

外生铀矿床成矿铀质来源与 资源评价若干问题

陈 功

(北京铀矿地质研究所)

内容提要 概述了外生铀矿床的基本特点,即近源、浅成、层控、有机萃取、多阶段成矿、多种成因类型。根据成矿作用和矿床成因,把外生成矿的铀质来源分为:1.同生铀源;2.再造铀源;3.后生铀源等三类。着重讨论了外生铀矿资源评价的若干问题,即铀源岩石的原始铀丰度及活化丢失情况;花岗岩类铀源岩的岩石化学标志;各种铀源地质体形成的大地构造背景;外生铀矿成矿省、成矿带的评价准则。

主题词 外生铀矿床 铀质来源 原始铀丰度 构造背景 沉积建造 铀资源评价

作者简介 陈功 男 55岁 高级工程师 铀矿地质

二十四年前,叶连俊教授发表的《外生矿床陆源汲取成矿论》〔1〕,总结了外生矿床成矿理论研究的现状,根据我国外生矿床的时间性和空间性规律,含矿岩系、沉积建造特征等,提出了崭新的成矿理论概念:陆源风化壳,经海解汲取成矿物质淀积成矿。这一新的外生成矿说,概括了外生矿床成矿的全过程,说明了成矿物质主要来自陆源风化壳,详尽地论证了成矿物质的海(陆)解作用,成矿的物理化学条件和成矿机理。

叶教授关心铀矿地质工作,给予热情指导,他在沉积学、沉积矿床学等方面的成就,对铀矿地质工作的影响是深远的。1982年作者在庆祝中国地质学会成立六十周年中、新生代地质讨论会上宣读的论文《我国中、新生代陆相沉积盆地铀矿的成矿条件及成因模式探讨》〔2〕,就是陆源汲取成矿论在铀矿地质方面的实践和发展情况的记录。值此叶连俊教授从事地质科学工作五十周年之际,笔者仅以《外生铀矿床成矿铀质来源与资源评价若干问题》这篇短文表示祝贺。

一、外生铀矿床的基本特点

笔者把产于沉积岩建造、火山碎屑沉积岩建造中的、成因与之密切相关的、经风化作用、沉积成岩作用,以及成岩期后地下水或地下水热水淋滤作用等所形成的铀矿床称之为外生铀矿床。根据外生成矿的铀质来源和成矿机理,可把此类铀矿床的基本特征概括如下几点。

1. **近源** 地壳上所有的铀矿床,不论其成因如何,都产于铀源丰富的地质背景之中。外生铀矿床则更加要求“近源”的地质背景,这种富铀的地质背景由多种多样的铀源地质

体构成。含矿岩系或不整合于铀源地质体之上,或与隆起剥蚀的铀源地质体相毗邻,或者含矿岩系本身就是矿源层等。外生铀矿床近源的特点,决定于铀在表生带氧化环境中活泼,在还原环境中不活动的性质,它不要求远距离搬运,而是在铀源地质体附近的还原环境中沉积富集。

2. 浅成 这是外生铀矿床最基本的一个特点,它决定于外生成矿的全过程,包括铀源地质体风化壳的形成,沉积物质、成矿铀质的搬运、沉积、成岩作用,地下水、地下水热水淋滤作用等,都是在地壳表生作用带环境中进行的。

3. 层控 所有外生铀矿床的形成和分布,都受一定时代地层的控制,与该地层的岩相、建造和古气候有密切的成因关系,并具有多层位、多建造的特点〔2、3〕。即便是沉积后生铀矿床,铀的活化迁移和沉积再造等成矿作用,都被限制在该建造的沉积岩相带范围内进行。

4. 有机萃取 这是有机质控制铀沉积富集的生物地球化学特征〔4、9、10〕有机质包括腐植质、石油质及其衍生物,如 CH_4 、 NH_3 、 H_2 、 H_2S 、腐植酸、沥青、碳化植物残体、褐煤等,通过吸附作用、离子交换作用、还原作用、络合-螯合作用等,直接或间接地控制着铀的沉积和富集成矿。

5. 多阶段成矿 外生铀矿的成矿作用,一般都有两个大的成矿阶段:1)陆源汲取成岩成矿阶段。2)成岩期后改造(再造)成矿阶段〔2、5〕。如美国格兰茨砂岩型铀矿带,原生(成岩)板状矿体形成于139—148百万年;卷状再造矿体94—100百万年;堆状再造矿体10百万年或更年轻〔8〕。

6. 多种成因类型 由于外生成矿铀质来源的多源性,成矿岩相建造的多样性,以及成矿作用的多阶段性等,必然导致多种成因类型铀矿床的形成〔2、3〕。根据成矿铀质来源与成矿机理,把外生铀矿床分为如下三种成因类型。

I. 成岩矿床 海相黑色页岩、磷块岩、陆相砂岩、含煤碎屑岩等。

II. 淋积矿床 或称地下水改造矿床(表生再造矿床)如美国卷型矿床〔9〕,苏联层间氧化带型矿床,以及我国碳酸盐建造中的岩溶型矿床等。

III. 沉积改造矿床 或称地下水热水改造矿床(地下水热液矿床)如受断裂与沉积岩相建造复合控制,围岩蚀变明显的碳硅泥岩型矿床、砂岩型矿床等〔2、3〕。

二、外生铀矿床成矿铀质来源

成矿铀质来源问题,是当前许多国家开展铀资源评价研究方面的重要课题。近二十年来,铀矿床同位素地质年代学和铀-铅同位素体系研究,在成矿铀质来源、成矿作用及演化规律等方面取得了许多内容非常丰富的成果(Nash, J. T. 等1981; Stuckless J. S. 等, 1978; Казанский, Б. И等, 1978)。作者根据成矿作用与矿床成因,把外生成矿的铀质来源分为如下三种类型:

1. 同生铀源

这是成岩成矿的铀质来源,它是来自不同构造旋回形成的、长期处于隆起剥蚀的、富铀花岗质岩层大陆风化壳,以及与沉积建造同期喷发的流纹质火山碎屑沉积物,经海

(陆)解汲取成矿铀质,直接参与成岩成矿,形成成岩型铀矿床,或称同生铀矿床。

2.再造铀源

这是沉积改造成矿的铀质来源,它是同生铀质经成岩作用形成的富铀地层,或称铀(矿)源层。如碳硅质岩、磷块岩、层凝灰岩等,经后期地质改造,铀活化迁移参与再造成矿,形成沉积改造型铀矿床。

3.后生铀源

这是后生成矿的铀质来源,可以分别来自上述富铀花岗质杂岩或富铀地层构成的基底岩系,经大气降水或地下热水浸取参与后生成矿,形成后生铀矿床。

上述几种成矿铀质来源,在地壳中的分布是不均匀的,时间控制非常明显,如富铀花岗质杂岩和富铀地层,主要见于前寒武纪地块,具有区域性分布特点,并且在元古代形成了一些规模巨大的铀成矿省。古生代和中生代形成的富铀花岗岩类和铀源层,主要见于地槽褶皱带,具有地区性分布特点,并且在晚古生代和晚中生代形成了一些地区性铀成矿省、成矿带。由此可见,按成矿作用与矿床成因划分铀质来源类型,掌握其时、空分布特点,对于铀成矿省,成矿带的识别很重要。

三、外生铀矿资源评价若干问题

1.铀源岩石的原始铀丰度

研究铀源岩石的原始铀丰度,是铀资源评价、定量预测的基础和根据。以往对铀源地质体的评价,是根据源岩的实测铀丰度和模拟铀浸出率,如果被研究的源岩含铀量高(比如 $>10\text{ppm}$),浸出率也高(比如 $>60\%$),就认为该地区铀源条件良好。实际上这种方法片面性较大,因为没有考虑到源岩形成后,各种地质作用的改造对铀活化丢失的影响。

现在人们根据铀源岩石的U-Pb同位素体系研究,应用铀铅同位素演化的连续增长模式,分别计算出源岩成岩时的初始铀丰度,以及成岩以后遭受各种地质作用改造铀活化迁移的得失量,为铀资源评价和定量预测提供了科学依据^[3]。表1列举了我国一些地区铀源地质体岩石的原始铀丰度及活化得失计算结果。

根据表1计算结果与美国怀俄明盆地铀成矿省前寒武纪花岗岩类铀源岩的比较研究,笔者确定了铀源岩石原始铀含量及活化丢失两项评价参数,作为外生铀矿资源定量评价的依据(表2)。

2.铀源岩石化学特征

我国花岗岩类铀源地质体,从晚太古代、元古代、古生代到中生代都有发现,既是内生成矿的铀质来源,也是外生成矿的铀质来源。因此,研究此类铀源岩的岩石化学特征,确定一些反映岩石成因和铀预富集的化学参数,可作为铀源地质体定量评价的根据。

我国研究程度较高的一些铀成矿省,大量的岩石、地球化学研究成果表明,U与W、Sn、Be、REE、Nb、Ta等金属矿床,同属一个壳源型岩浆成因系列岩石。岩石共生组合为黑云母花岗岩、二云母花岗岩为主,有钾长花岗岩、二长花岗岩、斜长花岗岩

表1 铀源岩石原始铀含量及活化得失

Table 1 Initial content and activation gain or loss of Uranium in source rocks

铀源地质体	时代	样品铀含量 (ppm)	原始铀含量 (ppm)	铀得失 $\Delta U\%$	资料来源	
华南花岗岩类	γ_1	6—8.5	13.4—49.6	-56~-91	李耀霖等(1984) ^①	
	γ_2	1.8—28.78	45—160	-74~-86	李耀霖等(1981) ^②	
华南磷、硅、泥岩	Z	1066	170—350	+170~+330	朱杰辰(1981) ^③	
	t	11.75	22.69*	-30~-80	黄世杰等(1985)[4]	
西北含磷硅灰岩	S ₁	10—40	30—340*	-30~-80	据夏毓尧(1976) 六个样品计算 ^④	
怀俄明盆地	花岗岩山	γ_1	3.82	20—50	-80~-92	据Stuckless, J.S.在花岗岩山口头介绍的记录(1982)
	拉拉米山	γ_1	4.79	5—20	-4~-76	
	猫头鹰溪山	γ_1	11.79	5—10	+135~+17.9	
	温德河山	γ_1	3.32	1—10	+76~-64.8	

* Pb同位素组成为发射光谱测定, 未加* 者为质谱测定。

+表示得到铀, -表示丢失铀。

①地球化学, 1985, 第1期, p.20—25

②北京铀矿地质研究所年报, 1981, p.55—61

③放射性地质, 1981, 第3期, p.201—207

④《利用U-Pb同位素体系对硅灰泥岩型铀矿床成矿机理的初步研究》(研究报告)

表2 铀源评价参数

Table 2 Parameters of Uranium source evaluation

铀源条件	原始铀丰度(ppm)	铀活化丢失(%)
最佳铀源	>20	50—90
中等铀源	10—20	80—50
贫铀源	<10	<50

等。花岗岩类铀源岩的基本特征是, 岩浆分异演化充分, 富 SiO_2 、 K_2O ($\text{K} > \text{Na}$), Al过饱和和贫CaO, 高分异指数, 负 δEu 异常的偏酸性系列岩石。

根据华南地区产铀花岗岩的大量岩石化学分析数据¹⁾, 经过一系列岩石化学图解, 和 $\delta\text{Eu}-\text{SiO}_2$ 、铀Eu-Na/K、 $\delta\text{Eu}-\text{DI}$ 、Th/U-DI、Th/U-LREE/HREE……等

1) 戎嘉树等, 1985, 《全国花岗岩晶质铀矿普查报告》

表 3 花岗岩类铀源岩岩石化学参数

Table 3 Parameters of chemical petrology of Uranium source in granite

(1) $\delta Eu < 0.65$	(5) $DI > 75$
(2) $SiO_2 > 70\%$	(6) $Th/U < 3.5$
(3) $\frac{K_2O + Na_2O}{K + Na} > 7\%$	(7) $\Sigma REE < 3.5 ppm$
(4) $Na' < 1.1$	(8) $LREE/HREE < 11$

相关分析, 确定了一些参数值的上限或下限, 作为评价花岗岩类铀源岩的岩石化学参数(表 3)。

3. 铀源地质体构造背景

铀和其他亲氧元素一样, 如 W、Sn、Be、Nb、Ta、REE 等, 它们在地壳中的富集和分布, 与地壳的演化成熟度密切相关。许多产于古老地块及其边缘褶皱带的世界级铀矿床, 如 Au-U 砾岩型、Cu-U-Au 层控制型、砂岩型、不整合型、钙结岩型等, 尽管这些铀矿床的含矿地层的时代不同, 但其形成和分布都离不开太古代花岗岩-绿岩地质体。该花岗岩富钾、含晶质铀矿, 汞岩富 Ni、Cu、Au……等成矿元素, 二者分别为上述矿床提供铀源和铜、金源。

太古代花岗岩-绿岩带是地壳上形成最早的铀源地质体, 它代表前寒武纪早期古陆核从发生、发展、到成熟的一次构造旋回, 和一次铀的预富集。这次铀预富集非常重要, 它为元古代及其以后地史时代铀的成矿作用奠定了物质基础。可见铀的预富集依赖于地壳演化的成熟度, 而地壳的成熟度与铀的预富集, 受区域大地构造条件的控制, 并且决定着铀成矿省、成矿带的分布。根据铀成矿的板块构造背景^[7], 可把陆壳成熟和铀预富集的大地构造环境概括为如下几种。

- (1) 太古代花岗石-绿岩带 华北地台东北部属这种构造环境。
- (2) 弧后岩浆带和冲断层带 华东南地区属这种构造环境。
- (3) 碰撞前陆冲断层-岩浆带 西藏南部地区属这种构造环境。
- (4) 大陆裂谷盆地、陆海、海湾-泻湖海盆 这是元古代、古生代铀(矿)源层形成的构造环境。

上述几种对铀源地质体形成有利的构造环境在我国都存在, 是今后开展区调、普查和资源评价继续深入研究的对象。

4. 铀成矿省、成矿带的确定

对成矿省、成矿带的确定, 是铀资源区域评价的重要环节。美国学者是通过已知成矿区内各种类型铀矿床成矿理论的研究, 确立成矿模式和识别标志来确定的¹⁾; 苏联学者则以建造分析为基础, 研究各种类型铀矿床的建造属性、分布规律和评价准则来确定。

1) 梁幼侠等, 1985, 国外铀成矿区识别方法及资源评价, 科技情报调研报告。

许多国家的找矿实践说明,对成矿省、成矿带的识别和确定,有助于老矿区的不断扩大和新地区新矿床的发现。

对外生铀成矿省、成矿带如何识别和确定?根据外生铀成矿理论和成矿模式,可概括为如下几点作为识别和评价的准则。

(1) **铀源** 各种铀源地质体,如富铀的花岗质杂岩体、流纹质火山杂岩体、复式花岗岩带,富铀的碳硅质岩、黑色页岩、碎屑岩、火山碎屑沉积岩等的分布状况,各种铀源岩石的原始铀含量及活化丢失情况。

(2) **构造背景** 各种铀源地质体形成有利的大地构造环境,构造单元及其分布状况。

(3) **岩相建造** 各种含矿岩系形成有利的沉积相环境,沉积建造特征和古气候条件等。

(4) **后期地质改造** 各种含矿岩系铀活化与再富集的构造-岩相-古水文地质条件。

上述铀源、构造背景和古气候等条件决定着铀成矿省的分布,岩相建造和后期地质改造,则决定着铀成矿带、铀矿母(床)的分布。

本文花岗岩类铀源岩化学参数(表3)的确定,我所部为民同志协同作了大量岩石化学数据处理工作,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 叶连俊, 1963, 地质科学, 第2期, 67—87页。
- [2] 陈 功等, 1983, 地质学报, 3期, 283—293页。
- [3] 张待时等, 1982, 碳硅泥岩型铀矿床文集, 原子能出版社。
- [4] 张淑苓等, 1984, 沉积学报, 2卷4期, 77—87页。
- [5] Wolf, K.H., 1978, 层控矿床和层状矿床, 第1卷(中译本), 34—37页, 地质出版社。
- [6] 黄世杰等, 1985, 铀矿地质, 1卷5期, 10—18页。
- [7] Mitchell, A.H.G., 等, 1986, 矿床与全球构造(中译本), 地质出版社。
- [8] Adams, S.S., and Saucier, A.E., 1981, *Geology and Recognition Criteria for Uraniferous Humate Deposits, Grants Uranium Region, New Mexico (Final Report)*, U.S. Department of Energy, Grand Junction, Colorado.
- [9] Harshman, E.N., and Adams, S.S., 1981, *Geology and Recognition Criteria for Roll-Type Uranium Deposits in Continental Sandstones. (Final Report)* U.S. Department of Energy, Grand Junction, Colorado.
- [10] Stuckless, J.S., and Nkomo, I.T., 1978, *Economic Geology* V.73, N.3, p.427-447.
- [11] Turner Peterson, C.E., 1985, *AAPG Bulletin*, V.69, N.11, p.1999-2020.

SOME PROBLEMS ON THE URANIUM SOURCE AND THE RESOURCE EVALUATION FOR EXOGENIC URANIUM DEPOSITS

Chen Gong

(Beijing Institute of Uranium Geology)

Abstract

Some problems on the uranium source and the resource evaluation for exogenic uranium deposits are discussed in this paper.

1. According to the exogenic mineralization and geneses of ore deposits, uranium sources can be classified into three types: (a) syngenetic, (b) reformed and (c) epigenetic. It is very important to know the temporal and spatial distribution of various geologic bodies of uranium sources for recognizing metallogenetic provinces and belts.

2. The prerequisite for evaluation of uranium resources is utilizing the continuous growth model of U-Pb isotopic evolution and studying the initial uranium abundance of uranium source rocks and the effects of all kinds of geological processes on uranium mobilization after diagenesis (Table 1,2).

3. According to research on petrochemical characteristics of uranium source rocks, some chemical parameters of uranium preconcentration and petrogenesis can be used as the criteria of recognition for geological bodies of uranium source (Table 3).

4. The distribution of uranium metallogenetic provinces is determined by regional tectonic settings which control the maturity of the earth's crust and control the uranium preconcentration related to the maturity. For example, the Archean granite-greenstone zones, back-arc magmatic and thrust belts, collision foreland thrust-magmatic belts are favourable for the formation of uranium-rich granitoid, and continental rift basins and marginal sea and embayment-lagoon basins are favourable for forming uranium source beds.

5. The following evaluation criteria can be used for the determination of the metallogenetic provinces and belts of exogenic uranium deposits.

a. Distribution of the geological bodies of various uranium source, initial uranium abundance and uranium mobilization in the source rocks.

b. Tectonic settings and tectonic units favourable for forming various geological bodies of uranium source.

c. The characteristics of sedimentary formations, facies, and paleoclimatic conditions of various uraniferous rock series.

d. Epigenetic reformation of various uraniferous rock series such as structure-lithofacies-paleohydrogeologic conditions for uranium mobilization and reconcentration.