

# 若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿 成矿地质环境与成矿作用

陈友良 张成江 朱西养 侯明才 梁金龙 孙泽轩◎著



科学出版社

# 若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿 成矿地质环境与成矿作用

陈友良 张成江 朱西养 著  
侯明才 梁金龙 孙泽轩



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

若尔盖地区是我国著名的碳硅泥岩型铀矿床产区之一,本书是作者十余年来针对该地区碳硅泥岩型铀矿所完成的一系列国家自然科学基金项目、中国核工业地质局重点科研项目、四川省属高校科研创新团队建设计划项目主要成果的集成和总结。本书系统阐述若尔盖碳硅泥岩型铀矿含矿岩系的沉积体系特征与赋矿硅质岩的成因,若尔盖地区岩浆岩的岩石地球化学与年代学特征;详细研究若尔盖铀矿田中具有代表性意义的典型矿床——510-1 铀矿床的地球化学特征,首次系统研究和总结该铀矿床的垂直分带规律;探讨西秦岭地区深部地质过程与铀成矿作用的相互关系,建立若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿的成矿模式。

本书可供从事铀矿地质教学和科研的人员参考,也可供直接从事铀矿找矿与勘探的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿成矿地质环境与成矿作用 / 陈友良等著.  
—北京:科学出版社,2019.3

ISBN 978-7-03-060556-6

I. ①若… II. ①陈… III. ①铀矿床—成矿环境—研究—若尔盖县  
②铀矿床—成矿作用—研究—若尔盖县 IV. ①P619.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 030206 号

责任编辑:罗 莉 / 责任校对:彭 映  
责任印制:罗 科 / 封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2019 年 3 月第一次印刷 印张:11 1/2

字数:270 000

定价:148.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

“碳硅泥岩型铀矿床”是中国铀矿地质工作者依据其产出的赋矿围岩特征总结和建立起来的一种铀矿床类型。根据《中国铀矿找矿指南》中“碳硅泥岩型铀矿床”的定义，该类型铀矿床系指产于未变质或弱变质海相碳酸盐岩、硅质岩、泥岩及其过渡型岩类中的铀矿床。在具体论述时，还包括了产于“与其有密切联系的细碎屑岩及磷块岩等”中的铀矿，其中包括不同成因和形成于不同时代的铀矿床。目前，国内有些学者仍将碳硅泥岩型铀矿床归入与黑色岩系有关的矿床类型，而国外类似的矿床一般被称为“黑色页岩型铀矿床”。

碳硅泥岩型铀矿床在中国分布较为广泛，其储量约占全国铀矿总储量的 16%，与花岗岩型、火山岩型、砂岩型铀矿床一起被列为中国铀矿的四大类型。

若尔盖地区是中国著名的碳硅泥岩型铀矿床产区之一，该铀矿田位于四川省阿坝藏族羌族自治州西北部的若尔盖县与甘肃省迭部县和碌曲县交界地带，东西长约 50km，南北宽约 6km，现已探明铀矿床 10 余个，矿（化）点 20 余处。该地区的铀矿床不仅规模大、品位较富，而且分布集中，并伴有多种金属元素（镍、锌、钒、钼、铜等）可供综合利用，因而备受广大矿床地质工作者关注。

该区铀矿床自 20 世纪 60 年代被发现以来，至今已有 50 余年的勘探和研究历史。50 余年来，地质勘探部门进行了较详细的普查勘探工作，积累了丰富的实际地质资料。与此同时，几乎自矿床被发现时起，不同单位或部门的地学家们相继从不同角度和不同侧面，以铀矿床为中心开展了大量的专题研究，对矿床的成矿条件、成矿控制因素、含矿地层形成的岩相古地理环境、矿床的形成机理等均进行过系统的研究工作，取得了一系列重要的科研成果。

但长期以来，有关若尔盖地区铀矿床的成因一直存在较大的争议。综合前人从 20 世纪 60~90 年代初期所做的研究工作，形成了表生氧化论、地下水淋滤论、变质分异论、构造挤压浸出论、“自生自储”累积成矿、成矿“三步”论（地层预富集—蚀变预富集—工业富集）等多种明显不同的成因观点，且这些观点大多倾向于把周围地层视为铀源层，认为矿床（体）具有层控性。

1991~1994 年，成都理工学院（原成都地质学院 1958~1993 年）以金景福教授为代表的铀矿地质科研团队对该区铀矿床进行详细研究后，提出了与以往完全不同的成因观点——构造-岩浆活化成矿论。该团队认为本区铀矿床的形成，既不是外生也不是层控，而是内生成矿作用产物。因此，有关若尔盖地区铀矿床的成因类型，成矿流体来源、演化、成矿作用特征及成矿模式等又成了广大铀矿地质工作者关注的焦点。

2005~2018 年，中国核工业地质局、中国地质调查局、四川省国土资源厅等部门先后在该地区安排了一系列的深部找矿与勘查工作，由四川省核工业地质调查院具体组织实施，在原有矿区（510 矿区）的深部施工了多个钻孔，发现矿化往深部延伸良好（延伸在

900m 以上仍可见好的工业矿体), 深部找矿取得了重要突破, 并在外围地区特别是白依背斜南翼的寒武系地层区新发现了大量的异常点带。且 510-1 铀矿床已开采到第 7 中段, 为该地区开展新一轮的科学研究创造了良好条件。

为了探究若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿的形成机理, 有效地指导若尔盖地区今后铀矿的找矿与勘查工作, 成都理工大学铀矿地质科研团队在区内先后申请和完成了多项重要科研课题, 主要有国家自然科学基金项目“若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿床垂直分带规律研究”(编号: 41072064, 2011—2013)、“若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿床成矿流体来源、演化及成矿机理研究”(编号: 40872069, 2009—2011); 中国核工业地质局重点科研项目“若尔盖铀矿田富大矿体定位条件和扩大方向研究”(2006—2008)、“西南地区重大地质事件与铀成矿作用”(2010—2012); 四川省省属高校科研创新团队建设计划项目“四川若尔盖地区铀矿成矿规律”(2015—2018)。本专著就是对上述科研项目主要成果的集成和总结, 也是若尔盖地区铀矿新进展的集中展示, 期望为广大铀矿地质工作者提供参考和有益启示。同时对为项目提供经费支持的国家自然科学基金委员会、中国核工业地质局、四川省教育厅等致以衷心的感谢, 对在项目完成过程中给予大力支持的四川省核工业地质调查院、核工业二八〇研究所、中核集团龙江铀业公司等单位表示诚挚的谢意。

本书由团队主要成员共同讨论, 分工编写而成: 前言由陈友良、张成江编写; 第 1 章绪论由陈友良编写; 第 2 章区域成矿地质背景由张成江编写; 第 3 章含矿岩系形成环境由侯明才、陈友良编写; 第 4 章岩浆岩岩石地球化学与年代学特征由梁金龙、张成江编写; 第 5 章若尔盖铀矿田矿床地质特征由朱西养、孙泽轩编写; 第 6 章 510-1 铀矿床地球化学特征由陈友良编写; 第 7 章铀成矿作用与铀成矿模式由陈友良、梁金龙、朱西养编写。宋昊博士与研究生魏佳、胡旭刚、常丹、叶永钦、丁德健、屈李鹏、郑玉文参与了本书的图件制作及资料整理工作。最后由陈友良负责全书的统稿。

由于著者水平有限, 不足之处在所难免, 敬请读者批评指正。

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 碳硅泥岩型铀矿及其分类	1
1.2 国内外碳硅泥岩型铀矿床研究现状	2
1.3 若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿床研究现状与存在问题	6
1.3.1 研究现状	6
1.3.2 存在的主要问题	7
参考文献	9
第 2 章 区域成矿地质背景	10
2.1 大地构造位置	10
2.2 区域地层	11
2.3 区域构造基本特征	13
2.3.1 深大断裂系统	13
2.3.2 矿田地质构造基本特征	13
2.4 岩浆岩特征	14
2.4.1 火山活动及火山岩分布	14
2.4.2 侵入活动及侵入岩分布	15
2.5 区域地球物理场特征	17
参考文献	18
第 3 章 含矿岩系形成环境	19
3.1 岩石类型及特征	19
3.1.1 硅质岩的类型及特征	19
3.1.2 灰岩的类型及特征	20
3.1.3 板岩的类型及特征	21
3.2 沉积体系分析	21
3.2.1 陆棚沉积环境的一般特征	22
3.2.2 含矿岩系沉积相分析	23
3.3 硅质岩的地球化学成因	34
3.3.1 常量元素地球化学特征	34
3.3.2 微量元素地球化学特征	37
3.3.3 稀土元素地球化学特征	39
3.3.4 硅质岩硅同位素组成特征	41
3.4 岩性与铀成矿关系	43

3.4.1	含矿岩类微量元素组成特征	43
3.4.2	含矿岩类微量元素组合特征与分布规律	50
3.4.3	硅质岩对铀成矿的意义	55
	参考文献	56
<b>第4章</b>	<b>岩浆岩岩石地球化学与年代学特征</b>	<b>58</b>
4.1	火山岩岩石地球化学特征	58
4.1.1	火山岩主量元素特征	59
4.1.2	火山岩微量、稀土元素特征	62
4.2	火山岩年代学特征	65
4.3	侵入岩岩石地球化学特征	72
4.3.1	侵入岩主量元素特征	72
4.3.2	侵入岩微量、稀土元素特征	74
4.4	侵入岩年代学特征	78
4.5	岩脉年代学特征	85
4.6	岩浆岩形成时代	93
	参考文献	94
<b>第5章</b>	<b>若尔盖铀矿田矿床地质特征</b>	<b>95</b>
5.1	若尔盖铀矿田概况	95
5.2	铀矿田矿床地质特征	96
5.2.1	赋矿地层与岩性特征	96
5.2.2	岩浆岩与铀矿化	97
5.2.3	构造与铀矿化	98
5.2.4	矿体形态	100
5.2.5	矿化类型	101
5.2.6	围岩蚀变	102
5.2.7	矿石物质成分和铀的存在形式	102
5.2.8	矿化伴生元素特征	103
5.2.9	成矿物理化学条件	104
5.2.10	成矿时代	104
	参考文献	104
<b>第6章</b>	<b>510-1 铀矿床地球化学特征</b>	<b>105</b>
6.1	矿床地质特征	105
6.1.1	赋矿地层特征	105
6.1.2	矿区构造特征	105
6.1.3	矿体特征	105
6.1.4	矿石特征	108
6.2	矿床流体包裹体地球化学特征	108
6.2.1	样品采集与实验方法	108

6.2.2 流体包裹体岩相学特征·····	110
6.2.3 流体包裹体显微测温学特征·····	111
6.2.4 流体包裹体成分特征·····	121
6.3 510-1 铀矿床垂直分带特征·····	135
6.3.1 矿物组合垂直分带与矿床分带特征·····	136
6.3.2 矿床微量元素垂直分带特征·····	138
6.3.3 脉石矿物中稀土元素垂直分带特征·····	142
参考文献·····	144
<b>第7章 铀成矿作用与铀成矿模式·····</b>	<b>146</b>
7.1 区域地质演化与铀成矿作用·····	146
7.1.1 西秦岭地区地质演化过程·····	146
7.1.2 西秦岭地区深部地质作用与铀成矿关系·····	149
7.2 成矿流体的来源·····	151
7.2.1 矿化剂来源与热源·····	151
7.2.2 水源·····	155
7.2.3 矿质来源·····	158
7.3 成矿流体的运移演化规律·····	161
7.4 铀成矿模式·····	162
7.5 若尔盖铀矿田勘查方向·····	165
7.5.1 找矿标志·····	165
7.5.2 矿田勘查与扩大方向·····	166
参考文献·····	168
<b>图版及说明·····</b>	<b>171</b>
图版 I·····	171
图版 II·····	172
图版 III·····	173
图版 IV·····	174

# 第1章 绪 论

## 1.1 碳硅泥岩型铀矿及其分类

碳硅泥岩型铀矿床是中国铀矿地质工作者依据其产出的赋矿围岩特征及分布规律总结和建立起来的一种铀矿类型。根据《中国铀矿找矿指南》(1997)中有关“碳硅泥岩型铀矿床”的定义,该类型铀矿床系指产于未变质或弱变质海相碳酸盐岩、硅质岩、泥岩及其过渡型岩类中的铀矿床。在具体论述时,在明确含矿主岩为海相碳酸盐岩、硅质岩、泥岩及其过渡岩石类型外,又增加了“与其有较密切联系的细碎屑岩及磷块岩等”;在涉及成因类型及形成时代上,明确指出包括了不同成因和形成于不同时代的铀矿床。目前在中国仍有一些学者将碳硅泥岩型铀矿床划为与黑色岩系有关的矿床类型。而在国外的铀矿床分类中并无“碳硅泥岩型铀矿床”一词,只有“黑色页岩型铀矿床”与之大体相当。

碳硅泥岩型铀矿床是世界上发现最早的工业铀矿床类型之一,早在1893年就在瑞典发现了世界上第一个黑色页岩型(同生-沉积型)铀矿床。20世纪40年代后,在世界的铀矿勘查高潮中,黑色页岩型铀矿曾一度作为一种重要的铀矿工业类型进行勘探(赵凤民,2009)。并相继在瑞典、美国、捷克、德国、挪威、法国、阿根廷、俄罗斯、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、韩国和中国等国家中,探明了一批不同成因类型的铀矿床。其中,产于波希米亚地块西北缘黑色页岩中的铀矿床,铀资源15万~20万吨,具有重要的经济意义。在美国亚利桑那州北部的石炭系至三叠系灰岩的角砾岩筒中也发现了铀矿床,这类矿床品位较富(0.3%~0.6%U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>),含有Cu、Ag、Co、Ni、Pb等多种伴生元素。矿床的形成与溶蚀塌陷及其后期的热液成矿作用密切相关。

该类型铀矿床在中国分布较为广泛,空间上在南方和北方地区均有发现,时间上自震旦纪一直到二叠纪的地层中都产出具有一定工业价值的铀矿床。其储量约占全国铀矿总储量的16%,与花岗岩型、火山岩型、砂岩型铀矿床一起被列为中国铀矿的四大类型。现今仍是我国铀矿勘查的重要目标类型之一(李巨初等,2011)。

在《中国铀矿找矿指南》(1997)中,中国铀矿地质工作者根据碳硅泥岩型铀矿的主导成矿作用,将其划分为风化壳型、沉积-成岩型、淋积型和热液叠加改造型4大类,并依据赋矿岩性划分出9个亚类(表1-1)。近年来,经过对有关资料的重新分析(赵凤民,2009),发现一些矿床的赋矿围岩铀含量为正常水平,具明显的热液成因围岩蚀变和铀矿物、元素组合等,表明它们并不是“上升热液(热水)对沉积成岩和(或)表生作用等阶段形成的铀的富集层(体)的叠加改造成矿作用”形成的热液叠加改造型矿床,而应为独立的热液铀矿床。依据新的资料对上述分类方案进行了修改,在碳硅泥岩型铀矿大类上划分为5个亚型,16个矿床式(表1-2)。

表 1-1 中国碳硅泥岩型铀矿床分类 (据刘兴忠等, 1997)

类型	亚类	主要产矿层位	代表矿床
风化壳型	灰岩型	下二叠统	坑口
沉积-成岩型	含铀磷块岩型 含铀碳硅泥岩型	下寒武统 上震旦统-下寒武统	金沙岩孔 麻池寨
淋积型	泥岩(板岩)型 碳酸盐岩型	上震旦统-下寒武统 石炭系	老卧龙 岔头矿床浅部
热液叠加改造型	硅质岩型 碳酸盐岩型 硅质岩-硅质灰岩型 泥岩(板岩)型	下二叠统 上震旦统、寒武系、泥盆系、下石炭统 中下志留统 下寒武统	金银寨 董坑、脚山下 罗军沟 铲子坪

表 1-2 中国碳硅泥岩型铀矿床分类及矿床式划分表 (据赵凤民, 2009)

型	亚型	矿床式	典型铀矿床
碳硅泥岩型	沉积-成岩亚型	(1) 麻池寨式	麻池寨矿床
	沉积-外生改造亚型(淋积型)	(2) 坑口式	坑口、下围矿床
		(3) 那渠式	那渠矿床
		(4) 岔头式	岔头矿床
		(5) 黄材式	黄材矿床
		(6) 老卧龙式	老卧龙、洒里河矿床
		(7) 永丰式	永丰矿床
		(8) 尖山式	尖山矿床
		热液亚型	(9) 金银寨式
	(10) 马鞍肚式		马鞍肚矿床
	(11) 白马洞式		白马洞矿床
	(12) 广子田式		广子田矿床
	沉积-热液叠加亚型	(13) 降扎式	降扎、占洼矿床
		(14) 大新式	大新矿床
		(15) 铲子坪式	铲子坪矿床
	沉积-热液-淋积亚型	(16) 董坑式	董坑、保峰源矿床

## 1.2 国内外碳硅泥岩型铀矿床研究现状

在国外, 类似的矿床一般被称为黑色页岩型铀矿床, 其包含的矿床类型范围比国内的要小。在国际原子能机构的铀矿床分类中(周维勋等, 2000), 黑色页岩型铀矿专指海相碳质页岩中的铀矿化, U 和 Mo、V、Cu 等金属元素为同生富集。含铀黑色页岩在世界上广泛分布, 具有十分巨大的铀资源量。据不完全统计, 世界上已经探明和预测的黑色页岩型铀资源量已达数百万吨, 但通常品位较低 ( $10 \times 10^{-6} \sim 4 \times 10^{-4}$ ), 许多达不到工业指标,

所以在一些国家未将其列为铀资源。但随着高质量、高效益铀资源量的减少和铀产品价格的上升,此种铀资源的开发利用将迟早变为现实。国外此种类型的铀矿床主要产于瑞典、挪威、法国、阿根廷、美国、俄罗斯、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦等国。典型矿床有德国格拉-罗奈布尔格铀矿田,中亚地区黑色页岩中的铀矿床,瑞典和爱沙尼亚富含明矾页岩、美国查塔努加页岩中的铀矿化。

在国外,除黑色页岩型铀矿床外,还广泛发育有其他一些产于碳硅泥岩层中的重要铀矿床。首先是产于碳酸盐岩中的铀矿床,其中许多为大型矿床,而且具有重要的工业意义。如俄罗斯外贝加尔地区斯特列里措夫火山岩型铀矿田中产于白云岩内的阿尔贡大型矿床(赵凤民,2006),北哈萨克斯坦泥盆纪碳酸盐岩地层中的热液型铀磷建造内的大型矿床,中亚费尔干纳盆地内的马里苏渗入型矿床,美国科罗拉多州高原地区的角砾岩型矿床等。其次为海相含铀磷块岩,铀含量一般为 $100 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$ ,与碳酸盐岩紧密共生,其铀资源量十分巨大,以北非、中东地区和美国佛罗里达州、爱达荷州、犹他州和怀俄明州最为著名。此外,还有一种产于含鱼骨碎屑的泥岩型铀矿床,目前仅发现于里海周边的古近一新近纪海相泥岩中。由于其埋藏浅、易选冶,为优良的低成本铀矿石。按照中国碳硅泥岩型铀矿的定义,以上矿床都应属碳硅泥岩型铀矿床。

国外涉及该领域的研究工作在较长时期内侧重于对含铀黑色页岩、含铀磷块岩的沉积环境、岩石学、矿物学、元素组分及地球化学特征等方面的研究(Рыбалов Б. Л., 1965),但由于大部分矿石品位不高、工业上较难选冶而不被重视,因此其开发和研究程度总体上较低。

中国对碳硅泥岩型铀矿床的研究工作始自20世纪50年代末,当时主要是对个别矿床的地质特征及成因进行研究。涂光炽院士于60年代初首次提出南秦岭地区硅质岩、灰岩中的铀矿床为沉积再造型矿床;60年代末至70年代初,原核工业中南地勘局和核工业北京地质研究院(原名北京第三研究所)研究人员运用铀源层的概念,探讨了淋积成矿的规律性。

中国于1976年召开了专门的碳硅泥岩型铀矿床学术讨论会,初步总结了有关矿床和部分地区的铀成矿规律,探讨了碳硅泥岩中的改造作用(其中包括热液叠加改造成矿作用),提出碳硅泥岩型铀矿床是中国重要的工业铀矿类型之一。

1977年提出碳硅泥岩不仅是铀源层而且是储铀层(赋存有工业矿体的岩层)的概念,并对碳硅泥岩储铀层进行了分类。随后,地质工作者加强了碳硅泥岩型铀矿床的区域成矿规律的研究,初步查明了该类矿床在中国的时空分布规律。

20世纪80年代初先后出版了《碳硅泥岩型铀矿床文集》(北京铀矿地质研究所,1982)、《雪峰山区碳硅泥岩型铀矿床论文集》(中南地勘局230研究所),系统地总结了碳硅泥岩型铀矿床的分类、矿化特征、形成与分布规律以及找矿地质判据。

20世纪80年代后期,随着中国铀矿地质工作量的大幅度减少,仅有的工作量主要为寻找具有良好经济效益的外生-后成渗入型砂岩铀矿床,加上碳硅泥岩型铀矿床矿石质量相对较差,铀产品成本高,导致对该类型铀矿床的勘查和研究工作基本处于停止状态。但就碳硅泥岩型铀矿床的整体研究而言,中国处于领先地位。

通过几十年来的地质勘探和研究工作,中国对碳硅泥岩型铀矿的成矿地质条件和主要

成矿规律进行了比较系统的研究和总结(漆富成等, 2012a; 赵凤民, 2009; 黄净白等, 2005; 张待时等, 1993; 杨若利等, 1982), 形成了独具特色的碳硅泥岩型铀矿的成矿理论, 主要认识概述如下。

### 1. 碳硅泥岩型铀矿床的成矿地质条件

#### 1) 层位条件

碳硅泥岩型铀矿床的一大特点就是明显受一定地层层位的控制, 矿化与层位的关系十分密切。主要的控矿地层有上震旦统至下寒武统各岩组、中下志留统、泥盆系、下石炭统及下二叠统。而且在一个地区, 甚至在一个矿床范围内, 常有多个控矿层位, 其中有一个主要控矿层位。

#### 2) 岩相古地理条件

中国碳硅泥岩型铀矿床均产于两大类含铀海相碳硅泥岩沉积建造中, 即地台(准地台)区、构造过渡区的稳定型、过渡型含铀建造; 冒地槽活动型含铀建造。

属前一类的是中国各地台及其紧邻地区的震旦-寒武纪的含铀碳硅泥岩建造, 含铀碳质页岩、碳硅质页岩建造及含铀碳酸盐岩建造; 泥盆纪、石炭纪的含铀碳酸盐岩建造及含铀细碎屑岩建造; 二叠纪的碳酸盐岩-硅质岩建造。这类沉积建造主要形成于地壳运动相对稳定、沉降幅度小、水动力条件较平静、沉积速度较缓慢的沉积环境中。其沉积厚度小, 岩相带较宽且稳定, 并具弱震荡运动造成的沉积韵律。所形成的富铀层一般分布于地台边缘及其近邻地槽的过渡地带, 形成于温湿及温湿-干热转换古气候期古陆、古隆起边缘的浅海、局限浅海氧化-还原过渡以还原为主的沉积环境中。

地槽区含铀沉积建造主要发育于中国加里东冒地槽沉积区。主要含铀建造有: 寒武-志留纪的碳质页岩、碳质硅质页岩建造; 早中志留世的含铀硅质岩建造及含铀碎屑岩-硅灰质岩建造。这些建造主要形成于总体上地壳运动剧烈、大幅度快速沉降、频繁震荡, 并常间有火山喷发的海槽沉积环境内; 建造厚度巨大, 岩性复杂, 岩相多变, 具明显的沉积韵律。其中的富铀层则是在海侵早期或海侵向海退过渡时期, 在潮热古气候条件下和还原环境中形成的。

#### 3) 岩性条件

碳硅泥岩型铀矿床的含矿主岩类型丰富多样, 特别是那些在沉积环境发生变异或过渡的地区中形成的过渡型岩类。岩石中富含黄铁矿、有机质、黏土矿物、磷质物等聚铀剂。含矿的岩性序列组合不仅常是介于其顶底板之间的过渡性岩石, 而且一般都是机械物理性质及化学性质迥然相异的岩石组合。

#### 4) 铀源条件

碳硅泥岩型铀矿床的铀源有二: 一是来自铀源层和铀源体, 铀主要是来自震旦-二叠系地层中的富铀层以及上覆、下伏及邻近的地质体(如花岗岩、中酸性火山岩等), 大部分矿床的成矿物质主要是就地、就近取材; 二是成矿物质来源于铀源层外, 如岩浆期后热液、地下热水等自深部带来的, 或是矿体下部有关地质体浸取运移而聚集的。

#### 5) 叠加改造条件

对于碳硅泥岩型铀矿床而言, 通常要经历后生叠加改造作用才能形成具有工业意义的

矿床, 铀的累积成矿是其普遍特点。晚震旦世-早寒武世和侏罗纪以来为中国碳硅泥岩型铀矿床的两个基本成矿时期, 前者主要形成沉积-成岩亚型, 成矿与成岩基本处于同一时代; 后者主要形成其他类亚型, 往往具有后生成矿的特点(且一般具有较重要的工业意义), 铀矿化年龄都小于 140Ma, 与最年轻的含矿主岩(二叠系)形成时代相比有较大的矿岩时差, 其中 140Ma、120Ma、75Ma、67~55Ma、48~35Ma、30~22Ma、14~7Ma 是主要铀成矿期(张待时, 1994)。碳硅泥岩型铀矿成矿时代往往与形成热液叠加改造驱动力源的构造岩浆活化期相吻合。

#### 6) 构造条件

碳硅泥岩型铀矿床特别是其中的淋积型矿床和热液叠加成矿的矿床, 与构造关系十分密切。线型断裂(特别是层间断裂)是最重要的控矿、储矿构造。碳硅泥岩中的储矿构造可进而分为断裂型(层间断裂、切层断裂及联合断裂)、褶皱-断裂型(向斜-断裂、背斜-断裂)及断裂-岩溶型, 其中以褶皱-断裂型最为重要。

### 2. 碳硅泥岩型铀矿床的主要成矿规律

碳硅泥岩地层中铀含量虽然普遍较高, 但达到工业矿化的地段不多, 铀矿床仅分布于那些特定的古地理环境形成的并遭受构造活化或构造-岩浆活化的地层内。赵凤民(2009)根据中国大陆构造特征、产铀矿碳硅泥岩的分布以及碳硅泥岩型铀矿床的特征, 划出了湘西-赣西北铀成矿省、湘中-桂东南铀成矿省、滇东北铀成矿省和秦岭铀成矿省四个铀成矿省和东天山潜在铀成矿省。碳硅泥岩型铀矿床的主要成矿规律概述如下。

(1) 铀矿床的分布与古海陆关系密切, 都产在古陆、古岛、古水下隆起边缘部位, 特别是陆表海的边缘部位及其向海槽的过渡部位。

(2) 在有关的构造单元中, 矿床均分布在地台边缘及邻近该边缘的显生宙(加里东-印支期)地槽褶皱区内, 而且主要分布在隆起构造单元、隆起-拗陷过渡区及上覆有中生代断陷-拗陷的地区。漆富成等(2012b)认为中国碳硅泥岩型铀矿的大规模成矿作用受控于陆缘裂谷和陆缘裂陷成矿环境下形成、伴随海底喷流作用和海底火山喷发而沉积的海相碳硅泥岩富铀建造。铀矿床的空间分布受控于热液叠加改造驱动力条件及红盆边缘断裂沟通的效应。

(3) 在剖面上, 地台区的铀矿床均产在盖层构造层中, 而显生宙地槽区的铀矿床在褶皱基底构造层及盖层构造层中均有产出, 而且在不少情况下, 铀矿床的产出常与上覆活化构造层在时空上有一定联系。

(4) 碳硅泥岩中铀成矿的时空分布规律都与各成矿区的地壳演化有密切的联系, 滨太平洋构造域和特提斯-喜马拉雅构造域发生在中生代的强烈活动对铀成矿区的活化改造及深刻影响, 是有关地区铀成矿的最重要因素。

(5) 碳硅泥岩型铀矿床矿石的物质成分与围岩相近似, 元素组分与围岩仅有量的差别, 充分表现出继承性的特点, 但是在叠加有热水或热液成矿作用的矿床内, 可出现有其他组分。

## 1.3 若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿床研究现状与存在问题

### 1.3.1 研究现状

若尔盖地区是中国著名的碳硅泥岩型铀矿床产区之一,该地区的铀矿床不仅规模大、品位较富,而且分布集中,伴有多种金属元素可供综合利用,因而倍受广大矿床地质工作者关注(金有忠等,2005;陈友良等,2004)。

该区铀矿床自20世纪60年代被发现以来,至今已有50余年的勘探和研究历史。50余年来,地质勘探部门进行了较详细的普查勘探工作,积累了丰富的实际地质资料。到目前为止,不仅掌握了浅部地质情况,近年来还加强了深部地质工作,在原有矿区(510矿区)的深部施工了多个钻孔,并发现矿化往深部延伸良好(延伸在900m以上仍可见好的工业矿体)。可以说本区的勘探程度已达到比较成熟的阶段,为科学研究创造了良好条件。与此同时,几乎自矿床发现时起,不同单位或部门的地学家们相继从不同角度和不同侧面以铀矿床为中心开展了大量的专题研究,取得了许多成果,为该区铀矿床的深入研究、成矿规律的探索奠定了良好的基础,代表性的研究如下。

1966~1977年,中国科学院地球化学研究所先后完成了《西秦岭火山硅质岩型铀矿成矿特征》(1972),《西秦岭构造运动特征及其与铀矿化关系》(1976),《南秦岭西段与铀有关的硅灰岩体》(1977)等成果报告。他们从围岩特征及构造角度对矿床的形成规律进行了研究。

1968~1975年,中国地质科学院矿床地质研究所及地质力学研究所提交了《510矿区一矿段成矿控制因素及矿床成因》(1976),《南秦岭西端志留纪地层中淋积型铀矿及成矿特征》(1973),《512矿段铀矿床的矿化特征和成矿条件》(1973),《南秦岭地下水铀矿床成矿条件和找矿方向》(1975)等研究报告,主要从表生改造作用角度探讨了铀矿床的成因。

1975~1982年,核工业部北京铀矿地质研究所完成了《512矿床地质特征》(1975),《利用U-Pb同位素体系对南秦岭西段硅灰岩型铀矿床成矿机理的初步研究》(1979),《南秦岭西段志留系硅灰岩透镜体成因及与铀矿化的关系》(周德安等,1980),《512矿区三矿段硅质岩型矿石和灰岩型矿石物质成分特征》(1981),《南秦岭西段硅灰泥岩型铀矿床形成机理的探讨》(1981),《南秦岭西段志留系铀成矿的主要控制因素》(周德安,1982),《五一二铀矿床铅、硫、氧、碳同位素特征》(张待时,1982),《南秦岭西段地区中志留统硅灰岩及其与铀矿化关系》(陈一峰,1982),《罗君沟矿床矿石成分特征及矿床成因》(季洪芳等,1982)等成果报告。分别从地层、同位素组成及矿石成分特征等角度探讨了矿床的成因。

川西北地质大队科研队毛裕年等人,在“六五”期间(1982~1987)研究了“西秦岭硅灰泥岩型层控铀矿成矿条件”,并于1989年,在该科研成果报告基础上整理出版了《西秦岭硅灰泥岩型铀矿》专著。探讨了含矿地层形成的岩相古地理环境,铀在矿源层基础上富集成矿机理,铀矿床的保存条件,建立了“塔式累积成矿概念模式”。认为本区铀矿床的形成是在矿源层基础上,通过“自生自储”方式逐渐富集,累积成矿。

王驹(1991)在他的博士学位论文《碳硅泥岩型金(铀)矿床成矿富集的地球化学》一文中提出了一个与之相近或类似的想法,认为铀矿床的形成经历了地层预富集-蚀变预富集-工业富集的成矿过程。

综合前人 20 世纪 60~90 年代初期所做的研究工作,对该区铀矿床的成因主要形成了以下几种认识。

(1) 表生氧化论或表生改造论。认为地层中的铀在大气降水引起的氧化作用下,产生活化富集,形成氧化带型矿床(甘肃地矿局第五地质队,1980)。

(2) 地下水淋滤论。认为地层暴露地表后,遭受地下水作用,地层中的铀被携带至氧化还原界面附近成矿(陈一峰,1982;季洪芳等,1982;中国地质科学院矿床地质研究所,1973,1975;中国科学院地球化学研究所,1973)。

(3) 变质分异论。在区域变质过程中,铀源层中的铀产生活化再富集,铀的工业富集发生在华力西期及印支期(甘肃地矿局区域地质调查队,1973)。

(4) 构造挤压浸出论。在构造运动的挤压作用过程中,地层中的铀产生活化并富集成矿(中国科学院地球化学研究所,1976;中国地质科学院地质力学研究所,1975)。

(5) “自生自储”累积成矿。地层中的铀在大气降水成因形成的地下水作用下,通过“自生自储塔式累积成矿”,属塔式累积层控矿床(毛裕年等,1989)。

(6) 成矿“三步”论。认为矿床的形成是在矿源层基础上,通过地层预富集-蚀变预富集-工业富集成矿(王驹,1991)。

1991~1994 年,金景福等(1994)、何明友(1993)对该区铀矿床进行详细研究后,提出了与以往完全不同的成因观点——构造-岩浆活化成矿论。认为本区铀矿床的形成,既不是外生也不是层控,而是内生成矿作用产物;铀源为中酸性侵入体,铀主要由隐伏中酸性岩提供,而不是地层;水介质来自粒间溶液,而不是大气降水或由大气降水成因的地下水;矿化剂主要为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ ,来源与粒间溶液相同。赵兵(1994)则详细研究了铀矿田的地球化学特征,并提出成矿介质溶液为以深部循环为主的混合水,降压沸腾引起的快速共沉淀是铀成矿的主要机理。

综上所述,本区铀矿床不仅地质勘探程度较高,而且研究程度也相当高。要想在前人的研究基础上有所突破,就必须站在成矿理论前沿的高度上,采用最新的成矿理论和方法进行深入研究。为了选准突破口,我们在详细分析前人研究思路和研究成果的基础上,进行了综合分析。发现除金景福等人在 20 世纪 90 年代的研究中注重了构造-岩浆作用外,以前的研究大多具有明显的共性,这就是把周围地层视为铀源层,并将其作为研究成矿规律、矿床成因的前提和中心,然后围绕这一中心,从各个不同角度展开研究,因而所得出的结论基本上大同小异。同时还可以看出有的研究带有一定的重复性。

### 1.3.2 存在的主要问题

综合前人研究成果,结合本区实际情况分析,目前若尔盖铀矿田存在影响进一步找矿突破的重大问题主要有以下两方面。

## 1. 是否为地层控矿

前人的研究大多倾向于把周围地层视为铀源层,矿床(体)具有层控性。通过大量实际研究发现,虽然宏观上地层对成矿确有一定的控制性,但从以下诸多问题分析,后期改造对成矿起了至关重要的作用。

(1) 白依背斜北翼志留系地层中赋矿,而其南翼志留系地层中至今尚未发现工业铀矿床;背斜东倾伏端志留系地层中少见工业矿产出,而西倾伏端志留系地层中不仅赋矿而且产出矿床数量多,分布集中,在较小范围内产出十多个大、中、小型矿床。

(2) 从东部矿带到西部矿带,矿床数量越来越多,规模越来越大,品位越来越高;与此相反,志留系地层出露厚度越来越小。如果矿床为地层控矿,那么东部矿带含铀层位厚度大,铀源丰富,其矿化情况应当比西部矿带好,但情况并非如此。

(3) 背斜西倾伏端寒武系地层中也有工业矿产出(如拉尔玛金铀矿床,邛莫金铀矿床),并且有的铀矿体还直接产于破碎花岗岩中。在侏罗纪财宝山组中酸性火山岩中,放射性伽马异常发育,并且在财宝山西侧中酸性岩中发现了工业铀矿化(四川地矿局 1:5 万区调报告,1990)。它的铀来源何处?

(4) 无论是东部矿带还是西部矿带,特别是西部矿带十分突出的一个地质现象是,有价值的工业铀矿床(体)常产于两组构造交叉部位,并且多数矿体产状与地层产状斜交。

(5) 在纯粹的层间断裂带中,以及在远离“交点”的顺层断裂带中无矿产出。

上述地质事实显然不能反映矿床完全为地层控矿,同时层控观点也不能对其作出合理解释。

## 2. 是否有深部成矿流体的参与

前人的研究大多认为成矿流体以大气降水成因为主,但却很难解释以下地质现象:

(1) 成矿带或矿床的空间分布明显受构造-岩浆带的控制且成矿与构造-岩浆活动的时间相对应。

(2) 成矿元素组合极其复杂,且在空间上有一定的分带规律。

(3) 成矿温度较高。

(4) 矿化垂幅之大,在华南地区都是少有的。

(5) 成矿流体的氢-氧同位素、碳同位素和硫同位素都显示出有深部流体参与的信息。

为了探究若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿的形成机理,有效地指导若尔盖地区今后铀矿的找矿和勘查工作,本专著的主要编写成员在区内先后申请和完成了多项重要科研课题,主要有国家自然科学基金项目“若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿床垂直分带规律研究”(编号:41072064,2011—2013)、“若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿床成矿流体来源、演化及成矿机理研究”(编号:40872069,2009—2011);中国核工业地质局重点科研项目“若尔盖铀矿田富大矿体定位条件和扩大方向研究”(2006—2008)、“西南地区重大地质事件与铀成矿作用”(2010—2012);四川省省属高校科研创新团队建设计划项目“四川若尔盖地区铀矿成矿规律”(2015—2018),本专著就是对上述科研项目成果的集成和总结,也是若尔盖地区铀矿新进展的集中展示,期望为广大铀矿工作者提供参考和有益启示。

## 参 考 文 献

- 北京铀矿地质研究所, 1982. 碳硅泥岩型铀矿床文集[C]. 北京: 原子能出版社.
- 陈友良, 2004. 西南地区铀资源现状与找矿前景展望[J]. 铀矿地质, 20 (1): 1-3.
- 何明友, 1993. 若尔盖铀成矿带构造——岩浆活化成因模式[D]. 成都: 成都理工学院.
- 黄净白, 等, 2005. 中国铀成矿带概论[M]. 北京: 中国核工业地质局.
- 黄净白, 黄世杰, 2005. 中国铀资源区域成矿特征[J]. 铀矿地质, 21 (3): 129-138.
- 金景福, 等, 1994. 若尔盖地区隐伏富铀矿床成矿规律及其找矿预测准则研究[R]. 成都理工学院科技成果报告.
- 金有忠, 等, 2005. 若尔盖铀矿田成矿条件与发展远景浅析[J]. 西南铀矿地质, 11 (1): 11-25.
- 李巨初, 陈友良, 张成江, 2011. 铀矿地质与勘查简明教程[M]. 北京: 地质出版社: 123-128.
- 刘兴忠, 张待时, 罗长本, 1997. 中国铀矿找矿指南[M]. 北京: 中国核工业总公司地质总局: 207-269.
- 毛裕年, 闵永明, 1989. 西秦岭硅灰泥岩型铀矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 漆富成, 等, 2012a. 全国碳硅泥岩型铀资源潜力评价[J]. 铀矿地质, 28 (6): 355-360.
- 漆富成, 等, 2012b. 中国碳硅泥岩型铀矿床时空演化规律[J]. 铀矿地质, 28 (2): 65-71.
- 四川省地矿局川西北地质大队, 1990. 中华人民共和国区调报告(降扎地区 I—48—62—A、B、C、D 和 I—48—6—A、B、C、D 八个图幅范围, 1:5 万) [R].
- 王驹, 1991. 碳硅泥岩型金(铀)矿床成矿富集的地球化学[D]. 北京: 核工业北京地质研究院.
- 杨若利, 孙群利, 1982. 铀矿床学[M]. 抚州: 华东地质学院矿床教研室.
- 张待时, 1982. 五一二铀矿床铅、硫、氧、碳同位素特征[R]. 核工业北京地质研究院: 1-24.
- 张待时, 1994. 中国碳硅泥岩型铀矿床成矿规律探讨[J]. 铀矿地质, 10 (4): 207-212.
- 张待时, 等, 1993. 修水地区碳硅泥岩型金(铀)矿成矿条件[M]. 北京: 原子能出版社.
- 赵兵, 1994. 若尔盖铀成矿带地球化学与矿床成因研究[D]. 成都: 成都理工学院.
- 赵凤民, 2006. 俄罗斯铀矿地质[M]. 北京: 核工业北京地质研究院: 68-78.
- 赵凤民, 2009. 中国碳硅泥岩型铀矿地质工作回顾与发展对策[J]. 铀矿地质, 25 (2): 91-97.
- 周德安, 罗毅, 1980. 南秦岭西段志留系硅灰岩透镜体成因及与铀矿化的关系[R]. 北京铀矿地质研究所科研成果报告.
- 周维勋, 2000. 世界铀矿床录[M]. 郭福生, 译. 北京: 原子能出版社: 1-19, 187-200.
- Рыбалов Б. Л., 1965. Структурные особенности и вопросы генезиса урановых месторождений залегающих в черных сланцах и карбонатных породах[J]. Геология рудных месторождений, №.2: 3-23.