

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

四 矿床与矿产

第 13 号

西秦岭硅灰泥岩型铀矿

毛裕年 闵永明

(四川省地质矿产局川西北地质大队)

地质出版社

序

硅灰泥岩型铀矿床是我国的一种重要铀矿床类型，它在其他一些产铀国家，如加拿大、美国、南非、澳大利亚、法国却并不发育。这是由我国特定的地质发育历史和地壳演化历史所决定的。硅灰泥岩型铀矿床是多阶段成矿的产物：早期沉积时有铀的一定富集，但常未能成矿；晚期在一次或多次地壳活动中，铀被活化转移富集而成矿，主要成矿期略晚于最后一幕的地壳运动。当然，这只是硅灰泥岩中常见的铀成矿方式，还有其他方式。

因此，很自然，总结硅灰泥岩型铀矿床的地质背景、沉积环境、成矿规律、成矿机制、成矿模式的任务便天经地义地落在中国铀矿地质工作者的肩上，而首先为我国硅灰泥岩型铀矿作出重要贡献的四川省地质矿产局川西北地质大队，在此项总结中花一番力气、出一些成果便十分合乎情理了。

这本书便是我国硅灰泥岩型铀矿第一个突破区——西秦岭硅灰泥岩型铀矿床的总结。它通过细致的工作，明确地提出了区域地质发育与铀矿床富集的关系；它阐述了铀富集的古地球化学和古水文条件；它建立了初步的但却是较完整的矿床成因概念及成矿模式；它还提出了找矿方向和成矿远景区。

硅灰泥岩形象地概括了这一特定铀矿床类型的含矿岩石组合，其中“硅”和“灰”可能更重要一些。硅岩和灰岩（或碳酸盐岩）的岩石学、地球化学及成因研究在近20年来有了突飞猛进的发展。油气藏的开发推动了对碳酸盐岩的了解，而深海地质工作使人们对硅岩有了完全翻新的认识，过去认为，后者主要是浅海生物化学沉积，而现在则倾向于将它作为海水下渗加热淋溶岩石的产物，当然也存在其他较次要的成因模式。

硅灰泥岩是铀矿地质界近30年来的习惯用语。同样的岩石组合及它所反映的地质背景、沉积环境、成矿特点、矿石元素组合、围岩蚀变等，对金矿床来说，便十分类似于所谓卡林型金矿了。无独有偶的是，我国几乎和美国地质工作者同时，即本世纪60年代初分别在十分类似的地质背景、岩石及元素组合下发现了硅灰泥岩型铀矿和卡林型金矿，甚至，二者的成因及成矿模式都颇具相似性。当然，也有差异，可以说二者是大同小异的。

从二者的相似性来看，本书会起着“一石二鸟”的作用，即作为硅灰泥岩型铀矿床的总结同时也探讨了卡林型金矿的某些重要侧面。祝愿它的出版将进一步推动我国铀、金找矿事业和理论研究的向前发展。

涂光炽

1988年4月27日

前 言

铀为亲石元素,化学性质十分活泼,在很多地质条件下都可以形成工业铀矿床。世界上目前已发现的铀矿成因类型多达20余种,但具有重要工业意义的只有砾岩型、不整合脉型、脉型、砂岩型、钙结岩型、火山岩型、白岗岩型和铜-铀-金型。不包括南澳近期发现的铜-铀-金型矿床在内,砂岩型、不整合脉型、砾岩型和脉型四种类型铀矿,约占西方世界铀矿总储量的90%。另据Rebertson统计,有近80%的铀矿其赋矿主岩与沉积岩有关,其中属后生方式所形成的铀矿则约占总储量的30%^①。

我国已发现的铀矿类型中,除花岗岩型、火山岩型、砂岩型铀矿以外,产在硅灰泥岩中的层控铀矿,已成为我国的“四大铀矿类型”之一。这类铀矿是国外较罕见、国内外研究较薄弱的一种铀矿类型。

西秦岭志留系硅灰泥岩型层控铀矿,具有品位较富、易采、水冶性能良好、又有多种伴生组分可供综合利用等一系列优越条件,而且铀矿化成群结带密集分布,构成了我国重要的西秦岭南亚热带铀成矿带。20多年来所开展的铀矿普查勘探,主要局限在该成矿带西段的若尔盖铀矿田范围内,业经查明大中型和小型铀矿床多处。而且从已建矿山的采冶经济效益来看,尽管存在地处高原、气候寒冷、交通不便和时间利用率低等不利因素,但产品的单位成本仍能居于国内同行业的中上水平,因而可望成为我国重要的核燃料生产基地之一。

自60年代后期开始,本区在开展铀矿普查勘探工作的同时,对诸如地层、构造、岩浆活动和成矿地质作用等方面,都进行了大量的研究工作,积累了丰富的地质资料。与此同时,为加速铀矿的普查勘探,又有许多单位或研究部门,从不同侧面开展了专题研究,获得了颇多的研究成果。如:

中国科学院地球化学研究所著有“1—9号工作简报”(1966—1971年)、“西秦岭火山硅岩型铀矿成矿特征”(1972年)、“西秦岭构造运动特征及其与铀矿化关系”(1976年)和“南秦岭西段与铀有关的硅灰岩体”(1977年)等研究报告。

中国地质科学院矿床地质研究所著有“510矿区一矿段成矿控制因素及矿床成因”(1968年)、“南秦岭西端志留纪地层中淋积型铀矿及成矿特征”(1973年)、“512矿区三矿段铀矿床的矿化特征和成矿条件”(1973年)和“南秦岭地下水铀矿床成矿条件和找矿方向”(1975年)等研究报告。

核工业部北京铀矿地质研究所著有“512矿床的地质特征”(1975年)、“510地区碳硅泥岩型铀矿床硫同位素研究”(1977年)、“利用U-Pb同位素体系对南秦岭西段硅灰泥岩型铀矿床成矿机理的初步研究”(1979年)、“512矿区三矿段硅岩型矿石和灰岩型矿石物质成分特征”(1981年)和“南秦岭西段硅灰泥岩型铀矿床形成机理的探讨”(1981年)等研究报告。

① 引自核工业部“铀矿地质简讯”(1983)

此外,中国地质科学院西安地质矿产研究所与地质力学研究所、核工业部五所、甘肃第十实验室、广东第九实验室、甘肃地矿局区调队、甘肃地矿局第五地质队和核工业部217地质队等单位,都曾为本区的地质、构造等基础地质和矿石物质成分等方面的研究做过大量有益的工作。

通过20多年来的生产实践与科学研究,对西秦岭志留系层控铀矿获得了如下比较一致的认识:志留纪同生沉积及其后成岩作用,形成了含铀丰度值较高的铀源层;在成岩期后和随后的褶皱变质过程中,铀的赋存状态有所改变;成陆之后的后生地质作用,致使含矿层中的铀活化迁移,进而富集形成工业铀矿床。

尽管对同生沉积形成铀源层的认识是统一的,但是,对形成铀源层环境和铀的后生富集成矿作用,认识却很不一致。概括而言,有如下六种主要论点:

1. 变质分异论:区域褶皱变质作用,导致铀产生变质分异而富集成矿;工业富集成矿发生在华力西期至印支中期^①。

2. 挤压浸出论:认为矿源层中的铀被浸出并富集成矿,主要受控于构造活动所产生的挤压作用。成矿时代有的认为是印支期伴随褶皱的构造挤压^②;有的则认为是燕山期叠加的构造挤压^③。

3. 地下水淋滤论:成陆之后矿源层裸露地表遭受地下水的淋滤作用,铀被携带至氧化还原界面附近淋积富集成矿^④。

4. 地下水热液论:与第三种论点的根本分歧在于认为成矿介质具有一定的温度,铀的工业富集是在低温的条件下进行的。然而,对地下水热液活动的方式,仍存在着“上升”与“下降”的分歧看法^⑤。

5. 岩浆热液叠加论:铀源层主要是受岩浆热液的改造而引起铀的工业富集^⑥。

6. 表生氧化论:铀源层遭受表生淋滤作用,致使铀产生氧化富集,形成残积或继积型铀矿。成矿发生在晚近年代^⑦。

显而易见,建立在成矿作用不同分析基点上的找矿战略和建立在不同成矿模式前提下的找矿思路,势必都会有较大的差异。因此亟待开展“西秦岭硅灰泥岩型层控铀矿成矿条件”的深入分析与研究。该项目被列入地质矿产部“六五”期间的科学技术发展计划,研究工作由四川省地质矿产局川西北地质大队铀矿专题研究组承担。课题负责人毛裕年,先后不同程度参加专题研究的人员有:闵永明、蒲邦德、陈宗瀛、谢光成、徐光清、罗磷、郭强和文锦明等同志。

研究工作的主要任务是:在加强基础地质工作的前提下,详细研究志留系含矿岩系及其划分;弄清含矿岩组的具体层位和它们的岩相古地理条件;阐明后生成矿的时代、期次和成矿机理以及铀的活化、迁移与富集规律;建立硅灰泥岩型铀矿的成矿模式;探讨成矿的地质条件,完善找矿标志和分析找矿方向,从而更好地指导普查找矿,更有效地指导

① 甘肃地矿局区调队, 1973年

② 中国地质科学院地质力学研究所, 1975年

③ 中国科学院地球化学研究所, 1976年

④ 中国地质科学院矿床地质研究所, 1973年

⑤ 核工业部北京铀矿地质研究所, 1981年

⑥ 甘肃地矿局区调队, 1973年

⑦ 甘肃地矿局第五地质队, 1980年

“攻深找盲”和探边摸底，以期发现和探明更多新的铀矿产地，并对铀矿地质理论作出积极贡献。

在以往研究工作的基础上，选择以下三个方面作为本项研究的重点内容：（1）弄清志留系含矿岩系和中志留统含铀岩组的岩相古地理环境，即阐明形成铀源层的条件和铀沉积富集的机理；（2）查明在矿源层基础上铀产生大规模活化迁移进而富集成矿的物理化学条件和成矿机理；（3）分析研究铀矿床的保存条件，即晚第三纪末以来新构造运动的基本特征。

整个研究工作自1982年开始，历时5年。首先编制和论证了项目设计，继而采用野外观察研究为主，伴以各种地质资料的补充收集、矿山回访、样品采集与测试等手段，在获得大量第一性资料的基础上，认真进行了室内整理和综合分析，于1986年底编写出该项目的研究报告。1987年3月上旬由我国著名的地球化学专家、学部委员涂光炽教授为首组成的评审委员会，对本项研究成果进行了全面细致的审阅评定。

本书——《西秦岭硅灰泥岩型铀矿》，就是在《西秦岭志留系硅灰泥岩型层控铀矿成矿地质条件》研究报告的基础上，略加适当的修改、补充和调整而编写而成的。本书除第三章由闵永明执笔外，其余各章均由毛裕年执笔编写。

目 录

第一章 成矿区域地质构造背景.....	(1)
第一节 区域地球物理场背景.....	(4)
第二节 区域地壳演化与铀的矿化活动.....	(6)
第二章 铀矿床基本地质特征.....	(14)
第一节 两类不同的铀矿床.....	(14)
第二节 铀矿体及其产出特征.....	(14)
一、自然铀矿体.....	(15)
二、工业铀矿体.....	(18)
第三节 矿石的物质组成及结构构造.....	(20)
一、矿石矿物组成.....	(21)
二、矿物共生组合及矿石结构构造.....	(31)
三、矿石的化学成分.....	(34)
第三章 含铀岩系及铀沉积富集机理.....	(36)
第一节 含铀岩系的沉积特征.....	(36)
一、剖面结构.....	(36)
二、沉积环境浅析.....	(37)
第二节 含铀岩带及其岩石特征.....	(45)
一、碳酸盐岩类.....	(45)
二、硅岩类.....	(51)
三、硅钙质过渡岩类.....	(55)
四、板岩类.....	(55)
五、关于硅岩成因的探讨.....	(56)
第三节 含铀硅灰岩带的沉积相.....	(59)
一、沉积相主要特征.....	(59)
二、沉积演化及沉积相模式.....	(62)
第四节 同生沉积富铀机理的初步探讨.....	(65)
第四章 铀的后生成矿机理及成矿概念模式.....	(71)
第一节 成矿时代的讨论.....	(71)
第二节 成矿溶液的来源及其性质.....	(76)
第三节 成矿的物理化学条件.....	(78)
一、矿物包裹体的一般特征.....	(78)
二、成矿温度.....	(78)
三、成矿溶液的盐度.....	(80)
四、成矿压力.....	(81)
五、成矿溶液的成分及pH值和Eh值.....	(82)
第四节 成矿物质的来源.....	(86)

第五节 后生成矿机理的初步分析	(95)
一、铀的活化迁移	(96)
二、铀的沉淀富集	(97)
第六节 累积富集成矿的概念模式	(102)
第五章 后生成矿地质条件的探讨	(104)
第一节 中生代至新生代地质构造演化的基本特征	(104)
第二节 后生成矿时期的古地貌及其变迁	(108)
第三节 成矿水文地质地球化学	(110)
一、成矿的水文地质条件	(110)
二、成矿的水文地球化学	(113)
第四节 古气候的变迁与成矿的关系	(115)
第六章 新构造运动与矿床的保存条件	(118)
第一节 地貌单元及其分区	(118)
第二节 新构造运动的基本程式	(119)
第三节 矿床的保存条件	(121)
结 语	(124)
图版及图版说明	(126)
主要参考文献	(141)
英文摘要	(142)

CONTENTS

CHAPTER 1. GEOLOGICAL AND STRUCTURAL ENVIRONMENTS

OF THE METALLOGENIC PROVINCE (1)

1. Regional geophysical setting..... (4)
2. Crustal evolution of the metallogenic province and mineraliza-
tion of uranium..... (6)

CHAPTER 2. PRINCIPAL CHARACTERISTICS OF THE URANIUM

DEPOSITS (14)

1. Two types of U deposits..... (14)
2. U orebodies and occurrence features of them..... (14)
 - (1) Natural types of uranium orebodies..... (15)
 - (2) Industrial uranium orebodies (18)
3. Compositions, textures and structures of uranium ores..... (20)
 - (1) Mineralogical compositions (21)
 - (2) Parageneses, textures and structures (31)
 - (3) Chemical compositions (34)

CHAPTER 3. URANIFEROUS ROCK SERIES AND MECHANISM

OF U DEPOSITION, AND CONCENTRATION..... (36)

1. Sedimentological features of uraniferous rock series..... (36)
 - (1) Structures of sedimentary sections..... (36)
 - (2) Analysis of sedimentary environments (37)
2. Uraniferous rock formations and their petrography..... (45)
 - (1) Carbonate rocks (45)
 - (2) Siliceous rocks..... (51)
 - (3) Calcic-siliceous rocks..... (55)
 - (4) Slate rocks (55)
 - (5) Genesis of siliceous rocks, discussion (56)
3. Sedimentary facies of uraniferous siliceous rocks and carbonate
rocks (59)
 - (1) Main features of sedimentary facies..... (59)
 - (2) Sedimentary evolution and models of sedimentary facies..... (62)
4. Mechanism for syngenetic-sedimentary U concentration, discus-
sion (65)

CHAPTER 4. MECHANISM OF EPIGENETIC U MINERALIZATION

AND CONCEPTUAL MODEL OF MINERALIZATION..... (71)

1. Metallogenic epoch (71)

2. Source and nature of ore-forming solution.....	(76)
3. Physico-chemical conditions of mineralization process.....	(78)
(1) General features of fluid inclusions in minerals.....	(78)
(2) Mineralization temperature	(78)
(3) Salinity of ore-forming solution.....	(80)
(4) Mineralization pressure.....	(81)
(5) Components, pH and Eh of ore-forming solution.....	(82)
4. Source of ore	(86)
5. Preliminary analysis of mechanism for epigenetic mineralization.....	(95)
6. Conceptual model of mineralization through superposition and accumulation	(102)
CHAPTER 5. GEOLOGICAL CONDITIONS FOR EPIGENETIC MINERALIZATION	(104)
1. Fundamental characteristics of geological and structural evolution in Meso-Cainozoic era	(104)
2. Palaeogeomorphology during epigenetic mineralization and its changes	(108)
3. Hydrogeology and hydrogeochemistry of metallizing process.....	(110)
(1) Hydrogeology of metallizing process	(110)
(2) Hydrogeochemistry of metallizing process.....	(113)
4. Palaeoclimate changes in relation to mineralization	(115)
CHAPTER 6. NEOTECTONIC MOVEMENTS AND PRESERVATION CONDITIONS OF ORE DEPOSITS	(118)
1. Geomorphological units and their division.....	(118)
2. Fundamental process of neotectonic movements.....	(119)
3. Preservation conditions	(121)
CONCLUSION	(124)
PLATES AND DESCRIPTIONS OF THEM	(126)
REFERENCES	(141)
ABSTRACT.....	(142)

第一章 成矿区域地质构造背景

本区的区域构造位置,按照传统地质学的观点,归属于秦祁昆复杂构造带中的秦岭东西向褶皱带。秦岭褶皱带之北,经祁连加里东褶皱系而与华北地块相接;其南东及南西侧,分别紧邻扬子地块和甘孜-松潘印支褶皱带;其西属柴达木构造带南侧的东昆仑-华力西褶皱带(图1)。

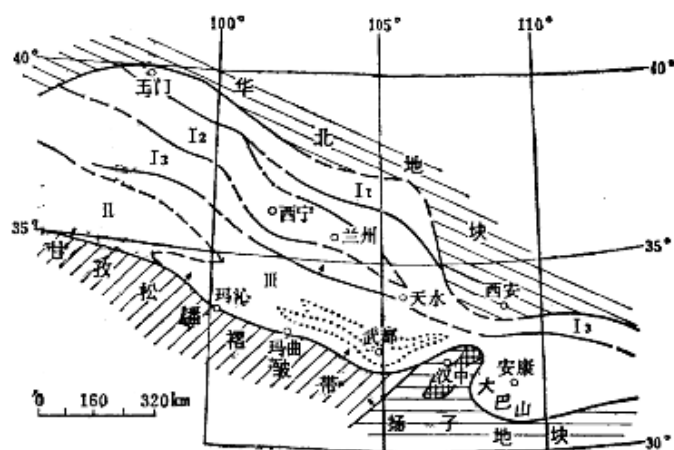


图 1 区域构造示意图

Fig. 1. Regional tectonic sketch map.

I. 一北祁连褶皱带; I₂—中祁连隆起; I₃—南祁连褶皱带; II—柴达木构造带; III—秦岭褶皱带(其中由点线圈定的范围为白龙江复背斜区); 扬子地块中方格圈定的范围为汉南杂岩区

秦岭褶皱带大体以天水经成县至武都一线为界,分为东秦岭和西秦岭两部分。西秦岭则又进一步分为北亚带(华力西褶皱带)和南亚带(印支褶皱带)。南亚带的主体部分为冒地槽性质的以古生界为主所组成的白龙江复背斜。

铀成矿带位于西秦岭南亚带(或称南秦岭西段),东起宝成铁路西迄杂海,横跨陕、甘、川三省,东西全长320余公里。铀矿化的层位有寒武系、奥陶系和志留系等。西秦岭志留系硅灰泥岩型层控铀矿,产于白龙江复背斜西段次级白依背斜的北翼。若尔盖铀矿田位于该成矿带的西端。

白依背斜核部由白依沟群(震旦系)组成,它是西秦岭迄今所发现的最古老的变质地层。背斜的南北两翼分别依次出露有太阳顶群(寒武-奥陶系?)、白龙江群(志留系)和泥盆系、石炭系和二叠系。三叠系则分别出露于白龙江复背斜的南北两侧。侏罗系和早白垩统为断陷构造盆地型沉积,零星不整合分布在古生界之上。自晚白垩世至第三纪缺失沉积(图2)。

白依沟群为陆相火山碎屑—正常碎屑沉积岩系,厚度大于2000 m。太阳顶群主要为

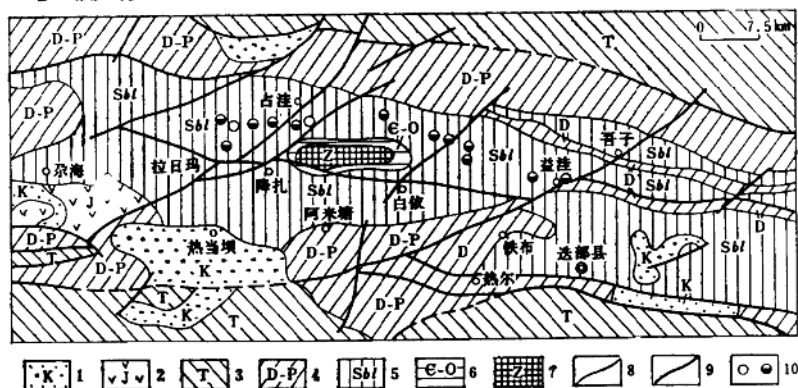


图 2 铀矿田地地质略图

Fig. 2. Schematic geological map of the U field.

1—白垩系；2—侏罗系；3—三叠系；4—泥盆系—二叠系；5—志留系白龙江群；6—寒武系—奥陶系；7—震旦系；8—地质界线；9—断层；10—铀矿床（空心圆与半实心圆示意矿床规模大小）

局限陆棚环境所形成的巨厚层状硅质岩夹粉砂质板岩和炭质板岩，金和铀的含量均较高，厚为150 m左右，是本区重要含金岩系。

西秦岭南亚热带志留系的厚度达5000—9000 m，铀含量较高，为地壳同类岩石克拉克值的3—6倍。从矿床形成过程的角度将志留系称为含铀岩系，对其中赋存铀矿床（点）的地层组、段，相应称为含铀岩组和含铀岩段；对赋存铀矿体的岩石组合，则统称为含铀岩带，并依据不同的赋矿岩石组合，分为含铀硅岩带和含铀硅灰（泥）岩带。其中以早志留世含铀硅岩带和中志留世含铀硅灰泥岩带为最重要。志留纪时期，本区总体处于局限内陆棚的沉积环境，含铀硅灰泥岩组合属于海湾（泻湖）—滩后潮坪—礁滩组合相沉积环境。

白依背斜北翼的泥盆系、石炭系和二叠系以次稳定的碳酸盐台地相沉积为主；背斜南翼的上古生界则以河流三角洲相及海陆交互相沉积为主。三叠系厚度大于10000 m，为类复理石碎屑沉积，分布在北侧的洮河复向斜区和南侧的巴西复向斜区。侏罗系为陆相火山岩及煤系沉积。下白垩统则为河湖相红色磨拉石沉积（图3）。

白依背斜的主体走向为280°左右，背斜向东西两端倾伏。两翼地层的倾角较陡，多数在70°左右。南翼局部地段的地层产状发生倒转。

由一系列走向断裂组成的白龙江断裂带横贯本区，断裂带的宽度达10 km左右。北东向横断裂也较发育，多斜切走向断裂。两者呈菱形格状展布。

区内岩浆岩不发育，主要有加里东末期的辉绿岩脉、华力西期花岗闪长岩株、华力西—印支期英安斑岩脉以及燕山早中期以安山岩为主的陆相火山岩等。

矿田内的铀矿床按照赋矿岩石的组合和赋矿层位的差别可以分为两类。第一类铀矿床产于太阳顶群或下志留统之中，赋矿主岩为含铀硅岩夹炭质板岩（或称含铀硅岩带）。该类铀矿床的主要特征是品位低、规模小，矿体形态产状极不规则，由地表向下延深不远矿体急剧尖灭，而且几乎全为露头矿，是矿田内次要的铀矿类型。另一类铀矿床产于中志留统的三个含铀岩组之中，赋矿主岩为含铀的硅岩、灰岩和炭质板岩构成的岩石组合（或简

地 层 单 位	厚度 (m)	柱状图	岩 性 简 述	主要化石	沉积环境	重要矿产	备注
白垩系 (K)	热当坝	1700	砾岩、砂岩、泥质岩, 夹少量薄层淡水灰岩		河湖相		未变质
侏罗系 (J)	财宝山	1500	砾岩、砂岩、火山岩, 夹数层煤		湖、沼泽、河流相	煤矿	
三叠系 (T)	西康群	大于1000	砂岩、板岩、灰岩、白云岩		海相		局部
二叠系 (P)	上统	600	灰岩、泥质岩、白云岩	笔石	海相		浅
	下统	500	灰岩, 上部夹粉砂岩				
石炭系 (C)	上统	700	灰岩夹泥质岩、粉砂岩薄层				
	中统	350	灰岩、生物灰岩	珊瑚、腕足	海陆交互相		变质
	下统	1800	灰岩夹少量白云岩				
泥盆系 (D)	上统	1200	灰岩、泥灰岩、生物灰岩				
	中统	1600	灰岩、礁灰岩, 仅底部为砂板岩	珊瑚、腕足	海陆交互相	铁矿	
	下统	1200	白云岩夹板岩, 仅白依背斜南翼上部为河流三角洲相砂砾岩				
志留系 (S)	白龙江群	1900	砂岩、板岩夹灰岩透镜体 (含铀岩组)	腕足、珊瑚			浅
	中白龙江亚群	1000	砂岩、板岩夹硅岩、灰岩透镜体 (含铀岩组)		海湾 (泻湖) 潮坪 礁滩组合相	铀矿	变质
	塔儿组	2400	上部为板岩夹硅岩、灰岩透镜体; 下部为砂岩夹板岩 (含铀岩组)				
	羊肠沟组	1300	上部为板岩夹硅岩、灰岩透镜体; 下部为砂岩夹板岩 (含铀岩组)	笔石			
	下白龙江亚群	2600	中上部为粉砂岩、板岩夹硅岩透镜体; 下部为板岩、硅岩互层 (含铀岩组)				
奥陶系 (O)	太阳顶群	150	巨厚层状硅质岩		海相	金矿	
震旦系 (Z)	白依沟群	大于2000	晶屑凝灰岩、熔结凝灰岩、含花岗岩砾石沉凝灰岩及少量板岩、砂岩层		陆相	金矿	

图 3 西秦岭南亚热带地层柱状简图

Fig. 3. Schematic stratigraphic column of the south subbelt, West Qinling Fold Belt.

称含铀硅灰泥岩带)。该类铀矿床的主要特征是品位较富,规模大小悬殊,矿体群分段集结,受断裂构造的控制明显,主矿体具有较大的延长和延深,盲矿体较多,是矿田内主要的铀矿类型。上述两类铀矿床的工业意义虽有差别,但成矿的过程却具有某些共同的特征。也就是说,它们都是在同生沉积铀源层的基础上,经受后期不同地质作用的改造形成的。

总体而言,西秦岭南亚热带早期(前寒武纪末期)的大陆地壳曾一度处于相对较稳定的状态,除早震旦世局部接受陆相沉积外,较长期处于隆升和遭受剥蚀的背景;可能自早寒武世兴凯期,沿白龙江古断裂拉张而产生裂陷,在前寒武纪褶皱基底上,开始接受局限陆棚环境的早古生代沉积;受加里东末期祁连运动回返的影响,现今的白龙江一带,整个晚古生代正好处于南陆北海的分界地带;华力西末期,伴随北秦岭和东昆仑褶皱,西秦岭南亚热带缓慢隆起呈狭长半岛状伸展在特提斯大洋之中;中三叠世末期西秦岭全面造山,最终结束海相沉积历史;自晚三叠世至中新世,则全面演化为断块活动时期。铀矿床的形成无疑与上述几个时期的地质构造环境有着必然的内在联系。

第一节 区域地球物理场背景

沿白龙江断裂带有两条近东西向展布的一级磁特征线,向东西两端分别与东秦岭和东昆仑南侧的东西向一级磁特征线相接,显示了以纬向为主导的磁场特征。即由东西向延伸较长的磁梯度带,构成南北两个不同类型磁场的分界。一级磁特征线通常相当于切穿壳层(30—70 km)岩石圈断裂的磁场特征。也就是说,依据地球物理资料,白龙江断裂带应该是东昆仑-南秦岭深断裂的一个组成部分。本区的南侧,大体沿东经 102° 左右,存在近南北向的一级磁特征线,向南则与康滇南北向磁特征线断续相连,表明以经向为主的磁场已波及本区,即大体以尕海和共和等中生代盆地,构成西秦岭与东昆仑的地质分界。本区的东侧,即在东经 105° 以东尚有北西向一级磁特征线与东西向一级磁特征线相切。可见以祁连为代表的磁特征线主要影响武都以东的地区。

从1:100万航磁 ΔT_a 剖面平面图中可以明显看出,区内以东西向磁梯度带为界,其南以平缓的正磁场为背景,其北以平缓的负磁场为背景。从白龙江断裂带南北两侧磁场背景的差异,可以推断该断裂带曾经是不同地质构造单元的重要分界,甚至可能影响着本区地质历史的演化。

沿白龙江磁梯度带,断断续续分布有规模大小不等的航磁正异常。迭部以西有两个明显的航磁正异常。一个分布在铁布至降扎地段,规模为 $60 \times 20 (\text{km}^2)$,长轴呈NW 295° 方向延展;另一个分布在尕海之北东,规模为 $40 \times 7 (\text{km}^2)$,长轴呈NW 320° 方向延展。上述两个航磁正异常表明该地段有磁性体存在(图4)。磁场反演计算的结果同样显示出,迭部以西地段,紧挨白龙江断裂带的北侧,存在两个视磁化率接近 $1000 \times 10^{-6} \text{ C. G. S. M}$ 的弱磁性体。其位置、形状及走向均与原平面航磁正异常基本一致,但分布范围则远比原平面航磁正异常要大。因此,可以认为具有弱磁性的火山岩或岩浆岩,延深至地壳一定深度后,较之原平面航磁正异常具有更大的规模。

近东西向展布的一级重力特征线,与东西向磁力特征线一样横贯本区,向东西两端与东秦岭和东昆仑南侧的一级重力特征线相比,本区段一级重力特征线的位置略向北推移约

造环境, 并影响中生代地质构造演化;

4. 与邻近地块的地壳结构可能存在的联系, 表明不同的地质历史时期, 本区曾不同程度地先后卷入过不同地块的活动。

第二节 区域地壳演化与铀的矿化活动

按照板块活动论的观点, 开裂形成的新生大洋, 随后可以渐次收敛演化为关闭; 俯冲消亡或碰撞所增生的大陆, 随后还可以演化为拉张开裂。西秦岭南亚热带曾经前后不同程度分别从属或卷入过扬子古板块、秦祁昆古板块和青藏板块的活动。也就是说, 西秦岭南亚带的地质发展史, 可以概括分为前寒武纪、古生代及中生代等三个主要的时期。

(一) 前寒武纪时期(扬子板块)

扬子及其前期, 按传统观点是古中国地块的形成时期。即前震旦时期, 包括康滇在内的扬子古板块总体处于造壳阶段。后由晋宁主幕运动, 伴随大规模的岩浆活动, 使其最终固结形成周边活动而本身稳定的大陆板块。扬子古板块北西边缘所出露的大洋型斜长花岗岩以及由钾长花岗岩和花岗斑岩等组成的活动大陆边缘型钙碱性系列岩浆杂岩带, 其宽逾50km。它是晋宁前期古洋板块自北西向南东俯冲的过程中, 由幔源型岩浆岩逐步演化为壳源型花岗岩系列的产物。

本区白依背斜核部的下震旦统白依沟群, 其中陆相复成分砾岩中的砾石, 主要也是斜长花岗岩、花岗斑岩和钾长花岗岩等岩浆岩, 与出露在古板块西缘的岩浆岩组合十分相似。斜长花岗岩砾石中锆石的U-Pb年龄为1420Ma左右; 花岗斑岩砾石中锆石的U-Pb年龄为1005 Ma左右^①。白依沟群砾岩中的花岗质砾石, 基本代表了若尔盖微古陆的主要岩石组成, 它们是扬子古板块晋宁期结束洋壳阶段并演化为陆壳的过程中, 由扩张演化为收敛闭合的构造阶段所形成的岩浆杂岩。

早震旦世时期, 地处扬子古陆北西边缘的西秦岭南亚热带, 则形成了陆缘山弧构造环境的白依沟群陆相英安质-流纹质火山碎屑-正常碎屑岩系。英安质凝灰岩Rb-Sr等时线年龄为738.59Ma左右^②。

依据古地磁资料, 华南下震旦统分布于南纬70°以南的高纬度地区, 广泛分布有冰碛层, 生物群落面貌与澳大利亚和南极东部地区十分相似。因此, 推断华南及东南亚板块可能是冈瓦纳大陆的一个组成部分, 于晚元古代末期从冈瓦纳大陆分离并向北漂移而来的。正是由于华南板块向北漂移, 并与华北陆块发生碰撞和对接, 才成为古中国地块的形成时期。

如上所述, 不管是前寒武纪时期活动大陆边缘挤压环境形成的钙碱性系列岩浆杂岩, 还是早震旦世引张环境形成的以弱碱性为主的陆相火山(碎屑)岩, 其中之大多数应是陆壳部分重熔作用的产物。由大陆地壳重熔形成的钾长花岗岩和花岗斑岩等岩浆杂岩和早震旦世英安质或流纹质凝灰岩, 其含铀量通常可达10ppm, 少数高达20ppm。陆壳的重熔作用使铀在酸性岩浆岩中产生初始富集, 为随后长期的风化剥蚀奠定了物源基础, 继而又为沉积提供充沛和稳定的陆源碎屑形式的铀源。众所周知, 由铀的变价地球化学特性所决

① 锆石U-Pb年龄由成都地质学院测试中心测定

② 英安质凝灰岩Rb-Sr等时线年龄由成都地质学院测试中心测定

定, 铀的聚集经常与大陆地壳的发育情况相联系, 铀的矿化活动经常是在洋壳和陆壳发展到一定阶段之后才产生; 引起陆壳改造的过程, 通常就是铀产生矿化活动的过程。因此对铀而言, 西秦岭早期的地质历史, 实质上也正是铀产生初始富集的历史。

(二) 古生代时期(秦祁昆板块)

华南板块与华北板块对接, 华南型大陆地壳更趋稳固。曾从属于扬子板块北西边缘的西秦岭, 自古生代早期的兴凯旋回开始, 逐步被卷入秦祁昆古板块, 成为华夏(欧亚)古大陆南缘的一个组成部分。

介于华北与华南两板块之间的由裂陷活动形成的秦祁昆裂谷系, 其东段(东秦岭)的初始阶段, 可能仅仅是由陆内逐步发展成为陆间的裂谷; 其西段则已成为秦祁昆古板块的海沟或扩张洋中脊, 仅局限于祁连一带。中寒武世至早奥陶世, 祁连一带的地幔上隆, 成为最主要的扩张阶段, 形成了近20000m厚的细碧角斑岩系。中奥陶世开始, 秦祁昆古板块向华北古陆加剧俯冲。受向北俯冲的影响, 西秦岭南亚带处于大洋地壳与大陆地壳过渡的部位, 从而奠定了被动大陆边缘的构造背景, 并致使早古生代总体处于陆缘海地位。

如前所述, 由扬子古板块西缘近南北向的破裂开始, 致使碎块向西漂移而离开母体, 从而导致陆壳碎块成为小型的具中间地块性质的若尔盖微古陆, 它是大陆分离和大洋扩张过程中所残留的大陆块体。从若尔盖块体边缘所保留的早二叠世地层及其化石判断, 应从属于华南-扬子型建造, 因而应该是扬子古板块的组成部分。在拉张裂陷过程中, 若尔盖块体的北缘产生更次级裂陷, 致使由白依沟群组成的更小的陆壳碎块又向北漂移, 成为西秦岭早古生代陆缘海盆中具残留碎块性质的水下岛链。受其影响, 西秦岭南亚带早古生代的太阳顶群和白龙江群总体处于局限的陆棚环境, 其西段则为较封闭的海湾(泻湖)环境(图5)。古海湾中的海水相对较平静, 生物大量繁殖, 沉积物中富含有机质、 Al_2O_3 和 P_2O_5 , 从而有利于吸附铀。

早古生代晚期, 西秦岭海湾总体呈现西浅东深的格局。海湾的西端可能迄止玛曲一带, 北有障壁南为古陆。故该铀矿田所处的环境较封闭还原。往东则逐渐过渡为开阔陆棚

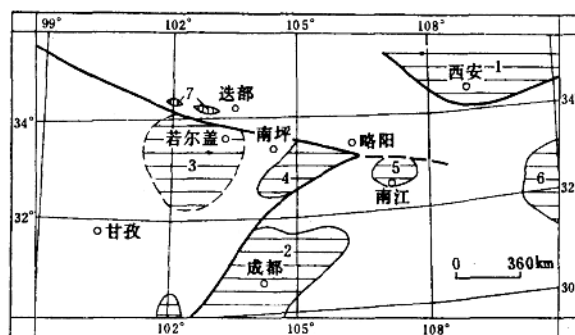


图 5 西秦岭及邻近地区志留纪古地理略图

Fig. 5. Schematic palaeogeographic map of West Qinling and neighboring regions during Silurian period.

- 1—华北古陆; 2—川中古陆; 3—若尔盖微古陆; 4—祁连古陆; 5—汉南古陆; 6—两郛古陆;
7—白依水下隆起

乃至广海,环境开阔而富氧,以底栖类生物为主。西秦岭南亚热带西段中志留世时期形成的含铀岩组,属于海湾(泻湖)—礁后潮坪(障壁潮坪)—礁滩相环境。最富铀的沉积物都形成于礁后潮坪(障壁潮坪)和礁滩坪环境。

加里东末期,祁连褶皱回返,祁连至北秦岭一带成为华北古陆增生的镶边。受早泥盆世中期的祁连褶皱回返的影响,西秦岭南亚热带总体处于拉张状态,表现为区域性隆起和上下地层之间的平行不整合。即早泥盆世中期大体以白龙江南缘断裂为界,形成南北分野的局面。其北继承海相沉积,但早泥盆世早期普通沟组与晚期杂拉组为假整合接触;其南为陆相沉积区,早泥盆世晚期至中泥盆世早期为以河流三角洲—滨岸潮坪为主的沉积。也就是说,早泥盆世晚期,现今白龙江一线恰好是若尔盖古陆北缘海陆分界地带。祁连回返加剧了若尔盖古陆北缘的拉张状态,地幔产生局部上拱隆升,大体沿白龙江北断裂带,有大规模的岩浆侵入,辉绿岩(K-Ar稀释法年龄为369—390Ma)呈岩床状侵入至中志留统含铀岩组之中^①。

华力西期间继承了南北分野的局面。白龙江断裂带以北,整个晚古生代均为次稳定的浅海碳酸盐台地相,其南则总体处于海陆交互相,并为成煤时期。此外,受地壳振荡的影响,白龙江断裂带南侧的下石炭统与泥盆系间呈超覆不整合;中、上石炭统之间和上石炭统与下二叠统之间均具沉积间断;上、下二叠统间为明显的沉积间断。显而易见,华力西时期,白龙江断裂以南均处于动荡变迁的滨岸带部位。

晚二叠世末即华力西末期,秦岭北亚热带收敛加剧并褶皱隆起,华北古陆再度增生。西秦岭南亚带的白龙江一带随之呈狭长半岛状缓慢隆起。该半岛状隆起带之北为以华力西褶皱为基底的洮河张裂海槽,隆起带之南为古地中海(特提斯)大洋,玛曲至琼海一带成为海峡。早—中三叠世时期古地中海的海水经海峡与洮河等海槽相通。

与北秦岭华力西末期褶皱回返的同时,沿东昆仑南侧的深断裂带,部分三叠系与古生界呈角度不整合接触。洮河张裂海槽在接受以陆壳为基底的早—中三叠世陆表海碎屑沉积之后,于印支中期率先回返成陆。

距今约240Ma的华力西末期,欧亚(华夏)古大陆最终形成,秦祁昆板块的演化历史已基本结束,西秦岭从此逐步卷入青藏板块的活动。距今约210Ma的印支中期,青藏板块对西秦岭的影响进一步加剧并使其最终成陆。始自240Ma迄至210Ma期间,是西秦岭遭受变质和变形的时期。成生和发展于华力西末期,定型于印支中期的区域褶皱和变质变形,使含铀岩石中的矿物不同程度地产生动力重结晶作用,其中尤以石英的重结晶最为显著;同时导致组成矿物的元素发生重新分配和重新组合。对本区含铀岩系中产出特征不同的硅岩进行测定和计算得出的应力差值(表1)表明,古应力差为40MPa左右时即出现铀矿化;古应力差达90MPa左右时一般已属铀矿石。铀的矿化程度与应力差值明显呈正相关关系,即随着古应力差值由小变大,铀矿化由贫变富。但是,上述相关关系的前提必须是含铀岩石,如采自白依背斜南翼非含铀硅灰岩带的硅岩,虽然古应力差值也高达90MPa,却没有出现铀矿化。

沉积成岩阶段,以生物胞腔等形式存在于矿物颗粒内部的铀以及有机质等杂质,伴随重结晶作用的持续进行,颗粒中心部分的铀和有机质等则被析离出去,排挤至石英颗粒之

① 辉绿岩K-Ar年龄由成都地质矿产研究所测定