分而言,包体的气相和液相中普遍含有甲烷,气相中甲烷的含量为13.7%—23.3%。液相中甲烷的含量为8.0%—32.0%。乙烷和丙烷只见于部分包体中;就无机成分而言, H_2S 在包体中较多见,其含量为10.4%—17.5%,这说明了成岩环境的还原性。

包体均一法测温结果见表4。从表4中可以看出,充填度为80%—90%的包体的均一温度在104—180℃之间。充填度为60%—80%的包体的均一温度在201—350℃之间(所测的温度均未进行压力校正)。另外,在一个细晶白云石中同时可以见到充填度不等、均一温度相差较大的包体并存,这种现象包体矿物学上称之为“沸腾现象”。造成这种现象的原因主要是包体中被捕获的液相和气相所占比例的不等造成的。气相所占比例越大,所测的均一温度就越高(气相包体的均一温度就更高了)。气相所占比例越小,则测得的均一温度越接近于成岩流体的实际古温度。不管均一温度如何多变,当时成岩流体的古温度是相对埋藏深度而定的。

表3 定探1井马四组粗砂糖状白云岩的主体细晶白云石中包体的成分

Table 3 Chemical composition of inclusions in host fine crystalline dolomites of coarse saccharoidal dolostones of Majiagou Fm. IV of Dingtan Well 1

岩石	主矿物	气相(%)								层位
		有机成分				无机成分				
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₂ H ₄	CO ₂	H ₂ S	SO ₂	H ₂ O(G)	
细晶白云岩	细晶白云石	13.7				32.5	10.7	20.3	22.8	马四组
细晶白云岩	细晶白云石	23.2				46.7	17.5	12.6		
细晶白云岩	细晶白云石	20.5			16.5	47.1	10.4	5.5		
细晶白云岩	细晶白云石	20.5	16.4	11.9		38.4		12.8		
细晶白云岩	细晶白云石									
岩石	主矿物	气相(%)								层位
		有机成分				无机成分				
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₂ H ₄	CO ₂	H ₂ S	SO ₂	H ₂ O(G)	
细晶白云岩	细晶白云石	18.0					13.0	20.0	49.0	马四组
细晶白云岩	细晶白云石	8.0				24.0	15.0	17.0	36.0	
细晶白云岩	细晶白云石	32.0				37.0			27.0	
细晶白云岩	细晶白云石	18.0	10.0		20.0	39.0	13.0			
细晶白云岩	细晶白云石	12.0	5.0			25.0		5.0	53.0	

表4 定探1井马四组粗砂糖状白云岩的主体细晶白云石包体的特征及均一温度

Table 4 Characteristics and homogenization temperatures of inclusions in host fine crystalline dolomites of coarse saccharoid dolostones of Majiagou Fm. IV of Dingtan Well 1

序号	1	2	3	4	5	6	7
大小(μm)	11×10	10×5	6×5	13×5	13×8	11×10	8×8
充填度(%)	92	90	89	89	89	89	89
均一温度(℃)	146	128	126	145	188	173	176
序号	8	9	10	11	12	13	14
大小(μm)	10×5	18×9	15×4	10×8	13×8	8×5	8×5
充填度(%)	89	86	86	86	85	85	80
均一温度(℃)	168	131	183	142	146	104	201
序号	15	16	17	18	19	20	21
大小(μm)	8×5	10×6	10×4	13×5	8×4	8×8	5×5
充填度(%)	80	80	75	75	74	70	70
均一温度(℃)	247	203	292	338	289	349	355

为了扣除因充填度不同、次生包体的混杂和后期高温对包体的影响,这里仅以所测均一温度的最低值 104℃ 来衡量白云化流体的古温度。测得此温度值的包体位于主体细晶白云石的雾心部位,大小为 $8 \times 5 \mu\text{m}$,形态呈较规则的梯形,充填度为 85%,孤立分布,为原生包体(照片 6),故测出的均一温度值是可信的。此温度值说明,组成“斑”的主体细晶白云石形成时,成岩介质为温度不低于 104℃ 的热水。

4 包体研究对确定块状白云岩成岩环境的作用

4.1 细砂糖状白云岩成岩环境

从表 2 中可以看出,细砂糖状白云岩的孔隙充填方解石中包体的均一温度是较低的。如按蒸发湖坪地表温度 40℃,渭北地区古地温梯度 $5.24^\circ\text{C}/100\text{m}$ 计算,则这些孔隙充填方解石中包体形成的最大深度为 172m,亦即其主矿物方解石应形成于近地表至浅埋藏环境,而主体白云石的形成必然早于孔隙充填方解石,也就是说,这类细砂糖状白云岩只能在近地表至浅埋藏环境中,紧随其上覆泥晶-泥粉晶准同生白云岩之后形成。这与剖面(如铁瓦殿、金粟山和尧山等剖面)的泥晶-泥粉晶准同生白云岩和细砂糖状白云岩组成多个岩性旋回的事实是吻合的。

4.2 粗砂糖状白云岩成岩环境

从包体成分的分析结果(表 4)来看,无论是气相还是液相,甲烷普遍存在且含量较高,有机质中出现的最长链的烃也只是丙烷。这说明包体形成也就是主体细晶白云石形成时间,本区奥陶系中烃类的演化已进入干气阶段,而燕山期才是本区的生气高峰期。可见,此时本区的奥陶系业已进入深埋藏阶段。

按定边地区古地温梯度的平均值 $3.98/100\text{m}$,地表常温平均 30℃ 计算,测算的成岩环境的深度大约为 2600m 左右,显然为深埋藏环境。这样的埋深在本区相当于侏罗纪地层沉积完毕,也就是说,从滩相和台地相石灰岩进入浅埋藏阶段形成云斑石灰岩开始到粗砂糖状白云岩连续块状体的最后形成,持续的时间大约 1 亿年左右。

由此可见,由包体成分的分析结果推断的成岩环境的深度与由包体的均一温度计算的成岩环境的深度是吻合的。至此可以确认粗砂糖状白云岩主要形成于深埋藏的热水白云化环境。

5 问题讨论

关于鄂尔多斯地区奥陶系马家沟群块状白云岩的成因,目前普遍认为是近地表混合水白云化的产物。

本文通过对块状白云岩的主体白云石和孔隙充填方解石或白云石中包体的研究,确定了主体白云石中包体不发育的细砂糖状白云岩的成岩环境为埋深浅于 172m 的浅埋藏环境,成岩介质为温度较低的冷水,其盐度较高;确定了主体白云石中两相或多相液态包体发育的粗砂糖状白云岩的成岩环境为深埋藏环境,成岩介质为温度不低于 104℃ 的热水,其盐度多变。从包体的分析结果来看,无论是细砂糖状白云岩还是粗砂糖状白云岩,其成因都与

近地表混合水白云化的模式相差甚远,这说明用混合水白云化模式来解释鄂尔多斯地区块状白云岩的成因是值得商讨的。

笔者认为在进行块状白云岩成因研究时,对包体的研究要予以重视,尤其是对主体白云石中的包体,因为准确的包体分析,可以为我们提供块状白云岩成因的最直接、最有效的成因信息。

本文研究中得到导师马增昭教授和中国地质大学刘瑾璇教授的指导和帮助,特此致谢!

参 考 文 献

- 1 Badiozamani K. The dorag dolomitization model-application to the middle Ordovician of Wisconsin. *Sedimentary Petrology*, 1973, 43(4):965—984.
- 2 Land L S. Dolomitization, AAPG Educ. Course Ser, 1982, (24):20.
- 3 Mollw D W. Diagenesis 2, dolomite-Part II. Dolomitization models and ancient dolostones, *Geoscience, Canada*, 1982, 9:95—107.
- 4 Mattes B W and Mountjoy E W. Burial dolomitization of the Upper Devonian Miette buildup, Jasper National Park, Alberta, in Zenger D H, Dunham J B and Ethington R L, eds. *Concepts and models of dolomitization: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 1980, 28: 259—297.
- 5 Zenger D H. Burial dolomitization in the Lost Burro Formation (Devonian), east-central California, and the significance of late diagenetic dolomitization, *Geology*, 1983, 11:519—522.
- 6 何知礼. 包体矿物学. 1982, 地质出版社.
- 7 冯增昭、陈继新、张吉森. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理. 1991, 地质出版社.
- 8 Feng Zengzhao, Zhang Yongsheng, Zhang Chuanlu, and Kang Qifa, Types, origin and reservoir characteristics of dolostones of Majiagou Group of Ordovician, Ordos, North China Platform. 30th Inter. Geol. Congr. (abstract). 1996.

Inclusion Study of Massive Dolostones of Ordovician Majiagou Group in Ordos Basin

Zhang Yongsheng Zhang Chuanlu Kang Qifa

(Department of Geosciences, University of Petroleum, Beijing 100083)

Key words Ordos; Majiagou Group; massive dolostone; host dolomite; inclusion homogenization temperature; hot water dolomitization

Abstract

Massive dolostones of the Ordovician Majiagou Group can be grouped into fine saccharoidal dolostones and coarse saccharoidal dolostones. An analysis of inclusions offers the most direct information for the study of origin of the massive dolostones.

Inclusions are poorly developed in the host dolomites of fine saccharoidal dolostones, but are well developed in pore-filling calcite crystals. The homogenization temperatures of these inclusions (24 samples) range from 49°C to 74°C, and the maximum depth of inclusion formation calculated from such temperatures is 172m. It can thus be inferred that the host dolomites of fine saccharoidal dolostones must have been formed in shallow burial environments with the depth of less than 172m.

Inclusions are well developed in the host dolomites of coarse saccharoidal dolostones. Analytical data of Raman Spectra show that these inclusions are commonly methane-bearing ones, suggesting that they must have been formed in deep burial environments. The lowest homogenization temperature of these inclusions is 104°C (with no pressure correction), and the least depth for inclusion formation corresponding with such a temperature is about 2600m. It is hence believed that the coarse saccharoidal dolostones must have been formed in deep burial environments with hot water dolomitization.