

加拿大 Athabasca 盆地不整合面型铀矿的 控矿因素研究

池国祥, 褚海霞, Ryan SCOTT, 李增华, Kathryn BETHUNE

Department of Geology, University of Regina, Regina, Saskatchewan, Canada

铀矿床可产于各种不同的地质环境,但以产于沉积盆地(包括不整合面型)的最具经济意义。位于加拿大萨斯卡切湾省及阿尔伯塔省的 Athabasca 盆地以高品位的不整合面型铀矿而著称,自上世纪六十年代以来一直是世界最主要的铀产区之一。该盆地的铀矿床产于晚早元古-早中元古的 Athabasca 群碎屑沉积岩与太古-早元古变质结晶基底之间的不整合面附近,空间上与切割不整合面的复活基底断层有关,其中很多断层含石墨。矿床根据产出部位及金属成份和蚀变组合可分为两类,即所谓入口型(ingress)和出口型(egress)。前者产于不整合面之下,含单一金属铀,围岩蚀变带窄,从内往外依次为伊利石化和绿泥石化,后者产于不整合面及其之上,含多金属铀-镍-钴-铜-铅-锌-钼,围岩蚀变带宽,从内往外依次为绿泥石化到伊利石化。目前比较被接受的成矿模式是,来自盆地的氧化性含铀卤水(铀是来源于盆地沉积物或结晶基底尚无定论)与来自基底富石墨带的还原流体(富甲烷)在不整合面附近相遇,造成铀的沉淀。基于此成矿模式的找矿思路主要是通过地球物理方法找切割不整合面且富含石墨的断层。但是,随着找矿勘探程度的提高,自上世纪九十年代以来,用这个简单模式找矿的成功率已经大大降低。因此,目前迫切需要建立更为综合的控矿模式来指导进一步找矿。

控制铀矿的成矿部位的因素可分为三类:1) 铀源岩的分布,2) 还原剂的分布,3) 沟通铀源区与还原剂的高渗透率带及流体动力系统。尽管每一类因素都还有很多不确定性,但最近的研究使得我们对它们的理解不断加深。最新发表的研究资料表明, Athabasca 盆地铀矿的流体包裹体铀含量可高达几百 ppm,被认为是铀来自基底的新证据。另一方面,我们对盆地沉积岩褪色(bleaching)成岩作用过程中铀的带进-带出质量平衡计算指示盆地流体可能提供大量的铀。这些说明不整合面型铀矿的铀可能既来源于基底又来源于盆地。关于 Athabasca 盆地铀矿的还原剂,目前也还有很大争议,包括石墨,含二价铁的矿物,硫化物矿物,以及含烃类,二价铁离子或硫化氢的流体。我们在有些矿床中发

现大量甲烷包裹体,支持含烃类流体作为还原剂的成矿模式。很多矿床中见到沥青脉切割铀矿石,被一些学者认为是烃类活动晚于成矿作用的证据,但我们认为即使烃类参与了成矿作用,成矿之后照样可以活动,形成沥青脉切割矿石的现象不足为奇。与固态还原剂(石墨,含二价铁的矿物,硫化物矿物)不同,还原性流体是活动的,这给成矿部位的确定造成了更大的困难。另外,烃类也不一定来自基底;有些学者认为铀矿床中的烃类物质可能来自盆地上部的富有机质地层,但对它们怎么往下运移到不整合面附近,还不清楚。此外,如果烃类来自盆地上部,是否意味着在盆地上部也可以有铀矿,而不是限制在不整合面附近,也值得进一步研究。

除了铀源与还原剂,铀矿床的形成需要大量的成矿流体把铀搬运到成矿部位,这就需要有一个流体驱动机制。前人已经对 Athabasca 盆地铀矿成矿作用提出各种各样流体流动模式,包括地温梯度驱动的大规模盆地流体对流,与石墨的高导热作用有关的热异常驱动的小规模对流,以及重力(地势差),沉积压实作用和构造变形驱动的流体流动系统。到目前为止,还没有哪个流体流动模式得到普遍接受。我们的数值模拟实验结果表明 Athabasca 盆地在其沉积过程中基本处于近静水压力状态,这有利于热驱动的流体对流,同时也解释了为什么铀矿主要产在盆地底部,而不是像很多超压盆地那样,产在盆地上部。我们在远离矿床的盆地中部所做的流体包裹体及伊利石测温研究得出大大高于正常盆地的地温梯度,可能指示盆地规模的热驱动流体对流。目前我们对断层控矿的本质,是被动提供流体活动通道,还是主动参与了流体的驱动,还不清楚。如果是后者,流体流动是否与构造应力场的压-张相间变化有关,或是与基底中流体压力的周期性静岩-静水状态变化而造成断层的张开与闭合(断层阀模式)有关,也有待研究。我们目前正在进行的工作是从构造分析,流体包裹体研究,以及流体流动的数值模拟等多个方向对流体流动方向和速度进行研究,以期找出最大流量的氧化流体和还原流体的汇聚点,进而预测成矿部位。