

贵州志留系牙形刺的颜色 及其石油地质意义

周希云

(贵州第八普查勘探大队)

一 前 言

牙形刺是一种尚不清楚的海生动物骨骼化石,单个刺体通常只有0.1—1毫米大小。在寒武纪至三叠纪的海相沉积(尤其是碳酸岩)中分布广泛,是划分对比地层的重要化石之一。利用牙形刺的颜色作为有机质变质作用的指标,首先是由Epsfein等(1674, 1975, 1977)提出来的。这是一种既迅速又经济的方法,只需要一般的实验技术和一台

双目立体显微镜,尤其适用于海相碳酸盐岩广布地区。

我国这方面的研究刚开始,目前只蒋武(1980)有过另星报道。

贵州志留系牙形刺颜色多样,在时间及空间有着规律的分布,它所揭示的有机质变质程度与其它有机地化指标有较大的一致性。本文仅对这方面有关问题作初步探索。

八普实验室张志芳同志在牙形刺的升温试验过程中给了大力帮助,表示感谢。

1001 FORMAT(8F10.2)
1002 FORMAT(1H0,10F10.3)
END

FORTRAN IV程序。

蒙特卡洛法也适用于其它金属与非金属矿产资源的远景评价,从事非石油矿产储量计算工作的同志可以引用。

四、结 束 语

目前在国外(美国、加拿大、澳大利亚、法国等)广泛使用蒙特卡洛法估计含油盆地潜在储量。美国每年都根据新资料对各含油区进行一次普遍的蒙特卡洛模拟计算,对勘探方向有重大的指导意义。

从引用蒙特卡洛法评价含油盆地的试算来看,该法有重要价值。本文是根据我们的初步工作成果,对该法作详细介绍并给出

参 考 文 献

- [1] 1973, Richard V. Andree, Josephine P. Andree and David D. Andree, Computer programming techniques, Analysis, and mathematics, Prentice-Hall, Inc.
- [2] 1965, Shan S. Kuo, Numerical methods and computers, Addison-Wesley publishing, Inc.

二 牙形刺的升温试验

为了探索志留系牙形刺的颜色与温度的关系，我们进行了两种牙形刺升温试验。试验样为凯里地区下志留统洛棉组的浅绿灰色含泥质粉砂质灰岩，含牙形刺丰富（每500克岩样中有1000粒以上），颜色很浅（褐黄

色），是进行试验的理想样品。

（一）牙形刺标本的升温试验

将一定数量褐黄色牙形刺标本装入坩埚中，放在马福炉或其它恒温器内依次升温，每次升温约3小时，把每次升温后的刺粒放在双目立体显微镜下观察，记录颜色的变化。观察条件（放大倍数、光源强度、色标等）应一致。试验结果如表1。

表1 牙形刺升温试验结果表

样品号	低温稳色阶段				中温变色阶段				高温深色阶段				褪色阶段	
	常温	100℃	200	300	350	400	450	500	550	600	700	800	900	1000
1	褐黄 (1.5)	褐黄 (1.5)	褐黄 (1.5)	褐黄 (1.5)	褐 灰褐 (2)	褐灰 灰 (2-3)	褐灰 灰 (2-3)	深灰 (3)	深灰 (3-4)	黑 (4)				
2	"	"	"	"	"	褐灰 (2-3)	褐灰 (2-3)	深褐 (3)	黑褐 灰黑 (3-4)	黑 (4)	黑 (5)	黑 (5)	黑灰 (5-6)	灰 浅灰 (6)
3	"					灰褐 (2)	褐灰 灰 (2-3)	深灰 (3)	黑灰 (3-4)	灰黑 (4)	黝黑 (5)	黝黑 (5)	灰黑 灰 (5-6)	
4	"							褐灰 灰 (2-3)	灰 深灰 (3)	深灰 灰黑 (3-4)	黑 (4)	黑 (5)	灰黑 灰 (5-6)	灰 (6)

注：颜色下括号内的数为CAI值。

（二）含牙形刺岩样的升温试验

将已知含丰富浅色牙形刺的岩样破碎成5—10毫米的碎块，放在马福炉内加热。每次恒温24—28小时。恒温后，取出其中一部分作牙形刺分析。将剩余样品继续升温、分样，直到预期的温度及分样次数为止。将经

热处理的岩样分别进行牙形刺分析，并对分析得的牙形刺进行颜色观测。试验结果见图1及表2。

表2 含牙形刺岩样升温试验结果表

颜色 温度	褐黄	灰褐-褐	黑褐	黑
	CAI=1.5	CAI=2	CAI=3	CAI=4
常温	207* (37)	350 (63)		
300℃	20 (18)	70 (70)	13 (12)	
400℃	5 (7)	45 (58)	26 (35)	
500℃		4 (4)	10 (9)	90 (87)

* 牙形刺的粒数及百分含量。

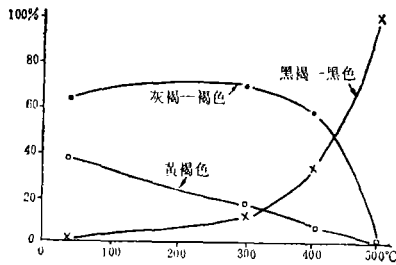


图1 岩样中各类颜色牙形刺百分含量与温度关系图

两种试验表明:

1. 牙形刺的颜色随温度的升高而由浅变深, 即由褐黄色逐渐变成灰褐、灰、深灰以至黑色;

2. 牙形刺的色变不均一。在同一温度下, 就一粒标本而言色变, 最显著的是刺体的下半部(齿片或齿棒), 上部(细齿)色变缓慢。不同的刺粒色变快慢区别更大。但随温度的不断升高, 浅色逐渐减少, 深色逐渐增多, 以至全部变成黑色;

3. 色变与受热时间关系密切, 在相同温度下受热时间长变成深色者较多; 反之, 则少;

4. 色变大致经历四个阶段:

(1) 低温稳色阶段: 温度小于300℃, 颜色几乎保持原色;

(2) 中温变色阶段: 当温度升至350—500℃时, 颜色变成褐、褐灰、灰色, 透明度及光泽稍变差;

(3) 高温深色阶段: 温度升至550—800℃, 颜色已普遍变成灰黑、黑色, 只有细齿部位颜色稍浅。刺体呈不透明或微透明

状, 光泽弱;

(4) 高温退色阶段: 温度达900—1000℃, 黑色逐渐退成不均匀黑灰—灰色以至浅灰色, 透明度及光泽逐渐变强。

试验结果与Epstein等(1977)及蒋武(1980)的试验结果相似, 说明牙形刺颜色随温度而变化的规律是普遍性的。牙形刺色变的内因在于其微细层间空隙里含有有机质, 可能为氨基酸类(Pietzner等, 1968), 受热即逐渐发生碳化作用。当温度很高时, 碳质挥发而使刺体退色(Epstein, 1977)。

三 颜色分类

Epstein等(1977)将自然界及试验的牙形刺颜色按其深浅及与温度的关系分成1—8级, 称为牙形刺的色变指标(Color Alteration Index of the Conodonts)简称CAI。其中1—5级最为常见; 6—8级为高温变质产物或与火成岩体侵入有关, 较少见。他们同时研究了色变指标(CAI)与孢粉、镜煤质等有机变质作用指标的对应关系(表3)。对贵州志留系的3500多粒牙

表3 牙形刺颜色分级及三种有机变质作用指标对比表*

CAI	牙 形 刺 颜色 (按Munsell色谱标定)	温度℃	孢 粉		镜 煤 质	
			半透明度 (Amoco)	酞 酞 根 C% 重量	反射率	固定 C%
1	淡黄色(2.5y7/4至8/4)	<50—80	1—5	<82	<0.8	<60
1.5	极淡褐色(10YR7/3至10YR8/4)	50—90	5—5*	81—84	0.7—0.85	60—65
2	褐至深褐(10YR4/2至7.5YR3/2)	60—140	5—6	81—87	0.85—1.3	65—73
3	深灰褐(10YR4/2)-黑红褐色(5YR5/2)-黑色(10YR2.5/1)	110—200	5*—6	83—89	1.4—1.95	74—84
4	黑色(5YR2.5/1至10YR2.5/1)	190—300	6	84—90	1.95—3.6	84—95
5	黑色(7.5YR2.5/0至2.5YR2.5/0)	300—400	6*—7	>90	>3.6	>95
6	灰色					
7	不透明白色					
8	无色透明					

* 据Epstein等(1977)资料编成。

形刺标本的颜色进行观测,按Epstein等的分类,本区可以分出1—4个等级。

1. CAI= 1, 为淡黄色或浅琥珀色, 近于透明状, 油脂(或玻璃)光泽强烈, 表面光滑。仅见于凯里洛棉下志留统洛棉组上部。

2. CAI= 1.5, 为褐黄色或黄褐色, 其它特征似CAI= 1。在凯里、黔东南常见。

3. CAI= 2, 主要为褐、褐灰、深褐色。呈半透明状。表面光滑, 油脂光泽稍弱。在黔东南及凯里地区常见, 与CAI= 1.5共生。

4. CAI= 3, 为深褐、黑褐、红黑褐色、深褐灰色。微透明, 油脂光泽弱。表面具不规则凹凸纹, 可能是高温下刺体表面受腐蚀而成(Epstein, 1977)。黔东南、黔南地区常见。

5. CAI= 4, 灰黑至黑色。下半部呈不透明状, 上半部(细齿)呈浅灰—灰色微透明状。表面似CAI= 3。仅见于黔北及黔南地区。

四 沿地层剖面的分布特征

对几条系统志留系剖面的牙形刺颜色观测统计(如表4)表明, 颜色的变化规律是随地层由新到老而由浅变深, 与升温试验的色变规律相一致。这就使我们有理由认为地层中的牙形刺的颜色主要取决于古地温及其持续时间。

地层中牙形刺的颜色要比实验条件下复杂。

1. 在同一样品中, 不同属种的刺体颜色有差异, 可能与它们各自在牙形动物骨骼里的位置、功能、有机质丰度不同有关。

2. 同一属种成年期标本要比幼年期的体色深, 因为成年体含有较多的层间空隙, 充填较多的有机质。

表4 石阡雷家屯剖面牙形刺颜色统计表

地层系统		样品号	颜色(CAI)			
			1.5	2	3	
中 统	绕茶官组	Fg—217	15*	73		
		218	46	117		
		219	1	3		
下 统	鸡 骨 岭 组	上	220	70	106	
			221	2	10	
			222	20	47	
		下段	223		6	
			225	4	2	
			226	31	44	
		下段	231		35	156
		白沙组	235		5	1
		马脚冲组				
	统	雷家屯组	238			3
			240			4
		香树园组	242			9
246					1	
245					2	
249					16	

*为各CAI的牙形刺粒数。

3. 不同类型的岩石由于形成环境不同, 岩石成份、孔隙性、渗透性不同由此引起热传导的差异, 使牙形刺的颜色有差异。因此, 为了消除母岩因素的干扰, 把研究尽量限于同一岩类——碳酸岩是较恰当的。

五 颜色分区

根据各类颜色在区域上的分布特点, 大致可分出四个不同的颜色区(图2)。

1. 凯里浅色区。牙形刺产于下志留统于

稿组、洛棉组和中志留统鸡博寨组，其中以洛棉组最富。据洛棉、凯里、翁项等地2000多粒标本观测统计：于稿组的CAI = 2，其下伏下奥陶统大湾组牙形刺颜色也属CAI = 2的褐色；洛棉组CAI = 1.5 - 2，下部以2为主，上部以1.5为主，并见少量CAI = 1的标本。

2. 黔东北中色区。香树园组至鸡骨岭组下段以CAI = 3为主，鸡骨岭组上段至绕茶官组CAI = 1.5 - 2。沿河土地坳CAI公布与石阡雷家屯（表4）相似，但鸡骨岭组上段有少量CAI = 3者与1.5 - 2的共生，反映出古地温要比雷家屯稍高。

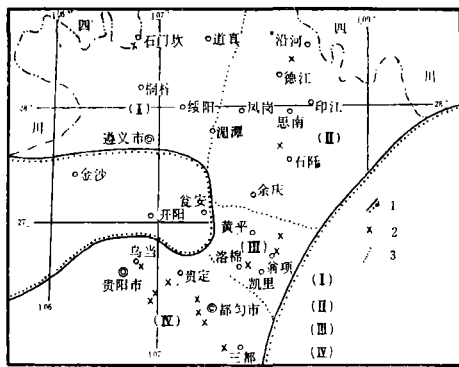


图2 贵州志留系牙形刺颜色分区图

1. 古剥蚀区 2. 牙形刺产地 3. 颜色区界线
 (I) 黔北深色区 (II) 黔东北中色区
 (III) 凯里浅色区 (IV) 黔南深色区

3. 黔南深色区。指贵阳、贵定、都匀、三都一带志留系露头区，牙形刺主要产于三都下志留统洛棉组及贵阳—都匀一带的上高寨田群。根据9条剖面统计表明（图2）靠近古剥蚀区的贵阳、贵定、三都一带CAI = 3；都匀以西，贵定以南地区为CAI = 4。

4. 黔北深色区。目前只有川黔边境的綦江石门坎剖面资料，牙形刺产于石牛栏组上部和韩家店组中部，全部为CAI = 4的黑色刺体，为贵州志留系牙形刺颜色最深的区域。

造成以上四个不同颜色区的地质因素主

要是志留系在各区域内的原始埋藏深度及当时古地温状况。其次各区域的热液活动和沉积差异对牙形刺颜色分区亦有影响。凯里地区志留系曾被泥盆系至三迭系所复盖，埋深不超过2500—3000米。志留系的古地温相对较低，对牙形刺颜色影响小，因此为浅色区。黔东北地区志留系被二迭至侏罗系复盖，埋深不会小于3500米。而志留系本身最厚达1000—1400余米，为沉积凹陷带。根据对现代继续沉降的沉积盆地的地温观测证明，沉积凹陷带的地温梯度偏高。据此可以推测黔东北地区志留系的原始古地温梯度比凯里区偏高。另外，该区有热液活动迹象存在，这也是黔东北地区志留系古地温比凯里区高的原因。志留系的下部层位古地温比上部层位高，故牙形刺的颜色上部呈浅中色，下部呈深色。黔南贵阳、贵定、都匀一带，志留系被泥盆系至侏罗系所复盖，埋深在5000—6000米之间，热液活动较明显，该区志留系的古地温显然比凯里和黔东北区高，因此牙形刺颜色普遍相应呈深色。黔北地区志留系被二迭系至白垩系覆盖，埋深在6000米以上，该区志留系的古地温相应最高，牙形刺的颜色也相应最深。

根据同一层系不同地区牙形刺颜色与埋深的关系，可以作出二者的关系曲线图（图3）。也可用同一地区不同层系的牙形刺颜

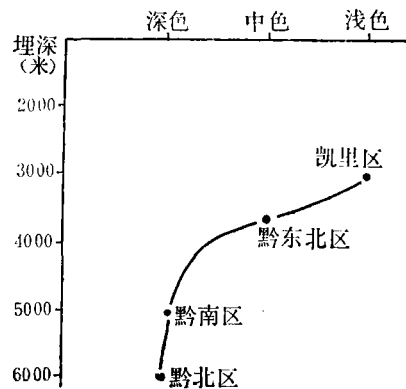


图3 贵州志留系牙形刺颜色与埋深关系图

色与埋深关系资料编图。这种曲线有助于探讨牙形刺颜色随埋深的变化规律。反之,也可根据颜色的深浅推测含牙形刺层系的大致埋深及与埋深相对应的古地温。

六 含油气远景预测

Epstein等(1977)对美国东部阿帕拉契亚古生代海相沉积盆地的油气田与CAI的分布规律的研究表明,奥陶系至石炭系的油田都毫无例外地分布在CAI值小于2的西部地区,干气田分布在CAI=2—4.5的东部地区,而CAI=2似乎正好是油藏和凝析油藏的热力学界线。

凯里浅色区的志留系上部的古地温按CAI=1.5推算应为50—90℃(见表3),下部(CAI=2)为60—140℃。该区志留系上部埋深为2000—3000米,下部为2500—3500米(志留系平均厚度500米)。按现代平均地温梯度(3℃/100米)计算,志留系的古地温为60—105℃。两种计算结果表明与其地温下限相吻合,上限相差35℃,原因在于没有考虑褶皱所引起的志留系埋深的增加(现在志留系主要分布在向斜里),因此埋深推算的温度要偏低。不同时期的不同沉积盆地的石油生成及转化的温度是不同的(据Tissot等,1975),一般认为50—130℃是有利于石油生成及保存的温度范围。凯里地区志留系的地温基本上处于这一温度范围。因此该区志留系油气显示十分普遍,实际上是一个被后期剥蚀作用破坏了的油气田。其它有机地化指标为沥青镜煤反射率低(为0.8);紧覆于志留系之上的泥盆系古孢子颜色大量为橙黄色—褐黄色;上二叠统煤(距志留系约500—700米)定碳比为60%,属变质程度稍低的肥煤等,都反映出该区属

浅变质区,对石油的生成与保存有利。

黔南深色区的CAI=3—4,志留系的埋藏时间(D—J)为2.25亿年,其古地温应为115—185℃。这与埋深(3500—5500米)推算的(105—165℃)接近。说明该区志留系的古地温较高,已经形成的石油也会逐渐转化或裂解成干气。因此该区志留系的沥青都是为碳化度较高的固体沥青。黔北区CAI=4,埋深超过6000米,地温高于黔南,有机变质程度更高。黔东北中色区,以CAI=2—3为主,上部有CAI=1.5,古地温应介于凯里和黔南之间,因此,在盖层和志留系沉积较薄的地区(如石阡本庄,思南文家店)尚有分散的油苗。

参考北美的经验,结合贵州志留系牙形刺的颜色与区域油气显示和其它地化特征,初步认为像凯里这样的浅色区(CAI=1.0—2)应属于以找石油为主的有利远景区;像黔南这样的深色区(CAI=3—4)应属于以找干气为主的远景区。Epstein等的色变试验表明,在密闭的高温高压下水能迟缓有机变质作用的进程。因此,可解释一些在高温高压下超深油藏的存在。在以找干气为主的CAI高值区时,应注意查明那些有找油远景的CAI低值异常区。

参 考 文 献

- [1] 蒋武 1980, 贵州边阳地区下、中三叠统牙形刺及其环境分析——兼论有机质变质作用的新指标。石油勘探与开发, 1980第1期 23--30页。化学工业出版社。
- [2] Epstein A. G. and Others, 1977 Condolent color alteration- an index to organic metamorphism. Geological Survey Professional Paper 995.