

成岩事件及成岩序列地质时代的确定

叶 德 胜

(地矿部 05 项目工程处)

在成岩研究中, 对所研究的层系建立较为完整的成岩序列, 并确定各种成岩事件及成岩序列的地质时代, 是一项十分重要的工作。只有这样, 才能重塑完整的成岩作用演化史, 并与区域地质密切联系起来, 从而阐明成岩作用在区域地质及石油地质(包括油气的生、储、运、聚、保)方面的意义, 为油气及其它矿产的普查、勘探服务。

确定成岩事件及成岩序列的地质时代, 主要有相对地质时代及绝对地质年龄两种方法。

一、相对地质年代

相对地质年代的划分, 即确定成岩序列中某个成岩事件的地质时代, 进而推及整个成岩序列。这种方法的优点是能将成岩研究与一些重要的地质事件(如油气生成、运移聚集、断裂、不整合等)直接联系起来, 或者利用成岩序列确定生油期、运移聚集期、断裂及不整合的形成时期等。这是成岩研究中难度较大的问题, 目前所采用的方法主要有:

1. 重大事件法

所谓重大事件法是指地质历史一个或几个重大事件(如区域不整合等)与成岩序列中某个或某几个成岩事件有确定的因果关系, 可以利用重大地质事件的地质时代来确定对应成岩事件的地质时代的方法。这种方法是目前采用较普遍的一种方法。例如, 对黔西南下三叠统永宁镇组颗粒灰岩成岩序列的时代划分(叶德胜、刘树晖, 1989)。该颗粒灰岩成岩序列的主要环节为: 颗粒泥晶化→第一世代纤状胶结→渗流粉砂及悬垂状胶结→早期溶蚀→第二世代粒状胶结及共轴胶结→早期白云化及硅化→早期缝合线→第三世代胶结→晚期白云化→黄铁矿化→晚期溶蚀→裂隙→重晶石化→表生溶蚀(图1)。从区域地质研究得知, 早三叠世末期有一短暂暴露过程。因此, 上述成岩序列中的早期大气淡水溶蚀、大气淡水饱和带中的第二世代粒状胶结及共轴胶结、以及淡水与海水混合带中的早期白云化及硅化等成岩事件均表生于早三叠世末期。而上述成岩事件之前的颗粒泥晶化、第一世代纤状胶结、悬垂状胶结及渗流粉砂等应发生于早三叠世。同时, 据区域地质研究得知本区白垩纪早期发生了较强烈的构造运动, 因而产生了众多断裂与裂隙。因此, 上述成岩序列中的早期缝合线至裂隙应发生于中三叠世至早白垩世早期。而上述成岩序列中的重晶石化及表生

溶蚀应发生于早白垩世早期以后。

时代 环境 特征	T ₁					T ₂ — J		K — Q	
	海 底	大 陆			埋 藏	浅埋	深埋	浅埋—大陆	
		流 渗	潜 流	混合带					
		不饱和带	饱和带						
堆积作用									
泥晶化									
胶结作用									
共轴生长									
交代作用									
白云石化									
黄铁矿化									
重晶石化									
溶蚀作用									
新生变形									
压实作用									
压溶作用									
进 油									
裂 隙									

图1 黔西下三叠统永宁镇组颗粒灰岩主要成岩环境、成岩作用
及其时代划分 (据叶德胜等, 1989)

此例即是应用该区地质历史中的两次重大事件 (早三叠末期的短暂暴露和早白垩世早期的构造运动), 将下三叠统永宁镇组颗粒灰岩的成岩序列进行时代划分。

2. 砾石法

砾石法 (刘树晖等, 1986) 的原理是砾石成砾前的成岩序列应与母岩成岩序列在成砾前的那片断相当。于是, 将砾石成岩序列与母岩成岩序列对比, 就可以确定母岩成岩序列成砾前后两个片断的地质时代。应用此法的前提是: (1) 砾石形状的地质时代确切; (2) 砾石与母岩的对应关系无误; (3) 砾石的成岩矿物、组构比较稳定, 在脱离母岩之后的新环境中无变化或变化较少。

刘树晖等 (1986) 对贵州麻江古油藏志留系翁项群含沥青砂岩成岩序列的时代划分即应用了此方法。

该区翁项群含沥青砂岩成岩序列的主要环节是: 压实→石英加大→进油→碳酸盐化→黄铁矿化→裂隙→溶蚀→压溶→热液硅化 (图2)。

该区下奥陶统红花园组白云岩中发育暗河沉积, 砾石由翁项群含沥青砂岩、泥质粉砂岩、粘土岩及红花园组白云岩等组成, 研究表明, 这种砾岩是志留纪末该区隆起, 上部受到侵蚀, 下部发育岩溶暗河, 并在早泥盆世海浸之初发生充填形成的, 其时代或层位应与下泥盆统底砾岩相当 (刘树晖等, 1984)。

暗河沉积形成之后, 随着地史的发展, 它经历了淡水白云化、胶磷矿化、硅化等强度不等的成岩作用, 其中粘土岩、泥质粉砂岩等砾石变化剧烈, 但翁项群含沥青砂岩及红花园组白云岩的砾石却基本未影响, 清晰地保留了母岩的成岩序列, 因此可用以了解成砾前母岩的成岩程度。上述含沥青砂岩砾石成砾前成岩序列的主要环节是: 压实→石英加大→

特 征	阶段与环 境	S			D		J	K	Q
		早成岩	中 成 岩		晚成岩	再 成 岩			
		海底—浅埋	深埋	浅埋	大 陆	埋	藏	大 陆	
压 实									
压 溶									
胶 结									
碳酸盐化									
黄铁矿化									
赤铁矿化									
硅 化									
进 油									
溶 蚀									
裂 隙									

图2 贵州麻江地区志留系翁项群含沥青砂岩成岩作用
及其环境、阶段与时代划分 (据刘树晖等, 1986)

进油→铁白云石化→黄铁矿化。

将翁项群含沥青砂岩的成岩序列与暗河沉积中翁项群含沥青砂岩砾石的成岩序列对比, 由于成砾时代已知 (志留纪末至早泥盆世初), 即可确定翁项群含沥青砂岩成岩序列的时代 (表1)。

3. 利用埋藏史及两相流体包体测温或氧同位素资料等确定成岩事件的时代

这种方法是目前应用最普遍、最有效的方法。

其基本原理是利用某一自生矿物中所含原生两相流体包体, 测定其形成温度; 或利用自生矿物的氧同位素值计算其形成温度。然后利用该区古地温梯度, 即可在埋藏史曲线上求得该自生矿物所形成的地质时代。

Matter 等 (1985) 对北海盆地南部侏罗纪砂岩储集岩的研究表明, 其成岩序列的主要环节为: 早期碳酸盐胶结→溶蚀 (形成次生孔隙) →晚期胶结物沉淀于次生孔隙中。其顺序为石英次生加大→铁白云石→重晶石→Zn-Pb 硫化矿物→方解石。石英、重晶石及方解石中的两相流体包体测温表明, 第一期石英加大沉淀的最低温度为 70℃; 第二期石英加大沉淀的最低温度为 85℃; 重晶石沉淀于第二期石英加大之后不久, 沉淀温度为 90℃左右; 晚期方解石沉淀的最低温度为 115℃。据该区古地温梯度 (3.4—3.5℃/100m), 在埋藏史曲线上可知, 第一期石英加大发生于白垩纪晚期, 第二期石英加大至晚期方解石胶结均发生于早第三纪 (图3)。

又如, 王一刚等 (1987) 详细研究了川东下三叠统飞仙关组鲕粒灰岩的成岩作用。研究表明其成岩序列的主要环节是: 一代纤维状及叶状胶结→早期淡水溶蚀→早期白云化→第二代细粒状胶结→烃类进入→第三代镶嵌状胶结→晚期白云化及晚期溶蚀→第一期石膏及重晶石化和第一期裂隙→第二期石膏、重晶石以及第二期裂隙。两相流体包体测温

表1 成岩序列时代划分对比

成 岩 时 序 列 代	暗河含沥青砂 岩砾石成砾前 的成岩序列	翁项群含沥 青砾岩的成 岩序列
K		热液硅化
J D		压溶 溶蚀 裂隙
S	黄铁矿化 碳酸盐化 进油 石英加大 压实	黄铁矿化 碳酸盐化 进油 石英加大 压实

(据刘树晖等, 1986, 修改)

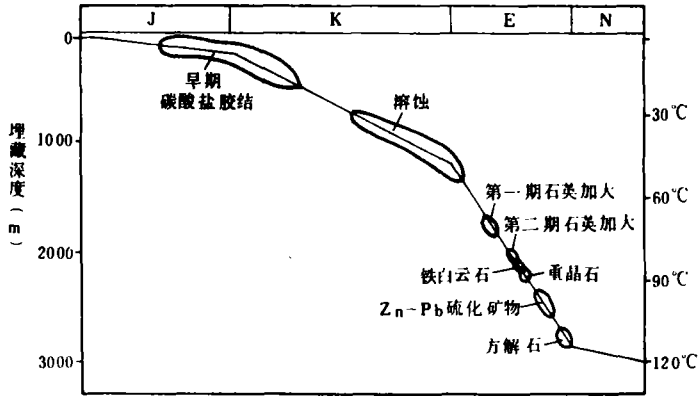


图3 北海南部侏罗系砂岩成岩-埋藏历史示意图 (据 Matter, 1985)

表明：第一世代胶结物形成温度为 25—40℃；早期白云石形成温度为 50℃左右；第二世代胶结物的形成温度为 55—88℃；第三世代胶结物的形成温度为 90—130℃；晚期白云石的形成温度为 130℃；第一期石膏、重晶石的形成温度为 90—230℃；充填第一期裂隙的方解石形成温度为 130—210℃；第二期石膏、重晶石的形成温度为 90—55℃；充填第二期裂隙的方解石形成温度为 90—55℃。因而，从埋藏史曲线及古地温度梯度即可得知上述成岩环节中一世代胶结至二世代胶结作用发生于三叠纪；烃类进入发生于早侏罗世；第三世代胶结至第一期裂隙发生于侏罗—白垩纪；第二期裂隙及第二期石膏、重晶石化则发生于第三纪 (图 4)。

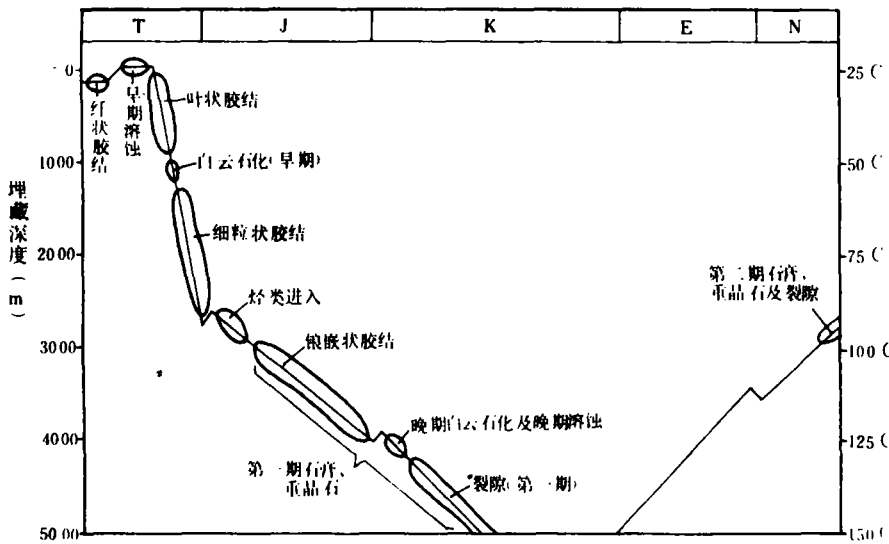


图4 川东下三叠统飞仙关组鲕粒灰岩成岩-埋藏历史示意图

(据王—刚等, 1987 资料编)

4. 锶同位素法

Burke 等 (1982) 在大量实验数据的基础上, 建立了晚寒武世至全新世海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的变化曲线 (图 5)。锶同位素法的原理即是测定某成岩矿物中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值, 并与 Burke 所建立的曲线对比, 即可得知该自生矿物形成的地质时代。

例如, Saller (1984) 利用该法确定太平洋中 Enewetak 环礁始新世地层中的白云石形成

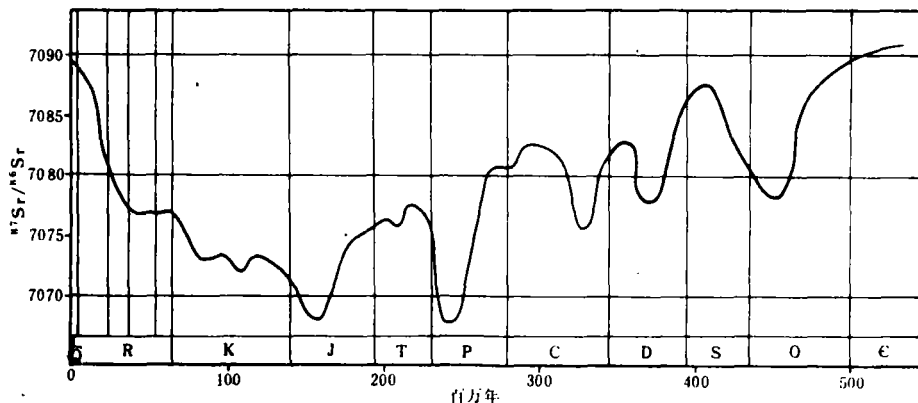


图5 海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值随地质历史的变化曲线 (据 Burke 等, 1982)

年代取得了良好结果。Saller 分析了白云石的锶同位素组成, 其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值介于 0.70865—0.70901 之间。将这些数值投在 Burke 所建立的曲线上, 这些值与早中新世末期至更新世海水锶同位素组成一致 (图 6)。因为研究区岩浆岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值小于 0.7070, 且白云岩层及其附近又没有任何陆上暴露标志, 故无大陆放射性成因锶的加入。因此, 白云石中的锶只可能来源于形成白云石时的海水。如果白云石是始新世沉积的, 即原生沉淀的, 而当时海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值为 0.7077, 这与分析结果不符。根据以上事实, Saller 认为海水白云石中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值代表白云化的时代, 即 Enewetak 白云石形成于中新世中期至今的时间范围内。

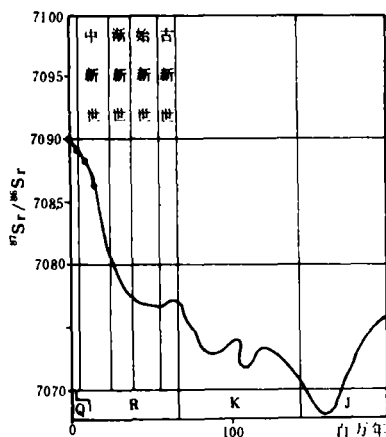


图6 太平洋 Enewetak 岛始新世四个白云岩样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值点在 Burke 等 (1982) 海水中锶同位素值随地质历史的变化曲线上 (据 Saller, 1984)

二、绝对年龄测定

成岩事件的绝对年龄测定主要有放射性同位素、古地磁等方法, 现分述如下:

1. 古地磁法

用古地磁法测定成岩自生矿物的绝对年龄是 80 年代以来发展起来的新方法, 目前已得到较普遍的应用。

此法的基本原理是: 如果能确定某一含铁自生矿物 (如赤铁矿) 的磁性方向, 并将其相应的极性位置与视磁极漂移途径 (APWP) 对比, 那末即可以确定剩余磁性获得的时间以及该自生矿物的形成时期。并且, 如果此自生磁性矿物在成因上与其它成岩事件有关, 那末即可确定该成岩事件的形成期 (Elmore 等, 1985)。

Elmore 等 (1985) 研究了美国奥克拉荷马中南部奥陶统 Kindblade 组去白云化作用的时期。该组中的赤铁矿与白云化有关, 被解释为铁白云石为去白云化作用的付产物。据该作者研究, 赤铁矿的磁化作用是一种残存于成岩赤铁矿中的化学剩余磁化作用 (CRM)。测定其剩磁方向, 并将其相应的磁极位置与 Irving 等 (1982) 所确定的视磁极漂移途径 (ΔPWP) 对比 (图 7) 表明: 所测定的磁极与北美地区 280—310Ma 的古磁极十分相似。即与此有关的去白云化作用发生于 280—310Ma, 相当于晚宾夕法尼亚世至早二叠世。

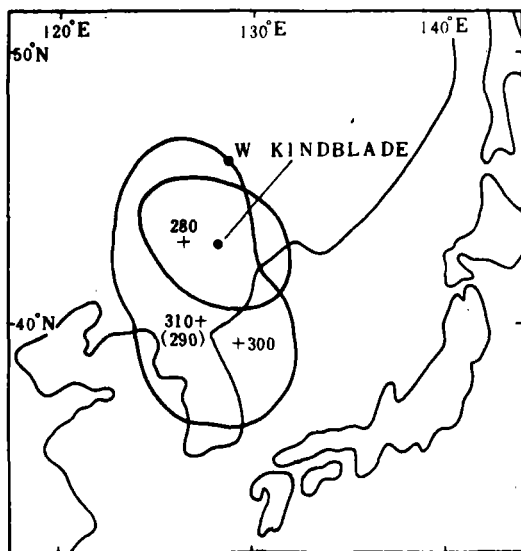


图 7 奥克拉荷马下奥陶统 Kindblade 组的古磁极 (据 Elmore 等, 1985)

2. 放射性同位素法

K-Ar 和 Rb-Sr 法是常用的、传统的放射性同位素测定成岩事件绝对年龄的方法。但此法仅能用于少量矿物, 如伊利石及海绿石等。通常认为, 在未变质的页岩中, 用此法测定伊利石较粗的部分, 能得到一个接近母岩的年龄值, 或者是母岩年龄与沉积年龄之间的年龄值; 相反, 测定伊利石中的较细部分, 主要得到蒙脱石或高岭石转化为伊利石的年龄。

此法的主要问题在于某些阳离子对成岩作用的抑制, 特别是伊利石中较细部分不一定是自生的。因此, 仅在能够获得较纯的伊利石样品时, 用 K-Ar 和 Rb-Sr 法所测定的结果才是可靠的。

近年来, Ruiz 等 (1984) 建立了一种利用方解石、萤石等普通脉石矿物的 Rb-Sr 同位素测定矿床形成的绝对年龄的新方法。该法所利用的原理是:

$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 + ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} (e^{\lambda t} - 1)$$

式中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 及 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 代表围岩样品现今同位素组成; $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ 是围岩样品原始同位素组成, 因为脉石中热液矿物的锶同位素组成通常与矿化时的围岩相似, 因此该值可用脉石矿物现今同位素组成代表; λ 是 ^{87}Rb 的衰变系数 ($1.42 \times 10^{-11} \text{Yr}^{-1}$); t 为矿化后至今所经历的时间。据上述公式, 测得围岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 及 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 值, 以及脉石矿物的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值, 即可求得该矿床的形成时间 (t)。应用该方法必需满足的条件是: (1) 矿床中的脉石矿物具低的 Rb-Sr 比, 例如方解石、重晶石、萤石及石膏等; (2) 围岩具高的 Rb-Sr 比, 例如页岩、火成岩、变质岩等。如果围岩的 Rb-Sr 比低, 其现今同位素组成将接近于矿化时的同位素比值, 则计算出的年龄值误差大。因此, 用这种方法不能测定以石灰岩及镁铁质火山岩为母岩的矿床的形成年龄。

Ruiz (1984) 利用此法测定了三个矿床的形成时代, 它们分布不同地区、不同层位, 其脉石矿物不同, 地质背景也不相同。用此方法所得到的矿床形成年龄与其它方法所测得的结果吻合很好 (图 8)。这充分表明该方法是一有效的确定矿床形成时代的方法。

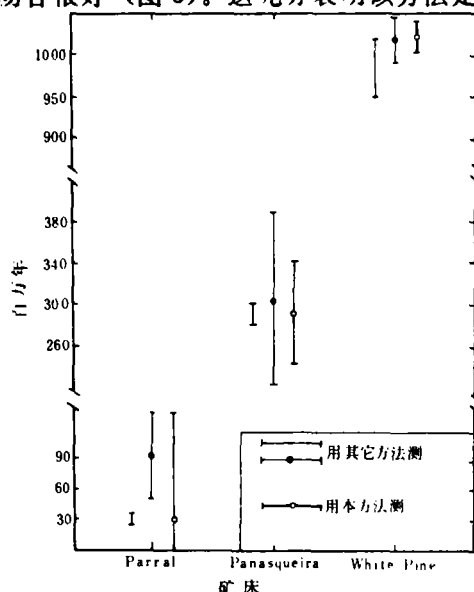


图 8 用不同方法所测得三个矿床的形成时期的对比 (据 Ruiz 等, 1984)

以上介绍了确定成岩事件及成岩序列时代的主要方法。需要指出的是, 每种方法都有一定的局限性, 仅适用于某种或某些成岩事件的时代确定。因而在工作中必须结合具体情况选用合适的方法, 并且探索新的方法。

主要参考文献

王—刚、强子同、文应初、吴义珍, 1987, 川东下三叠统飞仙关组鲕粒灰岩的成岩作用及储集层孔隙特征, 海相沉积区油气地质, 第 1 卷, 第 2 期。

叶德胜、刘树晖, 1989, 黔西南下三叠统永宁镇组鲕粒灰岩的成岩作用及孔隙演化, 海相沉积区油气地质, 第 3 卷, 第 1 期。

刘树晖、胡惟元, 1984, 贵州都匀牛场早泥盆世暗河沉积的成岩序列及淡水白云石, 石油与天然气地质, 第 5 卷, 第 1 期。

刘树晖、胡惟元、邱运鑫、陈焱彬, 1986, 贵州麻江古油藏志留系翁项群含砾岩的成岩序列及成岩序列的时代划分——兼谈翁项群粘土岩的生油期及古油藏的油源问题, 北京国际石油地质会议 (1984) 论文集, 石油出版社。

Burke, W. H., Denison, R. E 等, 1982, Variation of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time, *Geology*, v. 10, pp. 516—519.

Elmore, R. D., Dunn W., and Peck C., 1985, Absolute dating of dedolomitization by means of paleomagnetic techniques, *Geology*, v. 13, pp. 558—561.

Irving, E., and Irving G. A., 1982, Apparent polar wander paths, Carboniferous through Cenozoic, and the assembly of Gondwana, *Geophysical Surveys*, v. 5, pp. 141—188.

Matter, A. Burley, S. D, and Mullis, J., 1985, Quantitative constraints on the timing of reservoir diagenesis: Application of combined cathodoluminescence microscopy and fluid inclusion thermometry, in timing of siliciclastic diagenesis; Relationship to hydrocarbon migration, SEPM Gulf coast Section 6th Annual Research Conference program and Abstracts.