

安徽南部二叠统结核状硅质岩和层状硅质岩的沉积学特征及其成因探讨

朱同兴

(地矿部成都地质矿产研究所)

前 言

根据岩性特征和生物化石组合带,安徽南部二叠统可划分为栖霞组和孤峰组。栖霞组主要为一套含硅质结核及硅质条带的灰岩建造。灰岩中含大量的藻类、蠕、有孔虫、珊瑚、腕足和棘皮等浅海底栖型生物化石。孤峰组主要为一套薄层状硅质岩与薄层状泥页岩互层,组成硅—泥韵律沉积建造,含薄壳腕足、菊石、小有孔虫、硅质海绵和放射虫等浮游型生物化石。据两条主干剖面(巢湖龟山、宿松坐山)统计,下二叠统碳酸盐岩占地层总厚的 81.2%,硅质岩 14.9%,泥质岩 3.8%。这里仅探讨硅质岩的沉积学特征及其成因机理。

一、硅质结核和硅质条带的沉积学特征

硅质结核和硅质条带主要分布在栖霞组灰岩中。出露的形态多不规则,常见圆球状、椭球状、瘤状和不规则状(图 1)。单个结核体大小不一,由数厘米至数米。有时结核沿碳酸盐岩层面密集分布,形成条带状(图 2)。岩层层理可绕过结核体,也可被结核体切断,表明结核体形成于成岩早中期。结核体与灰岩的接触界线一般是清晰和突变。在结核体的边缘多具有浅色的较疏松的被膜,厚度 0.5—1cm,有时多达 5—6 圈,呈同心圈构造。这种被膜构造可能是由于强烈的差异风化作用淋滤了硅质结核中的灰泥或泥质杂质后形成的。

在偏光及电子扫描显微镜下,结核状或条带状硅质岩为一种非常细粒的隐晶—微晶石英集合体。常见雾心亮边白云石在其中构成“斑晶”结构分布,含已硅代的正常浅海底栖型钙质生物化石,如棘皮、腕足、钙藻类、有孔虫和残余类球粒等。结核状或条带状硅质岩内的杂质以方解石和泥质为主。

二、层状硅质岩的沉积学特征

层状硅质岩主要分布在孤峰组的中下部。其单层厚度薄,1—6cm 不等,一般 1—3cm,呈规则的薄层状。它常与薄层状泥页岩互成韵律体(泾县灌口仰天堂)。虽然层状硅质岩的单层厚度很小,但它与页岩、硅质页岩共生在一起时的累计厚度很大,在巢县、贵池和宿松一带为 50—70m,并产丰富的硅质海绵骨针、菊石和放射虫等浮游生物。这套硅质岩在区域展布

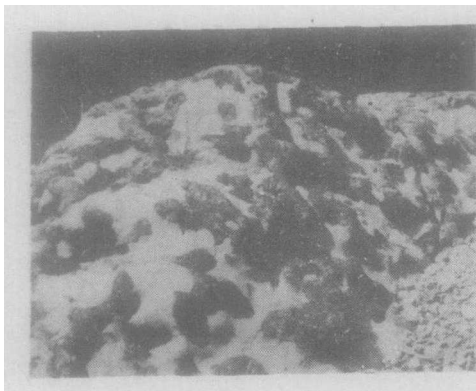


图1 结核状硅质岩。宿松县坐山栖霞组
Fig. 1 Nodular siliceous rocks
in the Qixia Formation, Zuoshan,
Susong

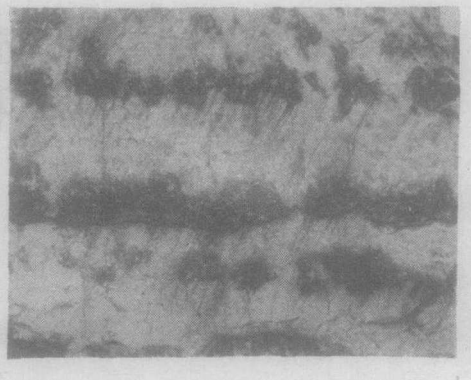


图2 条带状硅质岩。宿松县坐山栖霞组
Fig. 2 Striped siliceous rocks
in the Qixia Formation, Zuoshan,
Susong

上也较为广泛,如江西中南部的“鸣山层”,湖南的“当冲组”,桂中及浙西、苏南和本区的“孤峰组”皆为相当的层位。表明这种层状硅质岩和泥页岩所组成的共生建造可组成一个独立的岩石地层单位。

层状硅质岩的野外产状和显微构造明显地不同于结核状或条带状硅质岩。在镜下,层状硅质岩也呈隐晶—微晶结构,其中也发育有雾心亮边白云石“斑晶”,但生物组合却以硅质海绵骨针和放射虫为主,很少见到结核状硅质岩中所具有的底栖型钙质生物化石。海绵骨针的形态多为单轴单射型或单轴双射型。放射虫外壳在薄片呈圆形或椭圆形切面,直径0.05—0.20mm。虫体内部在溶解、重结晶及交代作用下均遭破坏,常保留为溶蚀孔隙或为纤状玉髓及铁绿泥石等矿物交代。层状硅质岩内的杂质以铁泥质为主,次有碳酸盐岩。

值得注意的是,在孤峰组层状硅质岩的下部,普遍发育胶磷矿结核和含锰硅质岩、含锰泥岩沉积,其层位稳定,在贵池、安庆和宿松等地均有分布。

三、硅质岩的沉积环境

现代的放射虫硅质软泥是一种典型的深水沉积物。确定沉积环境的主要依据有:一是岩石类型组合特征;二是生物化石组合类型。皖南地区下二叠统含硅质岩结核的碳酸盐岩岩石类型组合为泥晶灰岩、泥灰岩和粒泥岩,表明其沉积环境能量为中等偏低。在孤峰组层状硅质岩中,陆源泥质偏多,CaO+MgO含量较低,生物化石为浮游型,表明层状硅质岩的沉积环境和结核状硅质岩明显不同。

从图3中可以看出,含硅质结核的碳酸盐岩的形成环境主要是开阔海台地相和半局限台地相;薄层状硅质岩的形成环境则为台盆相。图4表明,栖霞期,整个皖南及邻区都是浅海碳酸盐台地相沉积;到孤峰期,岩相发生分异,以宿松—贵池—铜陵—泾县—景德镇一线为界,其南部仍为浅水碳酸盐台地相沉积,北部则由于受地壳拉张活动的影响,造成较深水的台盆相沉积,其典型的岩性为薄层状硅质岩与泥页岩互层建造。

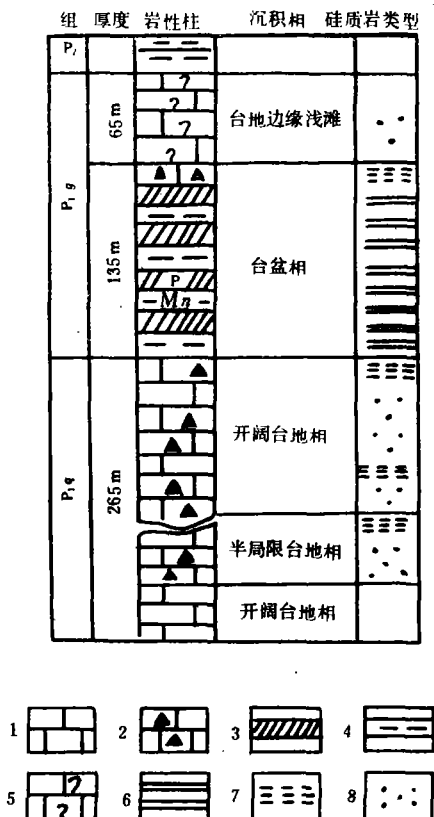


图 3 宿松坐山下二叠统沉积相与硅质岩产状类型

1—生物灰岩; 2—含硅质岩结核灰岩; 3—层状硅质岩; 4—泥页岩; 5—亮晶生物灰岩; 6—层状硅质岩; 7—条带状硅质岩; 8—结核状硅质岩

Fig. 3 Early Permian sedimentary facies and the occurrence of siliceous rocks in Zuoshan, Susong, Anhui

1=bioclastic limestones; 2=limestones with siliceous nodules; 3=thin-bedded siliceous rocks; 4=muddy shale; 5=sparry bioclastic limestones; 6=thin-bedded siliceous rocks; 7=striped siliceous rocks; 8=nodular siliceous rocks

四、硅质岩的成因机理探讨

(一) 层状硅质岩

皖南孤峰组层状硅质岩中大量发育硅质海绵和放射虫生物体,表明其层状硅质岩的成因为有机生物成因。正如 Cressman(1955)把蒙大拿州的某些二叠系层状硅质岩描述成为“海绵骨针和其它硅质残余物的富集以及成岩改造作用的产物”。Bramlette(1946)则把加州蒙特雷组层状硅质岩(中新统)解释为硅藻软泥内氧化硅在成岩期通过成岩分异作用重新排列的结果。Pettijohn(1975)认为,现代海水中二氧化硅的浓度很低,只有 4ppm。此值远远小于硅质海绵骨针或放射虫的无机沉淀浓度(120ppm)。因此,要使二氧化硅直接从海水中无机沉淀下来是难以想象的,除非海底存在一个“热水沉积”域。

目前,人们普遍认为,海水中二氧化硅浓度如此之低,是由于海水中的硅质生物萃取所致。乔根森(1953)曾作了一个很好的试验:他把活硅藻放入具一定氧化硅浓度的溶液中,结果发现溶液中的二氧化硅浓度值明显降低。硅质生物除了能从海水中萃取硅质外,目前尚有资料证明,它还具有分解悬浮在水体中的铝硅酸盐质点,特别是粘土质点,并从中吸取二氧化硅物质来建造自身骨骼的机能。当这些硅质生物死亡后,其介壳就要发生溶解(因其处于二氧化硅不饱和状态下,生物活着时,由于其具有生物能量,才没有被溶解),但这种溶解作用在 25°C 时是很缓慢的(Blatt et. al, 1972),在海底低温条件下更为缓慢。因此,硅质生物软

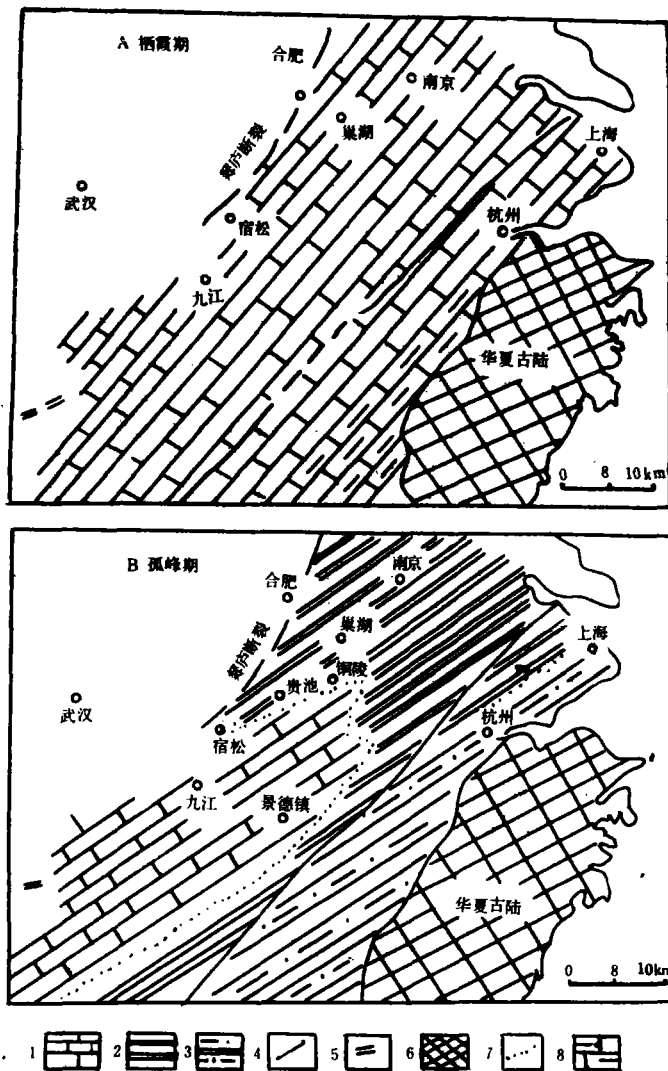


图4 皖南及邻区早二叠世
栖霞期和孤峰期沉积相展
布图

1—浅海碳酸盐台地相; 2—硅
质台盆相; 3—浅海碎屑岩相;
4—江南古隆起; 5—海进方向;
6—古陆; 7—相界; 8—泥灰岩

Fig. 4 Distribution of sedi-
mentary facies in southern
Anhui and its adjacent area
during the Qixiaian and
Gufengian of Early Permian
times

1 = shallow-sea carbonate plat-
form facies; 2 = siliceous in-
traplatformal basin facies; 3 =
shallow-sea clastic rock facies; 4
= Jiangnan old rise; 5 = trans-
gression direction; 6 = old land; 7
= facies boundary; 8 = muddy
limestones

泥就被保存了下来。尔后,通过早期成岩分异作用(地化性质差别),形成了层状硅质岩所特有的水平纹层状构造。

(二) 结核状或条带状硅质岩

富含硅胶的灰泥沉积到海底之后,逐渐处于一种半封闭—封闭的体系中。由于缺乏大气来源的 CO_2 及碳酸盐沉积物的缓冲作用,导致孔隙水中 pH 值增高;同时伴随着地内温度的增加所形成的热水溶液,能引起硅胶的溶解,使沉积物孔隙水中溶解的氧化硅浓度和活性性都大为增加。

随着埋藏过程中压实作用的进行,孔隙水流体的排出可能主要呈垂直的或水平的方向。由于垂直和水平方向的渗透率不一样,因此,当上覆为泥岩时,泥岩沉积物就象“岩盖”(Rock Cap)一样,使孔隙流体无法向上排出,从而造成流体向水平方向流动(顺层面)。正是由于孔隙流体的这种溶解—迁移作用,使得具高浓度氧化硅的孔隙流体沿碳酸盐岩层面侧向迁移至过饱和地带或向某些沉积中心集中,在 pH 值或温度稍有降低的条件下,导致二氧化硅沿岩层面沉淀无序方英石或交代碳酸盐生物颗粒和灰泥基质,形成沿层面分布的结核状或条

带状硅质岩。

五、二氧化硅的物质来源

根据本区化学分析资料,一些不含硅质岩结核或条带的较纯灰岩中的二氧化硅含量是很低的,通常 $<2\%$,而在含硅质岩结核灰岩中的二氧化硅含量则大大增高,其含量可高达 30% 。统计资料还表明,灰岩中的二氧化硅含量直接与灰岩中的泥质杂质含量成正比。事实上,本区在栖霞初期为一地形起伏很小的准平原地区,由于当时气候温暖潮湿,化学风化作用彻底,在这样的条件下极易形成二氧化硅胶体。随着栖霞早期的迅速海侵,形成了广阔的浅海环境。这样,颗粒很细小的硅胶就可以吸附在粘土颗粒表面被带入海洋,而与灰泥沉积物一起沉淀下来。随着海底沉积物逐渐脱离海水影响,成岩环境逐渐转变为弱碱性,造成硅胶体的溶解而进入到沉积物孔隙水中。此外,硅胶的溶解度还与其粒径呈反比,即硅胶粒径越小,其表面的接触面积越大,其溶解度亦越大。可见,陆源铝硅酸盐的化学分解产物是二氧化硅的一个重要来源。

层状硅质岩的物质来源除与泥质有关(如硅胶吸附在泥质颗粒上,粘土的相互转化过程中也要释放出硅质等)外,主要与硅质生物有关。层状硅质岩中含有较多(5—60%)的硅质海绵和放射虫生物遗体,说明硅质生物是形成层状硅质岩的主要来源。

综上所述,安徽南部二叠统结核状或条带状硅质岩属于成岩早期的硅化交代产物。它的二氧化硅物质来源以陆源为主,硅胶与碳酸盐沉积物一起沉淀后,在成岩早期沿碳酸盐层面发生了硅化交代作用,从而形成了结核状或条带状硅质岩。相比之下,层状硅质岩则属于同生期的硅质生物堆积和准同生期成岩分异作用的产物。它的二氧化硅物质来源以生物源为主,次为泥质源,硅质经生物化学与泥质一起沉积后,在成岩早期发生了早期成岩分异作用,从而形成了水平纹层状硅质岩(表 1,图 5)。层状硅质岩属原生沉积岩,而结核状或条带状硅质岩则属次生沉积岩。

表 1 结核状和层状硅质岩的物质来源和形成机理

Table 1 The source and genesis of SiO_2 in nodular and thin-bedded siliceous rocks

	结核状硅质岩	层状硅质岩
硅质来源	陆源硅胶	硅质生物、硅胶
沉淀机制	吸附作用	生物化学+吸附
同生沉积物	硅胶、灰泥	硅质生物、硅胶、泥质
成因机理	早期成岩硅化交代	生物成因+早期成岩分异

六、硅质岩的成岩作用及序列

研究表明,近代硅质沉积物在沉积后要经历一系列的成岩作用。这种成岩作用的实质就是由硅胶或生物成因的蛋白石 A 转变成石英的过程。G. R. Heath et. al(1971)和 Greenwood(1973)把这个过程概括为三个阶段:①硅胶或生物成因的 A 型蛋白石的溶解;②硅质的再

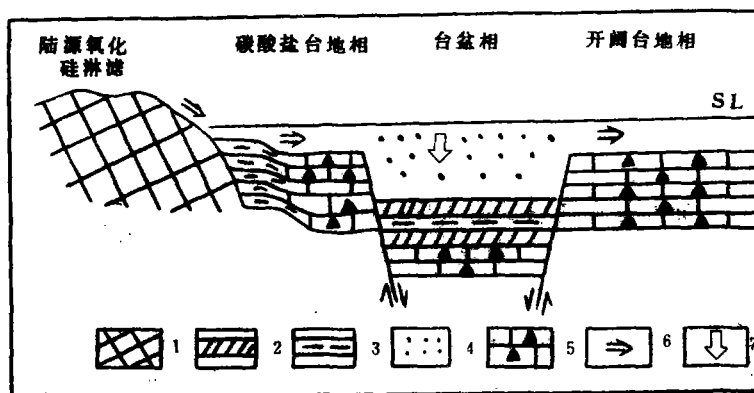


图5 皖南下二叠统硅质岩成因模式

1—古陆; 2—薄层状硅质岩; 3—薄层状泥质岩; 4—硅质生物;
5—硅质结核灰岩; 6—硅胶迁移方向; 7—硅质生物沉积

Fig. 5 A genetic model for the Lower Permian siliceous rocks in southern Anhui

1=old land; 2=thin-bedded siliceous rocks; 3=thin-bedded muddy shale;
4=siliceous organisms; 5=limestones with siliceous nodules; 6=silica gel migration; 7=siliceous organic deposits

沉淀形成无序方英石或CT型蛋白石; ③由无序方英石或CT型蛋白石以固—固方式转变成微晶石英。由于石英是不含水的, 所以, 由硅胶或A型蛋白石转化为石英的过程实质上也就是其脱水和重结晶的过程。

皖南下二叠统硅质岩也经历了上述三个成岩阶段或序列。第一阶段是硅胶或硅质生物体的溶解作用。硅胶由于其颗粒细小, 接触比表面积大, 因此, 在适当的温度和pH值条件下很容易溶解; 而硅质海绵或放射虫的原始矿物成分同属蛋白石A成分, 它是最易溶解的氧化硅矿物相。镜下观察表明, 许多硅质海绵或放射虫生物都已经被溶蚀成孔隙或已被铁绿泥石交代充填, 进一步证实了硅质生物体在死亡堆积后曾发生过溶解和迁移。第二阶段为CT型蛋白石或无序方英石的再沉淀作用。在层状硅质岩中, 它表现为CT型蛋白石和泥质的分异沉积, 造成了层状硅质岩内所特有的水平纹层状构造; 在结核状或条带状硅质岩中, 它表现为无序方英石交代灰泥沉积物, 形成结核状或条带状硅质岩。第三阶段为CT型蛋白石或无序方英石通过重结晶作用转变成微晶石英。最后, 本区层状硅质岩还受到了铁绿泥石的交代作用, 在一些硅质海绵和放射虫体腔内为铁绿泥石交代充填。

本文完稿后, 承成都地矿所刘宝珺教授、余光明教授和许效松副研究员审阅, 并提出了宝贵意见, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 宋天锐等, 1977, 广东曲江—仁化地区早二叠世当冲组放射虫岩, 地质科学 4 期。
- [2] 童玉明、周祖勋, 1985, 鄂东南下二叠统茅口组放射虫硅质岩的成因探讨, 沉积学报, 第 3 卷第 2 期。
- [3] H. Blatt 等, 1972, 沉积岩成因(中译本), 科学出版社。
- [4] A. Iijima, J. R. Hein and R. Siever, 1983. Siliceous deposits in the Pacific Region. Developments in Sedimentology 36.

[5] L. P. Knauth, 1979. A model for the origin of chert in limestones. *Geology*, Vol. 7, p. 274-277.

Sedimentological Features and the Genesis of Lower Permian Nodular and Thin-Bedded Siliceous Rocks in Southern Anhui

Zhu Tongxing

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Based on rock types and fossil assemblages, the Qixia and Gufeng Formations may be distinguished for the Lower Permian in southern Anhui. The Qixia Formation is composed dominantly of a suite of nodular and striped siliceous limestones which contain abundant neritic benthonic organisms such as algae, fusulinids, benthonic foraminifera, corals, brachiopods, echinoderms and bryozoa. The Gufeng Formation is dominated by a suite of sedimentary sequences consisting of thin-bedded siliceous rock/muddy shale couplets which comprise thin-shelled brachiopods, ammonites, planktonic foraminifera, sponge spicules and radiolaria.

The emphases in this paper are as follows.

(1) Sedimentary environments of the siliceous rocks

The carbonate rock types with siliceous nodules in the study area include micritic limestones, muddy limestones and wackestones, indicating moderate- to low-energy sedimentary environments. It can be seen from Figs. 3 and 4 that sedimentary environments of the nodular or striped siliceous rocks are assembled by open-sea carbonate platform and semi-restricted platform, whereas the thin-bedded siliceous rocks were formed in intraplatformal basin environments. The shallow-sea carbonate sediments were of widespread occurrence in southern Anhui and its adjacent area during the Qixiaian. Till the Gufengian, the southern part of the Susong-Guichi-Tongling-Jingxian-Jingdezhen zone remained to be the shallow-sea carbonate sediments, whilst in the northern part of it, the deeper-water intraplatformal basin sediments predominated as a result of the crustal differential movement, leading to the formation of the intercalations of the thin-bedded siliceous rocks and muddy shales.

(2) The genesis of the siliceous rocks

The thin-bedded siliceous rocks in the study area are thought to be organogenic deposits which were formed through organic chemical sedimentation and early diagenetic differentiation, whereas the nodular siliceous rocks were resulted from early diagenetic silicification along the bedding plane of the carbonate rocks.

(3) The sources of SiO_2

SiO_2 in the siliceous rocks was principally derived from terrigenous mud and siliceous organisms. By and large, SiO_2 in the nodular siliceous rocks was originated from terrigenous

mud, i. e. the chemical weathering products of the continental Al-silicates, whereas SiO_2 in the thin-bedded siliceous rocks was mainly stemmed from siliceous organisms which are made up of 30--60% of siliceous sponges and radiolaria.

(4) The diagenesis of the siliceous rocks

A series of diagenetic processes once took place after the deposition of the abundant siliceous sediments. Three diagenetic stages include: 1) the solution of silica gel or crystalline opal (Opal-A); 2) the reprecipitation (including silicification) and redistribution (i. e. differential deposition) of the disordered cristobalite (Opal-CT), and 3) the formation of microcrystalline quartz and chalcedony from Opal-CT by solid-solid reaction.

(上接 64 页)

Ebers 等(1979)研究了美国田纳西州某铝锌矿中脉石矿物白云石的发光环带。白云石发光为鲜红到暗红色。根据颜色深浅可分出六个不同环带,亮带高锰贫铁(锰约 0.05%,铁 0.3%),暗带高锰富铁(分别为 0.02%、0.6%)。铝锌矿主矿化期与 3a—5 带相对应。因此表明阴极发光带特征即可预测矿化发展阶段及矿化完整程度和最佳矿化期。

不少研究者认为发光技术研究胶结物环带构造和孔隙充填胶结物的发展阶段性,远比描片、染色及显微镜更准确。Meyer(1974、1978)研究了美国新墨西哥州圣克里门蒂山区长 16km 的密西西比系碳酸盐岩地层中胶结物环带,发现其发光特征完全可以作区域上的对比。Grover 和 Read(1983)在弗吉尼亚的奥陶系作了类似工作,认为其成岩作用变化的阶段性与埋藏过程中成岩溶液成分变化是一致的。他们甚至认为发光特征在无化石可对比的地层中作地层划分对比标志或指导地质填图都是可能的。

4. 确定各种成岩事件(胶结、压实、交代)的相对时间及期次

根据不同世代胶结物发光性的不同、根据不同时代及不同性质交代产物发光性的不同,以及各种压实组构(变形、破裂)与这些胶结、交代产物之间的空间关系,可以确定这些成岩事件的先后顺序。比如碎屑断裂面上有后期胶结物而缺乏前期胶结物的环带,可说明压实作用早于晚期而晚于早期胶结事件。Koopnick(1978)根据裂隙充填物发光特征,确定裂隙形成晚于第一期胶结作用,至第三期整个裂隙已全部充填,可见裂隙的形成和充填在第二、三期。

勘误:《岩相古地理》1989 年第 4 期目录中倒数第一行应为“……协作组办公室”;外文目录中倒数第 2 行“Working Group on……”应为“Working Group office on……”;P. 53 第 14 行的“八五三项建议”及倒数第 2 行“该项目的主项建议”中的“三”、“主”均应为“立”。