

可地浸砂岩型铀矿床特征及成矿条件初析*

Characteristics of In-situ Leachable Sandstone-type Uranium Deposit and Preliminary Study on Ore-forming Conditions

陈正乐¹ 陈宣华¹ 王小凤¹ 程华汉²

(1 地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2 核工业北京地质研究院, 北京 100029)

Chen Zhengle¹, Chen Xuanhua¹, Wang Xiaofeng¹ and Chen Huahan²

(1 Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2 Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

摘 要 可地浸砂岩型铀矿是我国当前铀矿找矿的主攻类型。本文简要总结并阐述了砂岩型铀矿的矿床类型和矿床特征, 并分析了控制砂岩型铀矿的形成条件, 认为大地构造和古气候是属于最为重要的、基础性的成矿条件。

关键词 可地浸砂岩型铀矿 控矿因素

可地浸砂岩型铀矿具有低采冶成本和有利的环境保护等突出的优势, 是我国和世界当前铀矿找矿的主攻类型。我国可地浸砂岩型铀矿找矿工作自 90 年代初期以来, 已先后在滇西、伊犁盆地南缘、吐哈盆地西南缘、内蒙的二连盆地、鄂尔多斯盆地、东北的松辽盆地及准噶尔盆地的西北缘等地相继发现了多处可地浸砂岩型铀矿(林双幸, 1995, 2000; 彭云彪等, 1998; 陈友良, 1998; 张振强等, 2001), 在塔里木盆地西部、柴达木盆地的东北边缘也相继发现了一些矿化点(陈贵华, 2001)。可地浸砂岩铀矿为水成铀矿床, 主要发育于地下水活跃地区, 矿体一般赋存于沉积盖层透水的砂质岩石中, 矿化主要受氧化带控制, 矿石矿物主要为沥青铀矿和铀石, 容易被酸或碱浸出。

1 可地浸砂岩型铀矿床分类及其特征

根据含氧地下水对岩石的蚀变作用方式, 与可地浸砂岩铀矿床有关的氧化带主要有两类: 即潜水氧化带与层间氧化带。潜水氧化带主要分布在地下潜水位以下至地下潜水层的隔水底板之上。该带含氧地下水交替强烈, 岩石中长期充满孔隙潜水, 地下水一般无承压性。层间氧化带主要分布在层间承压含水层中。层间承压含水层的顶、底板一般都有一个稳定的隔水层, 含氧地下承压水沿层间往下渗透运移, 在水交替迟缓带形成铀矿化。

潜水氧化带一般形成古河道型铀矿床, 即潜水渗入型矿床。层间氧化带可形成层间氧化带型铀矿床, 即层间渗入型矿床(图 1)。这两种类型铀矿床各有其自己的特点:

古河道型铀矿床: 矿床往往形成于中小型自流水盆地或地堑中, 盆地面积一般几十至几百平方公里, 盆地具明显的地下水补给、径流、排泄条件, 补给区有含氧水的渗入, 地下潜水层又有稳定的隔水底板。矿床一般距蚀源区较近, 物源主要为盆地蚀源区基底岩石的风化剥蚀的产物, 盆地蚀源区(即地下水的补给区)一般有富铀岩体分布, 具有丰富的铀源条件。铀矿化主要赋存在盆地冲积扇—三角洲前缘, 含矿建造一般为含有机质的灰色沉积物, 并被红色的含碳酸盐的陆源碎屑物所覆盖。如在含矿建造上覆有玄武岩, 往

* 国家基础研究项目(2001cb409808)和国家自然科学基金青年基金(40102022)共同资助

第一作者简介 陈正乐, 1967 年生, 男, 博士, 研究员, 长期从事于构造地质和矿床地质方面工作。

往有利于铀矿化的保存,以及热改造迭加而形成富矿。矿体一般呈透镜状、似层状和带状,在矿化富集部位有钴、镍、铅、锌等伴生元素。

层间氧化带型铀矿床:矿床主要形成于大型自流水盆地中,盆地构造面积一般几万平方公里,铀矿床规模大,可形成大型或超大型铀矿床。层间承压含水层具有稳定的隔水顶、底板,沉积物的渗透性能良好。铀矿化受水文地球化学障的控制,具明显的水文地球化学分带性,可划分为完全氧化带、弱氧化带、氧化还原过渡带和还原带,铀矿化赋存于层间氧化带尖灭端,即氧化岩石与未氧化岩石的界面上;铀矿化的形成与 CH_4 、 H_2S 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 和有机质作用关系密切,这些聚铀矿剂导致铀被还原沉淀而富集成矿。矿体呈卷状、层状、透镜状和带状。与铀矿化伴生的微量元素有Mo、Re、Se、V、Ag、Au、Sc、Y、Zn、Ni、Co、TR等,也具明显的分带规律。

2 可地浸砂岩型铀矿成矿条件分析

可地浸砂岩型铀矿是漫长的地质演化的产物,是大地构造、古气候、岩相古地理、岩性、水文地质和水文地球化学、铀源等因素综合作用的结果。

2.1 大地构造条件

在盆地基底构造和含矿建造形成期间,多期强烈的构造岩浆作用往往有利于形成广泛发育的基底富铀建造和富铀的地球化学块体。强烈的构造活动期后,经过褶皱回返而区域进入一个相对稳定的构造环境,形成舒缓宽展的沉积盆地,形成了产状平缓的含矿建造。盆地盖层与基底的时差越大,剥蚀间断期越长,越有利于盆地沉积物中铀的活化和预富集。

砂岩铀矿形成及分布最有利的构造部位是中度构造活化的地台边缘活化区和次造山区内的沉积盆地。在铀矿成矿期间,盆地应具有相对稳定的地质构造环境,构造活动性不要太强烈,但是构造活化是必备的条件。因为,盆地接受的沉积物形成岩层产状在原始状态下是水平的,岩层中的地下水也是静止的,不会发生流动,而只有发生构造活化,使岩层发生一定程度的倾斜,地下水形成压力差,促使地下水流动,或者产生区域性的断裂系统,即可以作为地下水的排泄系统,也可以作为地下水的补给通道,加快地下水的运动,有利于成矿作用的持续进行。

现有的资料表明(林双幸,1995,2000;彭云彪等,1998;陈友良,1998;张振强等,2001;陈贵华,2001;狄永强,1998),如果控制含矿建造富集成矿的补—径—排水动力系统的补给区和排泄区之间的高差在500~2000 m之间,径流区为一浅埋(一般埋深<500 m)缓倾(<15°)斜坡地带,往往是形成砂岩型铀矿最有利的构造部位(图1)。

2.2 古气候条件

目前,世界上已知的砂岩型铀矿集区主要分布在南、北半球中纬度(30°)干旱的荒漠草原区,且与红色磨拉石建造密切相关,其原因主要是由于古气候条件对砂岩型铀矿的形成起着十分重要的作用:首先,砂岩型铀矿的含矿建造应色调较暗并富含黄铁矿等还原剂、具有一定还原能力,因而,在盆地接受沉积时,需要一个温湿或半温湿的古气候条件;如果含矿建造上覆的红色碎屑建造不含有有机质和还原剂,而不具备有利含矿建造的主要条件,但当其被来自深部含油气建造沿断裂渗出还原水还原成灰色建造后,则可变为有利的含矿建造,然后在渗入含氧含铀水的作用下形成砂岩型铀矿;其次,在含矿建造沉积之后,应有较长时间的干旱、半干旱的炎热气候,植被不发育,具有荒漠、戈壁等的地貌景观,地表水也往往呈弱碱性、含有碳酸盐,这有利于含铀地质体的强烈剥蚀氧化,使铀转入水中,形成含氧富铀偏碱性重碳酸型地表水,并容易透过表层渗入地下,转化为潜水或层间承压水迁移,发生次生富集(图1)。

2.3 水文地质、地球化学条件

砂岩铀矿成矿作用的实质就是来自于盆地蚀源区的含氧富铀的地表水渗入地下,流经含有还原剂的砂岩层中,不断氧化砂岩层中的黄铁矿等还原剂,溶解出地层中含有的铀,并逐渐消耗自生中的活化氧,形成重碳酸型弱碱性的含氧含铀水(U^{2+}),在氧化—还原过渡带,由于地下水中的活化氧逐渐消耗殆尽,从

而使地下水发生酸化、还原，而导致铀从溶液中逐渐溶解出来，以 U^{4+} 形式沉淀下来（陈国梁等，1998；王果等，2000），而富集成矿的地球化学过程（图 1）。因而，渗入地下水的地球化学参数、在空间上的变化规律等，就控制了盆地内渗入型地下水地球化学分带。这种地球化学分带现象越明显，宽度越大，对成矿越有利。

水文地质条件也是重要控矿因素，如果补给区有富含铀地质体的广泛暴露和充足水量的补给，有含矿建造组成的埋藏浅、规模大、倾角平缓而稳定的斜坡带作为地下水长距离的径流区（有利于地下水缓慢流动使砂岩充分氧化），并有明显的排泄区（最好为规模较大的区域性排泄区），补—径—排水动力系统在整个盆地后生改造成矿期间，蚀源区单向稳定抬升，区域地貌格局变化不大而使地下水的总体流向稳定而无大变化（长时间稳定作用），就容易形成大型、超大型可地浸砂岩铀矿集区。中亚楚萨雷苏和锡尔达林盆地砂岩铀矿集区就具备了上述这些条件（狄永强，1998）。

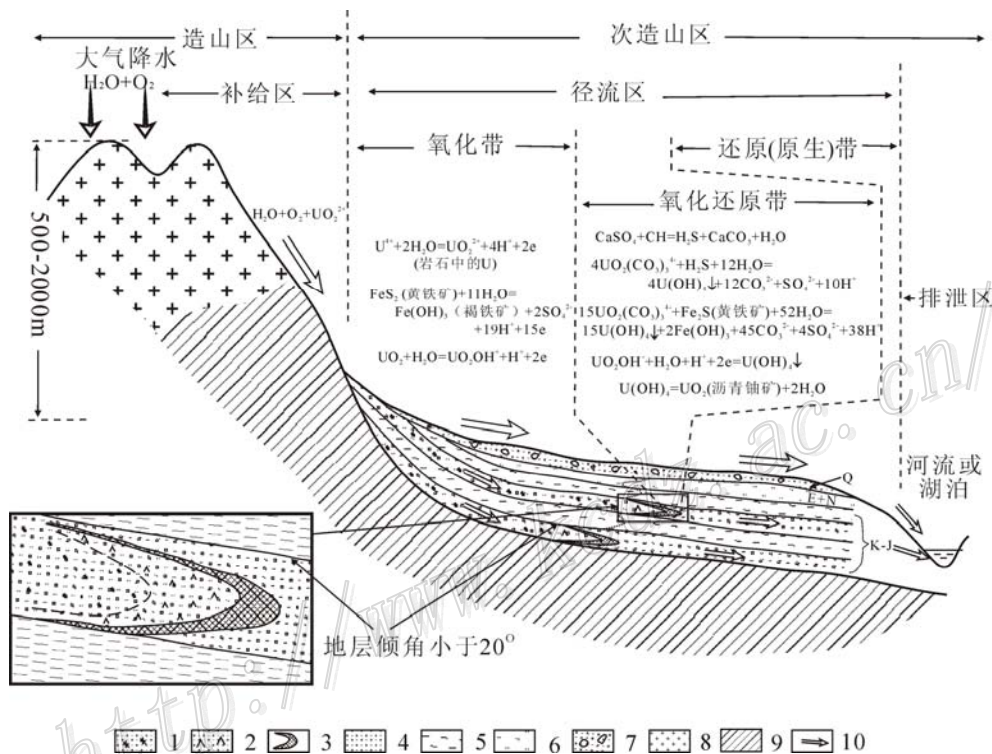


图 1 层间氧化带砂岩型铀矿形成模式图

1—强氧化带砂岩；2—弱氧化带砂岩；3—氧化还原带砂岩型铀矿体；4—原生带砂岩；5—泥质岩；6—粉砂岩；

7—砾岩；8—含铀地质体（以花岗岩为代表）；9—含铀基底岩石；10—地下水运动方向

2.4 岩相古地理和地层岩性条件

含矿建造的岩相古地理条件往往决定了砂岩型铀矿的成矿规模，研究表明高性能和透水性岩层的广泛分布和稳定延伸，即砂岩层具有高还原性、高渗透性和分布的高稳定性，是形成大型层间氧化带砂岩型铀矿的重要条件。因而，沉积分异好的，如古老和年轻地台边缘的大型、巨型台向斜式陆缘盆地、前陆盆地大型平原河流冲积相或滨海三角洲相是形成规模巨大的区域性层间氧化带砂岩型铀矿有利岩相组合；而褶皱带内中间地块上叠式山间盆地河流冲积相区或盆地边缘冲、洪积扇相区则有利于形成局部区域性层间氧化带砂岩型铀矿。

形成砂岩型铀矿另一必备条件是具有一层透水层（往往为砂岩层）被上下两层不透水层（如泥岩）所夹持的岩性组合。砂岩层即是地下水径流的通道，也是层间氧化带砂岩型铀矿的成矿空间，因而砂岩层的岩性往往直接控制了砂岩铀矿的矿化特征，砂岩层中岩石的物质组成则直接影响了砂岩的成矿能力、矿化品位及矿体的规模等。

2.5 铀源条件

包括盆地基底、盆外蚀源区和盆地沉积建造铀源条件等(事实上,盆地沉积建造是盆外蚀源区地质体的风化剥蚀产物经搬运到盆地内沉积而成,因而盆地沉积建造的含铀性是由前二者决定的)。在盆地基底演化期,如果区域多期次的构造岩浆活化作用强烈,地壳演化成熟度高,物质分异充分,造成花岗一流纹质岩石和其它富铀地质体广泛发育,则盆地含矿建造就具有较高的含铀背景值及良好的供铀能力;在铀矿成矿期间,富含铀的盆地基底和盆外蚀源区则又可以为成矿作用提供大量成矿物质来源。对于层间氧化带型砂岩铀矿,如果层间氧化带沿倾向发育不深时,盆地基底和含矿建造的含铀性作用较小,但层间氧化带发育很深时,盆地基底和含矿建造的含铀性则具有重要意义。对于基底式古河道型铀矿,如果在盆地盖层与基底建造之间,存在一个较长的沉积间断,从而在基底的表层形成一个较厚的风化壳,则基底岩石含铀性及古风化壳发育厚度是成矿的重要因素。

3 讨论

上述分析表明,大地构造、古气候、水文地质、水文地球化学、岩相古地理、岩性和铀源等都是可地浸砂岩型铀矿形成的必备条件,对铀矿的形成及其特征的控制作用均很重要,但是很明显,其中大地构造、古气候条件是属于最为重要的、基础性的(秦明宽等,1999),两者共同决定了盆地的构造地貌形态、盆地的岩相古地理、沉积岩的岩性及蚀源区、盆地基底和含矿建造的含铀性,并由此制约了古水文地质、地球化学条件,因而后者是属于低序次的、派生的。

归纳起来,形成大型、巨大型砂岩型铀矿集中区应具备下述基本条件:沉积盆地面积巨大、气候干旱、盖层构造稳定、地层产状平缓;砂岩体分异好、具备泥—砂—泥结构且分布和延伸稳定、埋深浅、富含还原剂;地下水的补—径—排水动力系统良好(图1)。

参考文献

- 陈贵华. 2001. 柴达木盆地东部层间氧化带砂岩型铀矿形成条件分析. 铀矿地质, 17 (2): 70~75.
- 陈国梁, 董秀康, 刘汉彬, 等. 1998. 砂岩型铀矿床上方氧的分布. 铀矿地质, 14 (1): 45~53.
- 陈友良. 1998. 滇西可地浸砂岩型铀矿特征、成因类型及成矿模式. 铀矿地质, 14 (4): 193~199.
- 狄永强. 1998. 我国西北部国家中生代砂岩型铀矿盆地的成矿条件分析. 铀矿地质, 14 (6): 321~329.
- 林双幸, 师志龙. 2000. 准噶尔盆地北部层间氧化带砂岩型铀矿形成条件分析. 铀矿地质, 16 (4): 193~198.
- 林双幸. 1995. 新疆伊犁盆地南缘侏罗系层间氧化带发育条件与铀矿远景评价. 铀矿地质, 11 (4): 201~206.
- 彭云彪, 陈安平. 1998. 二连盆地乌尼特坳陷及周边下白垩统砂岩型铀矿成矿条件分析. 西北铀矿地质, 24 (2): 7~13.
- 秦明宽, 赵瑞全, 王正邦. 1999. 可地浸砂岩型铀矿盲矿识别模式. 铀矿地质, 15 (3): 129~136.
- 王果, 华仁民, 秦立峰. 2000. 乌库尔其地区层间铀成矿过程中的流体作用研究. 矿床地质, 19 (4): 340~349.
- 张振强, 李国宽. 2001. 桑吉盛等松辽盆地南部第三系可地浸砂岩型铀矿成矿条件研究. 铀矿地质, 17 (3): 145~149.