

华北地区寒武、奥陶系 碳酸盐岩有机质丰度及生油岩研究

宁正伟

(地质矿产部华北石油地质大队, 郑州 450007)

作者以丰富的资料对华北地区寒武、奥陶系碳酸盐的沉积环境、成岩作用以及有机质演化等进行了系统的研究。提出前缘斜坡相、开阔海相、局限海相为有利生油岩相;泥晶灰岩、生物灰岩、白云质灰岩为主要生油岩石组合;寒武系辛集组上段、中奥陶下马家沟组、上马家沟组、峰峰组为主要生油岩层。

关键词 碳酸盐岩 沉积环境 成岩作用 生油岩相 华北地区

作者简介 宁正伟 男 41岁 工程师 石油地质

华北地区寒武、奥陶纪主要为地台浅海碳酸盐沉积。分布面积广,沉积稳定,碳酸盐岩占沉积厚度的80%。其中生物发育,种类较丰富,并以油气苗显示较多而引人注目,是华北地区碳酸盐岩找油气的重要领域之一。其重要特点是有机质含量低,这对于在碳酸盐岩地层中找原生油气藏,就出现了如何认识碳酸盐岩有机质含量及如何评价生油岩。近年来随着在该区碳酸盐岩中找油气工作的进展,首先对生油岩及如何评价生油岩等有关方面进行了研究。笔者通过近几年的研究工作,对该区寒武、奥陶系碳酸盐岩有机质含量及生油层问题提出粗浅认识,供今后研究者参考。

1 形成有机质丰度低的作用

华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩大部分属生物成因和生物碎屑成因,含有丰富的海相生物碎屑,它表明原始沉积有机质是丰富的。但是,目前这些岩石中的有机质含量与泥质岩相比普遍较低,通过大量分析资料认为,影响这些差别的主要因素有以下几种。

1.1 矿物岩石作用

沉积岩中不同的矿物岩石对有机质含量起着一定的控制作用。泥质岩是层状矿物,除表面可吸附有机质外,矿物的层间还可以吸附着大量的有机质。而碳酸盐矿物属三面或斜方晶系结构,对吸附有机质相对泥质岩而言是很弱的(傅家谟,1981)。我们通过对华北地区所钻遇到寒武、奥陶系的53口钻井、286个样品有机质丰度分析资料充分说明,有机质含量与岩石矿物含量的变化有着明显的相关性(表1)。泥质岩有机质含量明显高于碳酸盐岩,其中在碳酸盐岩中不同的岩石矿物变化对有机质含量也有一定的影响。如泥晶灰岩最高,次为白云

质灰岩、白云岩、膏岩。如果把泥质岩与灰岩、白云岩、膏岩有机碳含量加以对比,其比值分别为7:1,10:1,20:1。通过以上资料说明,碳酸盐岩残余有机质含量远远低于泥质岩。所以在对碳酸盐岩生油岩评价时一定要与泥质岩评价有所区别。根据华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩有机质分析资料,泥晶灰岩、白云质灰岩残余有机质含量均达到我国碳酸盐岩生油丰度指标,是生油气的主要气源岩。

表1 华北地区寒武、奥陶系有机质丰度与岩性相关性

岩 性	泥质岩	泥晶灰岩	白云质灰岩	鲕粒灰岩	白云岩	膏 岩
C(%)	0.85/4*	0.126/51	0.115/10	0.089/7	0.091/20	0.043/3
"A"(ppm)	247/4	199/51	274/10	227/8	147/20	142/3
HC(ppm)	196/4	109/51	172/10	49/7	62/20	31/3

* 样品数,余同

1.2 沉积环境作用

通过对碳酸盐岩沉积相研究认为,并不是所有碳酸盐岩都是生油岩,即只有低能沉积相和非淡水海解成岩相的岩石类型,因其有利于有机质的发育和保存,才是最有希望的生油岩。因此,对于碳酸盐岩沉积相的研究,在生油岩评价中具有十分重要的意义。华北地区寒武、奥陶纪为稳定的台地浅海碳酸盐沉积。从岩石组合、沉积特征、水动力条件的强弱可划分为十三个相。通过对47口钻井、268个分析样品资料统计,开阔海、局限海、滩间海、浅滩、坪间海、潮坪、蒸发坪主要相区有机质含量有着明显的变化。其开阔海有机质含量最高,次为局限海、滩间海、坪间海、潮坪和蒸发坪(表2)。从表说明,开阔海、局限海、滩间海、坪间海残余有机碳含量均达到我国碳酸盐岩生油岩丰度下限值。是华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩有利的生油岩相。

表2 华北地区古生界有机质丰度与环境关系表

沉积相	开阔海	局限海	滩间海	浅 滩	坪间海	潮 坪	蒸发坪
C(%)	0.175/30*	0.125/16	0.121/5	0.083/7	0.118/8	0.083/13	0.042/7
"A"(ppm)	271/30	227/16	205/5	176/7	195/8	110/13	92/7
HC(ppm)	169/30	110/16	60/5	43/7	83/8	44/13	27/7

* 样品数,余同

1.3 演化作用

华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩演化程度普遍较高,大部分地区有机质已处于演化晚期(凝析油-干气期),仅少部分地区处于成油期(生油晚期)。通过对碳酸盐岩不同系列样品中抽提物有机质含量与干酪根氢碳原子比的关系分析(图1~3)。当H/C原子比大于0.65时,有机碳含量均大于0.1%,氯仿沥青"A"大于120ppm,总烃大于50ppm;H/C原子比在0.65~0.5时,有机碳含量均小于0.1%,氯仿沥青"A"小于120ppm,总烃小于50ppm;H/C原子比小于0.5时,有机碳含量均小于0.08%,氯仿沥青"A"、总烃更低。以上资料说明,碳酸盐岩中的有机质丰度与演化程度存在着一定的相关性。在成油晚期以后,并随着演化程度的加

深,有机质丰度降低。所以在碳酸盐岩生油岩评价时,对于高演化地区可适当降低有机质丰度指标。

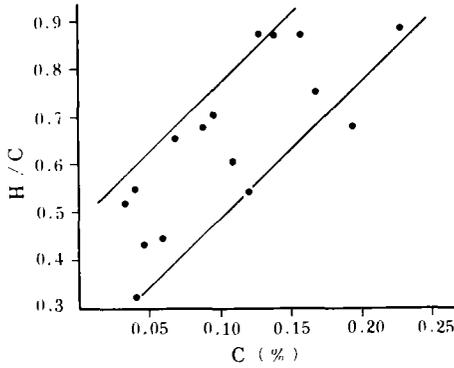


图1 寒武、奥陶系碳酸盐岩 H/C 与 C 相关图

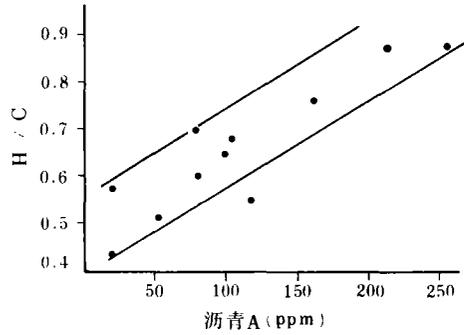


图2 寒武、奥陶系碳酸盐岩 H/C 与 A 相关图

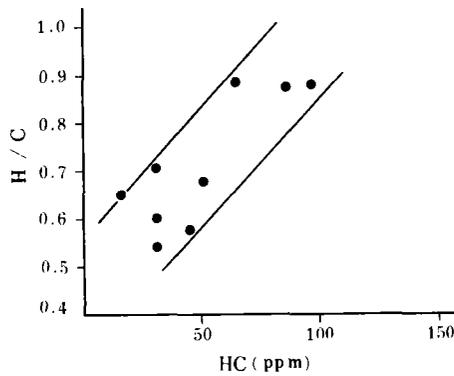


图3 华北地区下古生界碳酸盐岩 H/C 原子比与 HC 相关图

1.4 成岩作用

碳酸盐岩在早期固结成岩过程中易发生重结晶,留下开放孔隙,有机质可大量丢失。根据 H. M. 吉曼(Gehman, 1962)的资料计算,碳酸盐岩中有机质在成岩过程中丢失量可以达到原始含量的 80%以上,而泥质岩不易发生重结晶,仅损失 5~10%。加之碳酸盐岩成岩后生作用,岩石进一步深埋产生节理、裂隙或表生作用,接受氧化细菌降解,更使有机质丢失。华北地区寒武、奥陶系据同一层位地表和钻井有机质分析资料统计,前者一般低于后者 2~3 倍。这和它沉积后得到进一步的埋深(成岩作用、后生作用),同时经受加里东、印支、燕山和喜山期运动成岩表生作用有关。

通过对华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩有机质含量资料分析认为,影响碳酸盐岩残余有机质含量偏低的主要作用与它的矿物岩石变化,沉积环境、有机质演化、成岩作用及成岩后

生作用有着密切的关系。

2 沉积特征及生油岩

2.1 沉积特征

华北地区寒武、奥陶纪早期在地台边缘发生海浸,程度不同地发育一些陆屑沉积。中晚期随着海侵的逐渐加大,主要为碳酸盐沉积。总的特征是陆源物质少,水体广而浅,海底地貌宽缓起伏。从地壳升降运动引起的海水进退演化史可划分两系、五统、十三组;三大海侵旋回,七个亚旋回(表3)。岩石类型主要为碳酸盐岩,次为粘土岩、碎屑岩、膏质岩,沉积厚度766~1650m。据莱芜、洪洞、唐山等剖面和龙古3井、南6井资料粗略统计,灰岩占沉积厚度的61%(其中泥晶灰岩占34%),主要分布在寒武系下统辛集组、中统张夏组和奥陶系中统下马家沟组上段、上马家沟组上段、峰峰组上段。白云岩占沉积厚度的23%,主要分布在奥陶系中统下马家沟组下段、上马家沟组下段、峰峰组下段。粘土岩占沉积厚度的13%,主要分布在寒武系下统馒头组、毛庄组,中统徐庄组。碎屑岩占沉积厚度的2%,主要分布在寒武系下统辛集组下部和中统徐庄组。膏质岩占沉积厚度的1%,主要分布在奥陶系中统下马家沟组下段、上马家沟组下段、峰峰下段。

寒武、奥陶纪主要为台地浅海相沉积。包括五个沉积相带,十三个相(图4)。

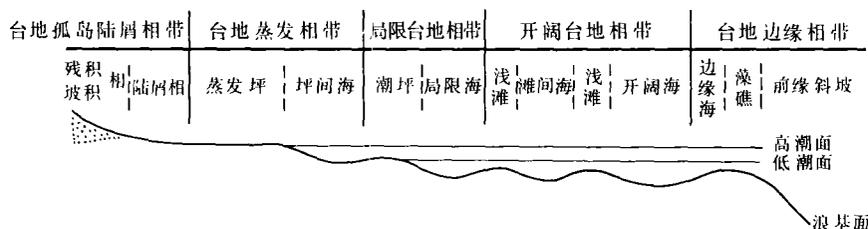


图4 华北地区早古生代沉积相模式略图

(据下古生界研究报告,1984)

台地边缘相带:包括前缘斜坡、藻礁和边缘海相。其中前缘斜坡相位于低潮面之下,水动力条件一般较弱,对有机质的保存较有利,是华北地区寒武、奥陶系最理想的生油沉积相。主要发育在华北地区南部寒武系下统辛集组。

开阔台地相带:包括浅滩、滩间海和开阔海相。其中开阔海相位于低潮面之下,水体相对较深,为水动力条件较弱的还原环境。生物发育,有利于有机质的保存。分布面积广,为有利的生油沉积相。主要发育在奥陶系中统下马家沟组上段,上马家沟组上段,峰峰组上段和寒武系上统凤山组及下统辛集组。

局限台地相带:包括潮坪和局限海相,其中局限海相位于潮下带—潮间低凹区,水体一

般相对安静,还原条件尚好,生物发育,并有利于有机质的保存,是较有利的生油沉积相。主要分布在寒武系上统和奥陶系下统。

表3 华北地区下古生界综合简表

地层系统		海浸旋回		沉积阶段	组段划分		厚度(m)	岩性特征	
石炭系	中统				本溪组			褐红色铝土页岩	
奥陶系	中统	加里东	第三海浸旋回	碳酸盐岩	峰峰组	上段	85~224	灰、深灰色泥晶灰岩,有时含云斑	
						下段	70~130	灰褐、灰黄色泥云岩,云岩夹云斑,角砾状灰岩,含石膏	
					上马家沟组	上段	72~299	深灰色泥晶灰岩,云斑灰岩含燧石,生屑灰岩,局部夹云岩	
						下段	14~85	褐灰、灰黄色云岩,角砾状泥云岩,云质灰岩,含石膏	
					下马家沟组	上段	31~294	深灰、灰色泥晶砂岩,云斑灰岩夹石膏化灰岩及云岩	
						下段	5~62	灰黄、褐灰色泥云岩,云岩底部多含碎屑,含石膏	
	下统	加里东	第二海浸旋回	碳酸盐岩+碎屑粘土岩夹碳酸盐	亮甲山组	35~210	褐灰、灰色含基石团快云灰岩		
					冶畔组	29~170	灰色岩、云岩下部多含竹叶状砾屑、夹页岩及石膏		
					凤山组	40~151	灰深灰色石灰岩、云岩,具条带、竹叶状砾屑		
					长山组	8~74	灰色石灰岩,紫灰色带氧化圈竹叶状灰岩及页岩		
寒武系	上统	加里东	第二海浸旋回	碳酸盐岩+碎屑粘土岩夹碳酸盐	固山组	16~106	灰、黄灰色疙瘩、条带状灰岩,泥灰岩夹黄绿色页岩,含砾屑		
					张夏组	83~218	灰色鲕状灰岩、云斑条带碎屑灰岩、夹黄绿色页岩		
	中统				徐庄组	0~198	紫、黄绿色页岩、砂岩、夹砂屑鲕粒灰岩,含海绿石		
					毛庄组	0~146	褐紫色砂质云母页岩夹碎屑鲕粒灰岩含石盐假晶		
					馒头组	0~221	紫红色泥页岩夹灰、云岩含石盐假晶		
下统	加里东	第一海浸旋回	碳酸盐岩-碎屑岩	辛集组	0~310	灰色含燧石、云斑灰岩、云岩含磷砂页岩、砾岩,有时含石膏			

注:云岩(白云岩简称),泥云岩(泥质云岩简称)

台地蒸发相带:包括蒸发坪、坪间海相。坪间海相位于潮上低凹地带,一般情况下受潮汐作用较弱。对有机质保存相对较不利,但在局部有利区可形成生油岩。主要分布在奥陶系中统下马家沟组下段、上马家沟组下段、峰峰组下段。

台地孤岛陆屑相带:包括坡积相、陆屑相。该相带以氧化环境为主,有机质贫乏,一般不具备生油条件,为该区非生油环境。主要分布在寒武系中、下统。

根据华北地区82口钻井,1206个寒武、奥陶系地化分析样品资料。有机碳含量绝大部

分在 0.05~0.2% 之间。其中含量小于 0.1% 者占样品的 55.4%，大于 0.2% 者仅占 12.2%。氯仿沥青“A”含量小于 100ppm 者占 51%，含量在 100~300ppm 者占 34%，而大于 300ppm 者仅占 15%。总烃含量小于 100ppm 者占样品总数的 67%（其中小于 50ppm 者占 47%），大于 100ppm 者占样品总数的 33%（图 5）。从不同层位有机质丰度资料分别统计，奥陶系中统下马家沟组、上马家沟组、峰峰组和寒武系下统辛集组残余有机质含量较高，一般均大于 0.1%，氯仿沥青“A”含量 128~314ppm，总烃含量大于 60ppm。张夏组、毛庄组、徐庄组残余有机碳含量均大于 0.1%，但氯仿沥青“A”、总烃含量较低（表 4），这主要与它们的沉积环境、岩石类型、成岩环境有关。其它组段有机质丰度均较低，一般小于 0.1%。

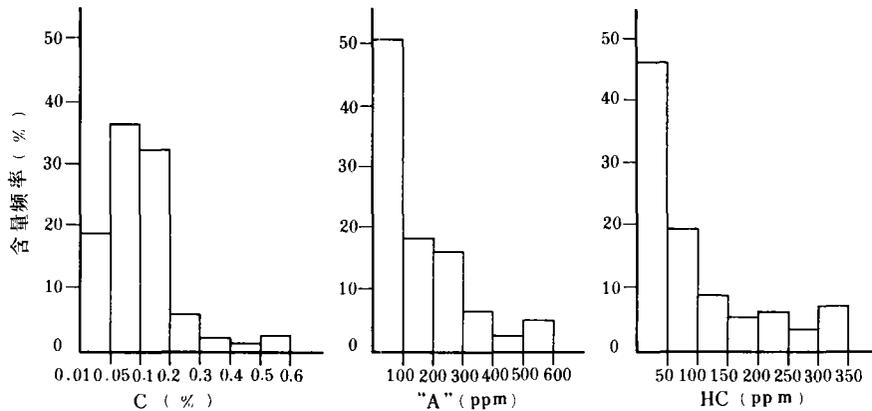


图 5 华北地区下古生界有机质丰度含量分布频率图

2.2 生油岩(层)

以往对该区碳酸盐岩生油岩的研究时,着重于有机地化指标,而从碳酸盐岩的岩石组合特征、沉积环境变化、成岩条件、有机质演化等对生油岩的影响及综合评价生油岩欠佳。作者通过华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩研究,认为碳酸盐岩生油岩的优劣和它的沉积环境、成岩作用、矿物岩石组合等因素有着密切相关性。所以在评价碳酸盐岩时,要综合分析,确定生油岩。

根据目前我国对碳酸盐岩生油岩的研究及南方碳酸盐岩已知生油岩有机质丰度资料分析结果^①,认为华北地区寒武、奥陶系残余有机碳含量大于 0.1%,氯仿沥青“A”大于 100ppm,总烃大于 60ppm 为生油岩丰度下限值。前缘斜坡相、开阔海相、局限海相为有利生油岩相。泥晶灰岩、生物灰岩、白云质灰岩为主要生油岩石组合。

根据该区生油岩划分原则,寒武系下统辛集组上段和奥陶系中统下马家沟组上段,上马家沟组上段,峰峰组上段为主要生油岩层。

2.2.1 寒武系下统辛集组上段

早寒武世早期在华北地区南、北低洼部位接受辛集组早期沉积,之后由充填到超覆逐渐扩大。晚期主要以深灰色泥晶灰岩、含燧石云斑灰岩为主。台地前缘斜坡相、台地开阔海相发育,其主要发育在南、北部两区。残余有机碳含量均大于 0.1%,氯仿沥青“A”大于 150ppm,总烃大于 60ppm。生油岩厚度大于 50m,其中中部地区均小于 50m。根据生油岩条

① 地矿部石油中心实验室,1985,扬子准地台中、古生界碳酸盐岩油气实验地质专题研究报告

件分析,南、北部地区为该组段较有利生油岩。

表4 华北地区下古生界各组段有机质丰度表

地层时代	C(%)	"A"(ppm)	HC(ppm)	"A"/C(%)	HC/C(%)	主要岩石	主要沉积环境
O ₂ f ²	0.098/54	235/15	201/7	36/13	12/6	泥晶灰岩	开阔海
O ₂ f ¹	0.102/30	207/42	61/7	28/10	8/8	泥云岩、云岩	局限海、蒸发海
O ₂ s ²	0.153/152	169/42	135/21	19/42	14/21	泥晶灰岩	开阔海
O ₂ s ¹	0.136/45	204/23	61/12	16/20	15/2	泥云岩、云岩	蒸发坪局限海
O ₂ x ²	0.128/120	128/33	123/17	17/31	11/12	泥晶灰岩	开阔海
O ₂ x ¹	0.150/21	314/11	251/5	17/11	13/5	泥云岩、云岩	局限海、蒸发坪
O ₁ l	0.083/77	226/25	179/19	24/24	16/19	云灰岩	开阔海、局限海
O ₁ y	0.089/28	138/10	59/5	19/10	7/5	灰岩、云岩	局限海、滩间海
C ₃ f	0.087/53	72/5	42/2	15/4	12/2	灰岩、云岩	开阔海
C ₃ c	0.085/30	42/3	21/2	15/3	9/2	角砾灰岩及页岩	滩间海、浅滩
C ₃ g	0.088/66	36/6	7/2	7/5	2/4	透镜状灰岩夹页岩	潮坪
C ₂ z	0.125/134	93/30	37/15	16/25	8/15	鲕粒灰岩	滩间海、浅滩
C ₂ x	0.12/71	73/13	48/2	12/10	8/2	页岩砂岩夹灰岩	陆屑、局限海
C ₁ mz	0.113/29	158/3				页岩夹鲕粒灰岩	滩间海、点滩
C ₁ m	0.113/46	86/2	46/4	10/2	4/4	泥页岩夹灰岩	潮坪、点滩
C ₁ x	0.128/37	156/13	87/10	13/13	7/9	蓬石云斑灰岩	开阔海

2.2.2 奥陶系中统下马家沟组上段

全区分布以深灰、灰色厚层块状泥晶灰岩、云斑灰岩为主。潮下低能环境发育,其中开阔海相占分布面积的90%。残余有机碳含量平均在0.128%(120个样),氯仿沥青"A"含量平均在128ppm,总烃含量平均在123ppm。据20个钻井及剖面,生油岩厚度100~150m,最厚可大于200m。以上资料说明,该组段具备生油条件,是该区最有利的生油岩之一。

2.2.3 奥陶系中统上马家沟组上段

分布面积较广。以深色灰色厚层块状泥晶灰岩、生物灰岩为主。潮下低能环境发育,其中开阔海相占分布面积91%。生物发育,残余有机碳含量0.153%(153个样平均),氯仿沥青"A"含量为169ppm,总烃含量135ppm。据20条剖面统计,生油岩厚度100~250m。为有利的生油岩层。

2.2.4 奥陶系中统峰峰组上段

由于受加里东末期构造的影响,南、北部地区均受到不同程度的剥蚀,中部地壳一般保存较好。以深灰、灰色块状泥晶灰岩、云斑灰岩为主。潮下低能环境发育,其中开阔海相分布占90%。残余有机碳含量平均0.1%(54个样),氯仿沥青"A"235ppm,总烃201ppm。生油岩厚度南、北部地区0~75m,中部地区大于200m。

3 结 论

通过华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩有机质丰度资料分析认为,吸附作用强的粘土矿物含量较少,台地蒸发环境较发育,有机质演化程度较高,后期改造强烈。有机质在成岩过程中及后期改造过程中大量丢失,是影响有机质丰度低的主要因素。因此在评价碳酸盐岩生油时,首先应考虑岩石组合、沉积环境、演化程度、成岩作用等因素的影响,然后进行生油岩评

价。

从生油条件分析。寒武系下统辛集组上段和奥陶系中统下马家沟组上段、上马家沟组上段、峰峰组上段,四个组段为主要生油岩层。其中下马家沟组上段,上马家沟组上段为华北地区全区性生油岩层;辛集组上段为华北地区南、北部生油岩层;峰峰组上段为中部地区性生油岩层。

(收稿日期:1989年8月16日)

参 考 文 献

1. 傅家谟. 关于当前石油有机地球化学研究的几个问题, 石油学报 1981; (1)
2. 西北大学地质系石油地质教研室. 石油地质学, 地质出版社, 1979
3. 郝石生. 对碳酸盐岩生油岩的有机质丰度及其演化特征的讨论, 石油实验地质 1984; 6(1)
4. 陈丕济. 碳酸盐岩生油地化中几个问题的评述, 石油实验地质 1985; 7(1)
5. Gehmen Jr H M. Organic Matter in Limestones, *Geochimica Cosmochimica Acta*, 1962; 26

A STUDY OF THE ORGANIC ABUNDANCE OF CAMBRIAN— ORDOVICIAN CARBONATE ROCKS IN NORTH CHINA

Ning Zhengwei

(North China Petroleum Geology Party, MGMR)

Abstract

Based on abundant data, the author systematically discusses the sedimentary environment, diagenesis, and organic evolution of Cambrian—Ordovician carbonate rocks in north China, suggesting that foreslope, open-marine and limited marine facies are favourable facies of source rocks, with micritic limestones, biolithite and dolomitic limestone as main source rock assemblage, and the upper Xinji Formation of Cambrian, lower Majia Gou and Fengfeng Formations of middle Ordovician as major source rocks.