

西秦岭中志留统“硅、灰、泥岩”型层控铀矿的沉积特征及控矿条件

唐朝晖

曾允孚

(中国科学院地质研究所, 北京)(成都地质学院沉积所)

提要 本文详细研究了西秦岭南带中志留统“硅、灰、泥岩”型层控铀矿含矿岩系的沉积相类型及特征, 查明了本区中志留世各期的岩相古地理特征。着重讨论了铀矿田内控矿的地质条件。

主题词 “硅、灰、泥岩”型层控铀矿 沉积相 古地理 控矿条件 中志留统 西秦岭

第一作者简介 唐朝晖 男 25岁 博士研究生 沉积地质学

一、引言

“硅、灰岩、泥岩”型层控铀矿是指产于由硅质岩、灰岩、泥质岩所组成的特殊岩性组合中的铀矿床。该类铀矿床是我国一类独特的铀矿类型。本区铀矿床则是这类铀矿的典型代表。在该区进行的岩相古地理和控矿条件研究, 对于弄清铀源层的形成背景 and 了解铀矿的成矿规律及指导找矿勘探工作都是很有意义的。

研究区位于西秦岭南带西端, 即扬子陆板块的西北缘和西秦岭造山带的过渡部位。区内次级构造单元是白龙江复背斜, 以白依背斜为核心, 地层及主要构造线呈近东西向展布(图1)。白依背斜核部最老地层为白依沟群, 其时代现归为早震旦世, 主要为一套陆相火山碎屑岩—陆源碎屑岩系。白依背斜两翼依次出露有: 太阳顶群、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系及中生代地层。本区志留系亦称白龙江群。从北向南, 区域上的志留系可分为志留系北带、中带和南带。本文所研究的志留系大致相当于区域上的志留系北带和部分南带志留系。本区志留系出露完整, 按岩性和化石带可分为下、中、上三个统。下志留统主要为深灰色粉砂质板岩、炭质板岩夹薄层、厚层变泥质粉砂岩及硅质岩条带。中志留统主要为陆源细碎屑岩系夹灰岩、硅质岩及板岩。矿田内中志留统分为羊肠沟组、塔尔组和拉垅组(由老到新), 每个组的下段为变泥质粉砂岩、变泥质石英微粒砂岩以及粉砂质板岩、板岩; 上段主要为硅质岩、灰岩、泥质岩(板岩)构成的透镜层。上志留统主要为粉砂质板岩、变泥质粉砂岩、板岩, 上部夹生物灰岩。本区志留系地层的铀背景值都很高(平均约10—15ppm)。铀矿床几乎都分布于中志留统各组上段的“硅、灰、泥岩”组合的透镜层内(厚达数百米, 长度达数公里), 即本文所称的“硅、灰、泥岩”型铀矿。

本区岩浆活动微弱, 与铀矿化无明显联系。

二、沉积相类型与沉积环境

根据区内十余条中志留统含矿层剖面和从西向东以及本区南面的志留系剖面的综合研

究, 可把本区志留系划分为两大相区, 即西秦岭南带西端的局限窄陆棚相区和本区迭部以东的开阔陆棚相区。沉积相的进一步划分见表 1。

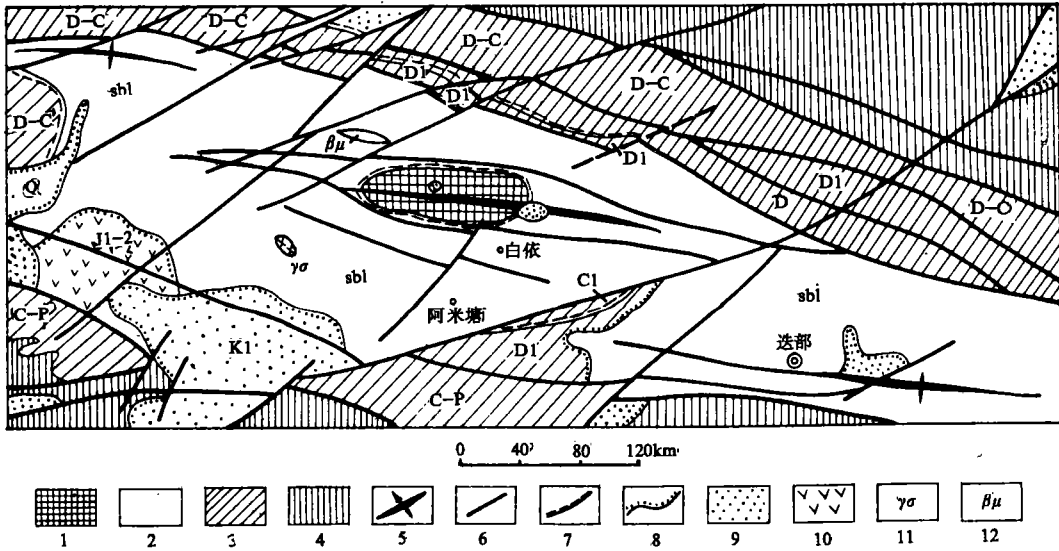


图 1 研究区的地层、构造略图

Fig.1 Sketch map of stratigraphy and geological structures in the study area

表 1 沉积相类型表

Table 1 The types of sedimentary facies

相区	沉积相类型
局限窄陆棚相区	礁相、滩相、礁后泻湖—潮坪相 局限内陆棚相、海湾相
开阔陆棚相区	内陆棚相、浅海沙滩相及外陆棚相

(一) 局限窄陆棚相区

1、局限内陆棚相

见于中志留统羊肠沟组下段、塔尔组下段和拉垅组下段。岩性主要为变泥质粉砂岩、砂质泥质粉砂岩和变泥质微粒石英砂岩, 夹粉砂质板岩、板岩, 局部为粉砂岩与板岩互层。沉积构造不发育, 可见水平层理, 多为中厚层、厚层块状。生物化石缺乏, 可能与环境局限、盐度不正常有关。

2、海湾相

该相分布广泛, 相序上位于局限内陆棚相之上。在矿田内, 海湾相向上过渡为礁滩—泻湖—潮坪组合相。总的特征是, 颜色深、岩性单调, 沉积构造简单, 横向变化小。岩性主要为灰黑色炭质板岩和炭质硅质板岩、粉砂质板岩, 夹薄层变泥质粉砂岩。常见自生黄铁矿晶体。可见水平层理, 生物化石缺乏。

3、礁滩—泻湖—潮坪组合相 (孤立台地相)

在剖面上位于每个沉积旋回的上部, 即中志留统羊肠沟组, 塔尔组和拉垆组的上段。

生物礁相

主要造礁生物有: 层孔虫及少量珊瑚。层孔虫多为球状、半球状及板状(图版 4、7、8)。球状、半球状层孔虫直径多为 2—10cm, 可达 20cm, 代表相对较强的水动力条件, 常出现在礁的核部, 形成障积岩、粘结岩。板状层孔虫代表水体相对较深、能量相对较弱的环境, 呈礁基出现。

珊瑚主要有床板珊瑚、链珊瑚等。在本区西部即矿田内以单体珊瑚为主, 是附礁生物, 与层孔虫一起形成障积岩和粘结岩。在本区东部的迭部县发现有群体生长的珊瑚, 且具抗浪结构, 反映了东部逐渐变为开阔的陆棚环境。

显然, 本区中志留世生物礁生长的环境能量相对较弱, 水相对较深, 这与本区西端处于局限内陆棚环境是一致的。生物礁的类型应为点礁, 是发育在向上变浅的局限内陆棚边缘孤立台地之上和靠陆侧海湾环境中的点礁。表现出生物礁灰岩层厚度横向变化大, 多为大的透镜体、不规则状分布。礁体厚约数米, 侧向延伸约数十米。主要成礁方式是障积—粘结式, 而缺乏抗浪的骨架礁。

本区生物礁多是在滩相基础上发育起来的。礁基为滩相的各种砂屑灰岩、砾屑灰岩。由于藻的粘结作用使碳酸盐质沙滩粘结和少量造礁生物形成礁基。在此基础上, 各种层孔虫、少量珊瑚及附礁生物形成障积—粘结岩。本区生物礁未能充分发育, 随即被浑水淹没(环境变深或陆源物注入)而消亡, 所以礁盖多为泻湖相和海湾相的炭质板岩、粉砂质板岩、粉砂岩等。

滩相

岩性主要为微晶砂屑灰岩、砂屑微晶灰岩(图版 I, 1)和生物碎屑灰岩、砾屑灰岩及鲕粒灰岩(图版 I, 3)。沉积构造发育, 可见平行层理、低角度交错层理及冲刷—充填构造。生物礁顶部的核形石滩, 其中的核形石明显顺层排列。图版 I, 6 为核形石微晶灰岩。在本区东部较开阔环境中的碳酸盐质沙滩相的砂屑灰岩层面上。可见大型流水波痕(图版 I, 5)。

礁后潮坪相

岩性为薄层状微晶灰岩、泥晶白云岩、泥灰岩。可见水平层理。剖面上该相不很发育。

礁后泻湖相

岩性为深灰色、灰黑色微晶灰岩、球粒微晶灰岩(图版 I, 2)和黑色炭质板岩, 夹薄层状、条带状炭质泥晶硅质岩。板岩中常见自生黄铁矿晶体。发育水平层理。可见, 该相为低能还原环境, 并间隙有陆源细碎屑物注入。

发育于孤立台地上的礁滩、泻湖、潮坪组合相在横向上变化很大, 反映了本区中志留世白依水下隆起的微地貌差异, 以及沉积环境快速多变的特征。所以本区含矿层位的硅质岩、灰岩、泥质岩层多为巨大的透镜层分布, 而不是巨厚的稳定的碳酸盐岩层。

(二) 开阔陆棚相区

1、内陆棚相

岩性主要为变泥质粉砂岩、变泥质石英细砂岩等夹板岩。含笔石化石。遗迹化石发育, 以水平虫迹为主, 也可见有斜交或垂直潜穴。砂岩层面上可见小型流水波痕。相序上, 向浅

海沙滩相和外陆棚相变化。

2、浅海沙滩相

本区以其东部阿只沟剖面最发育。图2为一向上变浅的浅海沙滩层序。取该层序中滩上部的砂岩进行粒度分析，粒度分布特征也表明它是浅海陆棚环境内相对较强的水动力条件。

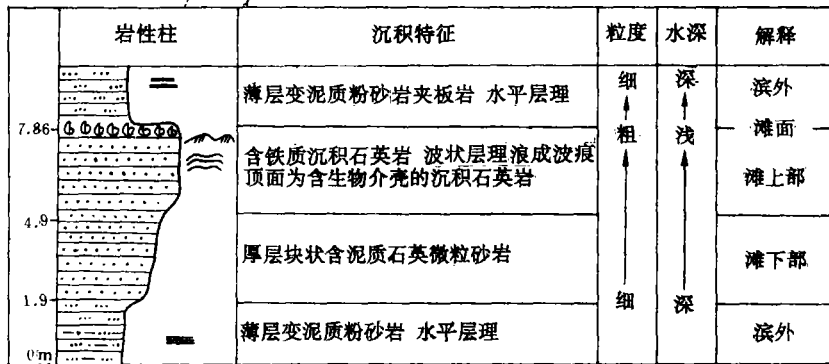


图2 浅海沙滩的沉积层序

Fig.2 The sedimentary sequence of a shoal in neritic environment

3、外陆棚相

岩性以变泥质粉砂岩为主，夹粉砂质板岩、板岩。可见水平层理及小型沙纹层理。含丰富的笔石化石。遗迹化石发育，主要为水平虫迹。该相主要见于本区东部和以北地区，以尖尼沟剖面为代表。

(三) 沉积环境分析

根据区内各期沉积相展布特征，笔者作出了本区早志留世和中志留世成礁期的岩相古地理略图（图3、4）

从图3可看出，早志留世，整个西秦岭南带西端处于局限内陆棚环境，向东至阿只沟一带则过渡为较开阔的陆棚环境，更东和向北则过渡为陆棚边缘和槽盆环境。

中志留世的早、中、晚各期的初期，本区大部仍为局限内陆棚环境（图3）。早、中、晚各期的后期，因白依水下隆起的控制作用，本区南面演化为局限海湾环境；北部地区白依水下隆起的存在，构成一个在局限内陆棚边缘发育起来的孤立台地。因陆源物供给具间隙性，在水下隆起区域出现局部清水环境时，形成了本区特有的礁滩—泻湖—潮坪岩相带（图4）。

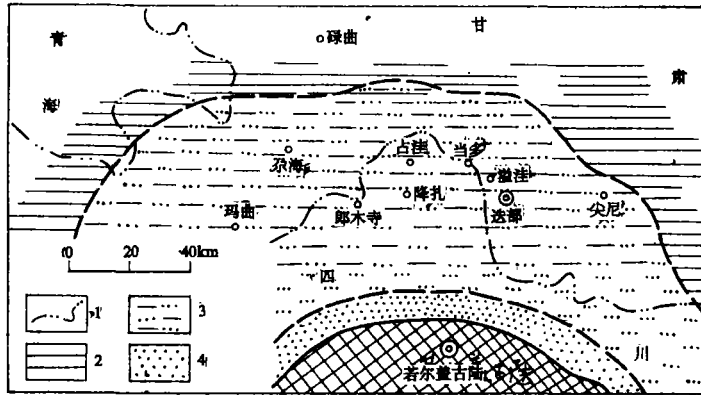
三、控矿的地质条件

研究（张待时，1985）^①表明，本区铀矿床明显受地层和岩相带的控制，成矿物质及矿化剂

①毛裕年，1984，西秦岭南带志留系复成因层控铀矿床初论，四川地质科技（16）。

张占鳌，1986，某铀矿物包裹体研究，成都地质学院30周年校庆论文集（之十三）。

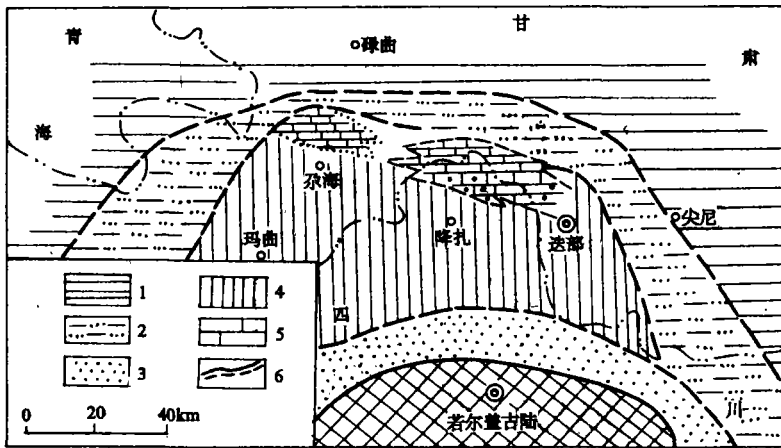
唐朝晖，1987，成都地质学院硕士学位论文。



1、省界；2 深水陆棚（边缘海盆）；3、浅海陆棚；4、滨岸带

图3 早志留地岩相古地理略图

Fig.3 Sketch of sedimentary facies and paleogeography of early Silurian



1、深水陆棚（边缘海盆）；2、浅海陆棚；3、潮坪；4、海湾；5、孤立台地；6、相界线

图4 中志留世成礁期岩相古相地理略图

Fig.4 Sketch map of sedimentary facies and paleogeography during the period of organic reef-generating, Middle Silurian

(碳、硫等)均来自“硅、灰、泥岩”层本身。在成岩和弱变质过程中，只是对中志留世海相“硅、灰、泥岩”层中的铀源层进行调整，还无具工业价值的铀矿床形成。成矿作用发生在燕山期和喜山期，尤其是晚白垩世以后。成矿溶液的性质是受大气降水补给的地下热水溶液。铀矿化富集有利条件是：低—中温（约140℃）、低压（100—500巴）；成矿溶液具低—中盐度（5.6%—16.7%），酸碱度为中性或弱碱性（pH=7.22—7.26）；属重碳酸钙型水，而且相对还原的环境（Eh为-0.384—0.519V）。因此，该类铀矿应是典型的中、低温地下热水溶液改造型层控矿床。

铀矿田内主要的控矿条件可概括为以下几方面。

(一)“硅、灰、泥岩”层的控制

前已述及，矿田内铀矿床明显受中志留统“硅、灰、泥岩”层的控制。这是由其形成于特

殊的沉积环境和特殊的岩性组合所决定的。

(二) 礁滩—泻湖—潮坪岩相带控矿

1. 岩相对铀源层的控制

铀源层形成于礁后泻湖环境,这与其环境条件和地球化学性质有关。由于礁后泻湖环境中,水动力较弱,环境闭塞,低等藻类生物繁殖。生物死亡后下沉水底,在脱硫细菌作用下,微生物发生腐烂分解,产生大量的 H_2S 、 CH_4 和 NH_3 等还原性气体,使环境处于还原状态。而且,环境中还间歇性地有主要为泥质、粉砂质的陆源细碎屑物注入。正是在这种有利于碳酸盐沉积的“清水”条件和间歇性陆源物注入的“浑水”条件相交替的环境中,主要来自陆源的丰富铀源易于被有机质、粘土等吸附或还原沉淀。所以,形成于礁后泻湖环境中的炭质板岩、炭质泥晶硅质岩等都具有很高的原始铀含量^①,如炭质板岩的原始铀平均含量约50—100ppm,最高可达200ppm。

在沉积碳酸盐的清水环境中,因水动力条件较强,缺乏上述的吸附剂和水介质的酸碱度及氧化还原条件,所以较纯的礁滩相灰岩的原始铀含量低(平均约15ppm)。

在靠陆侧的海湾环境中,因环境浊度高(全为陆源碎屑沉积),也难以形成上述礁后泻湖环境中的铀源层。即使其中形成铀含量较高的炭质板岩等,因不具后生成矿条件,也无工业价值的铀矿床形成。

2. 礁滩—泻湖—潮坪岩相带的岩性组合利于后生成矿

(1)“硅、灰、泥岩”层内的滩相砂屑灰岩、生物碎屑灰岩和砾屑灰岩具较高的孔隙度和渗透率。即使成岩硅化作用和重结晶作用可使孔隙度降低,但受后期地下热水溶液的溶蚀作用和构造应力作用,可形成大量的溶蚀孔隙和晶间孔隙。硅灰过渡岩具很高的孔隙度(实测值达15—22)。

(2)“硅、灰、泥岩”层内的碳酸盐岩为成矿溶液提供大量的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- ,使成矿溶液富 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 。对铀源层中呈分散状的铀进行溶滤、浸取,呈碳酸铀络合物迁移,在有利的部位和物化条件下被再吸附或还原沉淀。而且各类岩石分界面处,成矿地下热水溶液与不同围岩反应,易于引起物化条件变化,从而在有利空间成矿。

(3)“硅、灰、泥岩”层的顶部多为厚层硅质岩,底部为薄板状硅质岩。更为重要的是“硅、灰、泥岩”层在横向上和纵向上都是被渗透性差或非渗透性的粉砂质板岩、板岩所包绕,构成岩性—地层圈闭系统。

(4)“硅、灰、泥岩”层内的岩性变化部位,极易产生层间断裂和构造破碎带。硅化灰岩因性脆易于产生裂隙,为后生成矿提供良好的导矿与储矿空间。

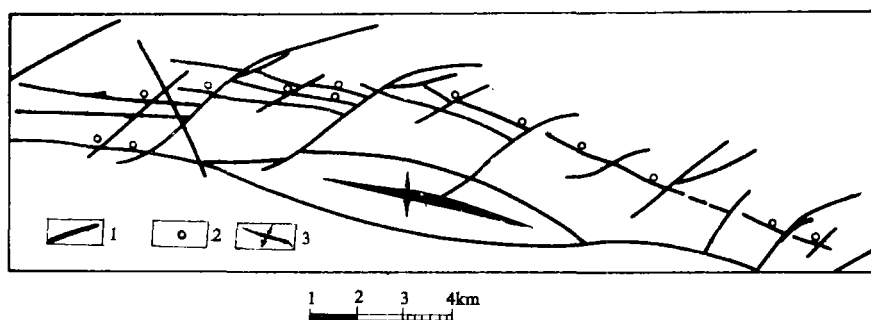
(三) 断裂构造控矿

“硅、灰、泥岩”层内层间断裂发育,构造破碎带和派生裂隙是良好的储矿空间。因此矿床明显沿断裂带分布(图5)。北东向断裂和近东西向层间断裂交汇部位的北西侧是矿床定位的最佳位置。这是由于北东向断裂斜切近东西向层间断裂,局部形成地堑、地垒式断块,在下陷的地堑内形成汇水凹陷而有利于铀矿化富集。

(四) 矿床的保存条件

本区自中、晚更新世新构造运动开始,地壳抬升幅度增大,伴随青藏高原的抬升而成为

^①岩石的原始铀含量系指铀铅平衡计算的结果。



1、断裂构造；2、矿床（点）；3、背斜

图 5 矿田内断裂构造与矿化关系示意图

Fig. 5 The generalized map showing the relations of faulting structures and mineralization in the orefield

青藏高原东北隅的一部分。此后，地下热水溶液成矿作用基本结束，先成的矿床开始遭受破坏，因此，矿床的保存条件同样是一个重要的控矿条件。

晚更新世以来，本区新构造运动表现为东抬西稳，白龙江溯源侵蚀加聚，形成了本区自西向东的地貌差异：平坦—丘状高原、高原与高山峡谷过渡带、中等切割的高山峡谷带等单元。矿床标高也自西向东逐渐降低。显然，自西向东矿床的破坏程度加强，即矿田东部矿体保存条件较差。多遭淋蚀和破坏，西部矿体保存条件较好。当然矿床的保存条件还应考虑到沟谷的切割深度和两侧山脊的覆盖厚度。

四、主要结论

1、在矿田内中志留统含矿层位发现的生物礁和其它的“浅水”标志，使笔者对本区志留纪岩相古地理面貌的认识大为改观。志留纪时，西秦岭南带属于扬子西北缘若尔盖微古陆北侧的边缘海环境，其西端为局限内陆棚环境。因白依水下隆起的存在，中志留世时，在局限内陆棚环境内发育孤立台地，形成了礁滩—泻湖—潮坪岩相带。向东逐渐变化为开阔陆棚至半深海环境。

2、本区中志留世多次发育的礁滩—泻湖—潮坪岩相带控矿明显。此外，断裂构造和矿床的保存条件也是重要的控矿条件。

野外工作期间得到川西北地质大队毛裕年、闵永明工程师以及罗磷、文锦明、郭强等的大力帮助。成文过程中得到成都地质学院张锦泉、林文球、刘岫峰副教授和夏文杰、李汉瑜教授及李秀华老师的热情帮助，同时还得到中国科学院地质研究所孙枢教授和李继亮研究员的支持与帮助。谨致谢意！

收稿日期 1988 年 1 月 4 日

参 考 文 献

- (1) 刘宝君、曾允孚主编，1986，岩相古地理基础与工作方法，地质出版社。

- (2) 李建林等, 1987, 西秦岭白依沟群的沉积环境及其时代的探讨, 矿物岩石, 第2期7-15页
- (3) 中国地层委员会, 1964, 中国的志留系, 科学出版社。
- (4) 秦锋、甘一研, 1976, 西秦岭古生代地层, 地质学报, 第1期。
- (5) 傅力溥等, 1983, 西秦岭的志留系, 地层学杂志, 第7卷, 第4期。
- (6) 黄广荣、庞玉惠, 1985, 华南地区碳酸盐型层控铀矿的岩相控矿作用, 南岭地质矿产文集, 第1集, 地质出版社。
- (7) 张待时, 1985, 硅质岩和灰岩中铀矿床的稳定同位素研究及矿床成因, 国际地质交流文集5, 地质出版社。
- (8) 北京铀矿地质研究所, 1982, 碳硅泥岩型铀矿床文集, 第68-78和78-84页, 原子能出版社
- (9) Wilson, J. L., 1981, 的地质历史中的碳酸盐相 (中译本), 冯增昭等译, 地质出版社
- (10) Maynard, J. Berry, 1983, Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits, Springer-Verlag New York,

SEDIMENTARY CHARACTERISTICS AND ORE-CONTROLLING FACTORS OF “SILICEOUS ROCK-CARBONATE ROCK-MUDROCK” TYPE STRATABOUND URANIUM DEPSITS OF MIDDLE SILURIAN IN WEST QINLING RANGE

Tang Zhaohui Zeng Yunfu

(Institute of Geology, Academia, Sinica) (Chengdu Collegy of Geology)

Abstrace

“Siliceous rock-carbonate rock-mudrock” type stratabound uranium deposits refer to those occurred in special lithologic formations consisting mainly of siliceous rocks, carbonate rocks and mudrocks. Presently this kind of ore deposits is one of the unique types of uranium deposits in China

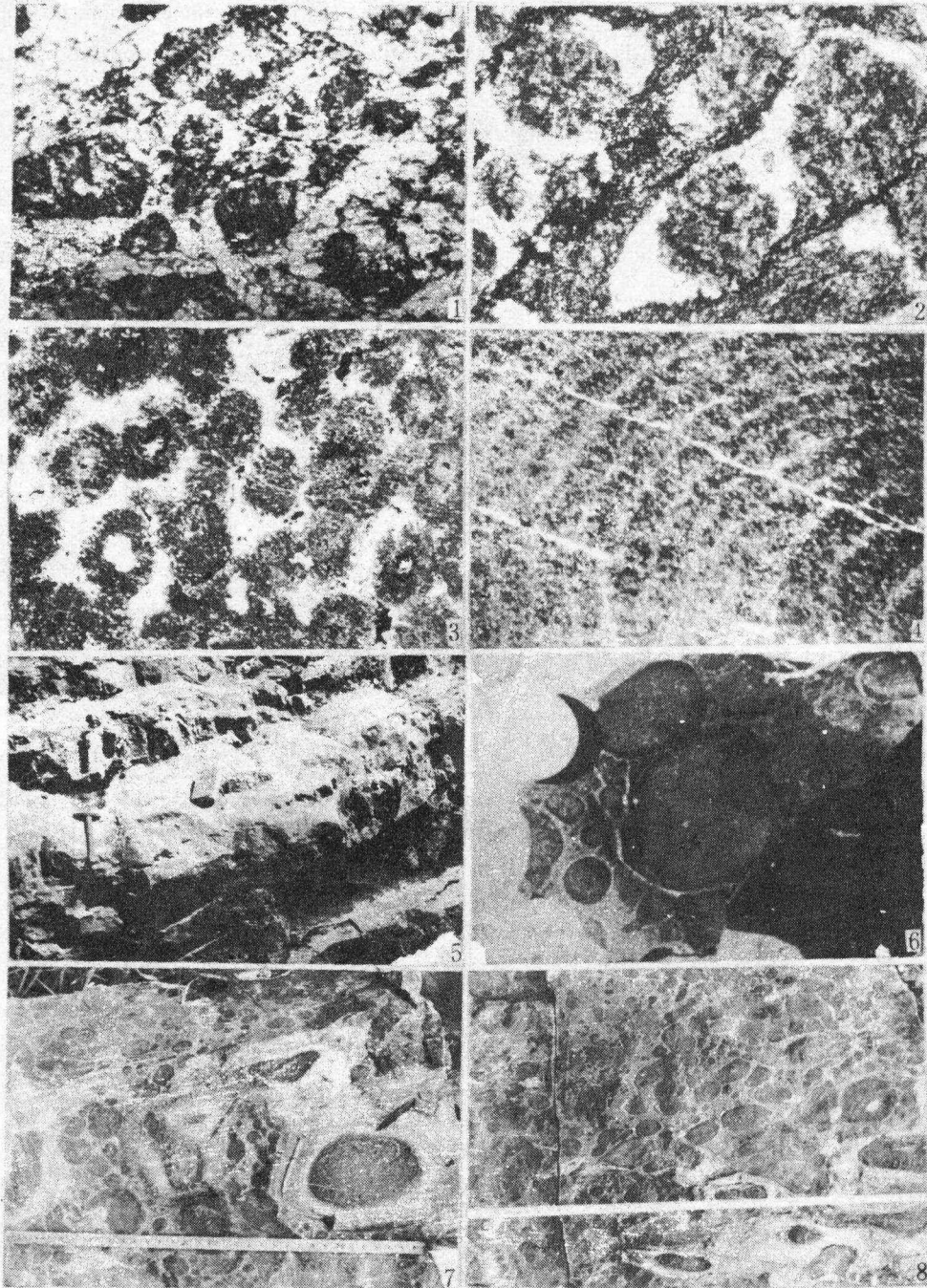
The Silurian in this area is also called Bailongjiang Group which is a suit of fine-grained terrigenous clastic rocks such as siltstone, mudstone and sandstone, interbedded with siliceous rocks, and carbonate rocks. The Middle Silurian series of orefield in the area can be fallen into three: Yangchanggou Formation, Taer Formation, and Lalong Formation. The lower part of each formation consists of fine-grained terrigenous clastic rocks, the upper part of each formation consists of siliceous rocks, carbonate rocks and mudrocks. Almost all of the uranium deposits are occurred in the strata of siliceous rocks, carbonat rocks and mudrocks, upper part of each formation of Middle Silurian.

According to the comprehensive research of sedimentary facies of Silurian, two facies areas have been recognized: the restricted shelf facies area in western region, and the open shelf facies in eastern region. The former can be subdivided into: restricted inner shelf facies, gulf facies, and the complex of organ. reef/shoal facies and tidal flat/lagoon facies (isolated platform facies). The latter can be subdivided into: inner-outer shelf facies, and the neritic shoal facies. As a result of discovering of *Stromatopora* organ

ic reef and other “shallow-water” criteria, a entirely new view of lithofacies and paleogeography of Silurian in this area has been obtained. In Silurian, it should belong to a marginal neritic environment in north of deep sea environment believed by earlier authors. Because of the existence of Baiyi subaqueous uplift, a isolated platform was developed in the restricted inner shelf environment during the reef-forming period of Middle Silurian, and formed the special complex of organic reef / shoal facies and tidal flat / lagoon facies. Eastwardly, it was a open shelf to sub-deep marine environment in this period.

The uranium deposits are obviously controlled by the strata and lithofacies. Both the uranium sources and mineralizer came from the strata of siliceous rocks, carbonate rocks and mudrocks. It can be concluded that the uranium deposits in this area are typical stratabound deposits reformed by midium-lower temperature hydrothermal solutions based on the nature of ore-forming solutions, the physico-chemical conditions and the metallogenic epoch. The ore-controlling factors for the uranium deposits are mainly as follows:

- (1) The strata of “siliceous rock-carbonate rock-mudrock” of Middle Silurian.
- (2) The complex of organic reef / shoal facies and tidal flat / lagoon facies, the main roles include:
I. the lagoon facies is favourable for forming of uranium sourcebeds, II, the lithologic formations in the complex is favourable for enrichment of uranium during the metallogenic processes.
- (3) The uranium deposits in the orefield are almost distributed along the nearly EW faulting structures.
- (4) The preserval conditions of uranium deposits.



1 结晶砂屑灰岩, 单偏光, $\times 22.6$; 2 球粒微晶灰岩, 单偏光, $\times 22.6$; 3 硅化鲕状微晶硅质岩, 残余藻鲕结构, 原岩为微晶鲕粒灰岩, 单偏光, $\times 3.2 \times 2.5$; 4 球状层孔虫的内部纹层结构, 5 砂屑灰岩层面上发育的大型流水波痕; 6 核形石微晶灰岩, 7 生物礁灰岩, 8 层孔虫礁灰岩, 其中伴有部分核形石。