伊犁盆地砂岩型铀矿综合信息找矿模式研究

王怀武[1], 梁放安[2], 王学佑[2]
(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 核工业航测遥感中心, 河北 石家庄 050002)

摘要: 运用板块构造理论, 对伊犁盆地铀矿成矿地质背景、区域地质构造特征、控矿机理、控制因素和成矿规律等方面进行综合分析研究。提出了天山古岛弧系中, 伊犁多相地块之上中新生代压扭性断坳盆地内稳定地块与特定的古地理环境及其"构造阶地", 共同控制层间氧化带大型砂岩型铀矿的新观点, 并将"水液型"砂岩型铀矿的成因归结为"双合"式铀成矿模式及其"八位一体"的综合信息找矿模式。

关键词: 遥感航测同步; 岛弧构造系; 构造阶地; 层间氧化带; 找矿模式
中图分类号: P619.14 文献标识码: A 文章编号: 1004-5589(2002)02-0118-08

0 引 言

集中力量主攻伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿床, 着眼于寻找可地浸大型铀矿, 是核工业近些年来地质工作的主要任务。应用遥感地质与同步开展航空物化探相结合的高新技术, 大规模地进行区域地质和矿床地质综合研究的找矿预测方法, 持续深入地开展遥感技术在地质找矿领域中的应用, 以客观—宏观、真实可靠、直接间接、地表地下的多种信息源为依据, 紧密结合常规地质实践资料, 进行"由面到点、由表及里、将今论古、上下求索"的分析研究。这种信息提取—调查研究—上升理论—总结规律"的综合研究方法, 比常规地质"就点论点、就矿找矿"的思想方法先进得多。

通过多年对伊犁地区砂岩型铀矿遥感地质研究和大量航测、物化、钻探、地浸开采试验资料的基础上, 运用板块构造理论对区域地质构造、铀矿成矿环境和砂岩型铀矿的形成条件、控制因素、成矿模式、成矿规律等方面提出了新的认识, 成功地取得了寻找和预测大型砂岩型铀矿的综合研究方法, 丰富了铀成矿理论和找矿模式的建立。

1 板块活动的沟—弧—盆系中深大断裂控制着大型砂岩型铀矿成矿带

在经过特殊处理和信息提取、增强的 TM、MSS、SPOT 遥感图像中, 其影像要素(色、影、形、纹)细腻清晰, 对解译深大断裂带、板块碰撞带、隆起断陷带、区域构造带及其控制分割的山系、盆地、地块、地层、地体等地质单元十分有利。重要的大型构造带和地块, 在影像上表现为深浅分明、线性明显的色调和特殊的影纹结构。在区域上常控制着地层、地体的总体产状、区域变质、混合岩化、岩浆火山活动带, 以及大型铀矿成矿带。诸如大型山体或地块(隆断地块)走向线、大型串珠状垄岗与谷地、陡壁与"三角面"、冲积扇与大型水系、含水带与

收稿日期: 2002-01-08
基金项目: 核工业总公司地质局项目(418- 遥感 93.3- 16)
作者简介: 王怀武(1955-), 男, 辽宁省朝阳市人, 研究员级高级工程师, 主要从事遥感地质和航空物探的生产及科研工作.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

地热带、冷泉与热泉点等地貌景观或色调影纹结构异常, 均为该类构造的主要解译标志, 现将遥感图像信息提取、结合物化探信息就伊犁盆地形成作用有关的主要断裂构造带按主次排列如下:

(1) 近东西向压扭性的有北天山晚古缝合带、南天山北坡元古缝合带、伊北古岛弧深断裂带、伊犁晚古裂张带、伊南古岛弧深断裂带、察布查尔—尼勒克断裂带、野马渡—巩乃斯河断裂带及昭苏煤矿—阿克尔汗断裂带。

(2) 近东西向大型褶皱带由北往南有北天山隆断带、伊犁坳断带、中天山隆断带、昭苏巴—巴音布鲁克断陷带和南天山隆断带。

(3) 北西向及北东向扭性断裂带有巴音那木—巴音、赛里木湖西—巩留、沙湾—乌拉斯台、三道河—哈峡加尔等 4 条 NW 向断裂带和东湾—巴音郭楞、前进牧场—阿克别依得、乌拉埃达坂—潘菲洛夫等 3 条 NE 向断裂带。

(4) 大型环形构造(直径> 10 km) 由北至南有果子沟岩浆型环形构造(由 γ_4^2 引起)、甘力勒环状隆起、科克巧克岩浆—火山环形构造群(γ_4^2、$\gamma\delta_4^2$)、博罗霍洛岩浆型环形构造群(γ_4^{2-3}、δ_4^2)、阿吾拉勒岩浆—火山型环型构造群(γ_4^2、δ_4^2、$\gamma\pi_4^2$)、察布查尔环状隆起、察布查尔山岩浆—火山环形构造群(γ_4^{2-3}、δ_4^2)、红旗镇环状隆断构造及阿拉尔陶岩浆环形构造群(γ_4^{2-3}、$\gamma\pi_4^3$)。

上述断裂构造或环形构造均属切壳深断裂构造, 其近 EW 向弧形波浪式深大断裂带是伊犁地块与天山古岛弧长期活动的产物。伊犁地块(伊宁岛) 自晚元古代至早古生代末, 一直处在西伯利亚、塔里木—中朝与哈萨克斯坦三大板块之间的天山古岛弧构造系统中(图 1), 是哈萨克斯坦板块(由一些大小不等呈串珠状的具前震旦纪基底的陆块拼接而成) 中伊犁—中天山陆壳板段的一部分, 总体上说是一个比较特殊的混杂地块。在经过四个演化阶段(晚元古—早震旦世古新疆板块形成阶段、早古岛弧系阶段、晚古地壳裂离—拼合交替阶段和中新生代断块运动阶段) 以后, 在板块—地块多次“开合”运动[1] 中形成了多种弧形构造、深大断裂及扭张断陷式盆地或断块, 尤其是那些碰撞型盆地、残留盆地、弧前及弧后盆地和山间坳陷或断陷盆地共同控制着铀、金、钒、铜矿床和大型砂岩型铀矿成矿带或集中区。

2　上叠在古岛弧地体增生基底之上的中新生代断陷盆地, 为大型砂岩型铀矿的成生奠定了优越的地质环境

2.1　伊犁地块的结构构造

通过区域地质研究得知, 伊犁盆地是在元古克拉通离散的基础上, 上叠在古岛弧体系(沟—弧—盆) 地体增生、碰撞、拼合, 由中间性地块和多种地体组合而成(或称“拼合熔合体”)。结构特点是: 其下具有最古老的变质地体, 以上依次为岛弧型地体、熔接深成岩体及超覆岩层, 该四层地体的物质组成, 诸如区域变质岩系、海相沉积岩、岩浆岩、火山岩及陆相沉积、冲洪积建造, 为形成大型砂岩型铀矿提供了丰富的铀源和铀源层(体)。

2.2　盆缘及其山前断裂多次活动, 为大型砂岩型铀矿的成生创造了良好的地质条件

(1) 伊犁盆地是个大型盆地。东部在中国, 为 7 000 km^2, 占总面积的 1/4; 大部在西边的哈萨克斯坦, 遥感影像上显示盆地形态略呈透镜状。我国境内的伊犁盆地, 又可分为东西两部分, 东部为相对活动的隆陷区; 西部为相对稳定的断陷区, 以伊犁河为界再分为南北差异较大的断块区, 据遥感图像判译, 沉陷断降中心在西北边境哈萨克斯坦的潘菲洛夫沼泽地。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://ww

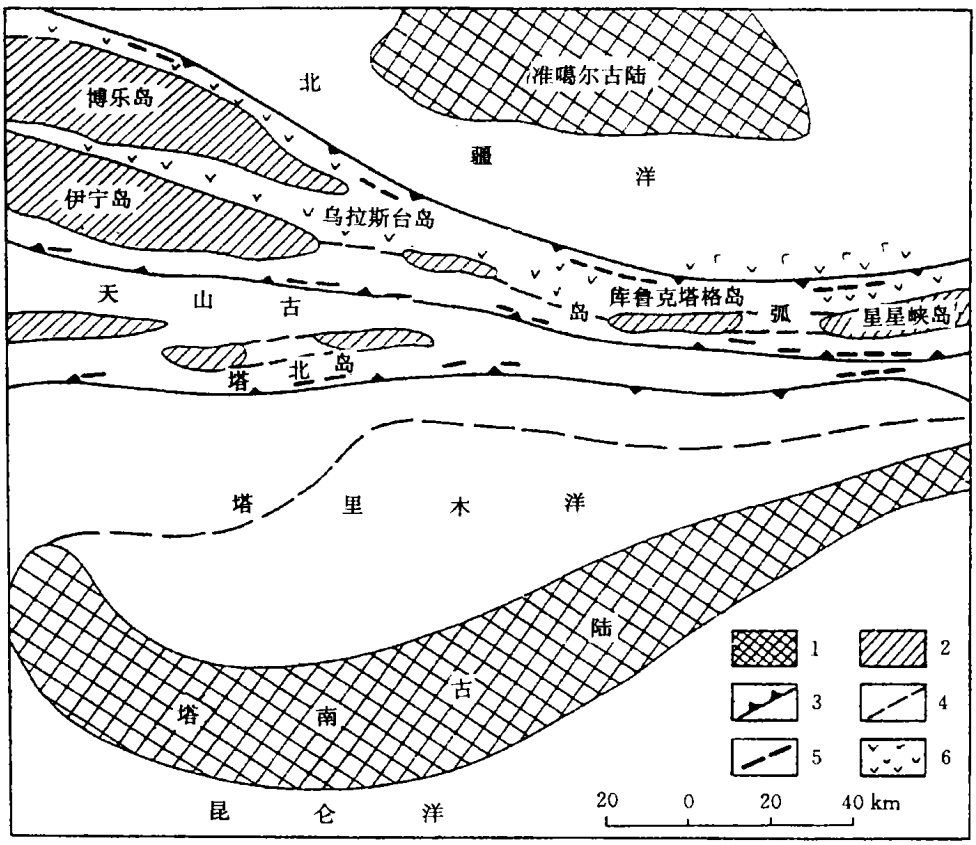


图 1 天山古岛弧(中晚元古—早古生代) 构造系示意图

Fig. 1 Schematic map showing the tectonic system of fossil island arc in Tianshan

1. 古陆(前震旦纪基底) ; 2. 古岛弧; 3. 俯冲带及俯冲方向; 4. 水下隆起; 5. 蛇绿岩套及超镁铁岩; 6. 岛弧火山岩

自中生代以来, 盆地的基底和盖层长期处于挤压扭动状态, 导致盆缘断裂多次向盆内逆掩推覆, 造成盆边发生形变, 并产生多级断裂、断块的形成, 为铀源与含铀溶液活化运移、聚集和富集成矿, 提供了有利的地质构造场地。

多年的找矿勘探实践表明: 强烈的燕山期差异性升降运动和断块运动, 必然形成高山与低盆两类不同环境的各种地块。处于古生代俯冲断陷带前缘的中生代盖层自燕山晚期以来, 活动地块中相对下降式地块或断块, 往往是形成大型砂岩型铀矿成矿最有利的地体。著名的 509、510、511 和 512 矿床, 分别产在伊犁河南部的 A、B 地体(块) 中, 其中以规模较大的先断隆—后断陷式地块(B) 成矿最好, 是大型—超大型可地浸砂岩型铀矿的主要集中区。

(2) 古“构造阶地”式①(晚中生代—早新生代) 地块、地体带控制大型砂岩层间氧化带型铀矿床的形成。第四系覆盖在较大的伊犁盆地中, 依据卫星图像色、影、形、纹及地貌景观的细微变化, 解译发现在伊犁河南、北两个地区存在着相应对称出现的近 EW 向“构造阶地”式断块—地体带, 由低处向高处大致可划分为四级(Ⅰ—Ⅳ) 。每级断块—地体带均被隐伏

① “构造阶地”系指由构造作用引起的阶地式地块或带块, 与河流阶地剥蚀阶地的概念不同

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

的断裂或基底深断裂所分割, 或被 NE 向与 NW 向断裂扭错, 据影纹结构复杂程度及环状水系、环形—半环形构造, 可判译出相对断升或断陷式地体带。已有勘查结果表明层间氧化带“矿卷”型铀矿化, 主要发育在第Ⅳ级断块带前缘或与第Ⅲ级断块带的过渡带, 矿体呈近 EW 向展布(图 2)。据此规律可推测在第Ⅲ级断块带前缘及环形构造发育地段, 可能形成第二条近 EW 向展布的矿卷带, 这条矿带已延续到毗邻的哈萨克斯坦境内(噶尔扎特巨型砂岩型铀矿床)已得到证实。

(3) 砂岩型(包括含铀煤型)铀矿体主要分布在侏罗系中下统含煤碎屑岩建造层序中由陡变缓的地段。这种缓冲地带在晚侏罗世到第三纪时期的湿润转为干旱古气候变化的地理环境中, 最适合于含铀的氧化—还原成矿作用的充分进行。铀矿主要产于盆地具三套结构层(基底构造层、主含矿岩系及陆相红层)上、下不整合面间[2]中侏罗系水西沟群(J_{1-2})的第 5~ 8 含煤层及砂体中。

砂体越厚(10~ 37 m), 孔隙度和渗透率较高, 地下水贯通性良好, 粒度较均匀的中粗粒砂岩, 层间氧化带发育越好(5 个层位), 铀矿成矿也就越好。主要有三层矿(Ⅰ、Ⅴ、Ⅹ), 在剖面上呈叠瓦状扇形分布, 只有在适合的物理、化学、氧化-还原成矿作用完成好的地段, 才能形成规模较大的层间矿体。利用地表含煤岩系中红褐—灰色(氧化-还原作用信息)砂岩段所显示的影像特征, 乃是寻找和勘查大型砂岩型铀矿卷状矿体的指示性标志。

(4) 砂岩型铀矿体在剖面上多呈现矿卷体或不规则状矿卷(如透镜状、板状、叠瓦状矿体), 标准的矿卷体应为月牙形。在纵剖面上呈锯齿状延伸, 为后期 NE 或 NW 向扭动断块作用所致。由各种矿卷体连续或断续组成的近 EW 向矿带, 在走向上延伸长达千余米。整个矿带在平面上分布并不均一, 因受 SN 向断裂及其所形成的冲沟—冲蚀的破坏, 在走向上造成裙边式展布, 成矿时代为中新世。

经地质勘探主矿体埋深 102~ 105 m, 处于承压孔隙水活动地段。承压水头高达 117.6 m, 涌水量 8 m^3/h; 水质为 SO_4HCO_3—CaNa 型与 SO_4Cl—CaNa 型及 CaNa 型, 矿化度 0.5~ 1.0 g/L, 水中铀主要以碳酸络合物 $UO_2(CO_3)_3^{-4}$ 的形式存在; 铀元素在 pH 值 6.5~ 8, Eh 值±100mV 范围内沉淀富集①。据近些年来地质钻探和地浸式采矿的成果表明: 伊犁盆地 512 大型砂岩型铀矿床, 完全符合地浸式开采技术条件和要求。同时, 可顺便进行开采含铀煤型铀矿床。

3　砂岩型铀矿“双合”式成因机制

砂岩型铀矿床的形成是一个复杂的过程, 只有在“物化遥”、地面地质、矿床地质研究基础上得以剖析。通过综合信息研究, 在地壳形成和演化过程中, 铀的迁移和富集, 最初是由于放射性热源对流作用(高热能区向低热能区流动)或深部幔汁活动引起铀向上运动造成的。特别是在板块碰撞—拼合或岛弧俯冲处, 由于地壳多次运动, 致使地壳深处的变质熔浆和火山作用热源(热液和热气)及地下热液(热水、气)—碱变化作用, 促使铀的活化和迁移, 在有利的造山活动带或坳断盆地及活动断裂构造带中形成铀的富集。不管是内生还是外生的铀矿, 其成因主要与“热源”作用有关[3]。作者曾将内生的“岩浆”热液型铀矿(简称“浆

① 古抗衡, 王保群. 新疆伊犁盆地 512 矿床层间氧化带铀成矿地质特征中国铀矿地质研究成果荟萃. 中国核工业总公司地质局, 核工业北京地质研究院等, 1996. 156-161.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://ww

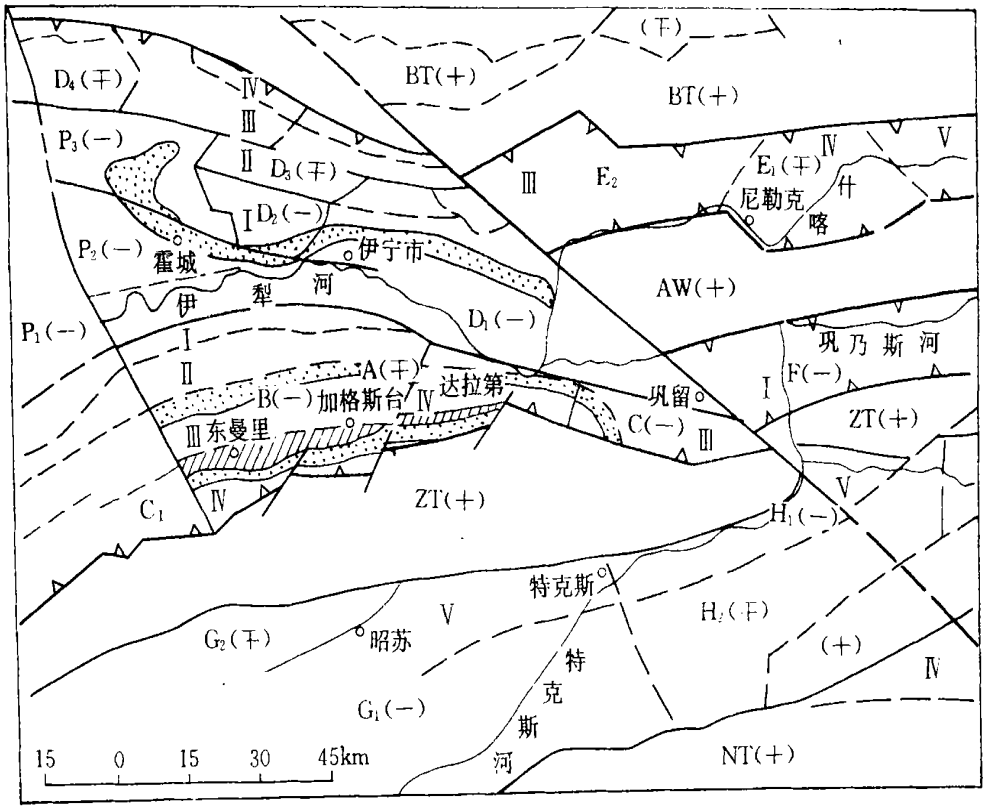


图 **2** 伊犁地区地块(体) 及其主要断裂构造遥感解译图

Fig. 2 Remote sensing explain map of block and major faults structure in Yili area

1. 中天山断隆地块; 2. 库台断陷地体; 3. 苏阿勒马特陷隆过渡性地块; 4. 巩乃斯断陷地块; 5. 莫合尔断陷地块; 6. 潘菲洛夫断降地体; 7. 阿吾拉勒断隆地块; 8. 达拉地陷隆过渡性地块; 9. 伊宁断陷地块; 10. 新乡街陷隆过渡性地体; 11. 昭苏断陷地块; 12. 大哈拉军山隆陷地块; 13. 霍城断降地体; 14. 北天山断降地块; 15. 加格斯台断陷地块; 16. 甘力勒断陷地体; 17. 尼勒克陷隆过渡性地体; 18. 吐尔干隆陷过渡性地块; 19. 清水河子断陷地体; 20. 南天山断隆地块; 21. 层间氧化-还原带前峰位置; 22. 苏布台断陷地体; 23. 地块边界(主要断裂); 24. 伊犁盆地边界; 25. 主要成矿区; 26. 构造阶地及编号

液"型) 的成因机制概括为"混合—结合—中合"三合式铀矿成因模式[4], 浆液型铀矿成矿作用主要成生在造山带或隆断地块(带) 中。

水液型铀矿的成生主要在盆地, 从区域上认为铀源可以来自地壳深处或浅部补给区或原生氧化层间溶液循环区内任何含铀量大于或等于克拉克值的地体、地层和岩石包括盆地本身的含煤岩系和含铀矿化体, 在热水作用和强氧化作用下均可以形成成矿溶液。这些原生和后生的多种"混合"含铀溶液(浆液、热液、水液和气液), 经过构造运动, 特别是区内的断

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

块作用, 便于形成活化的混合成矿溶液。在适合成矿的构造活化区或山前过渡(亚造山带前缘) 构造转折地段的中新生代海湾相、泻湖相、水下三角洲相和陆相盆地中的湖沼相与大型冲洪积相, 常形成规模型砂岩型铀矿。

伊犁盆地中的三套结构层及活化含铀溶液的含煤碎屑岩系, 岩系中有一定规模的砂岩层和“砂体”, 活化的含铀溶液经过适合的透水层—层间氧化带的物理化学障(古气候由潮湿变为干旱、岩系构造由陡变缓、砂岩孔隙度由大变小、渗透率由高变低、急流区变为缓流区或滞流区) 和中性物理化学场(pH、Eh、含铀物质元素活度转化“中合”区) 相继完成的氧化—还原成矿作用(或称“氧化—还原地球化学栅”) 的过程要相当完整, 方能形成规模巨大的砂岩型铀矿床。由此看来, 大型砂岩型铀矿的形成关键在于含铀渗液的“混合”活化—运移—“中合”富集成矿机制持续发展的完整性, 作者将上述水液型铀矿成矿作用概括为“混合—中合”双合式再生成矿模式, 伊犁盆地矿岩型矿床的形成, 即是在富铀原岩或同生成矿的基础上, 经活化、迁移的成矿溶液, 于异地再生富集成矿(图 3)。

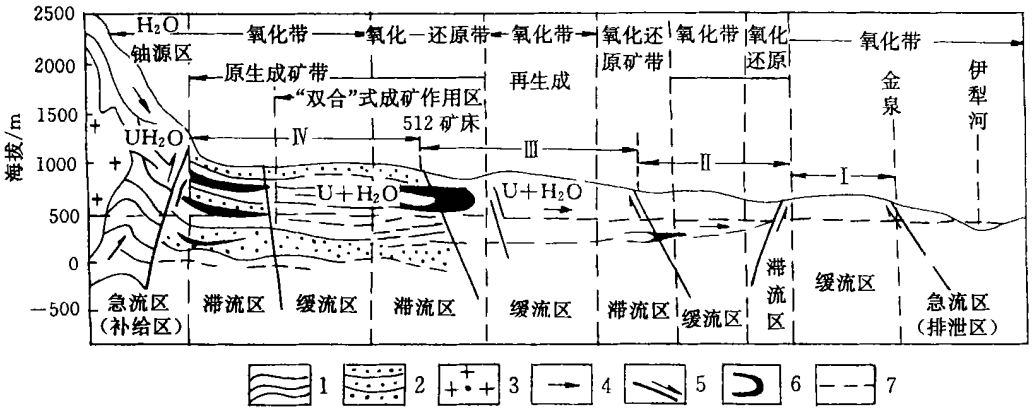


图 3　砂岩型铀矿“双合式”再生成矿模型

Fig. 3　Sandstone uranium mineralization pattern called two conditions

1. 上古生界海相及火山碎屑岩建造; 2. 中下侏罗统煤系地层(煤层泥岩加沙体) ; 3. 海西晚期花岗岩; 4. 含铀流体运动方向; 5. 主要断裂及运动方向; 6. 卷状或板状、透镜状、锥状矿体; 7. 新生代剥蚀—堆积均衡面(区域滞流面)

4　砂岩型铀矿综合地质信息研究及其找矿模式的建立

4.1　航空能谱测量成果与区域铀矿成矿分析

(1) 根据 300 万个航测数据及地质单元统计分析选出铀源层 7 个(泥盆系、石炭系、二叠系、中、下侏罗统和新生界) , 3 个含铀层(新生界中砂岩、砂砾岩及泥岩层, 中生界中下侏罗统含煤岩系, 海西期花岗岩) , 2 个富铀层(体) (石炭纪中酸性火山岩、火山碎屑岩层及海西中期花岗岩体) , 如表 1 所示。

表 1　伊犁地区铀源层

Table 1　Layer of uranium source in Yili area

区划	U/ 10^{-6}	Th/ 10^{-6}	Th/ U
铀源层	≥1.8	≥8.0	4.4
含铀层	≥1.95	≥8.0	4.1
富铀层	≥2.1	≥7.5	3.57

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://ww

区内铀源层是铀元素分解、迁移、聚集的物质来源, 含铀层是铀矿化形成的有利岩层, 只有富铀层(体) 才是反映铀矿化或矿化体的直接标志。依据表中原则共提取出航测信息样点4300 余个。其中具有明显找矿意义的铀信息点 200 余个(一级 18 个, 二级 33 个, 三级 160 余个)。在铀矿化的有利地段几乎全有信息点的分布, 铀矿床均分布在铀偏高场—铀高场的等值圈内及其附近地段。

(2) 铀高场、偏高场及矿化显示的有利地段, 几乎均分布在盆地内即通过遥感解译的相对稳定、抬升或断降地块的边缘区。尤其在盆地南部东西长 120 km, 南北宽 40 km 的广大地带, 铀信息点或铀矿床集中分布在构造的变异部位或交汇部位, 总体上呈三组断续状近东西向展布, 区域上与构造阶地(Ⅲ、Ⅳ级) 基本一致。

(3) 区内铀、钍、钾元素呈正相关关系, 有同步增长或同步消减的趋势。特别是在几个大型砂岩型铀矿床中, 表现得更加明显。值得注意的是: 在 Th/U 比值较高的区域内, 铀相对低的地段很可能是由于铀元素迁移的缘故, 应"顺藤摸瓜"地去追踪新的富集区, 找寻新的矿化体或矿体。

4.2 区域重磁场特征与铀矿成矿关系

(1) 伊犁盆地位于天山山脉西部地区北、中天山之间, 它在遥感图像(TM) 上具清晰的展视, 其重力布格异常一般在 $-250\times10^{-5}m/s^2$ 左右, 局部为 $-290\times10^{-5}m/s^2$。其中伊犁盆地重力值相对较高, 地壳较薄, 为一古隆起区(地块) ; 而巴音布鲁克附近地壳较厚, 坳陷最深, 可能属天山古岛弧海沟的位置。

(2) 重、磁场的梯度变化复杂带往往是地壳厚薄变异带或突变区, 多为岛弧型构造带, 多次升降运动的褶断、断块, 构造阶地等构造活动区。岛弧系中近 EW 向布格重力线性异常和航磁带状、串珠状或团块状异常区, 常分布有多处放射性异常或铀矿化带。

(3) 伊犁地块的铀矿勘查事实表明, 在重力高值区向低值区的过渡性地带, 与大型铀矿和含铀煤型铀矿的形成有密切关系。

通过上述航空能谱、磁力、重力测量成果与区域铀矿成矿分析, 为伊犁盆地砂岩型铀矿遥感地质解译和进行综合研究, 提供了有关地球物理及航空化探方面的有力证据。

4.3 砂岩型铀矿综合地质找矿模式

根据遥感地质、铀矿地质、物化探等三个方面的成矿信息和国外中亚地区哈萨克斯坦等国的铀矿地质资料进行类比、综合分析研究后, 将寻找大型可地浸砂岩型铀矿归结为"八位一体"综合地质信息找矿模式:

(1) 古岛弧系中变质老地块。

(2) 碰撞拼合带中复合地体。

(3) 三层多相结构上叠式断陷盆地。

(4) 相对稳定地块及其环状结构影像区。

(5) 湿干多变的古地理环境。

(6) "高中求低, 低中找高"地貌景观区。

(7) 过渡中性构造区中构造阶地前缘带。

(8) 砂岩层间滞流"双合"式成矿作用区(带)。

总之, 造就大型超大型砂岩型铀矿必须要有大的成生地质环境和必备的区域性构造地质位置, 丰富的铀源层(体)、规模较大的盆地、稳定地块和多期多阶段构造阶地与氧化—还

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

原发育区, 则是寻找和进行铀矿成矿预测的大方向。

伊犁盆地是我国最早提供核原料的矿产基地, 区内(包括哈萨克斯坦境内) 已探明多个大型砂岩型、含铀煤型矿床与数十个矿点、矿化点(带) , 相信在持续开发大西北的形势下, 以伊犁盆地大型砂岩型铀矿床为实例, 以综合地质信息找矿模式的思路来引导, 为进一步开发大西北的铀矿地质事业做出新的贡献。

该文得到刘占声教授亲临指导, 在此深表感谢。

参考文献:

[1] 黄汲清, 姜春发, 王作勋. 新疆及邻区板块开合构造及手风琴式运动[J] . 新疆地质科学, 1990, (1) : 3 - 14.

[2] 黄世杰. 层间氧化带砂岩型铀矿的形成条件及找矿判据[J] . 铀矿地质, 1994, **10**(1) : 6 - 13.

[3] 王学佑. 热源构造与铀成机制的探讨[J] . 铀矿地质, 1988, **4**(4) : 200 - 208.

[4] 王学佑. 遥感图像在找寻铀矿中的应用[J] . 矿床地质, 1986, **5**(3) : 49 - 59.

Study on Prospecting Model of Synthetical Information of Sandstone- Type Uranium Deposits in Yili Basin

WANG Huai-wu[1], LIANG Fang-an[2], WANG Xue-you[2]

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Airborne Servey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China)

Abstract: With a theory of plate tectonics, authors studied and analyzed the geological background of uranium mineralization, the regional geological structure characters, the ore-control mechanism, the control factors as well as the metallogenic regularity in Yili basin. The new viewpoint of this research is that a large sandstone uranium of the interlayer oxidized zone is controlled the stable land mass, the special paleogeographic environment and "the structural terrace" on Cenozoic era pressure shearing fault depression basin above Yili polymetamorphic land mass in Tianshan palee-island. The genesis of "Hydatogenous" sandstone uranium can be summed up in the uranium mineralization pattern called two conditions and the prospecting pattern called the eight conditions in one.

Key words: remote sensing and aerial survey synchronism; island are tectonic system; structural terrace; interlayer oxidized zone; prospecting pattern

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww