后遥感应用技术支持下断隆成矿观点的提出

刘德长　叶发旺　张静波

后遥感应用技术是将遥感技术与传统地学方法相结合，与其它现代信息技术相结合的遥感信息深化应用技术[1]。它比单一的遥感技术更能发挥遥感技术的优势，具有更好的应用效果。本文将阐述作者在后遥感应用技术支持下提出的断隆成矿观点，以及其地质意义。

1 东胜铀矿床所处于的区域地质构造背景是断隆构造环境

通过对鄂尔多斯盆地北部东胜-杭锦旗地区的 ETM 彩色合成图像（图 1）、MODIS 图像以及 MSR 集成图像等的解译和分析，发现东胜铀矿床所处的区域地质构造背景为断隆构造环境。

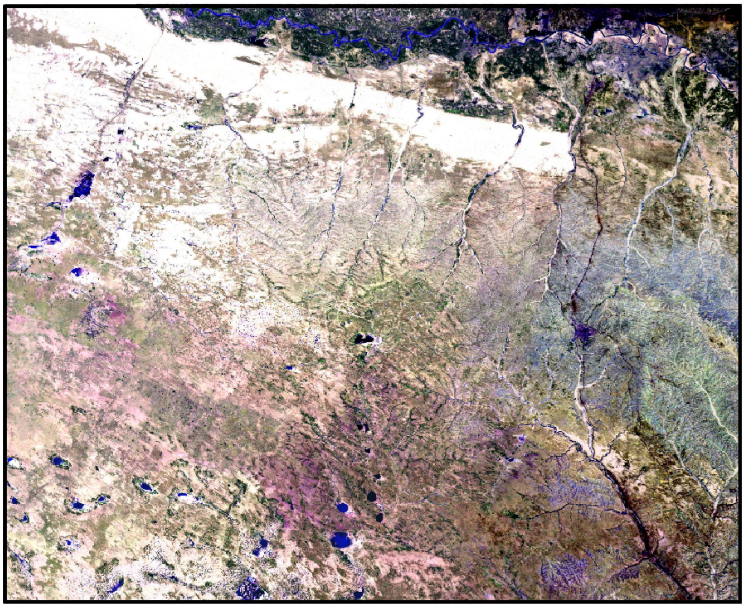


图 1 东胜-杭锦旗地区 ETM753 假彩色合成图像

该断隆构造为一近 NW 向的楔形断块，东西长约 150 公，南北宽约 60 公里。楔形的尖端指向西（图 2）。断块内大面积出露三叠纪延长组，侏罗纪延安组、直罗组，局部地方还出露古生代地层，其时代显然比断块周围的地层时代老（断块周围主要出露为白垩纪和第三纪地层），表明该断块为一隆起的断块，作者将其命名为东胜-石湾子断隆构造。断隆构造的北缘受独贵特拉镇—恩格贝断裂（F3）和哥可沙拉—响沙湾断裂（F2）两条平行的区域性大断裂控制。独贵特拉镇—恩格贝断裂，位置偏北，为河套断陷南缘断裂，是一条自今仍有明显活动的区域性大断裂；哥可沙拉—响沙湾断裂，位置偏南，为乌兰格尔隆起北缘断裂，是一条被地震剖面和地表逆冲正断层证实的区域性大断裂。断隆构造的南缘受本害敖包-准格尔召（F1）区域性大断裂控制。该断裂是作者通过遥感图像的解译首先发现的，并进行了野外追索，在不同地段其地表构造特征表现不同：在东胜南部的念经疙瘩处见有硅化、碳酸盐构造角砾岩；在沙沙培台南面

见有第三系与白垩系呈断层接触，断面向南倾，倾角 40°-50°，呈正断层性质（黄贤芳 2002）；在泊江海子西侧的格点尔盖一带地表发现明显的断裂面（图 3）；

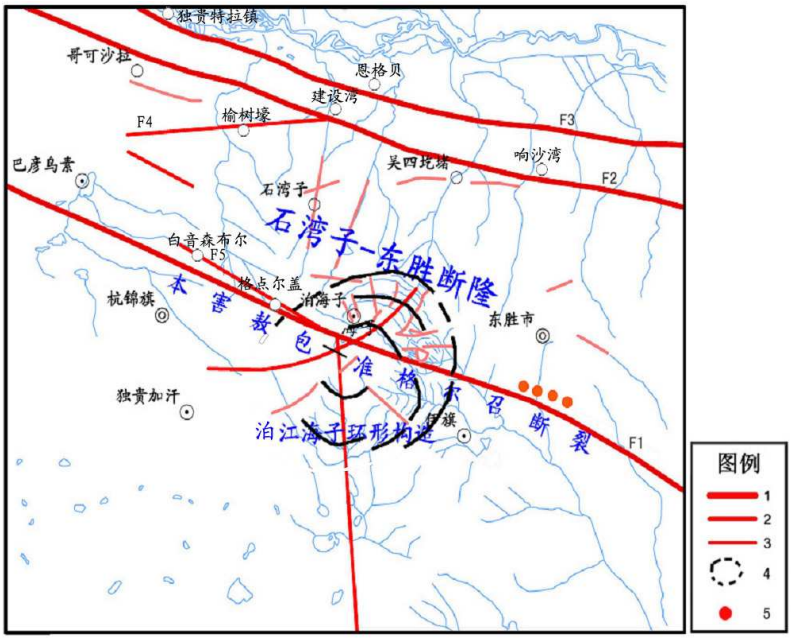


图 2 东胜-杭锦旗地区构造解译图

1—一级线性构造；2—二级线性构造；3—三级线性构造；四—环状构造；5—东胜铀矿床

在杭锦旗西北侧的阿拉善地区，线性构造表现为南北高差近 40-50 米，延伸 5-6 公里 NWW 向狭窄的地貌陡崖。断隆构造的西端受 NE 向的建设湾-榆林壕断裂（F4）和 NW 向的格点尔盖-白音森布尔断裂（F5）控制，这两组断裂的东侧和西侧明显不同，东侧出露白垩纪地层，西侧则被沙漠覆盖。



图 3 格莫尔盖的断层剖面

该断隆构造的轮廓在 DEM 支持下的三维图（图 4）上，其地貌隆起显示得更为形象和真切，也反映其近期仍处于隆起状态。

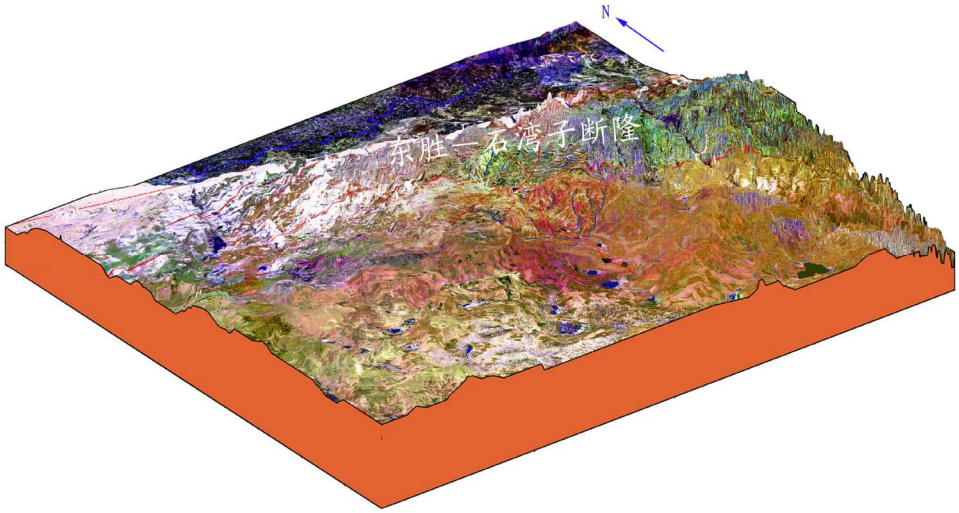


图 4 东胜-杭锦旗地区断隆构造遥感资料三维可视化图像

作者根据后遥感应用技术理念，将遥感信息与传统地学信息（地质、物化探等）结合，利用 GIS 分析功能，对上述东胜-石湾子断隆构造进行了深化研究，包括：断隆构造的深部结构，地层构成和剥蚀程度，含铀性及铀的迁移趋势，断隆内部的断裂构造，断隆构造发生与发展、构造热事件等 6 个方面。研究表明，东胜-石湾子断隆构造是在乌兰格尔隆起背景上发展起来的长期隆起的富铀断块，其上发育延长组，延安组等富铀地层，以及直罗组下段辫状河沉积的有利含矿层；断隆构造内部活动性小，整体性强；隆起具不平衡性，表现为东北高，而西南低；断隆在早白垩世或之后发生了构造热事件，表现为玄武岩的喷溢；断隆内部的铀有明显的活化迁移现象，方向有从断隆内部向边缘迁移的趋势，并形成了一个较为稳定的水动力循环系统。

断隆构造是在该区早期的蚀源区-斜坡带成矿环境背景上形成的，其形成经历了一个发生、发展的过程，最早是南缘断裂的形成，南缘断裂经历了一个从东向西的发展过程。安定组沉积时，由于该断裂的活动，东胜地区缺失了安定组地层。早白垩世后期断隆南缘断裂全线贯通。新生代由于河套断陷下降，该区进一步隆起，断隆构造形成。它的整个发生、发展过程对该区大型铀矿床的形成起了重要作用。

2 铀矿床除受含矿层控制外，还受断隆构造南缘断裂控制

东胜铀床矿体受一定层位元控制，赋存在中侏统直罗组下段的辫状河砂岩地层里。该含矿层产于延安组暗色岩系的古风化面之上，为砂质辨状河砂岩，具良好的渗透性和连通性，含有较多的有机质、炭质、植物残骸、黄铁矿等还原性物质，并具有良好的泥-砂-泥结构。

虽然铀矿赋存在一定的层位里，但工业铀矿却呈近 EW 向带状分布（图 5），与断隆南缘断裂——本害敖包-准格尔召断裂在东段的展布方向大体一致，显示出东胜铀矿床的形成与断裂构造在空间分布上的密切关系。

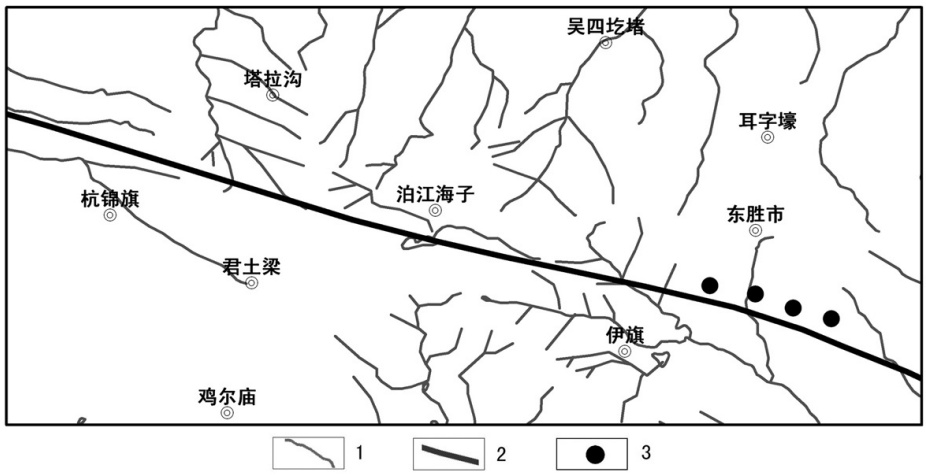


图 5　断隆南部边缘断裂与铀矿床空间分布关系示意图

（1—水系，2—1 号断裂，3—铀矿段）

经对该断裂进行了后遥感应用技术研究，发现其为从地表切入盆地基底的贯通性断裂，深度穿过了鄂尔多斯盆地上古代生油层，部分甚至切入结晶基底(图 6)；断裂的活动次数多，时限长贯穿于整个铀成矿过程；断裂的力学性质发生过压-张反转，断裂的压-张反转，有利于深部物质沿断裂向上运移；从断裂与油气的关系看，该断裂曾是油、气等深部物质向上运移的信道。

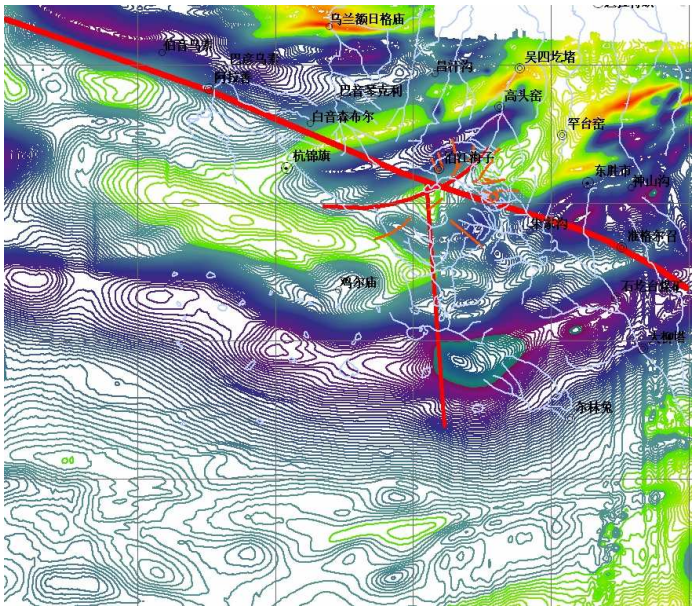


图 6 断裂构造与航磁叠合图（断裂的西段在航磁上有明显反映）

断裂的贯通性在铀成矿过程中起到了关键作用。正是由于它切穿地表，又沟通深部，既可导致含铀、含氧地下水向断裂带的不断流动，又可导致深部油气等还原性物质的向上运移，造成地球化学场的改变，形成有利于铀沈淀富集的屏障，控制铀矿的形成与分布。同时，贯通性控矿断裂的多次活动导致了铀成矿的多期性。

3 铀成矿与油气关系密切

东胜铀矿床不同于传统的层间氧化带类型的铀矿床，与油气关系密切，主要证据有：（1）在矿床的西部从遥感图像上发现一反映油气喷出中心的大型环状构造。该环状构造地表岩石普遍含甲烷、乙烷、丙烷、异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷等气体，且含量很高，甲烷、乙烷一般为数十到数千微升，最高可达 6041 微升/千克。断隆构造的南缘断裂正好切过该环状构造，成为喷出中心油气向东西两侧运移的道通。据祝民强和张杰林等研究，沿该断裂有明显的油气渗漏现象[3]。

（2）经钻孔岩芯观察和矿石的显微研究，发现矿石中含大量沥青脉（图 7）。据杜乐天，欧光习等研究，矿石中可见许多油气包裹体和油珠[4]（图 8）。

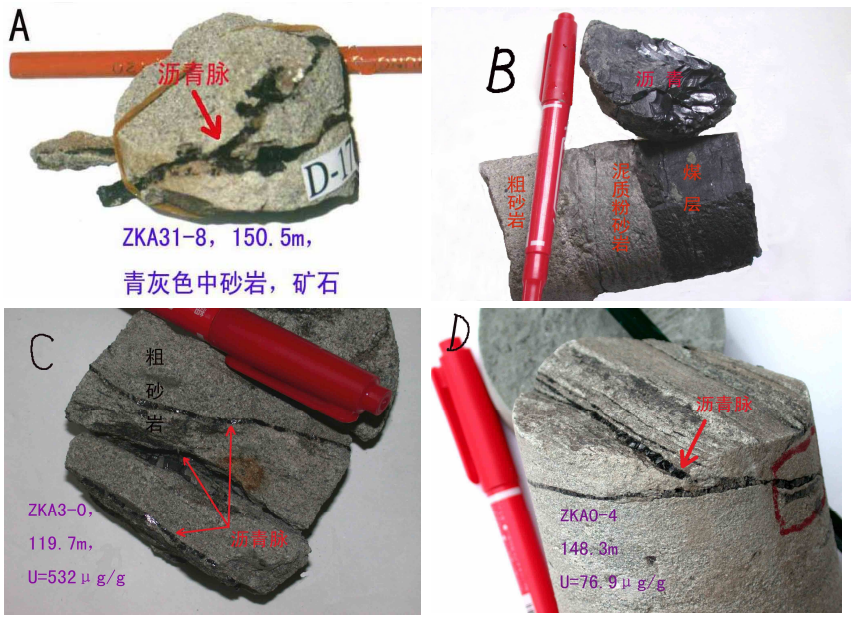


图 7　矿化岩石的沥青脉

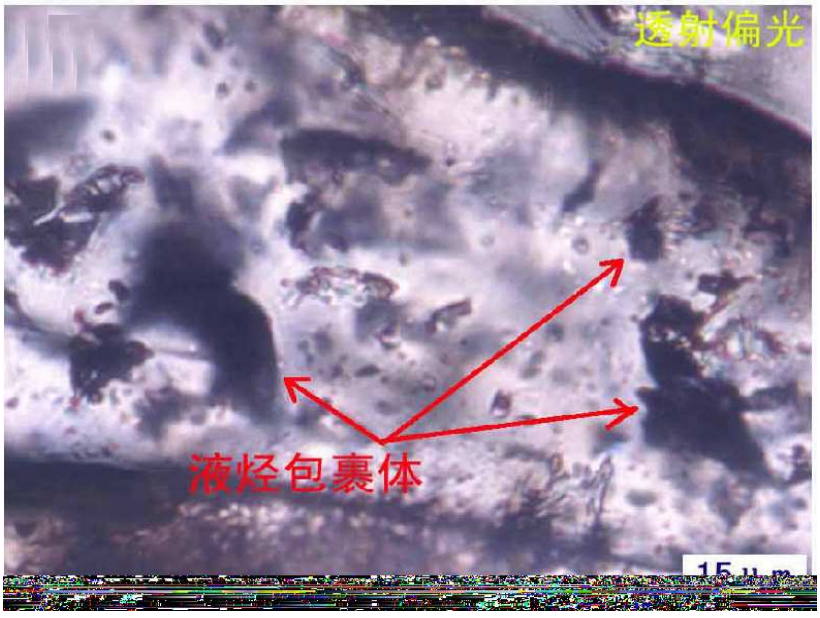


图 8 含矿砂岩中的油气包裹体（据欧光习，2004）

（3）核工业 208 大队对富矿岩石、贫矿岩石和无矿岩石酸解烃类进行的化学分析表明，烃类含量在富矿岩石中比非含矿岩层明显增高[5]。

（4）对各种颜色岩石的地球化学特点及空间分布特征研究表明，绿色砂岩主要是由 Fe^{2+}引起的，而蓝色砂岩可能是由 Mo 元素引起的，它们均是油气二次还原作用的结果。

从铀矿床的铀矿物特征来看，铀矿物不是由四价铀和六价铀组成的沥青铀矿，而是由四价铀组成的铀石（$USiO_4 \cdot nH_2O$），表明该铀矿床形成于强还原环境条件下，否则四价铀便会氧化成六价铀，不再成为铀矿物的主体；研究还发现与铀矿物共生的矿物有硒铅矿（PbSe），Se^{2-}负二价是典型的强还原产物，从而进一步表明了该铀矿床形成于强还原环境，作者认为这个强还原环境的存在与深部油气等还原性物质沿断裂带上升到含矿层位密切相关。

4 铀矿化的复杂性与复合性

东胜铀矿床具有明显的复杂性与复合性。

据肖新建对东胜铀矿床南北向勘探线的 10 个钻孔的直罗组含矿砂岩与非含矿砂岩的铀和主要伴生元素（钒、钼、硒等）的含量及分布规律进行研究，认为与传统层间氧化带卷锋构造的元素分布区段十分相似，表明早期具有层间氧化带类型的特征，后期叠加了油气和低温流体的成矿作用[6]。夏毓亮等对东胜铀矿床进行了同位素年龄测定，铀矿体卷头部位 U-Pb 等时线年龄为 8±1Ma、20±2Ma，翼部的 U-Pb 等时线年龄为 120±11Ma，85±2Ma，77±6Ma[7]。不仅说明了该区铀成矿具多期性，而且经历了一个逐渐发展增长的过程。

东胜地区目前发现的工业铀矿，既具有层间氧化带型铀矿的某些特征，又具有非层间氧化带型铀矿的某些特点（表），表现出明显的复杂性和复合性。

表　鄂尔多斯盆地某铀矿床的铀矿化特征表

层间氧化带的特点（按传统观点）	非层间氧化带的特点
1. 矿床受特定层位元控制； 2. 含矿层具泥-砂-泥结构； 3. 有卷状矿体。	1. 受构造控制明显，与油气关系密切； 2. 矿体分布在兰绿色气蚀变带与灰色带之间； 3. 矿区矿物主要为铀石，而非沥青铀矿； 4. 矿体中有后生的钛铀矿与锐钛矿组合，反映与热有关。

值得一提的是，经对东胜地区地表观察 200 多个钻孔资料分析，发现神山沟一带的铀矿化，从东北向西南，岩石颜色由黄色变为灰色，处于黄色区域与原生色的灰色区域的氧化-还原过渡带，它控制了神山沟等地区的铀矿化（彩图 A）。矿带呈 NW-SE 方向展布，与断层无关，而是受东北高西南低地形的控制，属典型的层间氧化带型铀矿化。这与断隆新生代东北部隆起，西南部下降的活动方式相一致，可能是新生代以来形成的铀矿化，进一步表明了断隆构造上铀成矿的复杂性。

5 断隆构造的发生发展与铀成矿过程息息相关

东胜-石湾子断隆构造的形成经历了一个发生，发展的过程，这一过程与该区铀的成矿过程息息相关。

（1）断隆构造发育初期，南缘断裂整体未形成前（即白垩世后期前），断隆构造所在地区仍与北部大青山隆起区相连，构成大青山-河套蚀源区与南部斜坡带的格局，铀源主要来自蚀源区古老地层的花岗岩和含矿层（沉积时的预富集），形成了早期的（约 120Ma）层间氧化带型铀矿床（彩图 B）。

（2）早白垩世后期，断隆南缘断裂整体形成，由于区域构造应力处于挤压后的松驰状态，断裂力学性质发生了压张转换。据杨华等（2001）分析，认为盆地中部晚侏罗至早白垩世为上古生界天然气的生成高峰期，同时也是天然气的主要运移时期。天然气的主要运移向北和北东方向[8]。断裂的活动导致深部油气（以气为主）上升，沿控矿断裂上升的油气一方面改造了早期形成的层间氧化带型铀矿；另一方面造成了有深部物质参与新的成矿环境和作用，形成了 80Ma 左右的铀矿化（彩图 C）。

（3）新生代，由于河套断陷的发生，断隆构造形成，并与蚀源区隔开。由于干旱气候条件下断隆的不断隆升，使延长、延安和直罗组富铀层、含矿层遭受剥蚀，并暴露地表，为成矿提供了新的铀源，使成矿作用得以进继续进行，形成 20Ma 和 8Ma 的铀矿化（彩图 D）。

多次铀成矿作用的叠加形成了该区大型铀矿床。

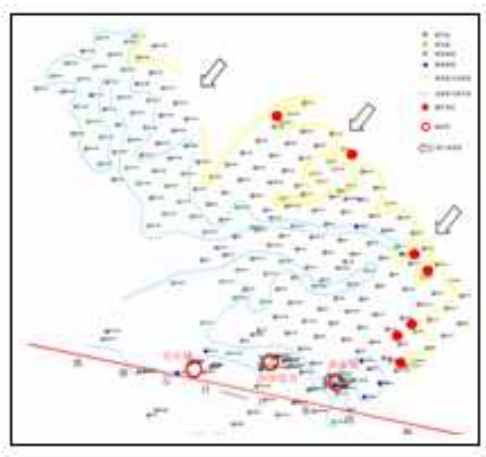
6 断隆成矿观点提出的地质意义

（1）东胜地区由于断隆构造及其活动导致了继外流型盆地后的成矿作用，导致了早期铀矿化的改造，导致了铀的多期成矿和多期铀矿化的叠加，形成了该区大型铀矿床。并使铀矿化具复杂性和复合性。总之，没有断隆构造就没有该区铀矿成矿的种种特殊性。

（2）东胜地区的铀矿是产于中国的地台背景上的铀矿床。它既不同于次造山带的铀矿床，也不同于国外典型地台上的铀矿床。因为中国的地台不同于国外巨大而稳定的地台，是破碎、活化的地台，断隆成矿是这一特殊大地构造背景上合乎逻辑的产物，而断隆成矿的观点是从其出发总结的观点。

（3）断隆成矿观点的核心是强调构造（特别是深位贯通性断裂）和地下流体（主要是油、气等）在砂岩型铀成矿中的重要作用。因此，砂岩铀矿的找矿不仅要重视沉积体系和铀矿化、物质成分的研究，而且要重视构造和地下流体，主要是油气沿构造运移迹象的研究。砂岩断隆成矿观点的提出，突破了传统观点认为的砂岩型铀矿是浅部成矿作用，与深部物质无关的观点。

（4）强调断隆构造是中国地台型盆地值得重视的铀矿找矿的区域模式，指出鄂尔多斯盆地进一步找矿的重点应围绕断隆构造及其边缘。为鄂尔多斯盆地的进一步找矿提供了新思路。



彩图 A 东胜地区原生色氧化色气还原色和铀矿化分布图



彩图 B 东胜铀矿床形成过程计算机模拟图之一



彩图 C 东胜铀矿床形成过程计算机模拟图之二



彩图 D 东胜铀矿床形成过程计算机模拟图之三

参考文献

[1] Liu Dechang, Ye Fawang, et.al. A new concept and practice of remote sensing information application——post remote sensing application technology and application case to geology. Remote Sensing of the Environment: 15th National Symposium on Remote Sensing China, edited by Qingxi Tong, Wei Gao, Huadong Guo, Proc.of SPIE Vol.6200,620002, (2006)

[2] 刘德长等 .基于遥感信息延伸研究的东胜铀矿床区域地质背景分析[D].世界核地质科学，2006，04

[2] 祝民强.基于GIS的砂岩型盆地铀矿多源信息集成评价技术研究[D].核工业北京地质研究院,博士学位论文，2002

[3] 欧光习,杜乐天.还原性气体在北方砂岩型铀矿中的作用.核工业地质局生产中科研项目报告.2003

[4] 208 队. 内蒙古东胜地区 1:25 万铀矿带钻区调 2002 年总结报告. 核工业地质局铀矿区调项目报告,2002

[5] 肖新建, 李子颖,方锡珩,等. 东胜砂岩铀矿床低温热液体的证据及意义[J].矿物岩石地球化学通报,2004,23(4):301-304

[6] 夏毓亮,等.鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成矿作用的同位素地球化学研究.核工业北京地质研究院科研报告，2002

[7] 杨华.鄂尔多斯盆地上古生界天然气生成及运聚特征.见:傅诚德等编《鄂尔多斯深盆气》石油工业出版社,2001,P.88-103.