

钱家店铀矿床

夏毓亮 著



中国原子能出版社

钱家店铀矿床

夏毓亮 著

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

钱家店铀矿床 / 夏毓亮著. — 北京: 中国原子能出版社, 2015.4
ISBN 978-7-5022-6591-5

I. ①钱… II. ①夏… III. ①砂岩型铀矿床—通辽市
IV. ①P619.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 075347 号

钱家店铀矿床

出版发行 中国原子能出版社 (北京市海淀区阜成路 43 号 100048)
责任编辑 孙凤春
技术编辑 冯莲凤
责任印制 潘玉玲
美术编辑 井晓明
印 刷 北京画中画印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 787 mm × 1092 mm 1/16
印 张 15.75 字 数 393 千字
版 次 2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-6591-5 定 价 88.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn> E-mail: atomep123@126.com
发行电话: 010-68452845 版权所有 侵权必究

· 内容简介 ·

本书通过对松辽盆地钱家店凹陷石油探井放射性异常工业评价、成矿预测、揭露勘探、提交铀资源/储量报告编写和成矿规律、成因机制研究成果的总结,全面论述了钱家店砂岩型铀矿床区域地质、矿床地质、矿体地质、水文地质、矿床地球化学和矿床成因机制、成矿模式及找矿模式等。书中提出的一个重要观点是:在沉积盆地找矿,首要的科技攻关问题是探索和确定该盆地的找矿目的层,而找矿目的层的重要特征是具有沉积期铀的预富集;其次要探索和确定目的层的地层结构和后生改造作用(构造抬升作用、层间氧化作用、还原条件、水动力条件等)。这个观点对我国在中新生代沉积盆地找矿具有重要指导意义。

钱家店大型砂岩铀矿床的发现和落实不仅增加了我国地浸砂岩型铀矿的资源量,还对进一步在松辽盆地乃至其他沉积盆地寻找铀矿都有重要的启示作用。这不仅坚定了在我国东北部地区继续寻找和突破新的砂岩铀资源的信心,而且对我国同类型铀矿的勘查也具有重要的实践和理论意义。

本书是首部专门论述我国砂岩型铀矿床的著作,对从事铀矿地质勘查和研究的高等院校师生、铀矿地质科研和勘查单位的技术人员有较重要的参考价值。



作者简介

夏毓亮,男,1940年生,二级研究员,博士生导师,享受国务院政府特殊津贴,1964年毕业于中国科学技术大学地球化学系,曾任核工业北京地质研究院科技委副主任。主要从事同位素地质和铀矿勘查工作,先后获国防科工委和部级科技进步一、二、三等奖26项,发表论文(著)70余篇(部)。2013年荣获第十三次李四光地质科学奖。E-mail: yuliangxia@sina.com

(2007年在野外)

• 序 •

可地浸砂岩型铀矿是资源量大、易开采、环保、经济效益好的铀矿床类型，近年来我国有多处发现并有重大突破，已引起广泛关注和研究。摆在我们面前的《钱家店铀矿床》是我国首部专门论述砂岩型铀矿床的著作。作者负责了松辽盆地钱家店砂岩型铀矿床从石油探井的放射性异常工业评价、成矿预测、勘探揭露，到提交铀矿储量报告和成因机制、成矿规律研究的全过程。本书是这些工作成果的全面总结，也反映了作者对钱家店铀矿床的发现和落实所做出的重要贡献。

本书全面介绍了钱家店铀矿床的区域地质、矿床特征、矿体地质、水文地质、矿床地球化学和矿床成因机制及找矿模式等。阐明了松辽盆地西南部地质构造演化对铀成矿有利；确定上白垩统姚家组是该区寻找砂岩型铀矿的目的层，是继我国西部侏罗系含矿目标层以后新发现的工业铀矿化层位，实现了我国砂岩型铀矿含矿层位的新突破；确立了钱家店凹陷姚家组主要的沉积体系类型，阐明该姚家组沉积充填演化及其与铀矿化的关系；查明了矿石物质成分和铀的存在形式、伴生元素及综合利用价值；建立了钱家店铀矿床的成矿模式及找矿标志。

本书建立的钱家店铀矿床的“预富集—构造—层间氧化—油气还原—热改造”成矿模式，其核心内容是强调原始沉积地层富铀加上后生改造的叠加成矿作用，成矿铀源主要是沉积地层中自身的铀。这一成矿模式凝练了砂岩型铀矿的成矿过程和机理，具有重要的参考和借鉴意义。

书中进一步提出：在沉积盆地找矿的首要科学问题是探索和确定在该盆地的找矿目的层，而该目的层的最主要特征是具有沉积期铀的预富集；其次要研究和确定目的层的地层结构和后生改造作用（构造抬升作用、层间氧化作用、还原条件、水动力条件等）。这一重要观

点对我国在中新生代沉积盆地找寻铀矿具有指导意义。

松辽盆地是我国北方中新生代第三大陆相沉积盆地，钱家店大型砂岩铀矿床的发现和探明不仅增加了我国地浸砂岩型铀矿的资源量，而且对进一步在松辽盆地乃至其他沉积盆地寻找铀矿都有重要启示作用；这不仅坚定了在我国东北部地区继续寻找和突破新的砂岩铀矿的信心，而且对我国其他盆地同类型铀矿的勘查也具有重要的理论和实践意义。

我衷心祝贺这一专著的问世，并对作者为国探矿的科学执着精神表示钦佩和敬意！

翟裕生

2014年9月20日

· 前 言 ·

钱家店铀矿床是可地浸砂岩型铀矿床。可地浸砂岩型铀矿是指铀元素富集在砂岩中并能够采用地浸方法采矿的铀矿床。自20世纪六七十年代原地浸出采铀技术试验获得成功后,使得许多低品位铀资源的利用成为现实,使原先被认为只具有潜在经济意义的某些砂岩型铀资源一跃成为最具经济价值的铀资源。目前可地浸回收的边界铀品位降低到0.01%,边界每平方米铀量降低到1 kg/m²,使得原先一些无价值的“呆矿”变成可利用的财富,经济效益差的矿变成经济效益好的矿,因而使可利用的砂岩型铀资源有了巨大幅度的增长。地浸采铀技术具有技术先进、工艺简单、建矿周期短、劳动强度低、经济成本低、效益高、环境污染少等特点,引起了世界核工业界的极大关注。世界上从砂岩中地浸采出的铀量已占全球年产量的15%~17%,位居第二位,且有继续发展的强劲势头。地浸砂岩型铀矿床已成为目前世界上产出规模大、埋藏浅、易开采、环境污染小、经济效益好的铀矿床类型之一。

地浸采铀技术促进了世界范围内积极寻找低成本可地浸砂岩型铀矿的热潮,许多国家将其作为铀矿勘查的首选目标。美国、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、俄罗斯、蒙古已发现许多举世瞩目的大型、超大型可地浸砂岩型铀矿,它标志着铀矿找矿已经进入一个新的历史时期。

从20世纪90年代起,我国铀矿地质勘查工作进行了重大的战略转移,即从以寻找“硬岩”中的热液铀矿为主转向以寻找中新生代盆地可地浸砂岩型铀矿为主的战略转移。中国多年的铀矿找矿实践表明,寻找可地浸砂岩型铀矿是解决我国核军工和民用核能资源的重要途径。可喜的是,经过近20年的实践,我国北方几个大的中新生代盆地如伊犁盆地、吐哈盆地、二连盆地、鄂尔多斯盆地、松辽盆地等的铀矿找矿工作有了重大突破,在这些盆地相继发现和落实了多个万吨级

以上的大型或超大型地浸砂岩型铀矿床，使我国已探明的铀资源量有了大幅度增加，有的矿床已建地浸矿山投产。

笔者毕生精力大部分时间是从事铀矿地质领域的同位素地质研究和找矿工作，对砂岩型铀矿研究涉猎很少。从20世纪90年代后期紧跟我国铀矿找矿重点指向地浸砂岩型铀矿的战略转移，笔者首先对伊犁盆地砂岩型铀矿开展了铀成矿的同位素地质和铀成矿条件研究，并参观了现场地浸矿山；相继又开展了我国北方主要产铀盆地（如吐哈盆地、海拉尔盆地、鄂尔多斯盆地等）砂岩型铀矿成矿年代学及成矿铀源研究课题。这段经历使笔者认识到：同位素地质学在砂岩型铀矿成矿和找矿领域里大有用武之地；可地浸砂岩型铀矿资源量大、易开采、环保、经济效益好。这便增强了对地浸砂岩型铀矿研究和找矿的兴趣和信心。

笔者有幸从1997—2013年亲自经历了松辽盆地钱家店砂岩型铀矿床的原石油探井放射性异常的工业评价、成矿预测、揭露验证、勘查工程部署等，并连续三次（2001年、2008年、2013年）负责提交资源/储量报告的全过程，其中还负责了多个研究项目。身边的同事多次督促我应把多年来的资料整理整理，写本著作，以飨读者。最近我手头工作也不忙，有时间把积累的资料综合整理一下，于是便逐渐形成了对钱家店铀矿床写本书的念头。

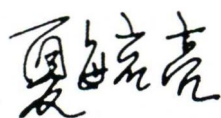
资料都是现成的，来源于笔者负责的一些科研和生产报告。通过对这些资料的重新处理、加工、编撰，便写成本书。本书在第一章第二节中有关对钱家店铀矿床发现和落实做出贡献的人员都分别一一列出，他们是作者的后盾。但还应该特别指出的是，李胜祥研究员和李子颖研究员在初期对钱家店凹陷铀成矿条件和成矿评价以及工程部署方面提供了很有价值的见解；陈戴生研究员在区域地质和矿床地质方

面提供了重要的调查和研究成果；董文明博士提供了钱家店凹陷上白垩统姚家组沉积体系与铀矿化的研究成果。还应该指出的是，书中所涉及水文地质方面的内容，主要是辽河油田提供的由核工业西北地质调查院金有生、叶阳等同志完成的研究成果。应该说，本书所涉及的内容是集体劳动的成果。

本书由十章构成，第一章介绍自然地理和经济概况，重点阐明钱家店铀矿床发现和勘查历史。第二章介绍盆地基底和盖层，阐明区域地质构造及盆地构造发展史、区域水文地质特征、区域铀成矿条件等。第三章简述高分辨率层序地层学原理和研究方法、姚家组层序地层特征、沉积体系类型、沉积相划分以及沉积物充填与铀矿化关系等。第四章介绍矿区地层及岩性、矿区构造、沉积相、古地理及其与铀矿化关系、氧化带特征，特别对矿区内红色砂岩进行成因的讨论。第五章重点论述矿床水文地质特征、水文地质结构特征、地下水动态、水文地球化学及放射性水化学特征、供水水源评价、地浸水文地质条件评价等。第六章介绍含矿砂体特征、矿体特征、矿石类型及矿石成分特征、铀的赋存状态和浸出率研究。第七章简介地球物理场和地球化学场特征、矿区岩层物性参数特征，重点阐明资源量估算物性参数。第八章论述常量元素、稀土元素、伴生元素和微量元素地球化学、铀与还原剂的关系、辉绿岩侵位、成矿流体地球化学特征、铀成矿年代学研究。第九章阐述矿床成因类型、矿床成矿模式、控矿因素、找矿模式，提出沉积盆地铀矿找矿框架。第十章为结论。

建立的钱家店铀矿床“预富集—构造—层间氧化—油气还原—热改造”的成矿模式，其核心内容是强调原始沉积地层富铀加后生改造叠加的成矿作用，成矿铀源主要是沉积地层中自身的铀。这个成矿理论很可能具有普遍性，坚持这种观点将使盆地找矿大放异彩！

感谢我国著名矿床学家翟裕生院士为本书写序！



2014年9月22日

· 目 录 ·

第一章 绪 论

第一节 自然地理和经济概况.....	1
第二节 钱家店铀矿床发现和勘查历史.....	3
(一) 石油探井的放射性异常	3
(二) 首份工业评价报告.....	4
(三) 第一口铀矿参数孔和工作部署建议	6
(四) 揭露验证及成矿预测	7
(五) 三次提交资源 / 储量报告	8
(六) 报告附录	10
(七) 获奖	11
(八) 基本结论	11

第二章 区域地质概况

第一节 盆地基底.....	14
第二节 盆地盖层.....	16
(一) 下白垩统	16
(二) 上白垩统	17
(三) 古近系	18
(四) 新近系	18
第三节 区域地质构造及盆地构造发展史.....	19
(一) 基底结构及基底断裂	19
(二) 盖层构造	19
(三) 岩浆活动	21
(四) 盆地构造发展史	22
第四节 区域水文地质特征.....	24

(一) 自然地理特征.....	24
(二) 地下水类型及含水岩系	25
(三) 区域地下水补给、径流和排泄条件.....	27
(四) 区域地下水水化学特征	29
第五节 区域铀成矿条件.....	31
(一) 铀源条件.....	31
(二) 构造条件.....	33
(三) 岩性岩相条件.....	34
(四) 古气候条件.....	36
(五) 水文地质条件.....	36

第三章 沉积体系与铀矿化

第一节 层序划分及对比.....	39
(一) 高分辨率层序地层学原理.....	39
(二) 高分辨率层序地层研究方法	42
(三) 姚家组层序地层特征	45
第二节 沉积岩石学及岩性组合特征.....	50
(一) 沉积岩石学特征	50
(二) 岩性组合特征.....	51
第三节 主要的沉积体系类型.....	53
(一) 沉积物粒度特征	53
(二) 沉积构造.....	53
(三) 测井曲线特征.....	54
(四) 砂岩 / 泥岩比值特征.....	54
(五) 沉积相及内部构成.....	60
第四节 沉积相划分及展布特征.....	63
(一) 单井沉积相分析	63
(二) 沉积相展布特征	66
第五节 砂组 (小层) 沉积相及砂体发育特征.....	72
(一) VI 砂组	72
(二) V 砂组	76
(三) IV 砂组	76
(四) III 砂组	76
(五) II 砂组	80
(六) I 砂组	80

第六节 沉积充填演化及其与铀矿化的关系.....	83
--------------------------	----

第四章 矿床地质

第一节 矿区地层及岩性.....	94
(一) 青山口组 (K_2qn)	94
(二) 姚家组下段 (K_2y^1)	95
(三) 姚家组上段 (K_2y^2)	97
(四) 嫩江组 (K_2n)	98
(五) 第四系 (Q)	98
第二节 矿区构造.....	98
(一) 矿区所处地质构造单元	98
(二) 褶皱构造.....	98
(三) 断裂构造.....	100
第三节 沉积相、古地理及其与铀矿化关系.....	101
(一) 沉积特征.....	101
(二) 沉积相	107
(三) 古地理	108
(四) 沉积相、古地理及其与砂岩型铀矿化关系	111
(五) 关于矿区内红色砂岩成因的讨论	111
第四节 氧化带特征.....	114

第五章 矿床水文地质、工程地质和环境地质

第一节 概述.....	116
第二节 地形地貌、水文气象特征.....	117
(一) 地形地貌及气候特征	117
(二) 水文气象特征.....	117
第三节 矿床水文地质特征.....	117
(一) 含水层与隔水层划分	117
(二) 含水层特征	118
(三) 隔水层特征	123
第四节 水文地质结构特征.....	123
第五节 地下水动态.....	124
(一) 第四系孔隙潜水	124

(二) 姚家组上段承压水动态	124
(三) 姚家组下段承压水动态	125
第六节 水化学、水文地球化学及放射性水化学特征	126
(一) 第四系孔隙潜水 (Q)	126
(二) 上白垩统姚家组上段承压水 (k_2y^3)	126
(三) 上白垩统姚家组下段承压水 (k_2y^1)	127
第七节 含水层之间的水力联系	128
第八节 地下水补给、径流和排泄条件	129
第九节 矿床主要充水因素	129
第十节 供水水源评价	130
第十一节 地浸水文地质条件评价	132
(一) 地浸水文地质参数	132
(二) 地浸砂岩型铀矿床水文地质分类	133
(三) 地浸水文地质条件评估	134
第十二节 矿床工程地质	136
(一) 第四系松散岩类	136
(二) 矿区基岩	136
第十三节 环境地质	137
(一) 区域地质稳定性	137
(二) 地质灾害特征	137
(三) 矿区地下水环境	138
(四) 环境保护措施	139

第六章 矿体 (层) 地质

第一节 含矿砂体特征	141
(一) 含矿砂体顶、底板特征	141
(二) 含矿砂体空间展布	142
(三) 含矿砂体产状	142
(四) 含矿砂体埋深及厚度	143
(五) 含矿主岩特征	145
(六) 含矿砂体砂 / 泥比值、粒度、孔隙度及渗透率	148
第二节 矿体特征	149
(一) 矿体空间展布	149
(二) 矿体规模、形态及产状	151
(三) 矿体砂 / 泥比值	154

第三节 矿石类型及矿石成分特征.....	155
(一) 矿石类型	155
(二) 矿石颜色及结构构造	155
(三) 矿石成分	155
第四节 铀的赋存状态.....	159
(一) 铀的存在形式.....	159
(二) 铀矿物化学成分	164
(三) 矿石中六价铀与四价铀比值	165
(四) 铀在不同粒级中的分配	167
第五节 铀的浸出率.....	167

第七章 地球物理、地球化学场特征

第一节 地球物理场和地球化学场特征.....	169
第二节 矿区岩层物性参数特征.....	170
第三节 资源量估算物性参数.....	172
(一) 铀矿石密度	172
(二) 铀矿石湿度	175
(三) 铀-镭平衡系数	175
(四) 镭-氡平衡系数	182
(五) 有效原子序数.....	184
(六) 钍、钾元素干扰情况	185

第八章 矿床地球化学

第一节 常量元素地球化学.....	187
第二节 稀土元素地球化学.....	191
第三节 铀与伴生元素和微量元素地球化学.....	199
(一) U 与伴生元素总体分布特征	199
(二) U 与微量元素分布特征.....	206
第四节 铀与还原剂.....	210
(一) U 与 S	210
(二) U 与有机碳	210
(三) U 与 CH ₄	210
第五节 辉绿岩侵位.....	211

第六节 成矿流体地球化学特征.....212

第七节 铀成矿年代学.....214

 (一) 同生沉积成矿年龄.....216

 (二) 后生叠加成矿年龄.....216

第九章 矿床成因及成矿模式

第一节 矿床成因类型.....219

 (一) 同生沉积(预富集)铀成矿阶段.....220

 (二) 后生改造叠加铀成矿阶段.....221

第二节 矿床成矿模式.....222

第三节 控矿因素.....225

 (一) 层位控矿.....225

 (二) 沉积相古地理控矿.....225

 (三) 岩性控矿.....226

 (四) 构造-油气-层间氧化和热改造作用控矿.....226

第四节 找矿模式.....226

第十章 结 论

感 谢

参 考 文 献

第一章

绪论

松辽盆地是我国东部的大型中生代盆地，是地浸砂岩型铀矿找矿的重点地区之一，20世纪90年代后期核工业地质系统曾投入大量勘查工作，但一直没有突破。松辽盆地钱家店铀矿床的发现和铀资源量不断扩大，是我国东部地区首次发现的大型或超大型的可地浸砂岩铀矿床，这不仅为松辽盆地的铀矿找矿提供了地质信息和依据，也为建设新的铀生产基地创造了条件，已列入我国铀矿大基地规划。

第一节 自然地理和经济概况

松辽盆地钱家店铀矿床位于内蒙古自治区通辽市东北60 km处的高林屯种畜场，矿区距场部约6 km。行政区划隶属通辽市管辖。

矿区交通十分方便，通辽市至白城市及齐齐哈尔市的铁路从矿区旁侧经过，离高林屯火车站直线距离仅4 km，离通辽市直线距离42 km。区内还有东西向和南北向铁路贯通，通辽市为铁路交会的枢纽，东可通长春市，南可通沈阳市，西可通赤峰市，北可通霍林郭勒市。公路更是四通八达，自通辽市有公路可直通矿区（如图1-1所示）。

矿区地处松辽平原西南部，内蒙古高原的东南部，属西辽河、新开河冲积平原，为部分沙化的草甸草原，地形平坦，由西南向东北逐渐倾斜，地面坡度小于 5° ，海拔

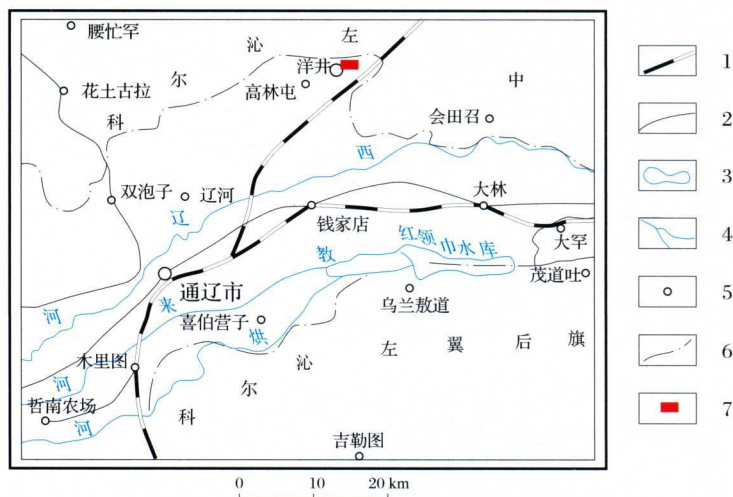


图1-1 钱家店铀矿床矿区交通位置图

1-铁路; 2-公路; 3-水库; 4-河流; 5-居民点; 6-旗(县)界; 7-矿床位置

高度158~166 m, 地面略有起伏, 地貌组合以平川地为主体, 相对高度不超过10 m的固定、半固定沙丘相次之, 坨、沼、甸相间, 形成通辽地区的组合地貌。

气候属内蒙古东部的温带季风区, 处于半湿润向半干旱的过渡地带, 为温带大陆性半干旱气候。年平均气温5~6℃, 极端最高气温36℃, 极端最低气温-35℃, 1月最低平均气温-12~-17℃, 7月最高平均气温23~24℃, 年平均降雨量381 mm, 年降雨量变化范围为320~450 mm。降雨量分布为: 春季(3—5月)35~70 mm, 夏季(6—8月)250~320 mm, 秋季(9—11月)50~70 mm, 冬季(12月至次年2月)5~10 mm。春夏秋冬降雨分别占年降雨量的10%、70%、16%、1%左右。无霜期130~140 d, 相对湿度50%~65%, 平均60%, 5—10月以南风为主, 11月至次年4月以西北风为主, 全年平均风速3.6 m/s, 最大风速31 m/s。年平均蒸发量1 800~2 000 mm, 蒸发量远大于降雨量。按日降雨量 ≥ 50 mm计, 通辽地区每年平均4~5次, 出现暴雨时间为4—10月, 往往因涝成灾造成河流泛滥。矿区所在地干旱发生频率较高, 干旱范围广, 持续时间长, 干旱发生频率为每10年发生5~6次。

区域地表水系属辽河水系, 矿区以北有新开河, 总长383.6 km, 在矿区之东南汇入西辽河, 该河总长363.5 km。河道有很强槽蓄能力, 流域产水量很少, 年平均实测径流量9.513亿 m^3 。矿区生产生活用水来自浅层地下水, 其埋深1~4 m, 地下水资源丰富, 浅部含水层为第四系全新统冲积层, 含水层厚度25~180 m, 矿化度0.5~1 g/L, 主要受大气降水及河川径流补给。

通辽地区历史上地震共发生 ≥ 2 级地震70次, 其中最大的地震分别于1940年和