

华北地区奥陶纪牙形石色变和有机物质 成熟度分区初步研究

包德宪 王元顺

(地质矿产部华北石油地质局)

华北地区奥陶系沉积厚度大,分布广,以海相碳酸盐岩为主。本文所指范围北自河北平泉、山西浑源一带,南到豫西、淮南,西自太行山,东至郟庐断裂,约60余万平方公里。被覆盖的奥陶系分布面积约12万平方公里。笔者以20条露头剖面,26口钻井剖面,共计7845个牙形石标本的色变指数(CAI)值为基础,绘出《华北地区奥陶系牙形石CAI成熟度分区图》,指出有机物质的变质程度和有利于生成石油、天然气的区域,为寻找石油、天然气提供可用的资料。

一、影响牙形石色变的因素

在地史时期中,影响牙形石色变的最主要因素是最高古地温,影响最高古地温的因素因时、地而异。在区域上,受大地构造的类型所控制;在局部地区,为次一级地质条件所影响。

1. 影响牙形石色变的区域因素

从华北区奥陶纪牙形石色变级别上看,在46条剖面中,CAI<2的有36条(其中CAI为1的有7条),占总数的78.3%;CAI>2的有10条,占总数的21.7%。例如北部的唐山、平泉、浑源、南部的徐州等剖面,CAI均为1。这些剖面在燕山运动以后,暴露地表,没有受到块断运动的影响,较直观地反映了牙形石的早期受热情况。这种大区域的CAI基本级别变化,为起主导作用的大地构造的基本类型所决定的,因为在大地构造相对稳定期间,地热流也是相对稳定的¹⁾。在同一地台区,热流值基本趋于一致,便造成该区基本一致的最高古地温,这就控制了全区牙形石色变的基本级别。而其他次一级的地质条件,是难以影响全区的古地温。

2. 影响牙形石色变的局部因素

在大地构造类型发生剧烈变化的时期,大地热流亦发生剧烈的变化。这种变化被牙形石的CAI直接记录下来。华北地区在燕山运动开始以后,地台被解体,并伴随了强烈的岩浆活动,地下水活动,形成新的盆地等。因此,影响CAI级别的因素是很多的。

1) 隐伏岩体影响牙形石色变

1) 冯放,油区古地温分析,华东石油学院北京研究生部,1983年教材。

出露的火成岩体直接影响局部地区的牙形石色变 [2][4]。在本区，牙形石色变也具有围绕着岩体呈环带状变化的规律。在河北省磁县虎皮脑奥陶系剖面，地面无火成岩露头，航空磁测 ΔT 正异常达300—350 γ ，呈北西向分布。奥陶系上、下马家沟组的CAI值高达6级，与航空磁测正异常的轴部相吻合（图1）隐伏岩体的上方，CAI值相对为高值。是隐伏岩体的热能向上散发形成的结果。与平面上呈环带状变化的规律相一致。因此，地面上的某些高CAI值，可指示隐伏岩体的存在。

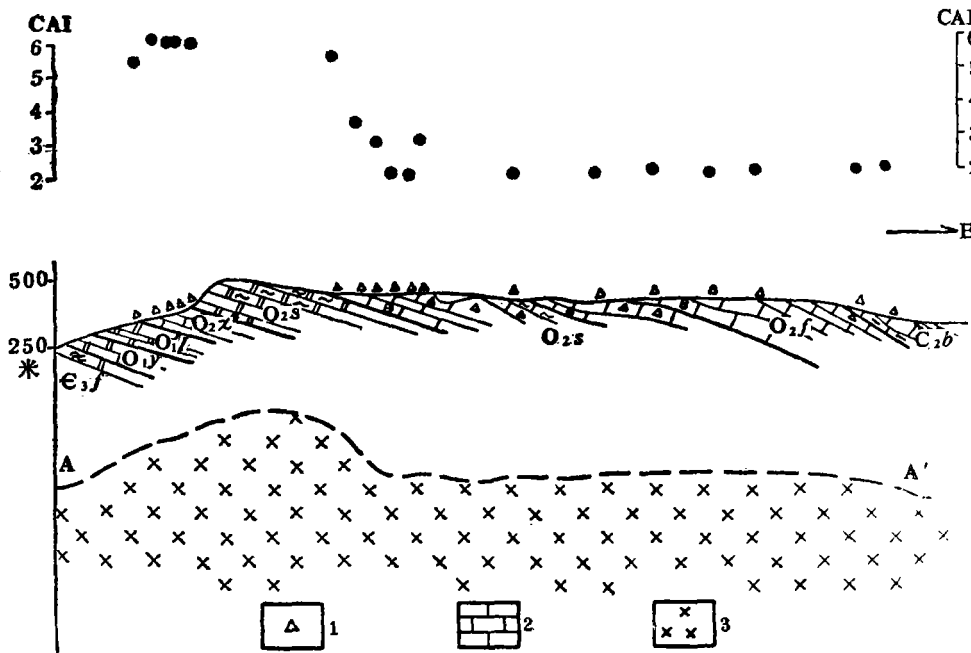


图1 磁县虎皮脑奥陶系牙形石CAI值与隐伏岩体关系图

1. 采样位置 2. 灰岩 3. 火成岩

2) 地下水活动影响色变

地下水活动是诸地质因素中最活跃的因素。由于它的活动性质不同，能使某一地温场升温或降温。在冀中地区，从太行山山前断裂至沧县隆起，是地下水活动的活跃区。爱泼斯坦的模拟实验证明，在封闭条件下，与一定温度和压力相结合的水，有效地延缓了有机物质碳化的速度（表1）。同样，深埋于地层中的牙形石化石，相对地处于被地层封闭了的高温高压的条件下。其活跃的地下水能起延缓有机物质碳化的速度。据该区某些钻井的3000米井段所发现的牙形石化石，CAI值一般为1.5~2级（表2）。CAI 1.5~2级用阿里尼厄斯座标换算成最高古地温为50°C~60°C。而根据现有深井温资料编的3000米地温场温度大部份在95°C~120°C之间 [1]，两者相差甚多。因有水的活动，延缓

表 1

实验条件	550°C 3小时		牙形石 CAI
	压力	气体	
无水	1个大气压	空气	3
	1千巴	氩气	3
	1千巴	甲烷	3
有水	1个大气压	空气	3
	1千巴	氩气	1.5
	1千巴	甲烷	1.5

了碳化速度,在此加上了一个CAI级别的修正值¹⁾,则分别为2.5和3级,然后再利用阿里尼厄斯座标进行换算,求得最高古地温约为100°C~125°C左右,稍高于实测井温,两者比较相符。CAI级别所反映的古地温场,与主要构造线方向及实测井温3000米地温场圈闭的方向相一致(图2)。均呈南南东向展布,较好地反映了该区的成熟度情况。

3) 构造运动影响色变

嵩山中奥陶统的牙形石CAI为4级,与北京西山的CAI级别相当。但北京西山有

冀中拗陷部份钻井深度与CAI值关系表

表 2

任 23 井	冶里组	任 89 井	亮甲山组	坝13井	下奥陶统	文 4 井	中奥陶统
深度(米)	CAI	深度(米)	CAI	深度(米)	CAI	深度(米)	CAI
2889	1.5	3201.90	1.5	2567	1.5	3020.3	2
2951	1.5	3227.88	1.5	2568	1.5	3070	2
3121	2	3254.66	1.5	永16井	中奥陶统	泽 1 井	峰 峰 组
极16井	中奥陶统	3274.72	1.5	深度(米)	CAI	深度(米)	CAI
深度(米)	CAI	巨参 1 井	下马家沟组	3235	1.5	2995	1.5
2500	1.5	深度(米)	CAI	大 4 井	下马家沟组	3014.5	2
2506	1.5	3010	1.5	深度(米)	CAI	3045	2.5
2540	1.5	3046	2	3026	1.5		

燕山运动二期强烈的岩浆活动。而嵩山仅有元古代的火成岩体,与奥陶系的CAI值无关。其次从上复地层厚度来考虑(表3),到三叠系为止,总厚约1562米。取3°C/100米的古地温梯度,计算三叠系末时中奥陶统的古地温为46.86°C,三叠系后中断沉积。直至第三系再接受了大于200米的沉积。用CAI值为4级求中奥陶统所经历的最高古地温为195°C左右,两者相差140°C以上。所以,用岩浆活动及沉积厚度很难解释中奥陶统的牙形石色变级别。但嵩山地区的构造运动是相当强烈。由于受怀远运动的影响,造成下奥陶统的缺失。中奥陶统沉积之后,受加里东运动的影响,长期暴露地表,形成铝土矿、黄铁矿等。特别是嵩山位于华北地台南缘,挟在太行山隆起与秦岭淮阳地盾之间,在中生代的褶断运动中,由于太平洋板块对欧亚板块的俯冲,导致华北地台构造应力场发生改变。构造线由原来的东西向转换成北东—北北东向。使地台边缘的地层发生强烈褶皱,嵩

表 3

地 层		厚度(米)
三叠系	第三系	>200
	延长群	>300
二叠系	二马营组	179
	石千峰组	>320
	上石盒子组上段	58—113
	上石盒子组下段	293—403
	下统	127
中奥陶统	中上石碳统	60—120
	中奥陶统	82—116

(河南省区调队资料)

一致,约1000米左右,最厚达1400米。利用大地热流值所求的二叠纪末时,早古生代的古地温梯度为 $3^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。因此,奥陶系在二叠纪末的古地温一般为 30°C ,最高可达 42°C 。基本上未达到生油门限温度。CAI值为1级。此时,控制华北CAI值的因素是大地构造的基本类型。

中生代各地沉积厚度不等。到燕山运动之前,基本上进入生油门限温度,开始第一次生油,例如河北平泉双洞油苗的油源,即是此时形成的。CAI等于或大于1级。后受到褶皱运动影响,出露地表,形成现今广布地面的油气沥青苗(图2),如唐山、浑源、淮南等地。在运动中,受到岩浆、构造活动强烈影响的地区,CAI级别明显增大,一般都在2级以上。如山东莱芜、北京西山等。没有受到运动强烈影响的地区,CAI一般小于2级,如广大平原地区。由此可见,有机物质是分期分区成熟的。

燕山运动以后,华北形成出露区及沉积区。出露区基本保持了燕山运动时的CAI级别。平原地区不同程度地接受了新生界的沉积。某些埋藏深度大的地区,CAI值继续增高,奥陶系第二次进入生油门限温度,有二次生油的可能,例如任28井晶洞原油即为二次生油。综上所述,华北地区奥陶纪牙形石色变史基本上分成三个阶段:(1)、二叠纪末,CAI基本上等于1级。(2)、燕山运动前,CAI 1~2级。(3)、燕山运动后,各地依据不同的地质条件,构成现今不同的CAI值。

2. 有机物质成熟度分区及评价

建立华北地区CAI级别与其他有机物质成熟度指标的对比关系表(表4、5),是获得多种成熟度信息的重要手段,能加强指标的可靠程度,对根据CAI级别划分有机物质成熟区有所帮助。(1)、有机物质成熟区,CAI值小于2级,生油为主。(2)、有机物质高成熟区,CAI 2~3级,生成凝析油、天然气。(3)、有机物质过成熟区,CAI大于3级,干气存在或不能保存油气(图2)。根据本区已发现油气沥青苗的剖面和层位

山地区的太古界、元古界出露地表,可见运动之烈。因此,构造运动是造成嵩山中奥陶统牙形石色变的重要因素。

二、华北地区牙形石色变史与评价

1. 牙形石色变史

牙形石的颜色变化系列是不可逆的。现在所见到的CAI级别,是在地史时期中各种地质因素作用的结果。因此,根据各地的地质条件,恢复它的演变历史,对成熟度的分析,无疑有很大的帮助。

本区晚古生代,仍属地台型沉积,以轻微的振荡运动为主,各地沉积厚度基本

CAI与镜煤反射率实际数据表 表4

地 点	牙形石CAI	镜煤反射率R.%
唐 山	1	0.88—0.90
巨参1井	1.5	0.641
东 1 井	2	1.37
济 源	9	6.23

(石炭二叠系资料)

上, 所获牙形石的CAI均小于2级(表6), 证明这个划分标准是可行的。在美国阿伯拉契亚盆地, CAI小于2级的地区, 找到了油田, CAI 2~3级的地区, 找到了气田 [6]。据华北油田勾绘的石碳系煤定碳比等值线图, 指出在郑州、石家庄、保定以东、唐山以南, 济南、枣庄一线以西, 都小于65% [3] (图3)。说明平原掩盖区属成熟区。并且奥陶系具备一定的生油能力表(7) 1)。

据牙形石色变史分析, 有机物质在二叠纪末时, 基本上没有成熟。在燕山运动

冀中拗陷碳酸盐岩有机物质成熟度数据表

表 5

牙形石		干酪根的 演化阶段	热解色谱			沥青 反射率 R.%	H/C 原子比	自由基 N × 10 ¹⁹ /克碳	主要的 降 解 产 物
CAI	温度°C		Tmax × °C	IH	CP COT %				
<2	50—140	退化(热降解) 前期	<455			<1.55	>0.7	<3.7	石油生成主带
2—3	110—200	退化(热降解) 后期	<475			<2.25	>0.5		凝析油 湿 气 生成主带
>3	>200	交替(烃裂解) 阶段	>475	<20	<3	>2.25	>5.0	>5.0	甲烷生成主带

据刘宝泉等的表改编

奥陶系地面油气沥青苗与牙形石CAI关系表

表 6

层位	产地	产 状	CHI	
中奥陶统	马家沟组	河北唐山赵各庄	致密灰岩晶洞含白色液体原油。	1 级
		河北平泉黑山口	豹斑灰岩裂缝、晶隙、晶孔充填黑色沥青。	1 级
		安徽淮南洞山	褐灰色细晶白云岩具油味。	1.5—2级
下奥陶统	亮甲山组	山西五台梯子沟	褐黄色白云岩具油味, 萤光五级。	1.5级
		山西浑源垣山	黄色细晶白云岩具浓芳香味。	1 级
		河北唐山长山沟南	黄灰色细晶白云岩具油味。	1 级

1)刘宝泉等, 1983, 冀中拗陷碳酸盐岩有机质丰度和热演化程度。

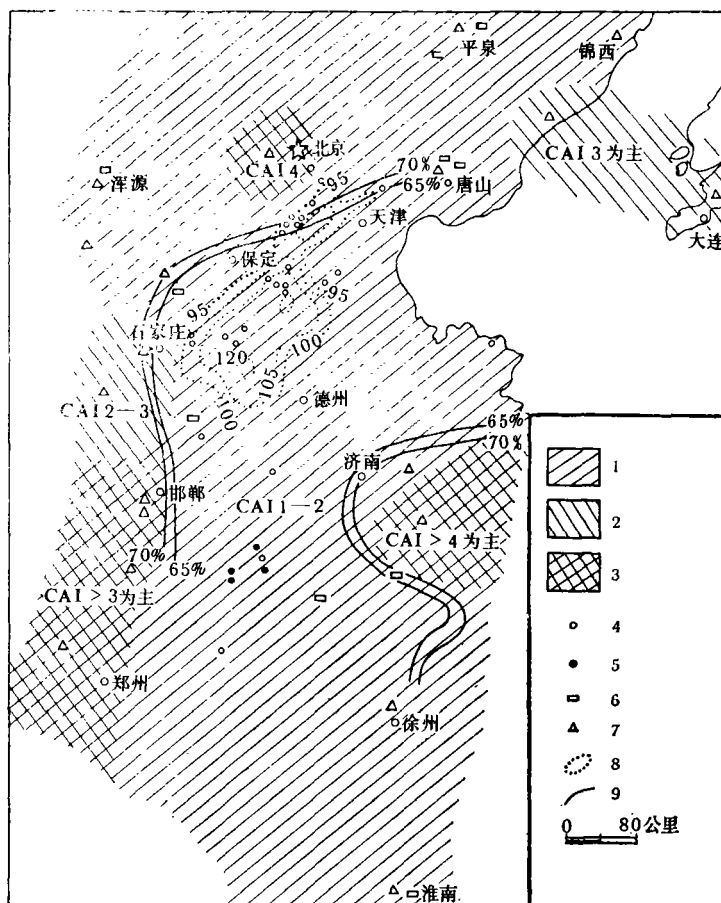


图2华北地区奥陶纪牙形石CAI成熟度分区图

1.成熟区2.高成熟区3.过成熟区4.牙形石CAI资料井5.镜煤反射率资料
6.地面油气沥青苗7.露头剖面8.3000米地温场线9.石碳、二叠系定碳比值线

表7

时代	有机碳%	沥青“A”(ppm)	总烃(ppm)
奥陶系	0.14	208	107

前,进入生油门限温度,与作为盖层的石碳、二叠、三叠系,储层的中奥陶统风化壳相配套,有可能形成奥陶纪的原生油气藏。进入新生代以后,有机物质有二次生油的可能。例如华北油田的任813井,奥陶系晶间孔条带油和缝洞油即来源于本层灰岩。在冀中地区,用元素、沥青反射率、顺磁分析三项指标说明冀中拗陷成熟度适中,约有93%的样品处于成熟期。牙形石CAI在该拗陷基本上小于2级,说明华北平原北部掩盖区是寻找奥陶纪原生油气藏的有利区。

部份钻井镜煤反射率表 表 8

井号	层位	镜煤反射率R ₀ %
濮深 1井	P ₁	1.5
卫古 1井	P ₁	0.8
巨参 1井	C、P	0.614
东 1 井	P ₁	1.37
龙古 1井	P ₁ ¹	0.87
范古 1井	P ₁ ¹	0.95

华北平原中部(德州-东明之间),钻井中的CAI值均为2级。石炭、二叠系的镜煤反射率R₀%在0.614~1.5之间(表8)。有机碳含量普遍高于冀中拗陷。平原南部地区据地面油气苗分布情况和已知的CAI级别推测,具有一定的希望。从整个有机物质成熟区的情况来看,中部和北部是现阶段寻找奥陶纪原生油气藏的有利区,可作为一个新的找油领域。

有机物质高成熟区及过成熟区,由于面积较小,又暴露地表,基本上无找油气的希望。

的希望。

影响本区有机物质成熟度分区的主要因素:(1)、燕山期强烈的岩浆活动是造成北京西山、山东莱芜和太行山南段三个有机物质过成熟区的主要因素。强烈的构造活动是造成嵩山有机物质过成熟区的主要因素。(2)、燕山期强度较弱的岩浆活动是造成太行山中段和山海关~金县二个有机物质高成熟区的主要因素。后区可能还受到郯庐大断裂的影响。(3)、大地构造的基本类型是影响有机物质成熟区北部和南部的主要因素。中部在燕山运动后,断陷成盆地,继续接受沉积,被重新掩埋后二次升温,并且最高古地温超过了燕山运动前所受到的最高古地温。所以,CAI级别稍高于北部和南部。

由于本区工作程度较浅,特别是对平原南部地区了解不够,有待进一步认识。

(收稿日期:1983年9月7日)

参 考 文 献

- [1] 冯石,华北盆地北部下古生界古地温演化与含油潜力分析,华东石油学院学报,1983年第4期。
- [2] 钟端等,牙形石色变指标的研究及其对南盘江地区的找油意义,石油勘探与开发,1982年第4期。
- [4] 唐智等,对华北震旦亚界古生界原生油气藏形成条件的探讨,石油勘探与开发,1978年第5期。
- [4] Rober S.Nicoll, 1981, Conodont Colour Adjacent to a Volcanic Plug, Canning Basin, Western Austrlia.
- [5] Anita G. Epstein, Jack B. Erstein, and Leonard D. Harris, 1977, Conodont Color Alteration—an Index to Organic Metamorphism.

A PRELIMINARY STUDY ON COLOR ALTERATION OF CONODONT AND DIVISION OF MATURITY OF ORGANIC MATTERS IN ORDOVIAN SYSTEM NORTH CHINA

Bao Dexian

Wang Yuanshun

(North China Bureau of Petroleum Geology
Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The essential that caused color alteration of conodonts throughout North China are the maximum palaeo-geotemperature controlled by principle tectonic framework, whereas local color alteration of conodonts in some areas was affected by factors as follows:

1) buried rock masses which intensified the color alteration of conodonts,
2) activities of underground water which degraded the color alteration of conodonts, 3) tectonic movement which intensified the color alteration of conodonts. By analyzing the history of color alteration of conodonts from Ordovician system, it is inferred that organic matters in this sequence reached mature stage during the period from the end of Permian to the beginning of Yanshan movement. After Yanshan movement, organic matters could be transferred into petroleum secondarily within some plain areas where Cenozoic strata had deposited. The whole region of North China is then divided and evaluated in terms of maturities of organic matters.