

# 鄂尔多斯盆地 砂岩型铀矿成矿地质背景

金若时 等 著



科学出版社

# 鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿 成矿地质背景

金若时 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书主要分析研究了中国北方古生代末期古亚洲洋闭合后,中生代时期大陆内山盆形成过程中,盆地内沉积物质形成及时空演化为砂岩型铀矿成矿而提供的铀成矿有利环境条件。通过对比研究大量铀、煤、油钻孔等实际资料,以沉积盆地为单位,充分运用地质原理及测试分析,研究了盆地的基础地质、地球物理、地球化学、遥感影像特征,并用以恢复认知沉积环境条件变化所带来的有利成铀地质背景。

本书可供铀矿床地质学、沉积地质学及相关专业的生产、科研人员、相关院校师生阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿成矿地质背景 / 金若时等著. —北京: 科学出版社, 2019. 9

ISBN 978-7-03-062247-1

I. ①鄂… II. ①金… III. ①鄂尔多斯盆地-砂岩型铀矿床-成矿地质 IV. ①P619.14

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第191047号

责任编辑: 韦 沁 / 责任校对: 张小霞  
责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 耕者设计工作室

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>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019年9月第一次印刷 印张: 18 3/4

字数: 445 000

定价: 258.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 著者名单

金若时 俞初安 苗培森 司马献章 李建国  
孙立新 张原庆 张国利 张素荣 张天福  
滕菲 程银行 汤超 郑国庆 杨君 等  
刘晓雪 赵丽君 王善博 朱强 司庆红  
文思博 彭胜龙 李海峰 曹惠峰 李秀花

# 序

铀是我国重要的战略性关键矿产。随着国民经济的高速发展和国家生态文明建设的需要，发展核电对保障能源供应安全及生态环境保护具有十分重要的意义。而我国已探明的铀资源储量远不能满足国家核电长期发展需求。目前，砂岩型铀矿已成为世界最重要的铀矿类型，也是我国最主要的经济可采类型。因此加大砂岩型铀资源的调查和勘查力度，提升铀资源保障能力，是核电可持续发展的重要基础。

鄂尔多斯盆地作为我国重要的产铀盆地之一。进入 21 世纪以来，核地质系统和原国土资源部中央地质勘查基金管理中心等单位在该盆地取得了一系列重要铀矿找矿成果，为鄂尔多斯盆地铀资源基地建设奠定了基础。国土资源部天津地质调查中心作为国家基础性、公益性、战略性的调查科研队伍，2010 年在内蒙古鄂尔多斯开展煤炭监理时，发现了煤田资料“二次开发”对砂岩型铀矿找矿具有重要意义。自从 2012 年以来，该团队牵头承担了 中国地质调查局多个地质调查项目、科技部铀矿 973 计划项目及国家重点研发计划项目，全面拉开了我国北方主要中生代盆地的新一轮砂岩型铀矿找矿和科研工作的序幕，并取得了一系列理论创新和找矿成果。

从基础地质入手，以沉积盆地为单位，研究了盆地的基础地质、地球物理、地球化学、遥感影像特征，恢复认知了沉积环境条件变化所带来的有利成铀地质背景。对比研究大量铀矿、煤田、油气田勘查钻孔等实际资料，发现了反映岩石原始形成环境的颜色具有垂直分带性，有别于层间氧化带成矿理论的横向颜色分带认识。确定了鄂尔多斯盆地沉积环境与控矿的层序；初步建立了反映沉积环境的氧化还原条件和干旱潮湿岩性序列指标。为建立“跌宕”成矿模式奠定了地质事实基础，对确定找矿方向和靶区优选，开辟铀矿找矿工作新局面起到了重要的指导和推动作用。

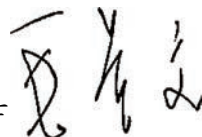
利用钻孔大数据平台和放射性异常参数特征筛查煤田和油田钻孔资料，快速圈定了一批成矿远景区和找矿靶区，明确了铀矿找矿具体部署方向，提出了“232”找矿方法体系，为找矿工作整体部署提供了思路。此轮工作提出的选区、类型研究、工程验证和勘查示范四个阶段的工作程序，是执行项目过程总结出来的成功经验。

金若时和他的科研团队依托中国地调局公益性平台，创新煤田、油田资料“二次开发”的技术思路，实现了地矿、核工业、煤炭、石油等系统的资料共享、人员大联合和大协作，充分利用了煤炭和石油系统数以万计的钻孔、测井等资料和核工业系统丰富的找铀经验，结合地矿系统多手段、多矿种、多领域的找矿信息，真正实现了跨行业、跨系统的系统性科学找矿。打开了行业壁垒，盘活了各行业数十年积累的资料，调动各行业科研和勘查队伍的积极性，踊跃参与项目，协同研究和找矿勘查，用较少的投入，快速发现和探明了一批矿产地。这种创新性工作方式，值得借鉴。

该著作体现了天津地调中心铀矿团队基于煤田和油田系统已有资料，通过科学性“二次开发”，在鄂尔多斯盆地开展砂岩型铀矿调查和找矿取得的新成果和新认识，显示了新

一轮综合研究和铀矿找矿突破的良好开端，进一步揭示了鄂尔多斯等北方盆地仍具有巨大的找矿潜力。我坚信，在自然资源部和中国地质调查局的大力支持下，通过广大铀矿地质工作者的不懈努力和奋斗，继续创新铀矿成矿理论和找矿技术，将推动我国铀矿找矿取得更大突破，也将有力的助推铀矿地质事业的蓬勃发展。

中国工程院院士  
2019年8月20日



# 前 言

纵观砂岩型铀矿历史此类矿产的开发利用仅是近几十年的事情。1850年，捷克首次把铀矿石作为矿产品开采。1880年，美国在科罗拉多高原发现砂岩型铀矿。1945年7月16日，美国实验引爆了世界上第一颗原子弹。1952年，苏联发现乌奇库杜克砂岩型铀矿床。1954年，在苏联的奥布宁斯克建成了第一座核电站。1967年，苏联布金纳依砂岩型铀矿床地浸实验取得成功，使砂岩型铀矿成为一种具有规模大、原地浸出成本低、开采环保的非化石清洁能源。1980年，法国巴黎召开的“the 26th International Geologic Congress”，提出了“Geological Environments of Sandstone-type Uranium Deposits”计划，系统地提出了砂岩型铀矿的定义，展开了全球重要砂岩型铀矿床分布范围的划分和构造背景的研究（IAEA，1985年资料）。

对于砂岩型铀矿前人做了一些研究工作。代表性的为：美国学者Shawe等（1959）提出了“卷状型”铀成矿作用；而后，Granger和Warren（1969）建立了“卷状型”铀分带的成矿模式。俄罗斯科学家Наумов和Шумилин（1994）提出了“潜水渗透型”和“层间渗透型”成矿作用；国内学者将俄罗斯学者提出的“层间渗透”改造为“层间氧化带”成矿模式。

国内鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿的重要发现已近十余年。2000年，核工业二〇八大队在鄂尔多斯盆地发现了皂火壕砂岩型铀矿，之后又发现了纳岭沟铀矿。2010年，国土资源部中央地质勘查基金管理中心等单位发现了国内最大砂岩型铀矿床——大营铀矿。2012年以来，中国地质调查局天津地质调查中心（简称天津地调中心）等单位在总结前人工作基础上，运用“煤铀兼探”和“油铀兼探”的思路快速发现了塔然高勒、宁东、黄陵和泾川等铀矿，建立了鄂尔多斯盆地东北缘三维可视化模型和盆地铀矿勘查钻孔数据库，并对该盆地成矿地质背景和作用提出了许多新认识。

本套著作共包含两册，一册为《鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿成矿地质背景》（本书），另一册为《鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿成矿作用》。是对“我国主要盆地煤铀等多矿种综合调查评价”计划项目（2013~2014年）、“北方砂岩型铀矿调查工程”（2015~2021年）、973计划项目“中国北方巨型砂岩铀成矿带陆相盆地沉积环境与大规模成矿作用”（2015~2019年）和“北方砂岩型铀矿能源矿产基深部探测技术示范”专项（2018~2020年）四个项目2018年前获得的地质成果的总结。

《鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿成矿地质背景》分析研究了中国北方古生代末期古亚洲洋闭合后，中生代时期大陆内山盆形成过程中，盆地内沉积物质形成及时空演化为砂岩型铀矿成矿而造就的铀成矿的有利环境条件。本书对比研究了大量铀、煤、油钻孔等实际资料，研究成果突出以沉积盆地为单元，充分运用地质原理及测试分析，研究了盆地的基础地质、地球物理、地球化学、遥感影像特征，来恢复认知沉积环境条件变化所带来的有利成铀地质背景。

依托中央公益性地质调查职能定位和平台优势,通过“五个坚持”的工作原则和“五个统一”的质量管理,创新了多行业、多部门协同工作,产学研相结合的铀矿找矿工作新机制,充分发挥了煤炭、石油、核工业、院校等部门、单位优势,以中央公益性地质调查队伍为龙头,综合找矿、科学找矿落到实处。没有海量的煤田、油气田钻孔资料的二次开发应用,不可能对成矿沉积相、沉积相及岩石的蚀变水平分带、氧化还原环境的垂向分带等做到细致的研究,没有氧化还原环境的垂向分带新认知,找矿空间就得不到拓展,就没有我国北方砂岩型铀矿找矿工作的新局面。

依托铀矿 973 计划项目和铀矿调查工程等平台,项目成员共发表论文 177 篇,其中被 SCI 收录论文 36 篇、EI 收录论文 37 篇。在天津地调中心初步打造了一支近 70 人的铀矿调查与科研团队,铀矿团队先后被评为 2015 年天津市模范集体和全国国土资源管理系统先进集体;2 人被评为天津市劳动模范、2 人被评为中国地质调查局“十大杰出青年”、1 人被评为中国地质调查局优秀青年、1 人入选中国地质调查局卓越地质人才、1 人入选杰出地质人才、2 人入选优秀地质人才。通过铀矿综合找矿,一大批煤炭、油气、地矿专家成为铀矿专家。一系列铀矿矿产地的发现,也为不同地勘单位调整产业结构、提升业务承载力提供了机遇、搭建了平台。

通过对盆地及其周边地球物理特征的分析,对整个盆地的构造格架有了新的认识;结合发现的砂岩型铀矿矿集区分布特征,分析了砂岩型铀矿产出的有利构造部位。对盆地边缘的地球化学特征分析,推断了成矿物质的物质来源。盆地的航空能谱具有北低南高的背景值特征,分析其特征主要受盆地形成期后构造改造的现今地貌和第四纪沉积分布所控制。遥感信息反映该盆地内,发育许多线形和环状构造,这些构造的控矿作用值得关注。

通过对全盆地和成矿集中区的钻孔联井剖面沉积环境的对比研究,发现整个盆地无论是成矿集中区还是未成矿地区,代表成岩形成时氧化-还原形成条件的岩石颜色分带,均为垂直分带,而且其分带由上至下多为红色—黄色—绿色—灰色—黑色。砂岩型铀矿大多产在含煤岩系或含油岩系上部的含铀岩系内,即一般产在煤层或油层之上的灰色岩石中。这种分带现象在该盆地内上万个钻孔资料中普遍存在,这个现象与前人“层间氧化带型”成矿模型提出的沿斜坡带上段为红色、黄色氧化带,中间为绿色、灰色氧化还原过渡成矿带,下段为灰色、黑色还原带的成矿区岩石颜色水平分带的认识大相径庭。而对成矿区内沿斜坡带剖面岩心进行系统的短波红外光谱扫描测试,发现其蚀变矿物沿斜坡带呈水平分带。

本书相关研究建立了利用煤田和油田勘查资料二次开发的工作细则、统一了调查标准。明确了异常钻孔筛选圈定找矿靶区、钻孔验证发现矿产地、对矿产地开展地质调查确定找矿方法、矿产调查扩大资源量四个工作步骤。建立了利用综合信息、查明控矿要素和运用好铀矿调查方法“232”的找矿方法组合。提出了“含煤盆地砂岩型铀矿找矿模式层序”、“红-黑岩系耦合产出对砂岩型铀矿成矿环境的制约”、“含铀岩系构造样式”、“大盆地、大砂体、大规模成矿作用成大矿”等对砂岩型铀矿形成背景条件的理论观点。用这些理论认识作指导并利用系列新的找矿方法在此盆地内发现了一批砂岩型铀矿资源矿产地。

本书共分为五章,前言、绪论由金若时、俞初安、张元庆等执笔;第一章由孙立新、

李建国、赵更新、张国利、张素荣、滕菲、程银行、张原庆、郑国庆、王威等执笔；第二章由金若时、俞初安、张天福、孙立新、杨君、肖鹏等执笔；第三章由俞初安、苗培森、李秀花、彭胜龙、曹惠峰、朱强、司庆红、汤超、刘晓雪、肖鹏、赵丽君等执笔；第四章由金若时、俞初安、王善博、张元庆等执笔；第五章由金若时、司马献章、俞初安、王善博、汤超、肖鹏、文思博等执笔。全书最后由金若时、俞初安统撰定稿，杨君、刘晓雪、赵丽君、王亚飞等参与了书中大量图件的编制。

在项目执行过程中，自然资源部科技发展司高平司长、中国科学院侯增谦院士、中国工程院毛景文院士及中国地质调查局资源评价部等有关领导对973计划项目的运行给予悉心的指导和帮助，973计划项目和铀矿工程跟踪技术专家原中国核工业地质局总工程师郑大瑜同志由始至终指导了本项目的铀矿调查和研究工作；另外原中国核科技信息与经济研究院院长侯惠群、中陕核工业集团二二四大队陈冰、宁夏核工业勘查院郭建宇、甘肃核工业地质局张玉龙等同志对完善项目的调查技术方法和保证工作质量给予大力的支持。

这些工作是在中国地质调查局和科技部的长期支持下，由中国地质调查局天津地质调查中心组织牵头，联合内蒙古自治区煤田地质局、中国核工业地质局二〇八大队、宁夏回族自治区地质局和核工业勘查院、中国煤田地质局、内蒙古自治区地质调查院和陕西核工业地质局等所属的多家队伍共同承担完成的；向这些为此项目流淌辛勤汗水与贡献智慧的同仁和所有关心支持此项目的领导与专家表示衷心的感谢！

金若时

2018年11月19日于天津

# 目 录

序

前言

绪论 .....	1
<b>第一章 鄂尔多斯盆地区域地质背景 .....</b>	<b>9</b>
第一节 区域地质背景 .....	9
第二节 地球物理特征 .....	36
第三节 遥感地质 .....	51
第四节 盆地周缘地球化学特征 .....	62
第五节 盆地水文地质特征 .....	74
第六节 盆地内部构造单元 .....	80
第七节 小结 .....	84
<b>第二章 重点成矿远景区含铀岩系地质特征 .....</b>	<b>85</b>
第一节 含铀岩系划分原则 .....	85
第二节 重点成矿远景区含铀岩系地质特征与对比 .....	85
第三节 重点成矿远景区含铀岩系测井参数对比 .....	126
第四节 盆地含铀岩系沉积环境 .....	133
第五节 小结 .....	171
<b>第三章 典型矿床、新发现矿产地地质特征 .....</b>	<b>173</b>
第一节 东北缘铀矿集区地质特征 .....	174
第二节 西缘铀矿集区地质特征 .....	196
第三节 东南缘铀矿集区地质特征 .....	209
第四节 西南缘铀矿带地质特征 .....	219
第五节 中部金鼎地区铀矿化带地质特征 .....	229
第六节 小结 .....	233
<b>第四章 盆地铀成矿规律 .....</b>	<b>234</b>
第一节 铀矿产概况 .....	234
第二节 控矿要素及找矿标志 .....	236
第三节 成矿规律 .....	249
第四节 小结 .....	252

第五章 找矿方法、预测模型和成矿预测 .....	253
第一节 找矿技术方法 .....	253
第二节 找矿预测 .....	260
第三节 成矿预测分析 .....	265
第四节 小结 .....	276
参考文献 .....	277
图版 .....	282

# 绪 论

## 一、铀资源形势分析

### 1. 铀

随着 19 世纪 40 年代第一个人工核反应堆的成功运转和第一颗原子弹的成功爆炸，人类进入到原子能时代。原子能和化学能、化石能源最重要的差别就是单位质量的能量密度，它们相差约六个数量级。例如，一吨铀元素裂变所能产生的能量大约相当于 260 万吨标准煤燃烧所释放出的化学能。

地球上放射性核素很多，人类对放射性核素的应用也多种多样，如放射性核素示踪、地质年代测定、农作物处理等。但是放射性元素对人类影响最大的还是原子能动力发电和原子武器。原子能发电和原子武器最基础的材料就是铀元素。铀元素也是地球上数量最多、内蕴裂变能量最大的放射性元素。自从人类进入原子能时代，铀元素具有的三大显著特点，或者说三大功能，深深地影响着人类社会的生产、生活和发展与进步：一是巨大的裂变能量，为人类提供了大量所需的能源，据 2018 年 BP 年会数据，原子能发电占世界总发电量的 4.8%；二是核武器的巨大破坏力，各国现存的核武器总数，足以毁灭人类几十次；三是核武器巨大破坏力的另一面，就是巨大的威慑力，自从 1945 年世界上有了原子弹，70 多年来大国之间的斗争一直保持着克制，没有哪个国家敢轻易挑起大国战争。这种威慑力预计将会长期存在下去。到目前为止，地球上还没有第二种元素对人类社会有这么大、这么深远的影响。

铀的原子序数是 92，在元素周期表中，为第七周期第Ⅲ副族，是自然界中已发现的质量最大的化学元素。铀共有 15 种同位素。所有同位素皆不稳定，但是半衰期差别巨大。自然界中铀有三种同位素，分别是<sup>238</sup>U、<sup>235</sup>U、<sup>234</sup>U。其中，<sup>238</sup>U 含量占 99.275%，半衰期为  $4.468 \times 10^9$  a；<sup>235</sup>U 含量占 0.720%，半衰期为  $7.038 \times 10^8$  a；<sup>234</sup>U 含量占 0.005%，是 <sup>238</sup>U 的衰变子体，半衰期为  $2.455 \times 10^5$  a (Rudnick and Gao, 2003)。

铀在地壳中属于微量元素，由于含量较少且分布极不均匀，在地壳中的丰度值不同年代、不同学者的数据差别很大，最高是  $10^{-4}$  数量级，一般是  $10^{-6}$  数量级。据中国最新科普词条 (2015 年)，含量约为  $2.5 \times 10^{-6}$ ，在地壳元素含量中的排名在第 50 位左右。貌似含量不多，实际上铀元素含量要高于钨、汞、银等人们比较熟悉的金属，比黄金的含量高出千倍！

铀的地球化学性质属于典型的亲石元素，具有较强的亲氧性，在自然界中多形成铀的氧化物及含氧盐。与大多数重金属元素一样，铀在自然界的存在状态也非常复杂，运移和沉淀多以各种不同组合的络合物形式进行。但是万变不离其宗，铀元素主要以 +4 和 +6 两种价态存在于各种络合物之中。最简单、基本的化学组合是  $UO_2$  和  $UO_3$  原子团，这些原子

团再以更复杂的络合物形式存在于自然界中。铀的存在方式虽然复杂多样,但是规律性也比较强,在各种溶液中,易溶于水迁移流动的是  $U^{6+}$  ( $UO_2^{2+}$ ),  $U^{4+}$  ( $UO_2^0$ ) 一般都是以沉淀状态存在的。

目前已经发现的含铀矿物有 170 种以上,具有工业利用价值的矿物主要为沥青铀矿、晶质铀矿、钙铀云母、铜铀云母、钒钾铀矿、钒钙铀矿、钛铀矿、铀石、硅钙铀矿等。

## 2. 铀资源供求

铀资源是国防安全和能源安全的重要保障,对于调整和优化我国能源结构,改善生态环境具有重要意义。中国《核电中长期发展规划(2011~2020年)》提出,到2020年中国在运核电装机达到5800万kW,在建3000万kW;单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%,非化石能源占一次能源消费比重将达到15%左右。世界上多数发达国家核能发电的利用比重已超过20%,而我国尚不足2%,核能发电尚有较大的发展空间。

核电的发展需要大量、稳定的铀资源的长期供应,以现在核电发展趋势,国内探明的铀资源量难以满足核能中长期发展的需求。作为核电的原材料,充分利用好国内、国外市场是核资源利用的必由之路,用好两个资源、两个市场必须以国内资源作为依托,才能确保铀资源的供给和价格稳定。因此,扩大我国的铀资源量,才能确保我国铀资源的长期稳定供给和战略储备。

## 3. 铀矿产资源现状

根据国际原子能机构(IAEA)资料,目前世界上有75个国家发现有铀矿床,资源量居前五位的国家依次为澳大利亚、哈萨克斯坦、尼日尔、加拿大和纳米比亚。国际原子能机构根据经济重要性把铀矿床划分为15种类型,最重要的就是砂岩型铀矿床。

此外世界上具有工业意义的铀矿床类型还有很多,如花岗岩型、火山岩型、热液型、角砾杂岩型、不整合面型、砾岩型等。类型划分也有不同的看法。各国地质条件不同,所依赖的主要铀矿类型也不尽相同,如法国主要利用花岗岩型、纳米比亚为白岗岩型、澳大利亚为角砾杂岩型、加拿大为不整合面型、南非为砾岩型等。20世纪中叶以前,美国和苏联(俄罗斯、哈萨克、乌兹别克和乌克兰)则分别利用热液型和火山岩型。1967年,砂岩型铀矿地浸开采实验取得成功,此后该类型资源利用迅速攀升,目前已成为主要开采的矿床类型(王正邦,2002)。

据IAEA红皮书(2016年),世界上开采成本低于130美元/kg U的已查明资源约为571.84万吨,开采成本低于40美元/kg U的已探明资源约为64.69万吨。我国开采成本低于130美元/kg U的已查明资源约为27.25万吨,开采成本低于40美元/kg U的已查明资源约为9.7万吨。

国际社会对核电站恐慌的不断加剧及全球铀矿价格持续下跌严重制约了全球铀矿的勘探开采工作。砂岩型铀矿以矿床规模大、地浸采矿成本低、开采过程环保等优点,在世界铀资源量供给中的比重迅速攀升,目前是世界上经济价值排在第一位的铀矿类型,也是我国铀资源的主要类型。据IAEA红皮书(2016年),砂岩型铀矿探明的资源量占全球总量的27%(图0.1a),然而其2015年的实际资源供给量已占当年全球铀资源总供给的49%

( $<130$  美元/kg U)，位居各类铀矿之首（图 0.1b）。从铀矿初始资源量、查明资源量和开采量三个标准衡量，砂岩型铀矿无疑是当前和今后相当长时间内世界上最重要的成因类型和工业类型。

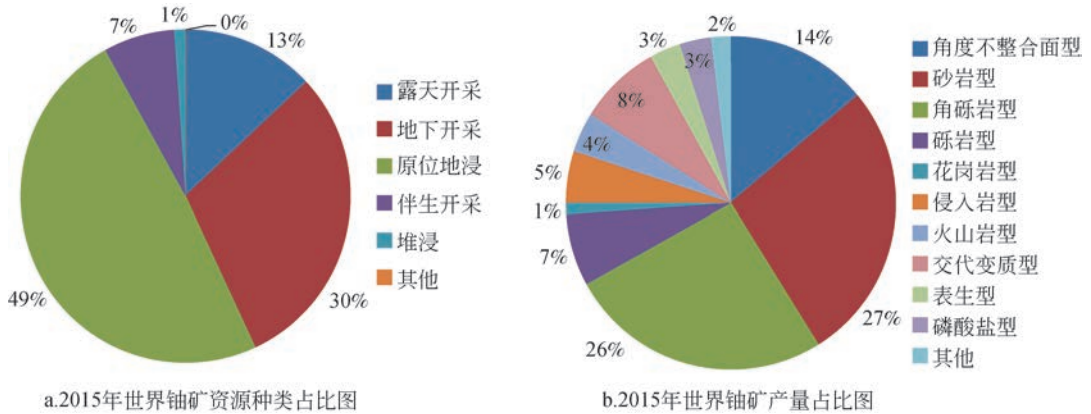


图 0.1 2015 年世界铀矿资源种类占比 (a) 和铀矿产量占比 (b) (据 IAEA, 2016)

## 二、鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿研究历史

### 1. 煤田、石油研究历史简介

鄂尔多斯砂岩型铀矿研究和勘查开发是与鄂尔多斯盆地基础地质研究分不开的。鄂尔多斯盆地是我国重要的煤炭和油气盆地，也是我国最早开展基础地质研究、石油勘查、煤炭勘查的地区之一，煤炭、油气的储量和年开采量在我国都占相当的比重。近年来东胜煤田、长庆油田储量的增长是我国能源产业发展过程中的大事。

新中国成立前，老一代地质工作者在极端艰难的条件下在鄂尔多斯盆地做了大量的调查研究工作，认识到盆地具有巨大的煤炭资源量，又发现了规模较小，但是对当时的中国却具有重要意义的延长油田。

系统性的地质调查、资源勘查工作始于 20 世纪 50 年代。石油、地矿、煤炭、核工业等勘查队伍先后在盆地开展了基础地质研究工作，取得了较丰富的基础地质资料。为全面深入了解鄂尔多斯盆地的地质背景、构造格架、地层结构、地质发展演化等奠定了良好基础，也为开展地浸砂岩找矿工作积累了丰富的基础地质资料。

煤田勘查系统性工作始于 20 世纪 50 年代。内蒙古、陕西、甘肃、宁夏各省、自治区的地质、煤炭等系统所属勘查单位在盆地东北部、东南部、西南部、西部地区分别开展了不同程度的煤田勘查工作，查明东胜煤田等一批大型、超大型煤田，获取了大量煤田基础地质资料，为利用煤田资料“二次开发”进行铀矿找矿提供了重要的资料基础。

陕北地区是我国最早发现、认识石油的地方，也是最先采集石油并加以利用的地方。鄂尔多斯盆地在近代中国的石油勘探中一直被寄予厚望，但是由于种种原因一直没有实现突破。到 1949 年新中国成立时，盆地累计产油 6000 余吨，还不到今天长庆油田日产量的

一半。为摘掉“中国贫油论”的帽子，20世纪50年代开始石油工业部、地质矿产部石油普查大队等相继在鄂尔多斯盆地北部开展了1:20万石油普查及重、磁、电、震等物探工作，部分地区进行了大比例尺的详查和钻探勘查工作。在工作区地层系统、石油和天然气的赋存情况以及区域构造的认识等方面取得了较大的成就。较系统的资料有1964年第三石油普查勘探大队编制的《鄂尔多斯盆地石油地质图集》，其对整个盆地的地质情况首次进行了系统总结。随着20世纪90年代我国石油勘探再次向西部转移，河流相油气勘探取得突破，盆地油气资源量、开采量都上了一个大的台阶。近年来，盆地内的长庆油田一直稳居我国油气田开采量的首位。

## 2. 盆地铀矿研究历史

20世纪40年代中后期，美苏先后成功爆炸原子弹，核武器对国际政治、军事格局的影响是深远、巨大的。新中国成立及抗美援朝战争后，以毛泽东为代表的第一代领导人深刻意识到核武器的重要性，积极推动我国核工业的发展。因此50年代开始我国对铀矿找矿工作就非常重视，全国范围内逐步开展了小比例尺航空放射性普查工作和重点矿区的调查工作。鄂尔多斯盆地就一直是我国铀矿找矿的重点地区。盆地铀矿勘查工作大致可分为三个阶段：

第一阶段：20世纪50年代至80年代。原西北一八二大队、内蒙古三队、宁夏三队、核工业二〇八大队和二〇三研究所、北京地质研究院等单位及其他队伍，主要开展了地面物化探、航放测量及水化学找矿等工作，发现了大量的地面铀矿点、矿化点及异常点带，提供了重要的寻找铀矿线索。

第二阶段：20世纪90年代至21世纪初。核工业二〇八大队、中国地质大学、核工业二〇三研究所等单位主要开展了资料综合整理、编图研究工作，圈定了一系列的成矿远景区及找矿靶区；同时核工业勘查队伍陆续开展了铀资源调查评价、预查、普查、详查等勘查工作，取得了很好的找矿成果，发现了皂火壕、纳岭沟、双龙、瓷窑堡等铀矿床。

第三阶段：2010年至今。由于铀矿的特殊性和计划经济体制的显性、隐性约束，前两个阶段基本上专业队伍找矿。2010年开始，以“煤铀兼探”、“油铀兼探”、资料“二次开发”为特征的找矿技术方法相继推广运用，找矿理论也突破了层间氧化带型固有模式，开创了鄂尔多斯盆地及其他地区铀矿找矿的新局面。其中，天津地调中心2010年在内蒙古鄂尔多斯开展煤炭勘查监理时，发现了煤田资料“二次开发”对砂岩型铀矿找矿具有重要意义，并于次年4月与中央地勘基金管理中心、内蒙古自治区国土资源厅签订了华北地区铀矿勘查选区综合研究三方合作协议，开始部署北方砂岩型铀矿找矿战略选区工作。2011年8月底，国土资源部中央地勘基金管理中心牵头组织开展了“内蒙古大营铀矿会战”。通过“煤铀兼探”，率先发现了国内最大规模的可地浸砂岩型铀矿床——大营铀矿。在此基础上，2012年以来，在中国地质调查局的统一部署下，由天津地调中心牵头负责，先后实施了“我国主要盆地煤铀等多矿种综合调查评价”计划项目、“北方砂岩型铀矿调查工程”、科技部973计划项目“中国北方巨型砂岩铀成矿带陆相盆地沉积环境与大规模成矿作用”及“北方砂岩型铀矿能源矿产基深部探测技术示范”专项。以煤田钻孔资料“二次开发”为主要技术手段，全面拉开了我国北方主要中生代盆地的新一轮砂岩型铀矿找矿和科研工作。鄂尔多斯盆地是其中的重要组成部分。围绕铀矿调查评价、重要基础地

质问题,天津地调中心组织煤田、地矿、核工业等不同行业队伍共同推进各项工作,累计投入经费 1.7 亿元,取得了一系列选区和找矿的重要突破或发现,并对盆地砂岩型铀矿资源潜力开展了初步评价,为后续勘查和铀资源基地建设奠定了坚实的基础。

### 三、砂岩型铀矿资源量突破过程及主要成果

自从砂岩型铀矿地浸法采矿试验成功以来,砂岩型铀矿的重要性越来越突出,目前地浸法开采已经成为世界和我国铀矿的最主要开采方式(IAEA 资料)。鄂尔多斯盆地是我国北方砂岩型铀矿成矿带中的重要盆地。2010 年,核工业队伍在盆地的北部发现了我国第一个大型砂岩型铀矿——皂火壕铀矿。回顾鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿的找矿历史,我们发现成矿理论的突破和找矿方法的革新起了关键性作用。在成矿理论方面,受传统沉积理论,特别是磷、锰、铁成熟沉积模式的影响,铀矿成矿也长期拘泥于沉积环境的水平分带模式,对沉积环境快速变化的河流相氧化还原条件认识不足,对氧化还原环境随时间轴(层位)的演化、转换认识不足。在找矿方法方面,充分挖掘煤炭、石油勘探过程中钻探资料尤其是测井资料信息,通过放射性异常和砂泥岩沉积韵律、沉积相、构造环境的综合关联分析,明确了找矿层位和含矿岩系的基本特征。形成了一套以沉积相、氧化还原环境四维时空演化为特征的铀矿成矿理论,以及以钻孔放射性异常、沉积环境、沉积韵律分析等综合分析为基础的综合找矿理论方法。正是由于成矿理论和找矿方法的突破,2010 年以后,鄂尔多斯盆地铀矿新获资源量是以前几十年的数倍。在这套理论方法指导下,北方其他盆地资源量也同样出现大幅增长。在这个过程中,研究思路的目标导向与找矿方法的实质性创新是分不开的。

#### 1. 研究思路

地球科学理论发生板块革命以来,成矿理论研究也进入了一个新的时代,成矿理论和地质环境、地质事件研究的结合越来越密切。成矿模式的总结成为成矿理论研究的“顶峰”!其实成矿理论研究的目的也是双重的,一方面要认识、发现矿床的成矿规律,另一个更重要的方面就是如何寻找矿产资源。找矿不单单是勘探队员的任务,更是学科领域内专家学者的直接任务。我们不但要研究矿床的成矿规律,还要研究矿床的找矿方法和找矿规律。铀矿是关系到我国政治、经济、安全的战略性资源,必须寻找突破口。天津地调中心结合国家战略导向,以“全力支撑铀资源保障,促进形成新的铀资源基地和解决关键地质问题”为主要目标,以盆地为单位,部署铀矿选区调查与科学研究工作。以地质事实为依据,深化研究控矿要素,获取精细的研究实验数据,凝练关键科学问题是实现成矿理论提升的基础工作,理论认识的提高必然带来新的找矿突破。

#### 2. 技术方法

本次铀矿调查工作确定了“①筛选钻孔,确定‘远景区’、‘靶区’;②优选‘靶区’进行钻探验证;③确定成矿类型,选择找矿技术方法组合;④优选矿点进行勘查示范,将矿点变成矿产地”四步工作阶段。建立了“统一工作思路”、“统一工作部署”、“统一技术路线与方法”、“统一技术标准”四个统一工作原则。

砂岩型铀矿的形成受沉积相带和沉积体的氧化还原条件双重因素控制。这次工作以盆地尺度为单元来认知砂岩型铀矿的形成环境,使我们在含铀岩系沉积相带和沉积的氧化还原环境背景方面有了与前人不一致的认知。在成矿方面以矿集区为单元的研究工作开拓了大规模流体“源、运、储”的研究视野,结合盆地的地下水动力条件,建立了新的找矿模式。

### 3. 主要成果

通过在鄂尔多斯盆地近五年的铀资源调查评价工作,依靠利用对煤田、油田资料二次开发的创新思路和勘查技术方法体系,在不同行业队伍的共同参与下,大致查明了鄂尔多斯盆地沉积环境特征和铀成矿地质条件,取得了系列找矿突破和成矿理论新认识,完善了找矿技术方法。

(1) 战略选区和铀矿调查取得新区新层系重要找矿发现,提交新发现铀矿产地 8 处(其中两处达大型矿床规模),累计提交 334<sub>1</sub> 资源量 X 万吨,为鄂尔多斯盆地铀资源基地建设提供了资源基础,同时扩大了资源前景。

①新发现一批重要找矿远景区。运用“煤铀兼探”、“油铀兼探”思路,首次较系统地收集、筛选鄂尔多斯盆地内煤田、油田钻孔 17 550 个,筛查出潜在铀矿孔 1877 个、潜在铀矿化孔 1700 个;综合分析了铀成矿地质条件,总结铀成矿规律,开展铀矿区划和资源潜力评价,圈定了铀成矿远景区 9 片,为后续调查工作部署提供了重要依据。

②钻探验证效果显著。组织施工验证钻孔 219 个,发现铀矿工业孔 46 个,铀矿化孔 76 个,总体见矿率达 61%;新发现铀矿产地 8 处(大型 2 处、中型 3 处、小型 3 处)、矿点 6 处、矿化点 12 处,提交砂岩型铀矿 334<sub>1</sub> 资源量 X 万吨,完成了中国地质调查局砂岩型铀矿攻坚战第一阶段的目标任务;找矿成果有力支撑了盆地铀矿重大找矿进展,促使鄂尔多斯盆地跃升为世界级产铀盆地。

③提出了盆地重要矿集区含铀岩系地质特征新认识。控制铀矿沉积的核心要素是氧化还原环境的变化,这种环境和一定的层位关系密切,在四维时空演化中有其独特的规律。其中,盆地东北缘地区铀矿主要赋存于中侏罗统直罗组下段;西缘宁东地区除直罗组外,在其下伏的中侏罗统延安组中首次发现了一定规模铀工业矿体;在西南缘油气田区首次在白垩系洛河组发现较高品位工业矿体,实现了新区新层位重要找矿发现;东南缘黄陵地区的主要含铀层为直罗组下段;中部及东部地区见有安定组的含铀层。

④初步评价了盆地的铀资源潜力。盆地东北缘一处新发现的大型规模铀矿产地有望将国内最大的大营铀矿床和纳岭沟大型铀矿床相连,使其成为世界级的超大型铀矿床;盆地西缘发现四处铀矿产地,在中侏罗统直罗组下段和延安组顶部均发现工业矿体,通过进一步勘查评价示范,有望成为新的铀资源基地;另外盆地东南部重点地区提交一处中型规模铀矿产地;西南缘某地区有望形成大中型规模铀矿产地;盆地中部某地区发现铀矿化现象,均显示具有较好的找矿潜力。

(2) 开展了盆地的物、化、遥综合编图及重要矿集区三维编图工作,厘定了中生代以来盆地的主要构造事件,初步查明了重要矿集区含铀岩系沉积体系、沉积环境等关键地质问题。

①全面收集和编制了覆盖全盆的地、物、化、遥系列图件,开展了构造、铀源专题研