

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

四川龙门山北段晚二叠世大隆组 放射虫岩及其形成环境

金 若 谷

(中国地质科学院地质研究所, 北京)

从沉积序列、物质组分、沉积构造和生物共生组合特征以及古地磁、板块构造资料表明, 四川龙门山北段晚二叠世大隆组的放射虫岩主要有两种: 一种为黑色层状放射虫岩; 另一种为灰色结核状(或飘带状)放射虫岩。经研究认为本区放射虫岩形成于低纬度赤道带, 扬子板块和中朝板块间的西南边缘较深水海槽, 即为扬子台地的西北边缘海槽。探讨了放射虫岩形成时的海水深度(150—500m或500m以下)和CCD之关系。提出了海底地形、海水深度、洋流(或底流)循环状况以及氧化-还原条件等是控制放射虫岩类型(即黑色层状放射虫岩和灰色结核状放射虫岩)的基本因素。

近年来, 在我国南方古生代地层中相继发现放射虫岩^{[1,2,3],1)}, 引起了国内外地质学家的关注和兴趣。华南放射虫岩(或放射虫)除泥盆纪个别地区¹⁾发现外, 集中分布于二叠纪, 其中以早二叠世茅口期和晚二叠世长兴期最为丰富, 常形成硅质放射虫岩。据现有资料表明, 茅口期放射虫岩主要分布于广西来宾、南丹、田林和百色, 广东曲江-仁化和湖北大冶、黄石及广济等地; 长兴期放射虫岩除上述地区外, 还包括四川龙门山广元、陕南大巴山北麓西乡以及皖、苏、浙一带(图1)。这些地区都是沉积硅质岩、碳酸盐岩、泥质岩和少量火山岩的海水较深的凹陷区, 与此相邻的浅水碳酸盐台地区, 放射虫却很少见。放射虫岩分布有一个较为明显的特点, 即呈带状展布。如区域北部放射虫岩, 可从四川龙门山北段到川陕交界之大巴山, 向东沿中国北方古陆边缘鄂东南至皖、苏、浙地带均有出露, 绵延达数千公里, 这可能与二叠纪晚期断裂活动的加剧而造成的线状断陷盆地密切相关。

四川龙门山北段晚二叠世大隆组放射虫岩主要有两种: 一种为黑色层状放射虫岩; 另一种为结核状(或飘带状)放射虫岩。本文将从沉积序列、物质组分、沉积构造、生物共生组合等特征, 对本区所发现的放射虫岩进行成因探讨, 可能对华南地台的地史演化和古地理研究有一定意义。

一、沉积序列

本区晚二叠世大隆组是由一套暗色薄至中薄层硅质灰岩、硅质岩(或灰硅岩)、微晶灰岩、放射虫岩夹页岩组成, 一般出露良好, 层序完整、沉积稳定, 层厚30—40m。现将四川广元上寺剖面^[4]沉积序列的基本特征描述如下(由上往下):

7. 灰、深灰色薄层硅质灰岩、页岩、蒙脱石化凝灰质粘土岩。硅质灰岩层面具不规则席状裂隙, 产菊石、牙形石及少量海绵骨针、放射虫等化石, 页岩以蒙脱石-伊利石

1) 胡炎坤、程尧书, 1982, 广西放射虫岩特征及放射虫环境探讨。广西石油地质与勘探, 第1期, 第1—10页。
本文1986年6月收到, 8月改回, 罗正华编辑。

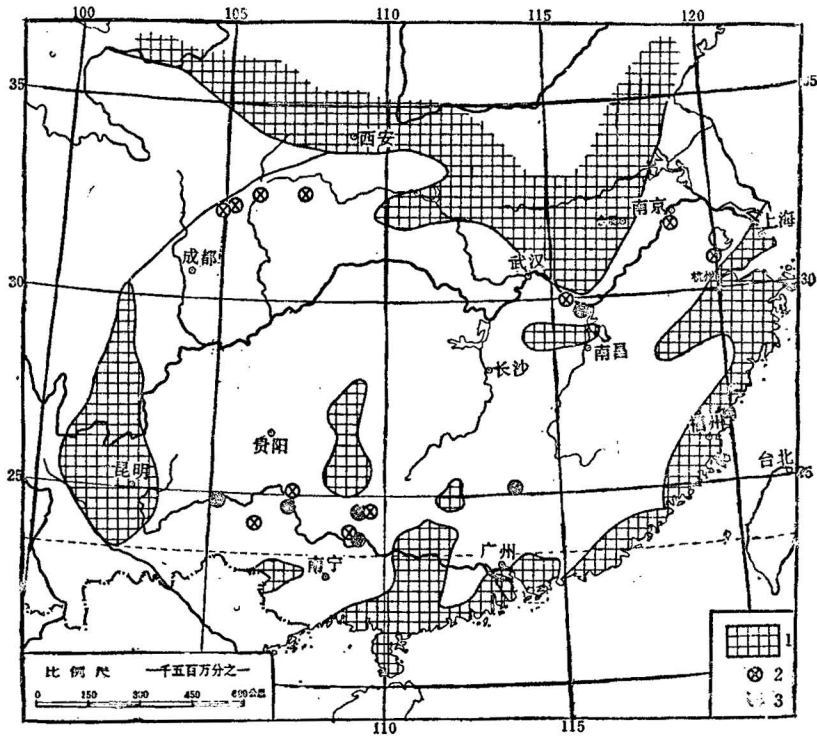


图 1 华南二叠纪放射虫岩分布示意图 (图中粗线为华南海边界)

Fig 1, Distribution of the Permian radiolarites in South China
(Heavy line is South China Sea boundary in map)

1—前二叠纪古陆 (Pre-Permian old lands); 2—早二叠世茅口期放射虫岩 (Radiolarites of Maokou age of early Permian); 3—晚二叠世长兴期放射虫岩 (Radiolarites of Changxin age of Late Permian)

- 混层矿物为主，具水平纹层理，产少量菊石、牙形石、腕足类、瓣鳃类等；凝灰质粘土岩呈灰白色、揉皱强烈，具残余凝灰结构，玻屑几乎已蒙脱石化 0.94m
6. 灰、深灰色薄至中薄层结核状（或飘带状）放射虫岩、硅质微晶灰岩夹页岩，层面不平整，具清晰韵律层理，生物化石除丰富的放射虫外，共生有菊石、牙形石和少量有孔虫和瓣壳型腕足类等 2.04m
5. 灰、深灰色中薄层硅质微晶灰岩夹页岩，含菊石、牙形石及少量有孔虫和放射虫等 7.14m
4. 灰黑色薄层硅质岩、硅质灰岩、层状放射虫岩夹页岩，具水平和韵律层理。局部富含有机质和星点状黄铁矿。产放射虫、菊石和牙形石等 8.98m
3. 灰黑色薄至中薄层硅质灰岩、硅质岩、微晶灰岩夹页岩，具水平和韵律层理，富含有机质（沥青化）和黄铁矿结核。化石少，仅见牙形石、菊石、有孔虫和钙球等 13.56m
2. 深灰色结核状（或瘤状）微晶灰岩、硅质灰岩夹页岩。结核呈透镜状或不规则团块，成层排列。局部含燧石结核和团块。生物以牙形石为主，少量为腕足类、单体珊瑚、介形虫及放射虫等 6.60m
1. 深灰色薄层硅质灰岩、微晶灰岩夹层状放射虫岩夹页岩。韵律层理明显，局部富含有机质和黄铁矿结核，有牙形石、放射虫、腕足类及少量有孔虫和介形虫等。 2.87m

下伏地层：上二叠统吴家坪组（灰、深灰色厚层，富含燧石结核和条带的含生物屑微晶灰岩，局部硅化。生物化石以底栖生物如有孔虫、厚壳型腕足类、介形虫、棘皮类和钙藻等为主要代表）

从上述沉积序列特征表明,放射虫生物在四川龙门山北段大隆组是十分普遍的,然而放射虫富集成放射虫岩则局限于大隆组上、中、下三个不同层位。这三个不同层位,从生物共生组合以及沉积构造等特征,可能反映放射虫岩三个不完全相同的形成环境。

二、物质组分

(一) 化学组分 经化学分析(表1),放射虫岩主要成分由 SiO_2 、(含量为56.52—73.58%)、 CaO (含量为8.91—19.14%)组成,其他成分均很少。以第6层为代表的结核状放射虫岩和以第1和4层为代表的层状放射虫岩相比,前者 SiO_2 和 Al_2O_3 含量较高,而后者 CaO 、 SO_3 含量较高。其中差别最为显著的为 SO_3 ,两者相差5—10倍,说明后者是在海水较深,能量较

表1 放射虫岩化学成分及比较

Table 1 Chemical composition and comparison of the radiolarites

化学成分 \ 名称	1 ¹⁾	2 ¹⁾	3 ¹⁾	4 ⁽⁵⁾	5 ⁽⁵⁾	6 ⁽⁵⁾
SiO_2	66.92	73.58	56.52	83.67	89.15	86.90
Al_2O_3	3.10	3.92	1.66	3.30	3.45	4.60
Fe_2O_3	0.66	0.76	1.08	7.74	0.58	2.70
FeO	0.44	0.93	0.19	—	2.19	—
MgO	0.57	0.99	0.86	0.50	1.05	0.80
CaO	13.88	8.91	19.14	0.40	0.24	0.10
Na_2O	0.36	0.54	0.23	1.00	0.22	0.40
K_2O	0.48	0.62	0.29	1.42	0.53	1.00
P_2O_5	0.07	0.11	0.03	0.10	0.04	0.04
TiO_2	0.13	0.18	0.09	0.40	0.22	0.14
MnO	0.04	0.03	0.01	0.30	0.03	0.03
CO_2	10.22	5.95	14.94	—	—	—
H_2O^+	1.27	1.55	1.30	0.85	1.17	2.30
H_2O^-	0.53	0.39	0.20	0.10	—	0.30
SO_3	0.21	0.54	2.63	—	—	—
SrO	0.11	0.06	0.18	—	—	—
C	—	—	—	—	0.11	0.65
总 和	98.99	99.06	99.35	99.78	99.71	99.96

1) 由中国地质科学院测试所分析;

1、2—灰色结核状放射虫岩(四川广元上二叠统大隆组,标本号Gs—22, Gs—24); 3—黑色层状放射虫岩(四川广元上二叠统大隆组,标本号Gs—18); 4—红色放射虫燧石(瑞士瓦尔德阿尔侏罗系); 5—红色和绿色放射虫燧石(内华达夸德安特勒峰下二叠统普姆普尼克组); 6—黑色放射虫燧石(联邦德国黑森互拉斯下石炭统)。

低富含硫化物(如黄铁矿)的还原环境下形成的。如果与世界各地的放射虫岩相比,本区放射虫岩具有低 SiO_2 、高 CaO 、 SO_3 之特点。

(二) 矿物组分 经X射线衍射分析(图2),放射虫岩矿物组分由微晶石英(或纤石英)、微晶方解石及少量混层粘土矿物、方沸石等组成。薄片观察,结核状放射虫岩由白色放射虫小球和深灰色硅灰质基质组成(照片1)。放射虫一般呈圆形、大小相差悬殊,最大达0.4mm。放射虫球体边缘常为短纤维石英(由玉髓变来)组成球环,其内部则由长纤维石英组成;另一种情况是放射虫内部由细粒石英和极细小硅质胶结物组成(照片2)。有时硅质部分被碳酸钙交代变成方解石。基质为微粒石英和方解石;层状放射虫岩由白色放射虫球体和黑色灰硅基质组成(照片3)。放射虫以椭圆形居多,略具定向排列。成分为微晶石英和少量蛋白石。基质主要为方解石

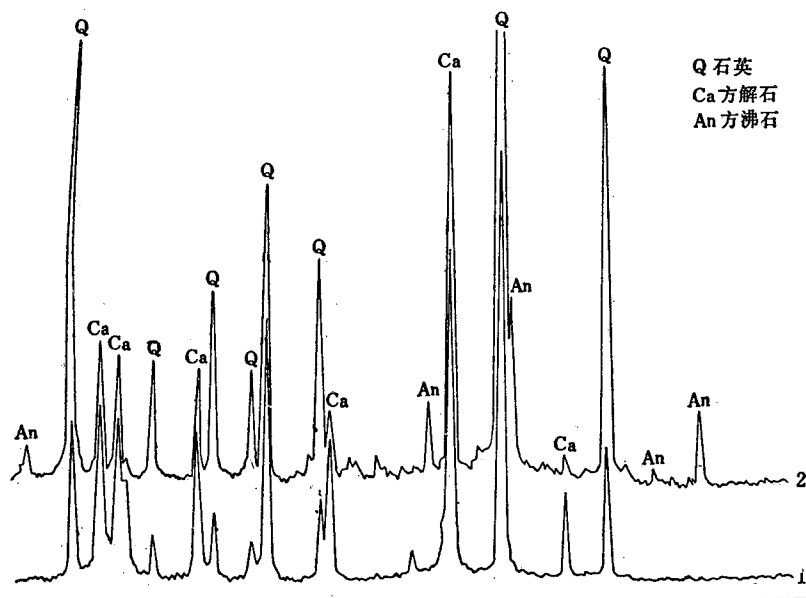


图 2 放射虫岩X射线衍射图

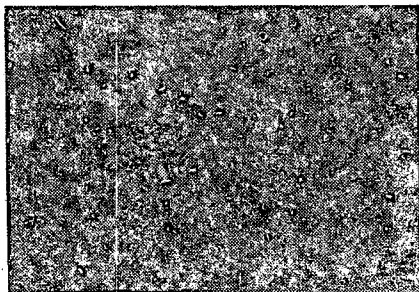
Fig 2, X-ray diffraction map of radiolarite

1—灰色结核状放射虫岩 (Grey nodular radiolarite); 2—黑色层状放射虫岩 (Black bedded radiolarite)



照片 1 结核状放射虫岩。白色小球为放射虫，中部为头足类？介壳，基质为硅灰质（单偏光×20，薄片 G3-24，四川广元大隆组上部）

Photo 1. Nodular radiolarite. Small white sphere are radiolarians; the middle part is represented by shells of cephalopods; the matrix is siliceous mud (plain light, ×20)



照片 2 放射虫。成分由石英颗粒和极细的硅质胶结物组成（正交偏光×71，薄片 G3-22，四川广元大隆组上部）

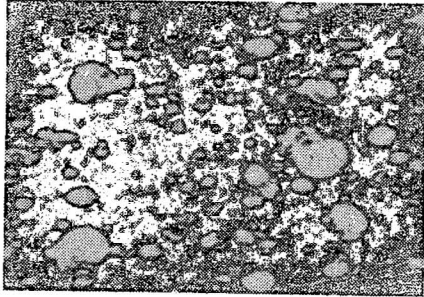
Photo 2. Radiolarian, composed of quartz grains and very fine siliceous cements (crossed nicols, ×71)

和石英及少量粘土矿物、黄铁矿等，局部含有有机质。

三、沉积构造

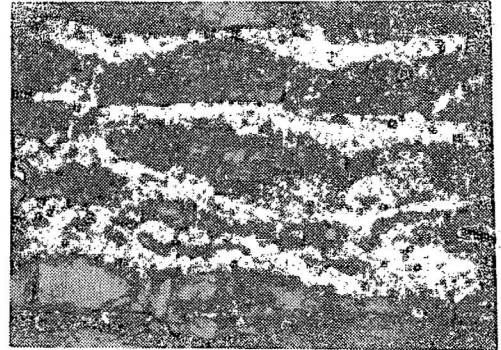
（一）水平层理和纹层理 主要见于黑色层状放射虫岩中，它是由物质组分和色调变化反映出来，层系一般为毫米至厘米级，代表了海水较深且平静的低能环境。

（二）韵律层理 这是由放射虫岩和其他岩类所组成的一种小型韵律构造，分布十分普遍。包括以下反映沉积环境有所不同的三种韵律层：（1）下部韵律层，由深灰色硅质灰岩、微晶



照片 3 层状放射虫岩。白色颗粒为放射虫，暗色为硅泥基质（单偏光×38，薄片 Gs-11，四川广元大隆组下部）

Photo 3. Bedded radiolarite. White grains are radiolarians and the dark part is siliceous mud (plain light, ×38)



照片 4 韵律层理。由连续结核状或似层状放射虫岩与硅质页岩呈互层（镜盖直径为 4.5cm，四川广元大隆组上部）

Photo 4. Rhythmic stratification. Continuous nodular or stratoid radiolarites alternate with siliceous shale (lens cover diameter 4.5cm)

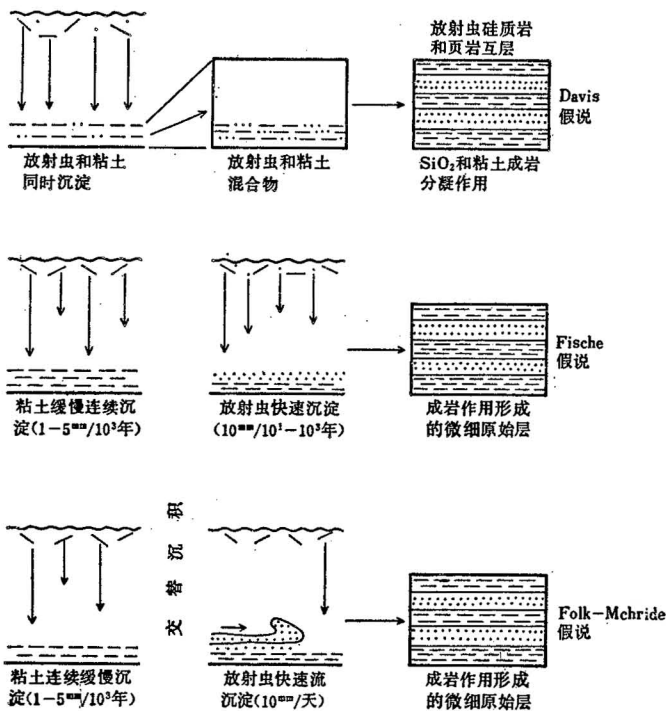


图 3 放射虫岩-页岩韵律三种成因假说图解
(自 Folk-Mcbride, 1979)

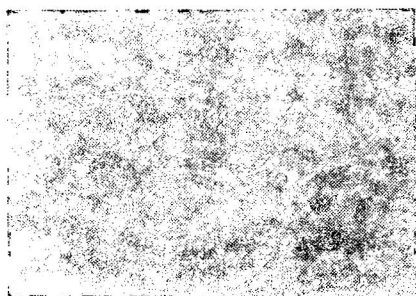
Fig 3. Diagram of three hypothesis of the origin of radiolarite-shale rhythms
(from Mcbride-Folk, 1979)

灰岩、灰黑色层状放射虫岩和页岩组成，韵律层厚度为 20—30cm，以硅质灰岩类为最主要。韵律层间界面起伏不平。局部富含有机质和黄铁矿。硅质灰岩产有丰富的腕足类、牙形石和放射虫及少量单体珊瑚、有孔虫、介形虫等，页岩则化石很少。这种韵律层推测形成于台地边缘较深水的外陆棚环境；（2）中部韵律层，由灰黑色层状放射虫岩、硅质微晶灰岩和页岩构成，韵律层厚度 12—20cm，硅质岩和硅质灰岩为主要。韵律层间界面平整，水平层理和纹层理发育，普遍含有机质和星点状黄铁矿。生物化石以浮游动物如放射虫、菊石、牙形石为主，分布于硅质岩和硅质灰岩中，页岩中很少见。此韵律层可能形成于海水较深，海底水体滞流的盆地环境；和（3）上部韵律层（照片 4），由灰色结核状放射虫岩，硅质微晶灰岩和灰黑色页岩组成，韵律层厚度 15—25 cm，硅质岩厚 13—20 cm。韵律层间界面不平，时有沉积间断。硅质岩中除放射虫外，菊石和牙形石亦相当

丰富。此外还含有少量有孔虫、海绵骨针、薄壳型腕足类等。这种韵律层可能在洋流（或底流）作用下，在盆地隆起区或斜坡环境中形成的。有关放射虫岩韵律层的成因，主要有三种假说（图 3）^[6]：第一种假说由 E. F. Davis (1918) 提出，他认为放射虫和粘土以混合物状态同时堆积，后在成岩阶段由分凝作用形成了硅质放射虫岩和页岩互层；第二种假说由 Garrison 和 Fischer

(1969) 以及 Fischer (1977) 提出: 他们认为由于不同的沉积速率, 即放射虫快速沉淀, 而粘土质点连续缓慢沉淀, 后经成岩作用形成互层; 第三种假说由 E. F. McBride 和 R. L. Folk (1979) 提出: 认为粘土是一种半远海缓慢沉积, 而放射虫是一种快速流(即浊流)沉积, 后经成岩作用形成韵律层。从本区放射虫岩和页岩韵律层特点来看, 放射虫颗粒在基质中呈分散状(无分选性), 且大小不等, 递变性不明显, 主要是以生物雨方式从海水中快速沉淀的。而粘土物质来自碳酸盐台地, 以浊流方式搬运至海盆, 连续缓慢沉淀, 后经成岩作用形成了韵律层。

(三) 瘤状结核构造 主要分布于大隆组上部, 瘤状结核是由结核体和围绕它的皮壳两部分所组成。结核体为灰色硅质放射虫岩, 呈透镜体或不规则团块, 大小不一, 成层排列。其中放射虫含量十分丰富, 达30%以上。放射虫一般呈圆形, 个体大小悬殊, 分布零散, 无定向排列。保存差, 外形和内部构造均已破坏, 后期溶解作用明显。皮壳为灰黑色硅质放射虫岩, 常包围或半包围结核体或分布于结核层之间, 具水平纹层理。就放射虫而言, 与结核体中有明显不同, 呈椭圆形, 大小较均匀, 分选好, 略具定向排列, 一般保存较好, 在镜下可见清楚的骨骼同心圆构造(照片5)。结核体和皮壳之间接触界线较清楚, 但也有逐渐过渡的, 有时可见次生细脉穿过界线。瘤状结核可以单独出现, 也可以相互连结起来形成似层状(或带状)结核体或变成早期硬地(hardground)^[7]。从现代和古代沉积研究表明, 瘤状结核构造主要为早期成岩胶结作用和晚期压溶作用的产物, 往往形成于海水深度为150—200m或以下的外陆棚和斜坡环境^[8,9]。



照片 5 放射虫。具清晰的骨骼内部同心圆构造(单偏光×130, 薄片Gs-24, 四川广元大隆组上部)
Photo 5. Radiolarians, exhibiting a distinct concentric structure inside the bone (plain light, × 130)

四、生物共生组合

放射虫的盛物共生组合特征是放射虫岩形成环境的重要标志。从放射虫与其他生物的共生关系, 可分为三种共生组合类型:

(一) 下部共生组合类型 此组合有两种情况: 一种情况是放射虫与牙形石共生, 其特点是数量较为丰富, 底栖生物很少, 常产于黑色层状放射虫岩中, 代表了海水较深的以浮游生物为主导的沉积时期; 另一种情况是少量的放射虫和腕足类、牙形石及少量有孔虫、介形虫、钙球、单体珊瑚共生, 主要产于硅质灰岩和微晶灰岩中, 反映了此组合海水相对较浅以浮游和底栖生物共生的沉积时期。放射虫一般保存不好, 外形和内部构造大都被破坏; 牙形石大部为营游泳的窄盐性齿台型分子, 少数为广盐性锯齿型分子^[10], 其代表分子如 *Neogondolella liangshanensis*, *N. guangyuanensis*, *N. bitteri*, *N. leveni*, *N. paraleveni*, *Xaniognathus elongatus*, *Prioniodella* sp. 等。腕足类以体小壳薄的硅质岩相分子为主要代表, 少数为体大厚壳型灰岩相分子^[11], 包括 *Cathaysia* sp., *Acosarina* sp., *Waagenites wongiana*, *Paryphella orbicularis*, *Spinomarginifera* sp. 等。此组合主要分布于碳酸盐台地和盆地间的过渡地带, 属于底栖生物向浮游生物逐渐过渡的组合类型。

(二) 中部共生组合类型 此组合为放射虫与菊石、牙形石共生, 不含底栖生物, 是较为单一的浮游和假浮游生物组合类型。放射虫与前组合类似。菊石已相当繁盛, 其中以大巴山菊石科(Tapashanitidae)为主要代表, 如 *Tapashanites tenuicostatus*, *T. chaotianensis*, *Shevyre-*

vites sp., *Pseudogastriceras* sp., *Pseudotirolites* sp., *Qianjiangoceras* sp., *Sinoceltites* sp. 等, 牙形石数量亦很丰富, 是大隆组沉积中的第二个繁盛期。此组合显然代表了海水较深的广海环境类型, 底栖生物的缺乏, 说明海底水体滞流或还原环境。

(三) 上部共生组合类型 此组合与中部组合很相似, 也是由放射虫、菊石、牙形石共生所组成, 但其特征已发生了变化。放射虫已发展到全盛时期, 种属和数量均很丰富, 部分保存较好。镜下可见骨骼内部的同心圆构造。据初步鉴定主要为 *Cenellipsis* sp., *Porodiscus* sp., *Stylosphaeridae* indet. 等。菊石种属繁多, 分异明显, 已发展到鼎盛时期。大多属种为饰面具肋瘤的假提罗菊石科和肋瘤菊石科, 其代表分子有 *Pseudotirolites disconnectes*, *P. asiaticus* (JKL), *Pernodoceras iroflatum*, *Changsingoceras* cf. *sichuanense*, *Pleuronodoceras tenuicostatum*, *Rotodiscoceras* sp. 等。大巴山菊石科仅有少量出现, 牙形石变化不大, 仍以新舟牙形刺为主要代表, 但其数量已略有减少。此组合代表了海水较深的盆地或斜坡组合类型。大隆组最顶部, 出现了少量放射虫与海绵骨针、钙球等共生, 反映了盆地逐渐变浅的陆棚环境组合类型。

五、放射虫岩的形成环境

放射虫岩的形成环境有各种解释。五、六十年代欧洲广为流行的一种观点, 认为放射虫岩形成于深海环境, 即在碳酸盐补偿深度 (CCD) 线以下形成的。并提出了放射虫岩的生物成因和火山成因两种假说^[12]; R. L. Folk 和 E. F., McBride (1979) 研究了意大利侏罗纪放射虫岩后认为, 可以在陆壳上浅水环境中形成^[6]; 许靖华 (1981) 在我国成都讲学时, 提出了放射虫岩是由深海硅质生物堆积而成, 对火山沉积成因假说持否定态度, 并认为放射虫岩主要分布于赤道带和大陆西部的广海环境。根据现代日本海、太平洋和印度洋的放射虫软泥研究资料表明, 它们主要形成于大洋的深海带中, 尤与海沟或深海沟关系更为密切。

我国南方二叠纪放射虫岩的形成环境已有不少论述。宋天锐和王乃文 (1977) 对广东曲江-仁化地区早二叠世“当冲层”放射虫岩研究后指出: “放射虫岩是在陆棚外缘带中, 即在一比浅海深, 比深海浅的半深海环境中形成的”^[1]。章玉明和周祖勋 (1985) 研究了鄂东南下二叠统茅口组的放射虫硅质岩后, 认为放射虫岩可以形成于陆棚边缘带至深水盆地环境中, 海水深度可从 100—200m 或以下, 部分放射虫硅质岩形成于 CCD 以下^[2]。四川龙门山北段晚二叠世大隆组放射虫岩, 从沉积序列、物质组分、沉积构造和生物共生组合等特征证明, 放射虫岩的形成环境不完全是相同的, 放射虫不同的堆积时期就可能是一个特定的形成环境。下部黑色层状放射虫岩是由放射虫壳体间歇性地快速沉淀与硅泥质交替沉积于海底 (海底处于弱还原条件), 后经成岩作用形成的, 其环境为水深 150—200m 的外陆棚带; 中部黑色层状放射虫岩是放射虫颗粒快速沉淀和粘土缓慢连续沉淀交替, 在海水相对较深的滞流盆地环境中形成的, 推测海水深度为 300m 以下或 CCD 附近; 上部结核状 (或带状) 放射虫岩是在上升洋流 (或底流) 的作用下, 由放射虫颗粒快速沉淀和粘土缓慢沉淀交替, 在盆地隆起区或斜坡至陆棚环境中形成的。海水深度可能为 150—300m 或以下 (图 4)。

关于华南二叠纪放射虫岩形成的海水深度和 CCD 之间的关系是一个比较复杂的问题。从现代海洋如太平洋和大西洋的 CCD, 一般公认为 3 700—5 000 米。但是在地质历史中, CCD 具有明显的波动性。A. Bosellini 和 E. L. Winterer (1975)^[13] 提出的地中海地区中生代远海沉积相图中表明, 在三叠纪和侏罗纪, CCD 约为 2 500m, 到侏罗纪末, CCD 发生突然下降, 到白垩纪初达到 4 500m, 与现代 CCD 相似。然而在白垩纪末, 大西洋的 CCD 却发生急剧抬升甚至到透光带。因此 W. W. Hay^[14] 认为硅质放射虫岩可以在几百米深的海水中形成也不是不可能的。另外, 在大陆附近、相对局限、规模不大的海, 如地中海地区的三叠纪、侏罗纪海 (与现代边缘海如加利福尼亚

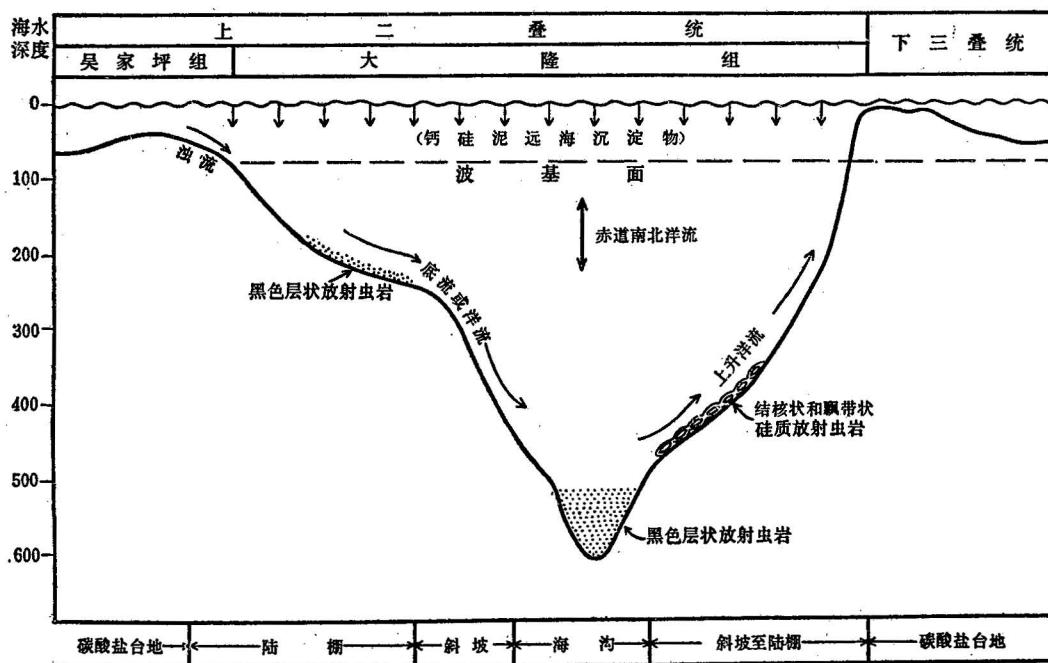


图 4 放射虫岩沉积作用及成因示意图

Fig 4, Schematic of sedimentation and origin of radiolarites

亚湾、地中海、日本海等相当)，这些海的CCD都比主要洋盆的CCD要浅得多^[15]。

从古生物资料和盆地性质判断，古生代碳酸盐岩远海沉积与中生代碳酸盐岩远海沉积相比不完全相同，侏罗纪以后至现代远海碳酸盐岩沉积深度可在100—4500m间波动，而古生代远海碳酸盐岩沉积深度仅为几百米，一般不超过1000m。例如欧洲中部的泥盆-石炭纪结晶头足类灰岩和美国阿巴拉钦山中的寒武纪外陆棚盆地沉积的远海碳酸盐岩，它们的沉积深度一般都为几百米^[16]。因此，可以推测华南某些二叠纪远海碳酸盐岩沉积深度也可达几百米，而硅质放射虫岩的沉积深度可能较深。当时的碳酸盐补偿深度线也可能较浅。

硅质放射虫岩的硅质(SiO_2)来源一直是争论不休的问题，从岩石学和矿物学资料分析， SiO_2 大部分为原生沉淀物，其来源主要来自硅质生物(如放射虫、硅质海绵骨针)壳体的堆积和生物 SiO_2 凝胶沉淀而成，即为放射虫软泥经成岩作用变成的。其次，在硅质放射虫岩夹层中出现凝灰质粘土岩以及放射虫岩本身所发现的方沸石等特征，部分 SiO_2 来自火山灰流作用或后期成岩交代形成也是可能的。

放射虫岩的形成与构造环境也有密切关系。本区放射虫岩堆积时期，正是龙门山一大巴山地裂活动加剧时期，也是拗陷最深的时期。从古地磁资料^[17]表明，晚二叠世晚期扬子板块位于赤道南 2.4° ，而中朝板块位于赤道北 14.8° (图5)，两者纬度相差 17.2° ，证明这两个板块在晚二叠世晚期是分离的，之间仍被海洋所占据。从板块构造研究资料^[18]，当时由于西部滇、青、藏洋板块向东推挤和太平洋板块的向西推挤，促使扬子板块向北驱动，并逐渐靠近。因此，在晚二叠世晚期出现一条呈东西向延展，狭长的较深水海槽(或海峡)，类似于现代加利福尼亚海峡。这就是为什么沿扬子板块和中朝板块、滇、青、藏洋板块之间出现放射虫岩(或放射虫)呈带状分布的缘故。同时，本区位于扬子(地台)的西北部边缘，上升洋流和赤道洋流交替频繁，各种养料十分丰富，是放射虫大量繁衍的有利地带。

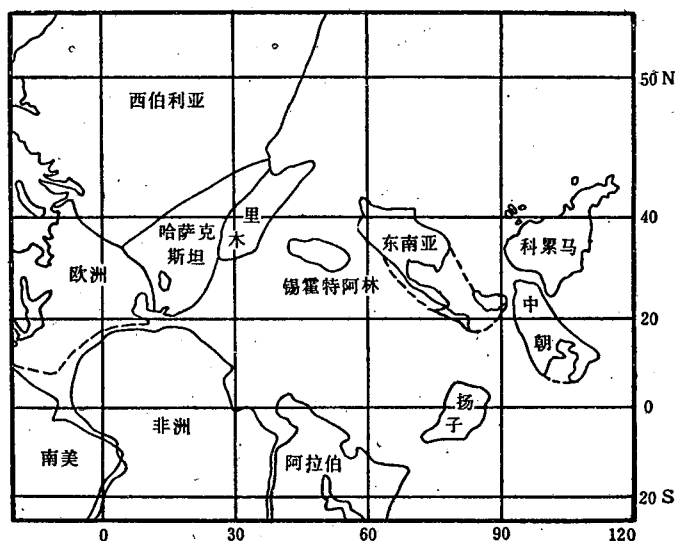


图 5 亚洲晚二叠世古地理图
(引自 M. W. McElhinny 等, 1981)

Fig 5, Paleogeographic map of the Late Permian in Asia
(from M. W., McElhinny, et al., 1981)

综上所述,四川龙门山北段晚二叠世大隆组放射虫岩的成因,可归纳为(1)放射虫岩形成于低纬度赤道带,扬子板块和中朝板块间较深水海槽向西南的延伸部分,即为扬子台地的西北边缘海槽,海水深度为150—500m或以下;(2)海底地形、海水深度、洋流(或底洋)活动的循环状况以及氧化-还原条件等是控制放射虫岩类型(即灰色结核状放射虫岩和黑色层状放射虫岩)的基本因素。

本文是由杨遵仪教授领导的中国二叠系-三叠系界线和事件研究工作中所获得的成果之一。一同参加野外工作的有李子舜、詹立培、朱秀芳、张景华、戴进业、田树刚等同志,放射虫由我所王乃文同志鉴定,成文后承李子舜副研究员提出宝贵意见,在此一并谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 宋天锐、王乃文, 1977, 广东曲江-仁化地区早二叠世“当冲层”的放射虫岩. 地质科学, 第4期, 第390—393页。
- [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初探. 沉积学报, 第3卷, 第2期, 第67—74页。
- [3] 芮琳、江纳言, 1984, 苏、浙、皖地区二叠纪末三叠纪初的岩相和生物相. 古生物学报, 第23卷, 第286—298页。
- [4] 李子舜、詹立培、朱秀芳、张景华、金若谷、刘桂芳、盛怀斌、沈桂梅、戴进业、黄恒铨、谢隆春、严正, 1986, 古生代—中生代之交的生物绝灾和地质事件——四川广元上寺二叠系-三叠系界线和事件的初步研究. 地质学报, 第1期, 第1—15页。
- [5] H. 布拉特, G. V. 米德顿, R. C. 穆雷, 1978, 沉积岩成因 (中译本). 科学出版社, 第379—382页。
- [6] McBride, E. F. and Folk, R. L., 1979, Features and origin of Italina Jurassic radiolarites deposited on continental crust. Jour. Sed. Petrology, Vol. 49, No. 3, pp. 837—868.
- [7] Kennedy, W. J. and Garrison, R. E., 1975, Morphology and genesis of nodular chalks and hardgrounds in the upper Cretaceous of Southern England. Sedimentology, Vol. 22, pp. 311—386.
- [8] Mullins, H. T., Neumann, A. C., Wilbur, R. J. and Boardman, M. R., 1980, Nodular limestones carbonate sediment on Bahamian Slopes; possible precursors to nodular limestones. Jour. Sed. Petrology, Vol. 50, pp. 117—131.
- [9] Jenkyns, H. C., 1974, Origin of red nodular limestones (Ammonitico Rosso, Knollenkalke) in the Mediterranean Jurassic. A diagenetic model; in Hsu, K. J., and Jenkyns, H. C., eds., Pelagic sediments of land and under the

sea. Int. Assoc. Sedimentologists Spec. Pub. No.1, pp. 249-271.

- [10] 张景华、戴进业、田树刚, 1984, 四川北部广元上寺晚二叠世—早三叠世的牙形石生物地层。国际交流地质学术论文集(1), 第163—178页。
- [11] 廖卓庭, 1979, 中国南部长兴阶的腕足类动物组合带及二叠、三叠纪混生动物群的腕足类动物。地层学杂志, 第3卷3期, 第200—207页。
- [12] Aubouin, J., 1965, *Geosynclines*. Elsevier Publish Co., Amsterdam, pp. 115-124.
- [13] Bosellini, A. and Winterer, E. L., 1975, Pelagic limestone and radiolarite of the Tethyan Mesozoic: a genetic model. *Geology*, Vol. 3, pp. 279-282.
- [14] Hay, W. W., 1970, Calcium carbonate compensation. in: Initial reports of the deep sea drilling project, Vol. 14, pp. 672-673. U. S. Government Printing Office, Washington.
- [15] Berger, W. H., 1975, Sedimentation of deep-sea carbonate, Maps and models of variations and fluctuations, in Riedel, W. R. and Saito, T., eds., *Marine plankton and sediments*, New York, Micropaleontology Press, No. 3, pp. 286-302.
- [16] Flugel, E., 1982, *Microfacies analysis of limestone*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 494-502.
- [17] McElhinny, M. W., Embleton B. J. J., Ma xinghua and Zhang Zheng Kun, 1981, Late palaeozoic plate tectonics of Asia. *Nature*, pp. 293.
- [18] 罗志立, 1979, 扬子板块的形成及其对中国南方地壳发展的影响。地质科学, 第2期, 第127—138页。

RADIOLARITES AND SEDIMENTARY ENVIRONMENTS OF THE LATE PERMIAN DALONG FORMATION IN THE NORTHERN SECTOR OF THE LONGMEN MOUNTAINS, SICHUAN PROVINCE

Jin Rougu

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Abstract

Permian radiolarites have been discovered in southern China one after another recently. They are mainly distributed in Daye, Huangshi and Guanji of southeastern Hubei Province, Qujiang-Renhua of Guangdong Province, Leibin, Nandan, Tianlin and Baise of Guangxi Province and Guangyuan of Sichuan Province.

There are two types of radiolarite in the Late Permian Dalong Formation in this area. One is black bedded radiolarites, which are found in the middle and lower parts of the Dalong Formation. It is composed of fine-grained limesiliceous sediments and less muddy sediments, with horizontal bedding and rhythmic bedding, locally rich in organic matter and pyrite. The fossil assemblage includes planktonic and epiplanktonic faunas such as radiolarians, ammonoids, conodonts and thin-shelled brachiopods and a few benthonic faunas such as foraminifers, ostracods and solitary corals. This type of radiolarite was formed in outer continental shelf and basin environments where the seawater was deep, quiet and partly stagnant on the sea floor. The depth of seawater might be 150-500 m or below. The other type is grey nodular radiolarites (or ribbon radiolarites), which are found in the upper part of

the Dalong Formation. It consists of microcrystalline calcite and quartz, containing nodules and exhibiting evident rhythmic bedding. The biota mainly includes radiolarians, ammonoids and conodonts as well as a few foraminifers, sponge spicules and calcispheres. Radiolarites of this type were formed in the uplift areas of the sea basin and slope environments under the influence of bottom or oceanic currents when radiolarian oozes were not consolidated. The depth of water might 200-300 m or below.

According to sedimentary and biotic characteristics as well as paleogeographic and paleomagnetic data, two points may be suggested as regards the origin of radiolarites of the Late Permian Dalong Formation in the northern sector of the Longmen Mountains, Sichuan Province: (1) radiolarites were formed by in the low-latitude equatorial zone and the southwestern part of the deeper water trench (or channel) between the Yangtze plate and the Sino-Korean plate, e. g. the northwestern margin of the Yangtze Sea; (2) the sea-bottom topography, sea-water depth and circulation of water currents as well as the changes in oxidizing-reduction conditions are the main factors determining radiolarite types (i. e. black bedded radiolarites and grey nodular radiolarites).