

多因复成铀矿床 及其成矿演化

姚振凯 郑大瑜 刘翔 著

地质出版社



内 容 简 介

本书系地洼学说-活化构造及成矿理论体系应用于铀矿床成矿研究的专著。

本书首次较系统地从大地构造演化与铀成矿演化相结合角度,对多因复成铀矿床的形成、发展和演化过程进行四维时空成矿研究;着重对矿区内的地质构造事件与成矿作用的关系进行分析;强调形成的多大地构造阶段、多种成因成矿作用、多种成矿物质来源,以及主阶段、主成因、主来源的内外生成矿,前后叠加和累积叠增的成矿机制;强调地壳每一个大地构造单元,对多因复成矿床类型及其类型组合,有着明显的成矿专属性,体现出大地构造对多因复成铀矿床的首要控矿意义。

本书可供地质勘查专业的生产、科研和教学人员,以及研究生和高校高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

多因复成铀矿床及其成矿演化/姚振凯等著. -北京:地质出版社,1998. 8
ISBN 7-116-02634-7

I. 多… I. 姚… III. 铀矿床:复合成因矿床-矿床成因论 N. P619. 140. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 19289 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:白 铁 江晓庆 钟正钢

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:520000

1998 年 8 月北京第一版·1998 年 8 月北京第一次印刷

印数:1~600 册 定价:50.00 元

ISBN 7-116-02634-7

P·1922

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

关于多因复成矿床的研究,笔者于1979年在湖南省地质学会学术讨论会上提出了一些初步设想,1982年在苏联第比利斯第6届国际矿床成因协会上正式提出了概念的雏形,自这以后,10多年来,在我国已有长足的进展。与此同时,在国外也陆续有了许多研究成果的报道并出现了一些相近似的术语,如多成因矿床、复成因矿床、多阶段矿床等。

多因复成矿床概念的提出,其主旨在于体现这样的一条新的成矿学研究思路,摆脱以往的从三维空间的角度研究矿床的传统思路,转向从四维时空的角度来研究。上述在国外出现的一些新术语,虽然在表面上和多因复成矿床这一术语有所差别,但实质上仍贯彻了由三维空间从事成矿研究转为从四维时空从事成矿研究的要旨。这与“继承不泥古,发展不离宗”的科学精神是一致的。

当前,多因复成矿床研究的矿种对象已把重点放在对某些矿种的专门深入研究上,以金矿方面研究成果较多,但铀矿方面较少。姚振凯、郑大瑜、刘翔三同志的《多因复成铀矿床及其成矿演化》一书的出版,很合时宜地填补了这一空白。实践已经证明四维时空成矿研究,具有很大的优越性。它对查明矿产分布规律,指导矿产的普查、找矿和勘探评价,有着十分重大的理论意义和实践意义。

书中对多因复成铀矿床的涵义、分类和按含矿主岩分类的沉积岩型、岩浆岩型、变质岩型、交代岩型和混杂角砾岩型等5大类型矿床分别进行专章论述;首次单独划分出交代岩类铀矿床;对国内外23个比较典型的代表性矿床实例的地质和矿化特征及其成矿演化作了系统而详细的综述;从大地构造的时空演化与多因复成铀矿床形成阶段的同步及相依联系,阐明了矿床的形成阶段及演化过程,分析了成矿的物质来源、动力源和热源等成矿条件,探索了矿床多成因和主成因、多阶段和主阶段、多铀源和主铀源、多因素和主因素的相互关系,以及先后累积叠增的塔式成矿模式,初步查明矿床的时空分布规律和成矿演化规律等等。因而,本书是从三维成矿研究转入四维成矿研究的一个范例,也是多因复成铀矿床研究的首部专著。

本书作者充分利用了铀矿床同位素研究程度较高的得天独厚的优势,特别是有一系列的矿石和围岩同位素年龄数据,对矿床形成、发展和演化做出了较为令人满意的科学解释,并为普查找矿提出了新的找矿方向和矿床研究的新思路。

本书作者还根据地洼学说的基本原理，提出多因复成铀矿床的成矿构造单元，除地台活化而成的地洼区外，还有多种大地构造单元演化而成的地洼区，如由地槽固结后活化、克拉通活化、古老地盾活化和中间地块活化而成的地洼区，特别是根据国外研究资料，提出元古宙地洼区成矿。上述这些是作者对地洼学说在铀成矿学领域的具体应用和发展。本书的出版可供从事大地构造学和从事铀成矿学研究的学者参考。是为序。

陈国达

1997. 12. 17.

前 言

最近 10 年来,随着世界冷战局势的缓和,使核能更多地用于核电站建设、卫星发射等和平利用领域,核能在国民经济能源中的比重日益剧增。核燃料生产经过前几年的低谷后,近几年出现新的回升势头。现今国际核燃料市场,需要富而大及易于开采和提取铀的铀矿资源,以便降低核能成本,提高经济效益。多因复成铀矿床的地质和矿化特征,以及资源特点,正好符合现今市场需求。一般地说多因复成矿床的铀资源,比传统的单元成矿所成矿床的资源要富而大。从找矿生产角度出发,促使作者下决心花大力气写此书,供有关同仁参考。

作者论述的多因复成矿床,有许多在过去文献中列为成因不明类型,或者称之为远成热液矿床。随着各国铀矿地质学研究的深入,近 20 年又称之为多阶段矿床或多成因矿床。作者按地洼学说,称之为多因复成铀矿床。这类矿床由于具有多个大地构造阶段成矿、多种成因成矿、多种成矿铀源复合成矿,前后叠加累积叠增的复杂成矿过程,形成的矿床既有内生,又有外生成矿的复杂特征,因而,对矿床成因长期持有多种观点。作者设想,如果用多因复成成矿理论,阐明矿床特征及其演化过程,或许各家认识会逐渐统一起来。这就是作者写作本书的出发点之二。

铀是一种地球化学性质极为活泼的元素,在各种地质作用下,具有易聚易散的地球化学性状。过去传统的单元铀成矿理论,用于实践时碰到了难题,无法解释中国汪家冲砂岩型铀矿床、金银寨硅质角砾岩型铀矿床和大新碳酸盐岩型铀矿床的地质和矿化特征。于是大家从实际出发,提出先沉积后淋积的沉积-淋积、先沉积后热液的沉积-热液或沉积-变质、先热液后淋积的热液-淋积的多成因叠加等术语,以解释上述矿床的成因。70、80 年代国外许多学者,纷纷相继用多阶段复成因的思路研究铀矿床。如 B. И. 丹契夫和 T. A. 拉宾斯卡娅(1965), B. И. 丹契夫和 H. П. 斯特列梁诺夫(1973),对沉积岩中铀的原始沉积富集,成岩作用中的再富集,以及成岩后改造或再造富集作了详细论述,并提出将复成因矿床作为铀矿床的第四大类型单独划分出来。又如 Franz J. Dahlkamp(1978)详细论述了加拿大凯湖铀矿床的成矿演化,拟编出 6 个成因成矿的成因模式。陈国达(1979)首先从大地构造成矿角度,对多因复成矿床作了更全面的论述。作者在近 20 年的学习和运用过程中,作者认为运用陈国达提出的多因复成成矿理论,指导研究一些铀矿床的形成和演化,有着广阔的应用领域和极大的生命力,使一些长期争论或悬而未解的疑点获得较圆满的解释。作者试图用多因复成成矿理论来研究和阐明国内外一些重要铀矿床的复杂特征及其成矿演化,这是作者写作本书的出发点之三。

对于地洼学说,我们是采用边学边用,学一点用一点的方法来研究铀矿床的。本书第一作者姚振凯于 1956~1957 年间,在乌克兰科学院通讯院士 A. 3. 希洛科夫教授指导下,对顿涅茨盆地泥盆纪—石炭纪地层作了综合研究,编制了该盆地泥盆纪—石炭系地层柱状图。结果惊人地发现地台盆地内泥盆纪—石炭系的厚度竟达上万米。如果加上二叠系,则

近达 12 km 厚。后来，指导教授在讲授“苏联地质学”课程时，把所编制的该泥盆纪—石炭系柱状图作为教学挂图使用。正巧，此后不久，陈国达院士来信要求协助他收集原苏联的地质资料，当即把此地层柱状图寄给了他。后来见陈国达著作的“地台活化说及其找矿意义”（1960）中称之为顿涅茨地洼盆地（当然不能说陈国达院士首创的顿涅茨海西期地洼盆地，是根据作者提供的资料），从此对地洼学说创新之举深感敬佩。我们写作的此书，也是对地洼学说学习心得的总结。这就是写作本书的出发点之四。

全书共分 11 章 36 节，约 52 万字，含图 169 张，表 42 个。第一、二章为总论和分类。第三、四、五、六、七章为矿床类型及实例各论，对 23 个代表性矿床作了较详细论述。第八、九、十、十一章分别对铀矿床形成条件、成矿机理、时空分布和成矿演化作了专论。本书内容特点是：首次较系统地从大地构造演化与铀成矿演化相结合的角度，对多因复成铀矿床的形成条件、机理和分布，对矿床分类及对各类中的代表实例作了较详细和系统论述；强调矿床形成的多大地构造阶段、多种成因成矿作用、多种成矿物质来源，以及主阶段、主成因、主来源的内外生成矿前后叠加、累积叠增成矿的复杂模式；强调地壳每一大地构造单元，对多因复成铀矿床类型及其类型组合，有着明显的专属性，体现出大地构造对多因复成铀矿床的首要控矿意义。另外，还首次单独划分出交代岩类矿床，与沉积岩、岩浆岩及变质岩类的矿床并列。

由于多因复成铀矿床实例很多，数以百计，涉及各矿床成因观点的文献资料更多，限于篇幅无法在本书中一一介绍，由于作者水平所限，挂一漏万之处在所难免。有些矿床由于过去研究程度不一，或出于保密原因，有的数据未公开发表，在介绍中显得粗糙和简单。对于运用地洼学说，运用其活化成矿的核心，试用了地盾活化、中间地块活化、地槽固结后活化等新术语。实质上仍然属地台活化，只不过是地台活化时间早晚和时间长短之差别。

书中对矿床这一术语，采用比较广泛的涵义，有的矿床名称还沿用了历史叫法，即起初是矿床，后发展成为矿田，我们采用了前者，如南非维特瓦特斯兰德铀矿床。按同位素年龄资料，参照 1989 年国际地科联颁布的世界地层表，对矿床形成时代，作了初步统一，对部分矿床成矿时代归属相应作了变动。我们认为，今后加强多因复成铀矿床的同位素地质研究，显得十分必要，可以更清楚地了解铀的成矿阶段和不同成因成矿的归属，确立主次成矿期和主次铀源，从而明确主要找矿方向。应该指出，我国学者夏毓亮、郑懋公、徐国庆、李跃松等对我国一些多因复成铀矿床的成矿时代、成矿演化、矿质来源等等，作了极有意义的工作，不仅丰富了铀矿床成矿学的研究内容，而且还为本书作者的研究思路与部分结论提供了令人信服的同位素年龄数据与佐证。另外，今后显然有必要进一步开展矿床对比研究，查明相同大地构造区或相同的多因复成铀矿床类型在世界各地的异同点，确立本地区或本类型矿床进一步的找矿方向，理出各种类型的多因复成铀矿床的找矿模式和找矿标志。

本书写作过程中承蒙陈国达院士自始至终给予学术指导，并为本书作序。胡绍康、童航寿、黄世杰研究员，王志成、杨尚海和王敢高级工程师提供了有关宝贵资料。中南 230 研究所情报室叶柏庄高级工程师、资料档案室谢辉同志给予了查询资料的方便，李德平高级工程师协助用电脑打字排版，王兆梅同志清绘全部插图，白铁同志翻译了英文目录和英文摘要等。本书初稿又蒙胡绍康研究员（主审）、童航寿研究员、吴延之教授、黄瑞华和谭克仁研究员等审阅，他们提出了宝贵的修改意见和建议，在此表示衷心的感谢。最后，还要

对参考文献的作者和长期与我们共同工作的大批同行所给予的支持和协助，表示深切的谢意。

由于作者水平所限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

姚振凯 郑大瑜 刘翔

1997年6月

目 录

序

前 言

第一章 概论	(1)
第一节 多因复成矿床的涵义及研究小史	(1)
第二节 研究内容和现状	(3)
第三节 研究的理论和实践意义	(3)
第二章 多因复成铀矿床分类	(6)
第一节 按含矿主岩岩性的分类	(6)
第二节 按含矿主岩时代的分类	(7)
第三节 按矿石元素建造的分类	(7)
第四节 按成因组合方式的分类	(8)
第五节 按大地构造演化的分类	(9)
第六节 按成矿铀源的分类	(9)
第三章 沉积岩型多因复成铀矿床	(11)
第一节 砂岩亚型矿床	(11)
一、矿床地质特征	(11)
二、中国汪家冲矿床	(13)
三、捷克哈姆尔 (Hamr) 矿床	(21)
第二节 碳酸盐岩亚型矿床	(25)
一、矿床地质特征	(25)
二、中国垒头矿床	(27)
三、中国大新矿床	(43)
四、扎伊尔申戈洛布韦矿床	(46)
第三节 黑色页岩亚型矿床	(56)
一、矿床地质特征	(56)
二、德国诺聂帕尔格矿床	(57)
第四章 岩浆岩型多因复成铀矿床	(71)
第一节 白岗岩亚型矿床	(71)
一、矿床地质特征	(71)
二、纳米比亚罗辛矿床	(72)
第二节 火山岩亚型矿床	(74)
一、矿床地质特征	(74)
二、中国熊家矿床	(76)

第五章 变质岩型多因复成铀矿床	(87)
第一节 碳硅质板岩亚型矿床	(87)
一、矿床地质特征	(87)
二、中国铲子坪矿床	(88)
三、中国鹿井矿床	(99)
四、德国施列玛 (Schlema) 矿床	(110)
第二节 石墨片岩亚型矿床	(118)
一、矿床地质特征	(118)
二、澳大利亚兰杰矿床	(119)
三、澳大利亚贾比卢卡矿床	(131)
四、加拿大中西湖矿床	(144)
五、加拿大凯湖矿床	(158)
第三节 变质古砾岩亚型矿床	(166)
一、矿床地质特征	(166)
二、南非维特瓦特斯兰德矿床	(168)
第六章 交代岩型多因复成铀矿床	(180)
第一节 夕卡岩亚型矿床	(180)
一、矿床地质特征	(180)
二、澳大利亚玛丽-凯思林矿床	(181)
第二节 钠长岩亚型矿床	(190)
一、矿床地质特征	(190)
二、哈萨克斯坦格拉乔夫矿床	(190)
三、俄罗斯奥涅施斯克矿床	(203)
四、乌克兰基洛夫格勒矿床	(215)
五、乌克兰克里沃罗格矿床	(224)
第三节 硅质角砾岩亚型矿床	(238)
一、矿床地质特征	(238)
二、中国金银寨铀矿床	(238)
第七章 混杂角砾岩型多因复成铀矿床	(253)
第一节 矿床地质特征	(253)
第二节 澳大利亚奥林匹克坝矿床	(254)
第八章 铀矿床形成条件	(271)
第一节 成矿铀源条件	(271)
第二节 岩石建造条件	(273)
第三节 构造条件	(279)
第四节 热源和动力源条件	(285)
第九章 铀矿成矿机理	(288)
第一节 多成因和主成因成矿	(288)
第二节 多阶段和主阶段成矿	(289)

第三节	多铀源和主铀源成矿	(291)
第四节	多因素和主因素成矿	(293)
第五节	累积叠增的塔式成矿模式	(295)
第十章	铀矿床时空分布规律	(300)
第一节	时间分布规律	(300)
第二节	空间分布规律	(305)
第十一章	多因复成铀矿床的成矿演化	(310)
第一节	成矿大地构造演化	(310)
第二节	含铀岩石建造演化	(315)
第三节	矿床成因的演化	(317)
	参考资料及文献	(322)
	英文摘要	(328)

Contents

Preface

Foreword

Chapter I Introduction	(1)
1. Concept and study history of polygenetic and compound ore deposits	(1)
2. Study contents and current situation	(3)
3. Study significance on theory and practice	(3)
Chapter II Classification of polygenetic and compound uranium ore deposits	(6)
1. Classification according to the lithologic character of ore-bearing rock	(6)
2. Classification according to the age of ore-bearing rock	(7)
3. Classification according to ore-element formation	(7)
4. Classification according to combination of ore genesis	(8)
5. Classification according to tectonic evolution	(9)
6. Classification according to the source of uranium in ore-forming process	(9)
Chapter III Sedimentary rock type of polygenetic and compound uranium ore deposits	(11)
1. Sandstone subtype of ore deposits	(11)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(11)
(2) Wangjiachong ore deposit in China	(13)
(3) Hamr ore deposit in Czech	(21)
2. Carbonate subtype of ore deposits	(25)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(25)
(2) Bentou ore deposit in China	(27)
(3) Daxin ore deposit in China	(43)
(4) Shinkolobwe ore deposit in Zaire	(46)
3. Black shale subtype of ore deposits	(56)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(56)
(2) Ronneburge ore deposit in German	(57)
Chapter IV Magmatic rock type of polygenetic and compound uranium ore deposits	(71)
1. Alaskite subtype of ore deposits	(71)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(71)
(2) Rössing ore deposit in Namibia	(72)
2. Volcanic rock subtype of ore deposits	(74)

(1) Geological characteristics of ore deposits	(74)
(2) Xiongjia ore deposit in China	(76)
Chapter V Metamorphic rock type of polygenetic and compound uranium ore deposits	(87)
1. Carbonate-siliceous slate subtype of ore deposits	(87)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(87)
(2) Chanziping ore deposit in China	(88)
(3) Lujing ore deposit in China	(99)
(4) Schlema ore deposit in German	(110)
2. Graphitic schist subtype of ore deposits	(118)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(118)
(2) Ranger ore deposit in Australia	(119)
(3) Jabiluka ore deposit in Australia	(131)
(4) Midwest Lake ore deposit in Canada	(144)
(5) Kay Lake ore deposit in Canada	(158)
3. Metamorphic paleoconglomerate subtype of ore deposits	(166)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(166)
(2) Witwatersrand ore deposit in South Africa	(168)
Chapter VI Metasomatic rock type of polygenetic and compound uranium ore deposits	(180)
1. Skarn subtype of ore deposits	(180)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(180)
(2) Mary-Kathleen ore deposit in Australia	(181)
2. Albitite subtype of ore deposits	(190)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(190)
(2) Grachef ore deposit in Kazakstan	(190)
(3) Onezhsky ore deposit in Russia	(203)
(4) Kirovograd ore deposit in Ukrain	(215)
(5) Krivorog ore deposit in Ukrain	(224)
3. Siliceous breccia subtype of ore deposits	(238)
(1) Geological characteristics of ore deposits	(238)
(2) Jinyinzhai ore deposit in China	(238)
Chapter VII Chaotic breccia type of polygenetic and compound uranium ore deposits	(253)
1. Geological characteristics of ore deposits	(253)
2. Olympic Dam ore deposit in Australia	(254)
Chapter VIII Forming condition of uranium ore deposits	(271)
1. Source of uranium in mineralization	(271)
2. Formation	(273)
3. Structure	(279)
4. Source of heat and dynamic	(285)

Chapter IX Mechanism of uranium mineralization	(288)
1. Poly-genesis and main genesis mineralization	(288)
2. Poly-stage and main stage mineralization	(289)
3. Poly-U-source and main U-source mineralization	(291)
4. Poly-factor and main factor mineralization	(293)
5. Telescoping-accumulating tower pattern metallogenic model	(295)
Chapter X Regularities of time-space distribution of uranium ore deposits	(300)
1. Regularities of time distribution	(300)
2. Regularities of space distribution	(305)
Chapter XI Metallogenic evolution of polygenetic and compound uranium ore deposits	(310)
1. Tectonic evolution of metallogeny	(310)
2. Evolution of U-bearing formation	(315)
3. Evolution of ore genesis	(317)
Reference	(322)
Abstract	(328)

第一章 概 论

第一节 多因复成矿床的涵义及研究小史

多因复成矿床术语,是陈国达院士1979年首先提出的。他指出:多因复成矿床是指那些由于不止一次成矿作用的综合结果,以致明显地同时具有多方面的成因特征的一类矿床。产生多因复成矿床的不同成矿作用和成矿物质,可以来自同一含矿区内地壳演化过程中的不同基本阶段(如前地槽阶段、地槽阶段、地台阶段、地洼阶段),也可来自相同或不同基本阶段中不同的次级阶段(如地洼阶段的初动期、激烈期和余动期)。因此,多因复成矿床以多大地构造成矿阶段、多期次成矿作用、多成矿物质源、多控矿因素及多成因类型的5多特征为特色。

多因复成铀矿床是多因复成矿床的一个矿种类别。因此,陈国达指出上述涵义,完全适用于多因复成铀矿床。应强调指出的是,由于铀元素具有易聚易散的地球化学性质,许多铀矿床的多因复成特征,比其他矿床更为明显、突出。此外,我们认为,单种成因的多次重复成矿所成矿床,不能列入多因复成铀矿床。如多次热液成矿形成的铀矿床,仍然是热液铀矿床,多次淋积成矿形成的铀矿床依然是淋积铀矿床。有些矿床虽为多阶段多成因矿床,但从成矿铀源和成矿作用看,均属内生或外生范畴的不同成因,故仍不属多因复成铀矿床。另外,有些铀矿床虽有多种内生和外生成因的成矿作用参与,但除主成矿作用外,其余的成因作用所形成的矿量甚微,对矿床整体面貌影响极小,可忽略不计。如表生淋积叠加成矿作用较普遍分布,若对某些内生或变质铀矿床的整体影响不大,所成矿量甚微,可以不列入多因复成铀矿床范畴。因此,多因复成铀矿床是具有内外生成矿作用参与的内生+外生(或变质)的,或外生+变质的多种成因组合的矿床,属与内生、外生和变质矿床并列的第四大类铀矿床。

对于多因复成铀矿床与复成因铀矿床及层控铀矿床的关系和异同问题,据我们理解认为,多因复成矿床与复成因矿床的含义相近,但多因复成铀矿床更侧重于研究成矿作用的演化与地壳大地构造阶段演化的同步相依关系,而复成因铀矿床却侧重于研究不同成因的成矿作用相互叠加和混合参与。因此,多因复成铀矿床的研究包含着复成因铀矿床。而多数层控铀矿床也属于多因复成铀矿床,但后者的研究范围更广,矿床类型更多,成矿机理更加复杂多样。因此,本书采用多因复成矿床的概念和成矿理论,来分析和研究铀矿床,查明各铀矿床类型及各矿区的找矿方向,似乎对过去文献中用单元或单一成矿论所描述过的一些铀矿床中的某些不解之迷,可以获得较令人满意的解释,或者使人们的认识更接近客观实际。

回忆过去,长期以来对铀矿床的研究,沿袭了传统的普通矿床成因研究的思维和方法,把许多原本为多元成矿铀矿床,看成是单一大地构造阶段、单一成矿铀源和单一成因所形

成。因此，在70年代以前国内外对铀矿床的分类，与普通矿床一样，只有内生、外生和变质矿床3大类。后来，经过近30年的研究。发现许多矿床，特别是许多铀矿床，并非单一大地构造阶段、单一成矿铀源和单一成因所能形成。1965年苏联В. И. 丹契夫(Данчев)和Т. А. 拉宾斯卡娅(Липинская)，在《放射性原料矿床学》一书中，提出了复成因矿床的概念。1973年В. Н. 柯特良尔等人提出的铀矿床分类中，单独列出了复成因铀矿床。当时对复成因矿床，只是理解为一种次要成矿作用对已形成的矿床的叠加和改造而成。1979年В. И. 丹契夫等人提出的铀矿床分类中，把复成因铀矿床与内生、外生和变质3大类矿床并列，并指出：在复成因矿床形成过程中，铀源可能与深部溶液有关，而矿体则是在沉积物成岩作用条件下形成的，即深部内生铀源在外生作用条件下富集成矿。涂光炽在70年代末也明确指出，多成因矿床包括了成矿物质的多源性，多种成矿地质作用参与，多阶段的成矿作用和多种含矿溶液的混合。

姚振凯在陈国达学术思想指导下，在80年代初期研究碳酸盐岩型铀矿床时，对碳酸盐岩中的铀矿床分类，提出了内生、外生和多因复成3大类，同时对多因复成的碳酸盐岩铀矿床，按成因组合进一步划分为4种亚类：①沉积+热水溶液矿床，如我国瓮头矿床，大新矿床；②沉积+热液矿床，如原苏联志留纪灰岩中的矿床；③热液+淋积矿床，如我国小江矿床；④热水岩溶+淋积矿床，如美国亚利桑那州矿床。后来，他在几篇论文中指出(姚振凯，1982、1987)多因复成铀矿床具有三多、三主的特色，即多源、多期、多成因和主源、主期、主成因。既有多源多期多成因的复杂一面，又有主成矿铀源、主成矿期和主成因作用突出特征的一面。各种成矿铀源、各期铀成矿作用和各种成因作用的相互关系，是遵循着累积递增的宝塔模式发展规律。

罗朝文、王剑峰(1990)提出，复成因矿床应是在相同或不同时期由不同来源的成矿物质，在不同的成矿作用(如内生作用和外生作用)下叠加所形成的矿床。因此，不同成矿作用参与成矿是确定复成因矿床的关键。还指出，复成因矿床的范围包括：①由不同成矿作用和不同来源的成矿物质叠加所形成的，主成矿作用不明显的矿床，如澳大利亚和加拿大的不整合面型铀矿床；②主成矿作用虽然明显，但叠加成矿作用在成矿中占有重要位置的矿床，如我国南方一些热液叠加改造型碳硅泥岩铀矿床；③受到内生热水溶液或外生冷水溶液成矿作用叠加改造的变质铀矿床和岩浆铀矿床。他们还把复成因铀矿床划分为内生含矿水溶液叠加改造的碳硅泥岩型矿床和不整合面型铀矿床。

Н. И. 拉维罗夫(Лаверов)等著的铀矿普查勘探手册(仇宝聚等译，1995)中，把复成因矿床和内生、外生、变质矿床并列，作为第四大基本铀矿床系列单独划分出来。他把复成因铀矿床划分成两个矿床组3种成因组合类型和6种矿石建造类型(详见第二章)。他指出，复成因矿床的形成与铀的连续富集作用有关，如在腐殖酸软泥中的同生富集，变质作用和褶皱后花岗岩岩浆作用有关的较晚期热液作用，及其在次生富集带中铀的高品位富集。这些矿床在区域不整合面上的位置，超覆的地台沉积层的特殊成分(包括地洼沉积层——著者注)，断层及喀斯特成因的构造的明显控制作用，矿石的特殊成分及成矿的连续性，铀矿物不同时代年龄，这些都说明它们属于复成因矿床。但是他把多阶段的外生铀矿床，如多阶段的淋积型铀矿床也列入复成因铀矿床，对此，我们表示异议。

第二节 研究内容和现状

由于多因复成铀矿床的复杂性以及多样化的地质矿化特征，导致该类矿床的研究内容比其他的内生、外生、变质铀矿床更为广泛。归纳起来，主要研究内容有 3 个方面：

首先是多因复成铀矿床的地质矿化特征方面的研究，侧重于论证其多因复成依据。地质矿化特征包括矿床的区域地质背景和大地构造位置，含矿层位时代和岩性剖面，含矿主岩的矿物和岩石成分及性能，矿床构造形态及成矿构造，矿区岩浆岩，矿体形态及近矿围岩蚀变，矿石构造及其物质成分，以及矿床同位素地质特征等。

其次是矿床形成条件的研究，侧重于主成矿期及主成矿作用条件分析，包括成矿铀源，成矿的物理化学条件，成矿的空间和动力条件。

最后是成矿作用的演化研究。它是建立在区域和大地构造演化研究的基础上，探索铀成矿作用的演化。要查明和理顺矿区及区域内的主要地质构造和成矿事件，研究各阶段各期次铀成矿作用的先后、叠加、改造、再造的相互时空及成因联系，建立各种类型的和具体矿床的成矿演化模式。

当前，多因复成铀矿床的研究，在国内外都取得了长足的进展。1984 年在我国成都召开的全国第三届矿床会议上，宣读有关多阶段、多成因、多来源的矿床论文很多，引起了与会领导及学者的重视，标志着我国矿床研究进入了一个新的研究阶段。该次矿床会议纪要明确指出：我国对矿床的研究工作，已从过去对矿床的孤立研究走向了对矿床成矿模式研究和成矿系列的研究；从过去单一的成因观点走向对矿床形成的多机制、多阶段、多来源的研究。注重了矿田、矿床中各种矿化的时间、空间、物质来源、成因联系的演化。

通过近 20 年国外对澳大利亚、加拿大、俄罗斯及东欧等地超大型铀矿床的研究，得出的主要结论是，绝大部分超大型铀矿床，特别是产于沉积变质岩中的超大型铀矿床，均属于多阶段、多期次、多成因、多来源和多控矿因素的多因复成铀矿床类型。而且对上述矿床做了相当程度的研究，为今后进一步研究积累了丰富的认识和宝贵的资料。

应强调指出的是，矿床同位素地质研究对多因复成铀矿床提供了较充分的地质地球化学依据，为研究这类矿床成矿物质的多来源和成矿年龄的多值性提供了令人信服的论证。使一些大型和超大型的多因复成铀矿床的成因，逐步得到了较为统一的认识，并对该类矿床的进一步找矿和研究起着更为有效的指导作用。可惜和不足的是，各个多因复成矿床的研究程度不一，数据齐全性参差不齐，有的仅是定性分析多，具体数据不足，有的则是观察研究角度不同，形成对矿床的成因认识以偏概全，甚至各执一端形成对立观点，这些均有待进一步深入和全面研究，逐步加以解决。

第三节 研究的理论和实践意义

陈国达（1979）曾对多因复成矿床研究的理论和实践意义，作了深入的阐述。根据我们对多因复成铀矿床十余年研究的体会，认为其理论意义主要在以下 4 个方面。

1. 认识到铀成矿的复杂性

划分出第四大铀矿床成因类型。研究表明，由于多因复成铀矿床的多物质来源、多成

矿大地构造阶段或多期次、多种成因作用的复杂特征，无法用过去传统矿床学的单元成矿理论进行成因归类，它既有内生矿床特征，又有外生矿床标志，只有用第四大类型矿床划分，方能解决矿床归类问题。

2. 强调全面观察和综合研究的重要性

多因复成铀矿床具有内生和外生成矿作用特点，只有对矿床作出全面观察和进行综合研究后，才能对矿床特征作出较全面和完整的评价。如果只从某个侧面，只强调某种特征和标志，就作出矿床成因的评价，往往难以反映客观，各家认识无法统一。例如，我们在80年代初期研究盆头碳酸盐岩铀矿床时，搞沉积学的得出岩相古地理控矿，并导出沉积-成岩的矿床成因结论；搞构造的看到矿化受断裂构造制约，热液蚀变作用与内生铀矿化分布有关，得出热液或热水成矿认识；有的看到矿床表生富集作用，矿石物理性质松散，强调淋积成矿，得出矿床为淋积成因；后来，搞岩溶学的看到碳酸盐岩区岩溶洞穴发育，岩溶角砾岩广泛分布，并与铀矿化分布有关，又得出岩溶洞穴沉积-成岩成矿的看法。持各种观点的都有自己的观察事实和依据，有其正确的一面。但如果只以自己观察的某些依据，作出矿床成因的全面评估，甚至否定别人观察的事实和依据，或不去观察和考虑别人发现的事实和依据，往往难以获得较为客观的结论。

3. 应用成矿演化观点和研究方法的必要性

由于多因复成铀矿床的形成，往往经历了多阶段或多期次大地构造活动，具有多来源和多成因的成矿作用，属累积叠增的成矿模式机制，故必须用成矿演化的观点和方法进行研究。要特别指出的是主成矿大地构造阶段、主成矿铀源及主成因作用的研究和确定。从所研究的多因复成铀矿床看，地洼阶段的构造-岩浆活化作用，对大型和超大型多因复成铀矿床的形成和定位，起着极其重要的作用。而地洼阶段又是从地槽→地台→地洼演化，或从地槽→地洼演化而成。因此，研究地洼阶段和地洼区的多因复成铀成矿作用，具有特殊重要意义。

4. 扩大了研究领域和找矿方向

由于多因复成铀矿床的多大地构造阶段演化、多成矿物质来源及多种成因的有机叠置作用，对这类矿床的研究内容和领域，远远多于单元成矿论形成的矿床。在找矿方向上，扩大了找矿思路，分析各阶段、各种铀源及各种成因的多方面控矿因素，对寻找既大又富的大型和超大型多因复成铀矿床的研究，更有特殊重要意义。

研究多因复成铀矿床的实践意义，集中表现在研究的经济意义上。国内外发现的大型和超大型铀矿床，矿石品位富，储量规模大，绝大多数属多因复成的类型。研究这类矿床的形成条件、成矿特征和识别标志，有利于指导地质找矿人员多快好省地找到此类矿床。近年澳大利亚奥林匹克坝超大型多因复成铀矿床的发现，引起世人瞩目。

关于多因复成矿床与超大型矿床的关系，陈国达在1994年第9届国际矿床成因讨论会地洼学组（IAGODW4）上，发表了《多因复成矿床与超大型矿床》论文。他指出：由于多因复成矿床具有复杂的特征和综合的形成历史，它们通常有利于成为大型和超大型矿床。事实上已知有许多大型和超大型矿床是由这种途径而形成的。一般说来，多因复成的大型和超大型矿床的形成过程，可分为孕育、诞生及抚育三个时期，依次为这类矿床提供了先天、临产及后天条件：即依次提供作为基础的先成矿床或矿源层（岩），矿床主要形成期的地质-地球化学环境，以及主要形成期之后的叠加改造或再造作用。地洼区是形成多因复成的超