

加拿大 McArthur River 铀矿床成矿特点及在我国寻找相同类型铀矿床的几点认识

舒孝敬

(核工业 230 研究所, 湖南 长沙 410011)

[摘要] 加拿大萨斯喀彻温省西北部阿萨巴斯卡盆地 McArthur River 铀矿床是世界上最大、最富的不整合面型铀矿床。笔者通过对该矿床的剖析, 从宏观上对这类铀矿床的一些形成规律进行了初步探讨, 并对在我国寻找不整合面型或相似类型的铀矿床提出了一些认识。

[关键词] 不整合面型铀矿床; 汇水区; 渗滤窗; 磁性矿物

[文章编号] 1000-0658(2007)03-0150-06 [中图分类号] P612 [文献标识码] A

McArthur River 铀矿床位于阿萨巴斯卡盆地的东南部, 是目前世界上最大、品位最高的铀矿床。该矿床于 1988 年 8 月被发现, 共查明 4 个矿体, 2000 年底探明铀矿储量 16.8×10^4 t (U_3O_8), 边界品位为 0.5%, 平均品位 25%, 为世界铀矿床平均品位的 100 多倍。矿床规模巨大, 根据目前探明的储量, 其铀的可利用能量超过加拿大目前已探明的煤炭和石油资源的总能量之和, 相当于加拿大安大略省 39 年的用电量。

McArthur River 为什么能形成如此巨大的高品位铀矿床? 笔者试图通过本文给出一些答案。

1 铀成矿区为长期稳定的汇水区

McArthur River 铀矿床产于沃拉斯顿褶皱带的上覆盖层, 阿萨巴斯卡群(地台型红色砂岩层)底部, 铀矿化趋附于中元古代砂

岩盖层与早元古代结晶基底的不整合面附近。

阿萨巴斯卡盆地铀矿床形成的一个明显特征是铀成矿区都位于汇水区。图 1 是完全被钻孔控制的 2 号铀矿体地质断面图, 由该图可以看到, 铀成矿区内的不整合面都是向矿体赋存区倾斜的, 尤其是矿体顶部的不整合面倾斜更为明显, 使成矿区成为区内流体的主要汇集区。实际上, 阿萨巴斯卡盆地东南部的一些大型富铀矿床(如 McArthur River, Key Lake, Sue 等)都形成在不整合面谷地、矿床附近不整合面起伏大的地区以及在不整合面有很高石英山脊(200~300 m)的地区, 说明铀成矿区为汇水区或对成矿流体形成阻挡滞留的地区。从整个加拿大地盾来看, 其明显的特征就是地层结构十分平整, 这种平整的地层结构只要某一局部地区存在相对的凹陷区, 就会使大范围内的流体汇集。因此, 长期稳定的加拿大地盾和相对平缓的地层结构及不整合面能使盆地中大范围内的地

[收稿日期] 2006 02 23

[作者简介] 舒孝敬 (1953-), 男, 高级工程师(研究员级), 1977 年毕业于中南矿冶学院地质系。

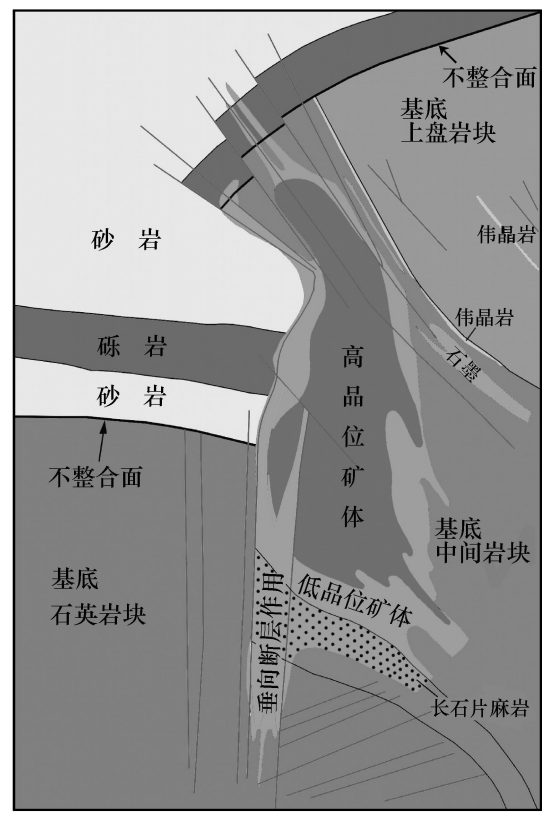


图1 McArthur River 铀矿体地质断面示意图
Fig 1 Schematic geologic section of McArthur River uranium ore body

下渗滤水往汇水区聚集, 在地下水的运移过程中, 同时将大范围的盆地砂岩和太古代基底花岗岩类中的铀浸出形成成矿流体。因此, 大范围的成矿流体汇集, 经历漫长的成矿作用过程形成了 McArthur River 大规模的富铀矿体。

2 具有良好的流体运移通道、富铀矿形成的天然“渗滤窗”和保矿条件

阿萨巴斯卡盆地不仅其砂岩和基底岩石之间存在着不整合面, 而且在不整合面之上或附近存在着透水性极好的数米到数十米厚的砾岩层 (图 1, 通常由于逆冲断层的向上顶压, 上盘顶部的砾岩层会变薄), 不整合面和底砾岩层为流体运移提供了良好的通道。因此, 长期稳定的不整合面和透水性好的底砾岩层使成矿流体长期具有十分通畅、固定方

向的运移通道, 为大规模的成矿流体聚集、富大铀矿床的形成提供了条件。

汇水区内, 穿切砂岩和不整合面的强烈断裂构造作用为成矿流体的向下渗滤提供了通道, 尤其是上盘基底岩块中断裂构造的大量形成成为盆地中大规模流体的向下渗滤提供了一个天然的“渗滤窗”, 形成一个基本垂直向下的富铀矿体 (图 1)。同时, 在流体的向下渗滤过程中, 断裂下盘透水性差的致密石英岩地质体形成了对下渗流体的阻挡, 减缓了流体的下渗速度, 为在“渗滤窗”附近形成大规模富铀矿体提供了极为良好的成矿赋矿空间。这种铀成矿与“狗头金”的形成具有一定的相似性, 也是大自然中同类物质聚集的一种普遍存在的自然规律。

在断裂构造形成的初期, 首先涌入断裂中的是含大量泥质物的成矿流体, 因此, 在富铀矿体以下的断裂中形成含矿泥质岩 (含堇青石)。这些泥质物的一个重要作用是阻止了矿液的快速下渗, 形成有利的“聚矿”条件, 使之在断裂构造的“窗口”部位, 形成大规模的富铀泥质矿体 (图 2)。

由于断层上盘为背斜 (图 2), 不整合面

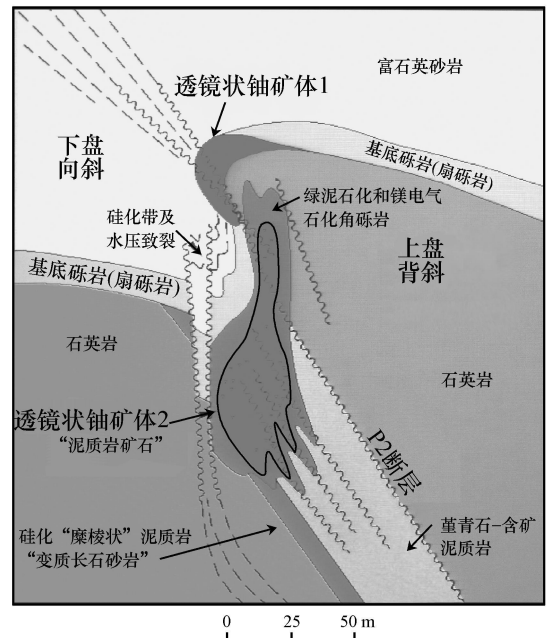


图2 McArthur River 2号铀矿体地质断面略图
Fig 2 Schematic geologic section of orebody No. 2 in McArthur River deposit

及其上的底砾岩层向成矿区相反的方向倾斜，因此成矿流体大部分来自左侧的向斜地层。但在背斜顶端的左侧，由于该处为下盘向斜上部地层中部分流体和背斜顶部地层中部分流体的汇合处，加之砂岩中断层与基底断层的连通不顺畅，出现流体的滞留而发生铀的沉积，形成与背斜顶端十分吻合的富铀“矿帽”（透镜状铀矿体 1）。如果顶部断裂构造十分发育，并且与下部基底断层连通性好，则不会出现这种“矿帽”（图 1）。

3 铀成矿类型主要取决于成矿流体到达成矿构造的先后次序

McArthur River 有两种铀成矿类型，即简单类型和复杂类型。这两种成矿类型的差别主要表现在矿体的物质成分特征上。图 3 是 McArthur River 不同铀成矿类型在地质剖面上的分布情况。可以看到，简单类型总稀土含量较低，重稀土较轻稀土含量高（ $HREE/LREE > 1$ ），铀矿体的成矿物质除铀外，还含有铜。复杂类型的总稀土含量高，重、轻稀

矿流体是由东向西流动的。盆地中流体的物质成分是比较简单的，它们通常含铀、铜和重稀土元素等。由于直接从上覆砂岩中进入断裂的是富氧状态的流体，这种流体如果没有还原性物质的加入是很难沉淀形成铀矿的。因此，对成矿有利的流体主要是从东边不整合面流入的还原性流体。由于从不整合面流动的流体经过基底的花岗片麻岩，成分比较复杂，含有镍、钴、砷和轻稀土元素等。当成矿流体流经第一个渗滤窗口时，流体中的大部分成矿物质发生沉积，形成大块体的复杂类型铀矿体。流经第一个渗滤窗口后的流体发生了 3 种变化，其一是流体的流量变小，其二是铀成矿物质含量变低，其三是流体内的物质成分变得简单。因此，在随后的渗滤窗口处形成的铀矿体规模小、成分简单。如果在这之后还存在多个渗滤窗口，矿体的规模会越来越小，成分也会更加简单。

4 该区岩石中丰富的磁性矿物是大规模富铀矿体形成过程中十分重要的还原性物质

前人认为，McArthur River 地区铀成矿的还原性物质可能是从破碎的石墨风化层释放的甲烷或氢、硫化物。本次考察就石墨层是否是铀成矿过程中还原性物质的来源专门询问了加拿大地质专家，回答基本上是否定的。这是因为石墨层跟铀成矿没有根本性的因果关系。加拿大地质专家认为，石墨与矿化的空间关系不太明显，并不是所有的铀矿床附近都存在石墨层，有的石墨层离铀矿体实际上是比较远的，铀矿化可以产在无石墨的基底岩石中或阿萨巴斯卡群砂岩中，另外，矿石品位与石墨含量也不相关。笔者认为，石墨层可能是铀成矿作用所遗留下的产物，成矿流体在流经含沥青质、炭质的沉积盖层时，将炭质带入成矿流体，在不整合面附近的汇水区流体相对静止时，这些悬浮在流体中的不溶物质首先发生沉积，形成石墨层。

实际上，区内真正的还原性物质应为磁

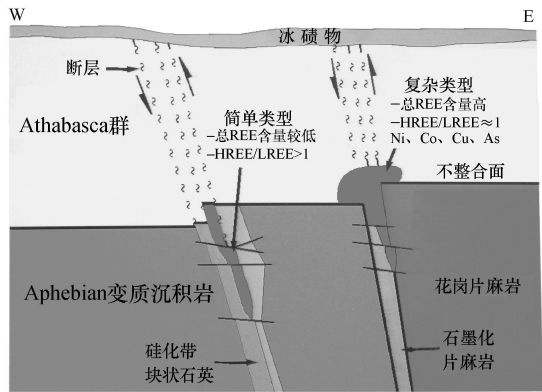


图 3 McArthur River 铀成矿类型地质剖面示意图
Fig 3 Schematic geologic section showing the uranium mineralization type in McArthur River deposit

土大致相当（ $HREE/LREE \approx 1$ ），矿体成分复杂，除铀之外，还含有镍、钴、铜和砷。
笔者认为，成矿流体中复杂成分的来源是基底的花岗片麻岩类，形成这两种铀成矿类型主要决定于成矿流体到达成矿构造的先后次序。从图 3 的不整合面形态可以看出，成

性矿物磁铁矿或磁黄铁矿。从航磁图上 (图 4) 可以看到, 铀成矿区周围包括盆地内都是 300 nT 以上的磁异常, 尤其是紧挨铀成矿区的盆地东南缘, 有一条北东走向的高磁异常带, 很多磁异常的强度都在 500 nT 以上, 说明区内磁性矿物分布非常丰富。可以想象, 在铀成矿区内, 铀成矿以前应具有跟周围地区相同的磁场特征, 即在铀成矿区具有丰富

磁铁矿通常氧化成赤铁矿, 磁黄铁矿氧化成黄铁矿^[1], 或进一步转变成赤铁矿。所以说, 铀成矿过程实际上也是磁性矿物被氧化的过程。在 McArthur River 富铀矿化的钻探岩心中, 可以见到黄铁矿变成赤铁矿后残留的晶形假像。

在 McArthur River, 不整合面附近形成的赤铁矿化古风化面与铀成矿作用是同期的, 为铀成矿过程中磁性矿物作为还原性物质提供了充分的证据。从钻探岩心看, 存在着 3 期赤铁矿化, 这也说明铀成矿是多期的。区内丰富的磁性矿物(还原性物质), 铀成矿的多期叠加为形成大规模高品位铀矿化提供了条件。

5 对在我国寻找不整合面型或相似类型铀矿床的看法

5.1 下、中元古界之间的不整合面仍是找矿的重点

国际原子能机构于 1989 年初, 制定了一套描述性的铀矿床分类方案, 对这类铀矿床给出的定义是: 铀矿床在空间分布上与分隔基底 (通常由变质岩组成) 和上覆碎屑沉积岩 (未经变质作用) 的不整合面有关。矿床产在不整合面之上的元古宙沉积岩内 (受泥化蚀变控制) 和 (或) 不整合面之下, 邻近太古代基底隆升处的元古代变质岩内 (受层位控制和断裂控制), 简称之为“与不整合面有关的铀矿床类型”。目前国内所称的“不整合面型铀矿床”, 专指与下、中元古界之间不整合面有关的铀矿床。

这类古老地层的分布通常幅员辽阔, 地层结构平整, 有利于成矿流体的大范围汇集。另外, 由于时代久远, 铀成矿时间长, 容易形成超大型的富铀矿床。华北地台是我国形成时代最早、老地层分布面积最广的一个前寒武纪地台。因此, 华北地台仍是我国寻找这类矿床的重点地区, 但是笔者认为, 在寻找这类矿床时要注意以下几点:

(1) 不要过于进行细节上的对比。对于找铀矿来说, 首先是分析地层的层状结构,

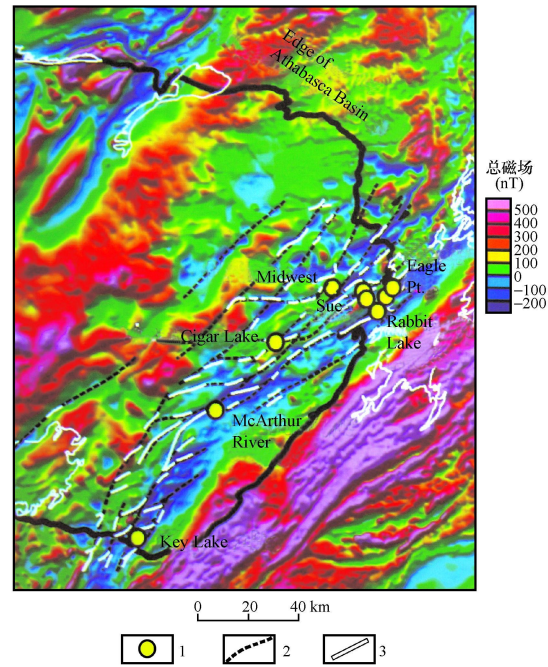


图 4 阿萨巴斯卡盆地铀成矿区及外围航磁异常分布图

Fig 4 Distribution map of aeromagnetic anomaly in Athabasca basin and its periphery
1——铀矿床; 2——剪切带; 3——石墨导体。

的磁性矿物分布。但在现代航磁异常图上, 铀成矿区内表现为明显的负磁异常特征, 所有铀矿床都产于与剪切带构造相吻合的北东向线性拉长状负磁异常带中, 这说明铀成矿过程中磁性矿物被氧化而去磁, 磁性矿物作为还原性物质参与铀成矿作用。也就是说, 原始的汇水区及其周围分布有大量的磁性矿物 (构成还原环境), 随着成矿流体向汇水区运移, 磁性矿物不断加入流体之中, 使其还原性不断增强。当成矿流体最终到达汇水区时, 大量的磁性矿物使之成为强还原性溶液而发生铀成矿作用。同时, 磁性矿物被氧化,

找到大的汇水区就有可能找到大型富铀矿床。因此，基底的凹陷区、基底的突然隆起对流体形成阻挡的地区都可能是找铀矿的有利地区。

(2) 不要计较是否有石墨层。以往在华北地台找铀矿，由于过于计较是否存在石墨层，认为石墨作为铀成矿的还原性物质而必须存在，造成了找铀矿的偏向。其实不然，如前所述，石墨层的形成是铀成矿作用所遗留下的产物，成矿流体在流经含沥青质、炭质沉积岩的沉积盖层时，不仅会在汇水区形成石墨层，而且常有地沥青产出，它们与铀成矿没有本质上的联系，是成矿流体附带的产物。

(3) 不要计较控矿的类型。目前普遍将这类铀矿床分为 3 种控矿类型，即粘土蚀变控制型、层位控制型和断裂控制型。实际上，成矿类型完全取决于汇水区内的地层结构和地质构造，在成矿流体流经以粘土为主的沉积地层时，成矿流体中含有大量的泥质物，就可能形成粘土蚀变控制型，如 McArthur River 地区；当汇区内垂向的断裂构造不发育时，就可能形成层位控制型，反之形成断裂控制型。

(4) 不要过于计较地层的时代。当然，如前所述，时代古老的地层由于成矿年代久远或多期成矿，容易形成富大铀矿床。但也不是时代较新的地层就不能形成大矿，铀源丰富、汇水集中、磁性矿物充足的地区无论地层时代新老都可能形成富大铀矿床。

(5) 注意分析地台或盆地基底或周围花岗类岩石的分布，它们可能是成矿物质的重要来源，其附近的汇水区是铀成矿的有利地区。

(6) 寻找磁性矿物高含量分布区。由于磁性矿物是作为铀成矿的还原性物质存在的，因此，首先根据航空磁测资料圈定磁异常区，再根据磁异常对含磁性矿物的岩石在地台或盆地基底及其周围地区的分布情况进行分析，确定磁性矿物高含量区。在高磁异常区内的负磁异常带是找铀矿的有利地段。

实际上，磁性矿物作为还原性物质不限于这种铀矿床类型，它在铀成矿作用中是普遍存在的。中国南方碳酸泥岩型、花岗岩型和火山岩型的很多铀矿床都产在高磁异常附近，说明铀与磁性（铁）矿物的关系是非常密切的。

5.2 寻找与不整合面类型相似的铀矿床

在中国南方地区，存在着范围较大、数量较多的白垩-第三纪盆地，如湖南的茶（陵）-永（兴）盆地、长（沙）-平（江）盆地、衡阳盆地等，这种盆地是寻找与不整合面型相类似铀矿床的有利地区。

实际上，我国南方已经发现了规模不小的这类铀矿床，如广西中峰盆地的铲子坪铀矿床是其典型代表。该矿床位于白垩纪盆地不整合面以下的寒武系中（图 5），船形向斜清溪组下段 F₂ 层间破碎带，特别是地层由翼部向轴部转折、F₂ 断裂组与“X”节理组成棋盘格式构造以及 F₂ 分支复合、裂隙密集地段是赋矿的有利部位^[2]。显然，由地层与花岗岩构成的洼兜区（汇水部位），F₂ 断裂为流体运移提供了有利通道，燕山早期花岗岩、寒武系地层可能是铀的来源区。

该区铀矿化与赤铁矿化脉、黄铁矿等关系密切，说明磁性矿物也是该类铀矿床的主

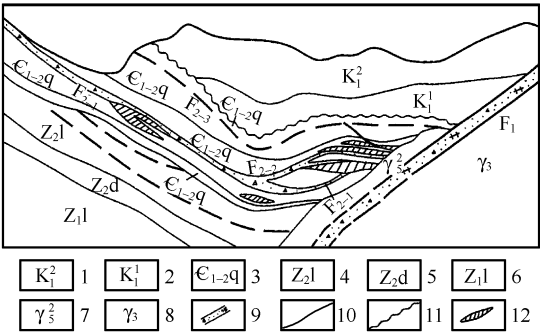


图 5 铲子坪矿床地质剖面示意图

Fig 5 Schematic geologic section of Chanzhiping deposit
1——下白垩统二大层；2——下白垩统一大层；3——中-下寒武统清溪组；4——上震旦统老堡组；5——上震旦统陡山沱组；6——下震旦统黎家坡组；7——燕山早期花岗岩；8——加里东期花岗岩；9——断裂硅化带；10——地质界线；11——地层不整合界线；

12——铀矿体。

要还原物质。笔者曾在该矿床上进行过高精度磁测,发现铀矿体上方磁异常明显较周围地区偏低^[1],利用高精度磁测完全有可能圈定深部隐伏铀矿化的范围。

这类铀矿床的成矿环境与下、中元古界之间不整合面有关的铀矿床的形成环境是非常相似的。因此,为了扩大铀矿床的储量,

应大力加强这类铀矿床的寻找。

[参考文献]

- [1] 舒孝敬. 磁性矿物、磁异常与铀成矿 [J]. 中南铀矿地质, 2003 17 (2): 15~21
- [2] 核工业 230 研究所. 中南铀矿地质志 [M]. 北京: 中国核工业地质局, 2005

Metallogenic character of McArthur River uranium deposit in Canada and some ideas for searching similar deposit in China

SHU Xiao-jing

(Research Institute No. 230, CNNC, Changsha, 410011, China)

Abstract: Located at the north-western Athabasca basin in Saskatchewan province of Canada, McArthur River uranium deposit is the largest and richest one of unconformity type in the world. By analyzing the deposit, the author made preliminary discussion on its macro metallogenic pattern and put forward some ideas for searching similar unconformity type deposit in China.

Key Words: unconformity type uranium deposit; water collection area; leakage window; magnetic mineral

(上接 137 页, Continued from page 137)

Metallogenetic geological feature and prospecting direction of volcanic type uranium deposit in Northeast China

ZHAO Zhong-hua, PENG Zhi-dong, ZHANG Xue-yuan, CHAI Chang-hua

(Research Institute No. 240, CNNC, Shenyang, Liaoning 110032, China)

Abstract: A systematic analysis on the relation of geological structure, mantle diapirism, volcanic activity, hydrothermal alteration with uranium metallogenic process in Northeast China is made in this paper. It has been concluded that uranium deposits were developed during middle-late Mesozoic era and controlled by large fractures, mantle plume and volcano-tectonic activity. Seven uranium polymetallic metallogenic belts and twenty-three uranium mineralization areas were outlined. Finally, three prospective areas are thought to be favourable for the formation of volcanic uranium deposit.

Key words: Northeast China; volcanic type uranium deposit; geological feature; prospecting direction