

# 南秦岭西段含铀硅灰岩 特征及成因问题

黄振宇

(核工业部西北地勘局二一七大队)

## 一、前言

从六十年代开始, R. L. Folk 等提出碳酸盐岩的结构-成因分类之后, 人们注意力几乎都集中到浅水台地所形成的碳酸盐岩方面, 而对深水环境下形成的碳酸盐岩重视不

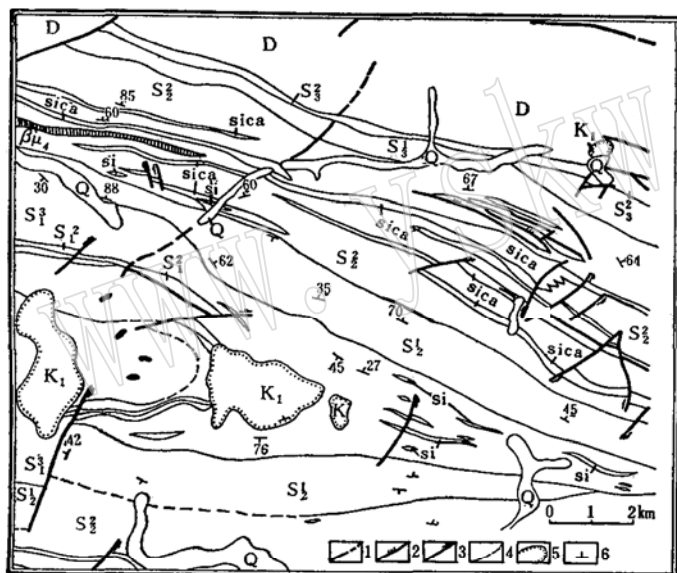


图1 南秦岭西段某地区地质图  
Fig. 1 Geologic map of an area  
in the western section of the  
South Qinling

K<sub>1</sub>—白垩系, 红色中厚层、薄层砾岩、砂岩、泥岩; D—泥盆系, 灰岩、砂岩、底部见白云质灰岩; S<sub>3</sub><sup>2</sup>—志留系, 板岩夹千枚状板岩; S<sub>3</sub><sup>1</sup>—志留系, 变砂岩、绢云母板岩、硅板岩、千枚状板岩; S<sub>2</sub><sup>2</sup>—志留系, 硅岩、灰岩、硅钙过渡岩、白云质硅板岩; S<sub>2</sub><sup>1</sup>—志留系, 砂板岩、炭板岩、千枚岩、含炭硅板岩; S<sub>1</sub><sup>2</sup>—志留系, 硅板岩、板岩、千枚岩、含炭硅板岩; S<sub>1</sub><sup>1</sup>—志留系, 炭板岩、含炭硅板岩、含炭砂岩、凝灰质砂岩; Sica—硅灰岩; Si—硅岩; β<sub>μ4</sub>—煌斑岩; 1—实测及推测性质不明断层; 2—压扭性断层; 3—扭性断层; 4—实测及推测地质界线; 5—角度不整合; 6—地层产状

够, 特别是对同属于碳酸盐岩类的硅质灰岩的成因讨论得更少。但是地质工作证明与深水环境有关的硅质灰岩的存在是一个事实。南秦岭西段地区的硅灰岩(透镜体)具有深水沉积的特征, 是与铀矿化关系密切的岩石。它既是铀的矿源层又是储铀的矿化体。因此, 这种研究不论对寻找和评价铀矿产, 还是对沉积岩石学基础的讨论都具有重要意义。

该区地层主要为志留系, 见有大量板岩和数量不多的硅岩、灰岩以及硅钙过渡岩—硅灰岩、钙质硅岩等。硅岩和灰岩常交互成层或呈透镜状产于板(泥)岩中。地层分布与区域构造线方向基本一致(图1)<sup>①</sup>。硅灰岩不仅在物质组分上有别于正常灰岩, 而且在结构构造、野外产状等方面都有它的特殊性。在研究这种过渡岩—硅灰岩的成因时曾引起争论,

① 此图和图2均为引用本队所编制的资料。

有人认为是礁灰岩；有人认为是内碎屑灰岩。而本文对硅灰岩的成因则提出了另一种看法。

按碳酸盐岩的结构—成因分类划分出的灰岩类型有：团粒灰岩、鲕粒灰岩、内碎屑灰岩、生物（碎屑）灰岩、泥晶灰岩（或微晶灰岩）和礁灰岩等。这些岩石均为浅水台地相在动荡条件下的产物。而区内的硅灰岩缺乏这些特征。它应属于深水静水泥晶类灰岩。

## 二、本区硅灰岩的特征

本区产出硅灰岩的中志留统总厚度在2000米左右，为一套浅变质岩石，以泥质岩类—板岩类（和少量千枚岩）为主，呈稳定的层状产出，具完好的纹层和薄片状层理。板岩类常含有一定量（百分之几）的炭质，颜色灰黑。按颜色和所含杂质不同可分为炭板岩，粉砂板岩和硅板岩等。硅板岩最为常见，其成分中微晶石英含量常大于粘土矿物，而达到板状硅岩（石英含量 $>80\%$ ）的程度。硅岩、灰岩以及两者的过渡岩呈透镜体产于板岩中，硅岩产于硅灰岩透镜体的上部和底部。硅岩、灰岩、板（泥）岩三类岩石的相变关系明显，在硅岩和板岩之间，由硅岩→板状硅岩→硅板岩→板岩，最后尖灭于板岩中；灰岩和

板岩之间，灰岩透镜体直接尖灭于板岩内，仅少数经钙质板岩过渡为板岩；灰岩与硅岩之间则主要是成分上的过渡，即硅质增加，由含钙硅岩→钙质硅质→硅质。这是一个岩性序列完整的硅灰岩体的理想模式。从古地理环境分析、硅灰岩体主要受沉降区的控制（图2），在水平和垂直方向上变化都很大，常呈透镜体群相互交替出现；厚度多在几十米范围内变化（最厚可达几百米）；长度一般为几

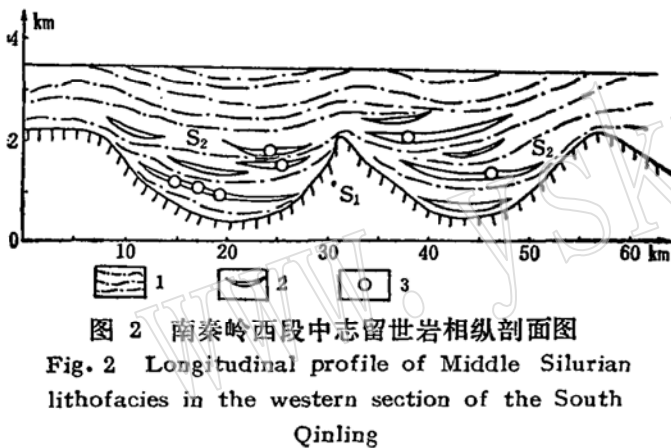


图2 南秦岭西段中志留世岩相纵剖面图  
Fig. 2 Longitudinal profile of Middle Silurian lithofacies in the western section of the South Qinling

1—泥（板）岩为主的沉积相；2—硅灰岩体；3—轴矿化点

百米至千米以上（最长可达几公里），厚度与长度之比约为1:10。

硅岩和灰岩的岩石学特征如下：

**硅岩** 野外为层状、似层状，厚度一般不超过50米，灰黑色，水平纹层理清楚。主要由石英（90%以上）组成，未见玉髓，含少量方解石、黄铁矿和微量均匀分布的炭质。石英粒度多在0.01—0.05毫米。化学成分简单， $\text{SiO}_2$  95%左右， $\text{CaO}$  1%， $\text{MgO}$  0.15%， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.50%， $\text{FeO}$  2.7%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.93%，有机炭略高于1%。

**灰岩** 野外呈层状、似层状、透镜状，厚度一般在50米以上，最厚可达200米，深灰色，水平层理发育。主要由方解石（约80%）组成，常含10%左右的微晶石英，并含有微量炭泥质和偶见沥青质。由于后期重结晶作用，方解石粒度不均，多在0.01—0.1毫米之间，有时更粗一些。在化学成分上除 $\text{CaCO}_3$ 外常含有10%左右的 $\text{SiO}_2$ ，有机炭含量较硅岩低，一般为千分之几。

**白云岩** 在野外以没有固定层位的夹层或透镜体出现在硅灰岩体之中。镜下观察可见白云石出现最多的部分常与硅岩或灰岩中的空隙有关。白云石不仅交代硅灰岩中的方解

石,而且也交代石英。白云石晶体在岩石中的分布很不均匀,在颇大程度上取决于原岩的结构。在微晶含硅灰岩中,白云石呈小菱面状存在(由0.03毫米至0.1—0.3毫米),在同一块薄片白云石晶体要比方解石大,自形程度也高,含杂质较少。暗色的杂质物或在晶体中心分布或呈环带分布。白云岩化多出现在岩石未遭重结晶的微晶方解石中,而经重结晶后产生的粗晶方解石很少白云岩化。以上特点反映出本区白云岩是由于层间水和流动于裂隙或其它通道中的水的活动,产生了含镁物质和碳酸水对原岩进行交代的结果,是成岩过程或后生作用的产物。

在硅灰岩体中除一部分硅岩和含硅灰岩呈厚薄不等的层状相互组合外,大部分为硅质(石英)和钙质(方解石)相互“浸染”形成一种化学成分主要由 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{CaCO}_3$ 相互过渡的岩石(表1)。岩石中石英和方解石的含量也呈过渡性变化(表2)。这种硅灰岩多为块状,结构上主要表现在晶粒大小的变化上(表3),多具隐晶—微晶结构,较粗的颗粒彼此镶嵌,未见其他粒屑结构。有少数硅灰岩具斑团结构,其组成特点是:斑团含量最高可达30%,基质的晶粒大小为0.1—0.01毫米,其中石英含量为25—50%,方解石>50%,这种岩石可命名为斑团状微晶硅灰岩(图版I—1)。

表1 石灰岩化学成分表

Table 1 Chemical composition of the limestone

化学成分 样品	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}^-$	$\text{H}_2\text{O}^+$	$\text{CO}_2$	烧失量
纯灰岩含量	1.24	0.65	0.34	53.48	1.74	—	—	—	—	—	—	42.55	—
正常灰岩平均含量	5.19	0.81	0.54	42.61	7.90	—	0.06	0.33	0.05	0.21	0.56	41.58	—
本区灰岩平均含量	15.45	0.23	0.30	49.00	0.39	0.07	0.05	0.03	0.01	0.21	1.31	38.54	40.10

表2 矿物成分变化表

Table 2 Variation of the mineral composition

岩石名称 矿物含量(%)	硅岩	含钙硅岩	钙质硅岩	硅质灰岩	含硅灰岩	灰岩
方解石	<10	10—25	25—50	>50	>70	>90
石英	>90	>70	>50	25—50	20—10	<10

表3 硅岩、灰岩按晶粒大小划分结构类型

Table 3 Texture patterns of the silicious rocks and limestones according to their crystal grain

结构名称	巨晶	粗晶	中晶	细晶	微晶	隐晶
晶粒大小(毫米)	>1	0.5—1	0.5—0.25	0.25—0.1	0.1—0.01	<0.01

这里我们叫斑团、而不叫其他粒屑是基于以下事实:

(1) 这些团状物多由硅质组成,仅少数由方解石组成,而且也往往是方解石交代石

英的结果,因为斑团内可见到残留的石英和炭质泥质物。方解石交代石英的现象很普遍。(图版 I—2)。

(2) 斑团形状不规则,少数呈蹠状、浑圆状(如图版 I—1),不具任何内部构造,大小多在0.2毫米左右,少数为0.1毫米左右。

(3) 斑团中常混杂着炭泥质物,因此颜色灰暗。炭泥质的存在起着保护膜的作用,使石英重结晶困难,组成斑团的石英晶粒往往比同一块岩石中方解石晶粒要细小得多。

(4) 具有斑团结构的灰岩为硅灰岩,而不是正常的灰岩,斑团结构亦见于本区硅岩中。

对于斑团的认识,有人认为是生物遗体,以此定名为生物灰岩,后经古生物工作者鉴定否定了这一看法。现在我们命名为斑团,显然仍不排除其生物成因的可能,但因斑团含量很少(小于25%),所以不能定名为生物(碎屑)灰岩。考虑到斑团(除成分外)的特征近于团粒,我们认为其成因可能与化学凝聚作用有关。

根据R. L. Folk和G. V. Chilingar等的碳酸盐岩结构—成因分类,把本区具有隐(微)晶结构的硅灰岩定名为泥晶硅灰岩是可以的,但是其中包括一部分由隐晶( $<0.01$ 毫米)硅灰岩经重结晶作用后、粒度多为0.01—0.1毫米的微晶硅灰岩。我们认为对这种硅灰岩用隐晶、微晶结构来描述(表3)较为合适,因为泥晶可以重结晶成假亮晶,但亮晶不同于重结晶。

### 三、对本区硅灰岩成因的认识

从硅灰岩产出的形态、分布、伴生岩石、相变关系和物质组分、结构构造等特点可以说明中志留世本区地壳运动相对稳定,海水较深而平静。据报道<sup>①</sup>虽然在许多环境下都可以形成泥质岩,但主要的还是在深水环境下形成。在野外可以看到硅岩、泥质岩和泥晶碳酸盐岩共生的情况,多呈层状或似层状产出,具水平纹层理、结构很细,并缺少生物(碎屑)成分,由于富含炭质,颜色较暗,这套岩性组合是深水(150或200米以下)环境的重要标志。从硅灰岩中所含微量元素U、Zn、V、Mo、Cu、Ni、Co、Mn、Ba、Sr、P和黄铁矿、有机质(炭质及沥青质)等共生,也反映了当时的沉积环境。这些元素和物质的组合通常是在较封闭的条件下,在还原的或深水缺氧的环境下的沉淀物。

对于上述硅灰岩(体)的形成机理,我们认为不能套用一般的灰岩浅水台地沉积模式,它应是在生物作用参与下以化学沉积为主、在较深而相对稳定的海水中形成的一种岩石序列。在氧化界面以下(缺氧条件)介质能量较低的环境中,含有大量 $\text{CaCO}_3$ 与 $\text{SiO}_2$ 的海水,由于温度升高或 $\text{CO}_2$ 含量减低,首先引起 $\text{CaCO}_3$ 的沉淀;随着pH值减少,便开始沉淀 $\text{SiO}_2$ ;随着溶液性质的改变,又有 $\text{CaCO}_3$ 的沉淀,这种反复进行直至物质供给量不能满足为止。由于溶液中 $\text{CaCO}_3$ 与 $\text{SiO}_2$ 的交替沉淀,沉积物经过成岩作用后形成互层状,“浸染”状的硅岩、灰岩和硅灰岩(体)。关于pH对碳酸钙沉淀时的影响不少人进行过研究,如R. M. Garrels认为: pH对碳酸钙的沉淀基本上起了控制作用, pH的增大导致碳酸钙的沉淀、而酸性环境是不利于石灰岩生成的。然而随着pH的变化,  $\text{CaCO}_3$ 与 $\text{SiO}_2$ 并不是简

① 第二届全国碳酸盐岩学术会议资料

单的对立关系,从克劳斯柯夫(Krauskopf 1956)和冈本(1957)等的资料<sup>(1)</sup>(图3)可以看出有以下几种情况:  $\text{pH} < 7.8$ ,  $\text{SiO}_2$  的浓度  $< 120 \text{ppm}$ ,  $\text{SiO}_2$  与  $\text{CaCO}_3$  均溶解;  $\text{pH} < 7.8$ ,  $\text{SiO}_2$  浓度  $> 120 \text{ppm}$ ,  $\text{SiO}_2$  沉淀,  $\text{CaCO}_3$  溶解;  $\text{pH} > 7.8$ ,  $\text{SiO}_2$  浓度  $< 120 \text{ppm}$ ,  $\text{SiO}_2$  溶解,  $\text{CaCO}_3$  沉淀;  $\text{pH} > 7.8$ ,  $\text{SiO}_2$  浓度  $> 120 \text{ppm}$ ,  $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaCO}_3$  均沉淀;  $\text{pH} > 9$ ,  $\text{CaCO}_3$  沉淀,  $\text{SiO}_2$  溶解。由此可知  $\text{SiO}_2$  与  $\text{CaCO}_3$  的沉淀条件并不是绝对矛盾的,在一定条件下它们也有同一性,该区硅灰岩中方解石和石英相互呈“浸染”状证实了这一点。有人认为现代海水中  $\text{SiO}_2$  测定浓度一般仅  $4 \text{ppm}$ ,化学沉淀是不可能的,但有不少地质学家提出海水中  $\text{SiO}_2$  浓度所以低是因为被硅质生物所吸收,在硅质生物未大量出现之前,海水中的  $\text{SiO}_2$  完全可以达到直接沉淀所需的浓度。所以有些地质学家<sup>(2)</sup>认为有相当一部分层状硅岩、尤其是泥盆纪之前的层状硅岩是由于无机化学沉淀作用的产物。该区硅灰岩基本上反映了上述的形成过程。

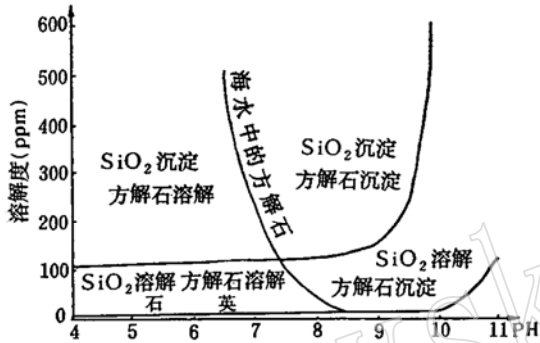


图3  $\text{SiO}_2$ — $\text{CaCO}_3$  溶解度与 pH 的关系

Fig. 3 Relation between the solutilities of  $\text{SiO}_2$ — $\text{CaCO}_3$  and pH

注:图中PH应为pH

硅灰岩中含炭泥的石英斑团是无机化学凝聚作用的产物。现在见到斑团中的石英为隐晶—微晶状,反映出沉淀时的  $\text{SiO}_2$  可能为胶状物质,在海水中它和炭泥物质具有一定的凝聚能力,易于聚集在一起而形成絮凝层状或不规则团状物的沉淀。在成岩过程中以及在后期改造——主要是重结晶作用下,絮凝层状物或团状物和沉淀的碳酸盐一起形成了具斑团结构的硅灰岩。因此硅灰岩总的形成过程是在一个稳定的、海水较深(150或200米以下)的

还原环境下进行的,沉积期的古地理属于封闭—半封闭的盆地,地壳运动有微弱的升降,因此海水有少许动荡,造成硅灰岩中稀疏的斑团有一定的层位分布。

从本区硅岩的成分和结构来看,几乎没有见到生物的痕迹,说明它是非生物成因的。至于硅质的来源我们认为可能与前志留纪火山活动有关,从大量的薄片观察中,可偶尔发现被熔蚀成月牙状的细小石英晶屑。不少研究者如A. П阿尔汉格尔斯等<sup>(2)</sup>,认为泥盆纪以前的沉积岩中,相当一部分  $\text{SiO}_2$  来源于火山活动。 $\text{SiO}_2$  由岩浆带出来后,为变热了的海水从火山灰或熔岩中溶滤出来,经化学沉淀而形成硅岩。该区  $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaCO}_3$  密切共生,反映硅灰岩和硅岩两者在成因上有一定的联系。

本区经轻微变质的泥质岩—板岩,部分泥质来源也可能与火山物质有关。它的主要矿物成分—水云母类很可能是由火山灰(以蒙脱石为主)转化而来。板岩具有良好的水平层理和纹理,说明悬浮的泥质物是在平静而缓慢的沉淀条件下形成的,颜色暗黑(含炭质可达10%)显然是缺氧的标志。

前志留纪的火山活动不仅为志留纪泥(板)岩、灰岩、硅岩的形成准备了物质条件,也为本区铀和其它微量元素提供了来源。从硅灰岩体中铀及 Zn、V、Mo、Cu、Ni、Co 等元素的原始含量随着与前志留纪火山喷发带距离增加而减少这一事实说明了这个问题。铀及其共生元素在硅灰岩体中原始含量很高,一般比其克拉克值高出1—2个数量级。这些元

素经后期构造作用以及地下热水作用,有可能活化迁移并富集于硅岩或硅灰岩的构造裂隙之中形成矿化。由此可见在该区铀矿化的寻找和评价中,对既是生矿体又是储矿体的硅灰岩透镜体的研究是十分重要的。

另外,在野外常见到硅灰岩的一种微薄(纹)层状构造,这种构造在镜下常常是由隐晶、微晶的石英和方解石掺杂着炭泥质组成的条带(纹)构成(图版I—3)。组成条带的微晶方解石(有时更粗一些)或石英有时呈等轴状,显示较完整的自形晶体,彼此呈镶嵌状接触,但没有见到包裹体或仅含微量杂质(炭泥质)。这些都是自生矿物的特点,说明系原始沉积物的极细小的自形晶经重结晶而成。这种具有微薄层理的硅灰岩,在野外有时见到一种奇形怪状的“层理”或“流动痕迹”,有人认为是交错层或斜层理构造。但这些“层理”不仅没有见到层系的互相交切,而且也没有粒度的递变,它只是由于不同矿物成分(硅质和钙质或微量炭泥质)的细层相互的组合,同时常局限在一定的层位内,它的形成可能是成岩过程软沉积物形变的结果。

总之,对该区硅灰岩特征及成因的分析,可以看出它不像生物或其他(粒屑)成因的岩石,而是一种化学沉积的产物。显然它在形成的过程中,有生物(浮游微生物)作用参与,这从硅灰岩中含有较高的有机炭(1%左右)和氨基酸(总量0.02%)说明了这一点。

以上是作者不成熟的看法,衷心希望读者批评指正。本文承蒙中国地质科学院孟祥化教授提出宝贵意见,谨此致谢。

#### 主要参考文献

- (1) 何起祥, 1978, 沉积岩和沉积矿床, 地质出版社。  
 (2) Ф. Б. 丘赫洛夫, 1955, 肖序刚等译, 1965, 胶体矿物学原理, 科学出版社。

## The Characteristics and Origin of Uranium-bearing Silicious Limestones in the Western Section of the South Qinling

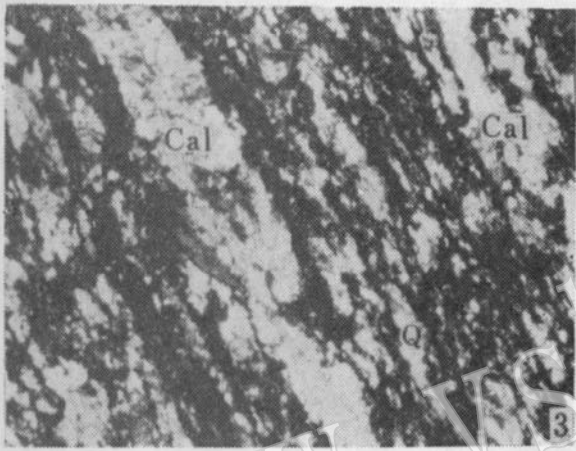
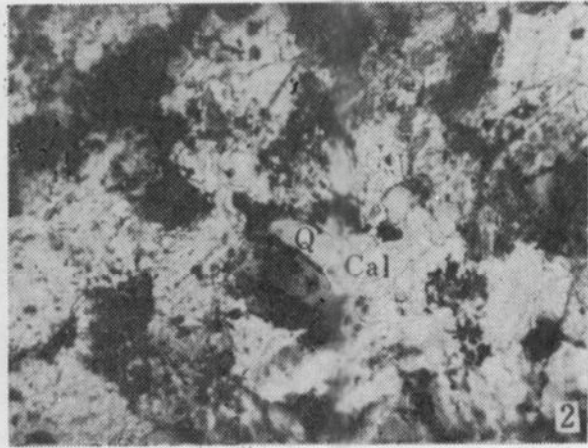
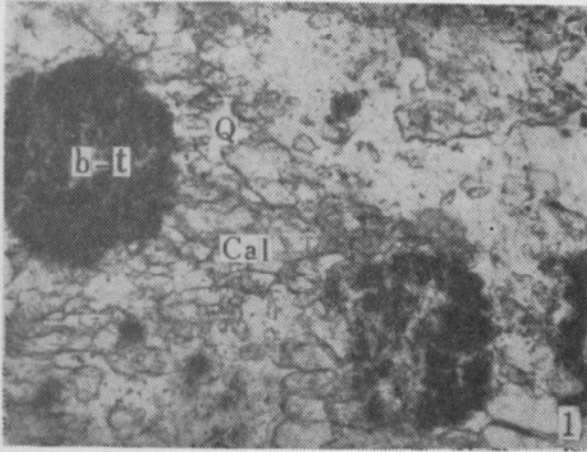
Huang Zhenyu

(Party 217, Northwest Bureau of Geological Exploration,  
 Ministry of Nuclear Industry)

### Abstract

Morphology, distribution, associated rocks, phase relationship, mineral composition as well as texture and structure studies indicate that in the studied region the crustal movement was rather stable and sea water rather deep and quiet in Middle Silurian. The characters of the sedimentary environment are also reflected in such trace elements as U, Zn, V, Mo, Cu, Co, Ni, Mn, Ba, Sr, P and organic substances (carbon and asphaltene) in the silicious limestones.

The assemblage of these elements are usually precipitated in a relatively closed, oxygen-lacking reducing environment. The silicious limestones were formed mainly by chemical precipitation under the function of biota.



图版说明

- I—1 斑团状微晶硅灰岩：斑团（b—t）由含炭泥的隐晶石英集合体组成，基质由重结晶的方解石（Cal）和石英（Q）组成。单偏光， $\times 120$ 。
- I—2 硅灰岩中方解石（Cal）交代石英（Q）的现象。正交偏光， $\times 200$ 。
- I—3 硅灰岩中石英（Q）和方解石（Cal）条带相间出现、组成纹层状构造。结晶较细的石英集合体中掺杂有少量炭泥质物。单偏光， $\times 100$ 。