

蒙其古尔铀矿床成矿驱动因素及其在伊犁盆地找矿实践中的意义

张占峰, 蒋 宏, 王毛毛

(核工业二一六大队, 新疆 乌鲁木齐 830011)

上世纪八十年代以来, 伊犁盆地南缘伊犁盆地南缘可地浸砂岩型铀矿控矿因素、成矿规律和模式研究工作不断深入, 随着研究成果在一批铀矿床的发现和勘探过程中的成功应用, 逐步形成了由构造、沉积相环境、铀源、地球化学障及气候等准则为主要构成内容的“伊犁式”铀成矿模式。蒙其古尔铀矿区地质构造复杂、盆缘侏罗系或被控盆阻水断裂切割或褶皱变形甚至倒转、盆内阻水断裂切断侏罗系水力联系、地下水补径排体系复杂。找矿成果显示该矿床是伊犁盆地南缘迄今为止潜在成矿规模最大、单位面积内产矿量最高的矿床。该矿床的发现和勘查成果为“伊犁式”铀成矿理论增添了新的内涵, 其独特的控矿构造形式、活动强度及其演化对天山山系内各山间盆地在造山环境下的铀矿找矿工作有着重要的指导和借鉴意义。

1 矿床地质概况

蒙其古尔矿床总体位于伊犁盆地南缘斜坡带东段构造相对活动区内, 属于次级构造单元扎吉斯坦向斜东南翼的组成部分, 该向斜整体上呈东、西、南三面翘起, 向东北方向敞开的屉状向斜构造形态, 向斜的轴部位于扎吉斯坦河谷地段。鉴于地层、构造和水文地质特征的差异, 以 F_3 断裂为界, 将扎吉斯坦向斜划分为东西两个构造单元。西构造单元中生代地层超覆于古生代地层之上, 由南向北呈稳定平缓单斜带, 产出扎吉斯坦矿床。蒙其古尔铀矿床位于东构造单元, 盆缘中生代地层与古生代地层多呈断层接触, 由于断裂构造的活动, 含矿建造埋深大于西构造单元。

矿床夹持于控盆 F_1 断裂和 F_3 断裂之间, 中生代地层呈向北东倾的单斜产出, 产状相对平缓, 倾角 $3\sim 9^\circ$, 平均 6° ; 主要发育 F_1 、 F_2 、 F_3 等断裂构造。其中 F_1 断裂位于矿区东南部, 为伊犁盆地南缘逆冲控盆断裂带组成部分。断裂总体呈北东向, 倾向南东, 倾角 $10\sim 75^\circ$, 后期构造运动中, F_1 断裂产生了错动并形成多组平移走滑断层, 组成了断裂破碎带; F_2 断裂为 F_1 断裂的分支, 位于矿区西南部, 走向北东-北北东, 倾向南东, 倾角 25° , 断距约 30 m。逆冲并错动古生界和中生界; F_3 断裂即扎吉斯坦河断裂, 位于矿区西北部, 为隐伏逆断层。断层走向约 60° , 延伸超过 8 km, 倾向北西, 倾角约 $70\sim 85^\circ$, 北西盘上升, 南东盘下降, 造成含矿建造水西沟群在垂向上的显著错动, 垂直断距 35~50 m。该断层形成时间略早于主成矿期, 后期又有继承性活动, 断层对该区地下水动力条件及层间氧化带的发育有分割控制作用。

砂岩型铀矿化分别赋存于三工河组下段(J_1S_1)、三工河组上段(J_1S_2)、西山窑组下段(J_2X_1)和西山窑组上段(J_2X_3)砂体中, 层间氧化带及铀矿带均夹持于 F_1 和 F_3 断裂之间。平面上, 层间氧化带前锋线蛇曲状近北东向展布, 互有交叉, 各矿带在投影平面上相互叠置, 近北东向展布, 由西南向北东矿体埋深逐渐增大。剖面上, 各层位铀矿体呈叠瓦状排列, 含矿砂体之间有稳定的泥质隔水层, 局部地段泥质隔水层有缺失, 各层位矿体在受控于相应含矿砂体中层间氧化带分带的同时表现出各自的成矿特点: 三工河组均发育双矿带, 三工河组下段最为稳定连续, 具典型的卷形矿体产出特征; 三工河组上段层间水“越流”形成的北矿带呈“纺锤状”产出, 单位面积产矿率最高; 西山窑组下段铀矿体大部分呈板状、似层状, 矿体平面展布面积最大; 西山窑组上段矿带连续性较差, 矿化规模最小。

2 成矿驱动因素

蒙其古尔矿床层间氧化带砂岩型铀成矿的过程实质上就是铀的活化、迁移、沉淀的过程, 是各种成矿要素相互联系相互作用, 多种有利条件耦合的结果。各种成矿要素在这一过程中所起的作用和重要性有所不同。含矿建造的岩相岩性、构造和水动力体系是宏观要素, 层间氧化作用和地球化学障是微观条件。其中岩相-岩性是基础性因素, 构造和水动力作用是驱动性因素; 层间氧化和地球化学障的还原作用是成因性因素。构造和水动力作用是层间氧化带砂岩型铀矿成矿的先决条件, 也是伊犁盆地南缘及天山中新代山间盆地铀成矿条件分析重要的衡量指标。

2.1 构造对铀矿化具有控制和提供持续矿化动力的作用

矿床内的三组主要断裂的产出位置、性质及其在新构造运动中的活动形式对铀矿化的形成起着至关重要的作用:

F_1 断裂是矿区南部的控盆断裂带, 在矿床近东西向范围内, 大部分地段切割了侏罗系水西沟群的同时割断了侏罗系与南部山区的水力联系, 只有位于 $P0\sim P31$ 线间的平移走滑断层构成的构造破碎窗是矿床与南部山区唯一的水力联系通道, 层间水的主要补给来自矿床西南部的侏罗系层间砂体出露区, 并沿北东方向在 F_1 和 F_2 断裂夹持区径流出矿床范围之外。这种层间水补径排体系对“蒙其古尔式”铀矿床层间氧化带和铀矿化形成有着重要的作用。 F_2 断裂的逆冲阻水性质和产出位置决

定了构造窗渗入水无法渗入矿区西南部,西南部层间氧化带成因于扎吉斯坦河上游水的持续层间渗入, F_1 和 F_2 断裂夹持部位是水动力作用的盲点,没有水动力的交替作用或非常弱。 F_3 断裂的水文地质特征表明其有明显有滞流的迹象,结合钻孔揭露情况,其性质为逆冲阻水断裂,需要注意的是:这种阻水性只是保持了层间水的北东向径流,并没有对层间水造成实质意义上的阻滞。断裂发育的时间略早于主成矿期,断层东、西两盘形成各自的水动力条件及层间氧化带,因而导致断层两盘层间氧化带与铀矿体发育的规模、形态、位置截然不同。 F_1 、 F_2 和 F_3 阻水逆冲断裂组合,尤其是 F_3 断裂的存在对蒙古古尔地区铀矿化的形成意义深远。它保证了蒙古古尔矿床处于相对独立和稳定的构造成矿系统,其阻水断裂的性质使主要来自于扎吉斯坦河上游的含氧含铀水在相对封闭的补径排体系中,由西南向北东渗流。扎吉斯坦河对层间水的持续补给,使层间氧化带不断发育,进而形成铀的叠加富集。 F_3 断裂东、西两盘形成各自不同的水动力条件导致扎基斯坦和蒙古古尔地区层间氧化带与铀矿体发育的规模、形态、位置截然不同。总体来说,蒙古古尔地区的阻水逆冲断裂组合决定了地下水补径排体系,控制了层间氧化带和铀矿体的产出范围和规模,并在铀的后期富集过程中起着重要的作用。构造较复杂的地段同样可以形成良好的矿化,构造活动区内内部的地层产状平稳、水力联系畅通的是铀迁移、叠加富集成矿的基本条件。

断裂泥样品关于断裂活动状态分析测试结果与矿床铀成矿年龄具有一定的对应关系,反映了构造运动与铀成矿在时间分布上具有规律性,每一期构造运动过后均伴随着铀成矿作用的发生,即铀成矿期基本上都在构造运动的间歇期。地质历史时期上,构造反复着相对静止和活动的过程,伴随着构造活动,地层发生掀斜,在地下水补径排机制健全的情况下,地表含氧含铀水进入侏罗系层间砂体,在具备形成层间氧化和氧化-还原障的条件下,发生不同程度的铀迁移和富集;随着构造活动相对静止期间上覆地层的封闭作用,铀矿化终止。从根本上来说,构造运动给铀成矿作用提供了原始动力,使铀的迁移和富集成为可能,为成矿的先决性控制条件,构造运动的间歇性导致铀成矿的多期性。

2.2 地下水补径排体系决定了层间氧化带发育和铀迁移、富集部位

蒙古古尔地区地下水主要来源于矿区西南部扎基斯坦河上游的入渗水,另一补给源来自矿区南部山区,补给通道为 F_1 断裂在矿床中部形成的构造破碎带。矿区内,地下水主体在 F_1 和 F_3 断裂夹持区内沿北东向47°径流。 F_1 断裂构造破碎窗入渗水水流方向由北西转向北东,在矿床中部形成了向前突出的层间氧化带前锋线及铀矿体。蒙古古尔铀矿床地下水补径排体系的形成受控于构造及岩相-岩性的变化,地下水的补径排,尤其是补给源的分布和径流的方向是决定层间氧化带的发育和铀的迁移方向的重要因素,进而影响着铀矿化总体的空间展布。 F_1 和 F_3 逆冲断裂组合和近北东向展布的单斜构造决定了矿区范围内侏罗系层间水的总体径流方向为北东向,地下水主要的补给来自矿区西南部,地下水在 F_1 和 F_3 所夹持的径流范围内,中部流速大,近断层(F_1 和 F_3)部位流速相对较小,这些部位地下水径流受阻,水岩作用时间较长,形成了层间氧化-还原过渡带和铀矿体。受层间水径流方向控制,氧化-还原过渡带和铀矿(化)带沿地下水径流方向呈双条带状展布。这一铀矿(化)带呈双翼的现象在矿区西南部(P32~P0线)得以保留,尤以三工河组下段表现的最为明显。

在矿床中部P0~P31线之间,受 F_1 断裂构造破碎窗渗入补水的影响,地下水径流量增大,水动力趋于复杂,含氧水带入大量的铀元素,将原来的氧化范围向 F_3 断裂进一步推进的同时破坏了靠近 F_1 断裂一侧的早期形成的铀矿体,使径流水中铀含量进一步提高,靠近 F_3 断裂一侧的铀矿(化)带不断叠加富集,规模扩大,仅在P0附近保留了铀矿体双翼产出的特点。复杂的水动力条件导致P0~P31线间经历了更多的铀源补给和层间砂体内的铀迁移,呈现出多期次叠加富集的特点,形成了富大矿体。P31线以东,地下水又恢复整体向北东单一方向径流的特点。层间氧化作用一直延伸到郎卡地区后,盆缘逆冲推覆作用下,侏罗系倒转产出于 F_1 断裂以北,恢复了与蚀源区的水力联系,再次呈现出双向补水的特征。三工河组下段和上段含水层之间的隔水层在P19~P23线的个别钻孔中完全消失,构成了两含水层发生水力联系的“天窗”。据矿区内水文地质资料显示:三工河组下段含水层承压水头比上段高2~10 m,下部三工河组下段含氧含铀水透过天窗越流补给上部的三工河组上段,在三工河组上段含水层中形成向四周辐射的“蘑菇”状层间氧化带尖灭线闭合线,面积约为 $4.22 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。越流层间水呈漫流的方式在三工河组上段径流,主要运移方向折向西北,在P7~P19线间形成三工河组上段铀矿带。

3 结 论

(1) 铀矿找矿勘查必须重视工作区构造和水动力条件的分析,尤其是构造相对复杂地区的构造及其演化的研究、地下水动力体系的建立是铀成矿条件分析的基础和重要环节。成矿构造有利部位的判断与区域构造或矿床所在构造单元的上一级构造单元活动强度和产出形式无关,成矿小环境或矿体赋存范围内地层保持一定的倾斜度,具有重力差异就可以满足层间氧化带砂岩型铀矿的成矿构造要求。相反,区域构造的强烈和复杂化可能给小环境的成矿作用带来更有利的构造条件。需要关注的是区域构造运动强烈地区的相对稳定区和区域构造稳定地区的相对活动区。

(2) 具体到某一工作区的盆-山水动力体系分析是非常复杂的过程,不能将地下水补径排体系简单地归纳为蚀源区补给、盆缘径流、盆内排泄。受构造、沉积相变、砂体构形的影响,地下水的补径排路线变化多样,对于地质历史时期上缺乏不间断的含氧含铀水补给的天山中新世代山间盆地,矿体的空间定位上不强调具体的构造产出形式,导致层间流体径流路线变化和叠合的部位才是有利的成矿地段。

(3) 蒙古古尔矿床独特的成矿驱动因素提供了伊犁盆地南缘东段构造相对活动区铀矿找矿勘查思路,逐步查清盆地南缘东段构造产出形式和地下水补径排体系是铀成矿条件分析的重点。郎卡-乌尔坦地区的二维地震成果表明, F_3 断裂保持北东走向直至乌尔坦沟,受相同的构造产出形式控制,郎卡-乌尔坦地区的地下水补径排体系大致与蒙古古尔地区相同,相似的盆-山水动力体系预示着该地区蕴藏着很大的成矿潜力。