

砂岩型铀矿表生流体成矿作用

金若时

中国地质调查局天津地质调查中心

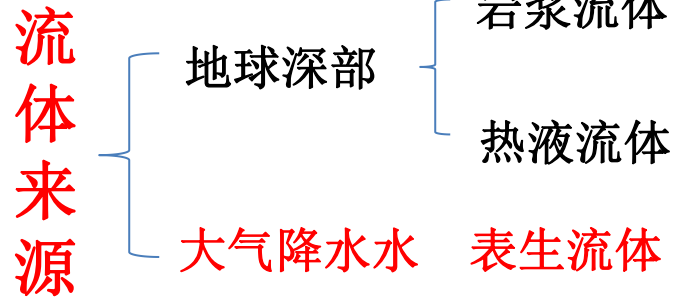
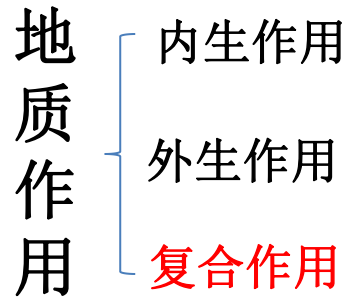
2023.12.19 北京

汇报提纲

- 一、表生流体概念
- 二、表生流体的特征
- 三、表生流体的动力源
- 四、表生流体成矿过程

一、表生流体概念

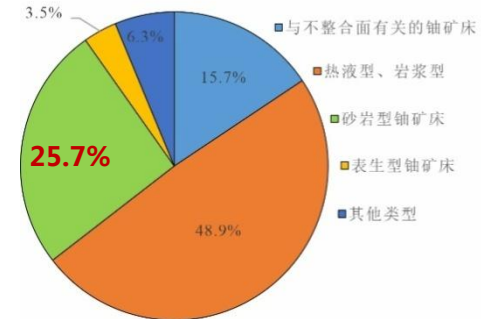
表生流体的含义



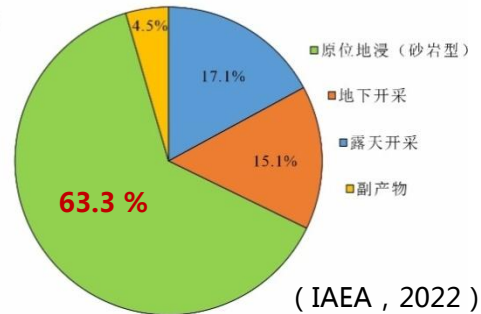
经济、环保、易采、规模大

砂岩型铀矿资源量占比

2021年全球铀资源种类占比图



2021年全球铀产量占比图



资源量占比25.7%

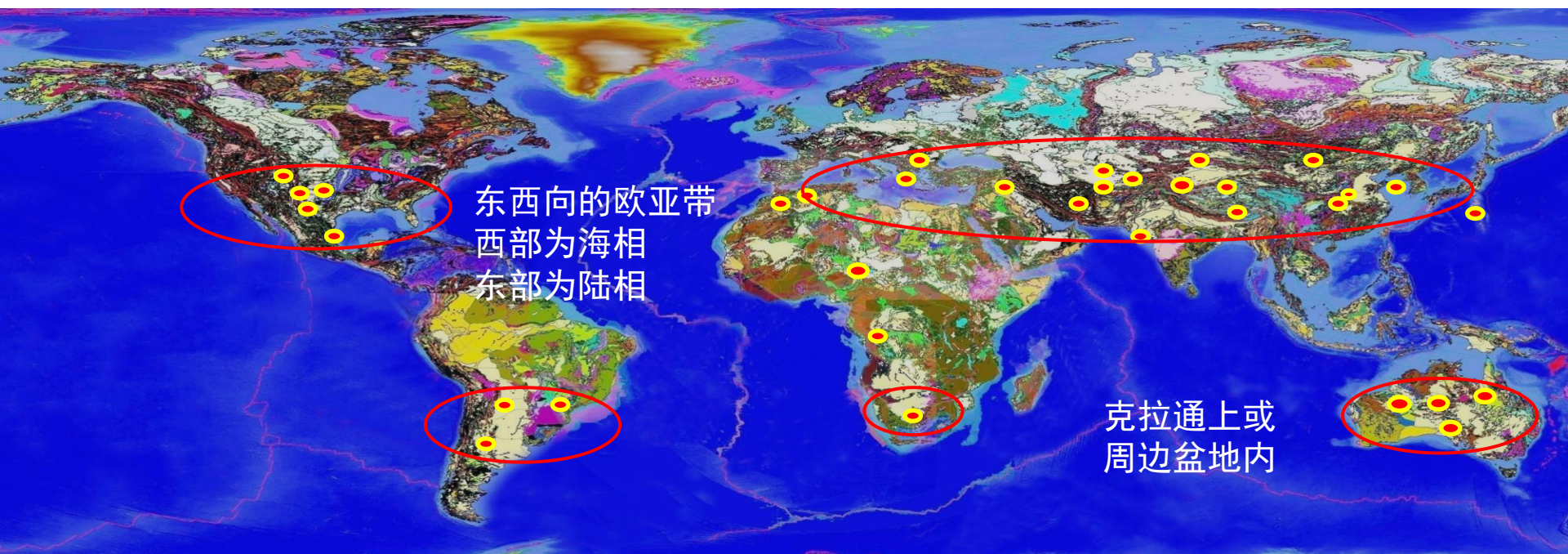
开采量占比63.3%

攻关的主要资源

对外依存度达**83.27%**(WNA,2021)以上

一、表生流体概念

砂岩型铀矿分布与气候分带相关



二、表生流体的特征

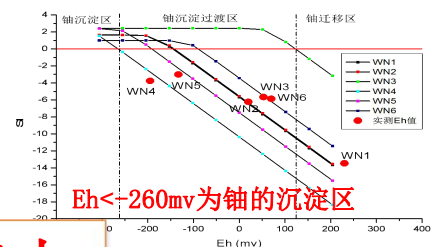
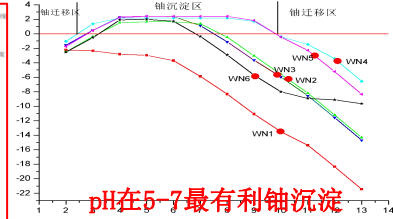
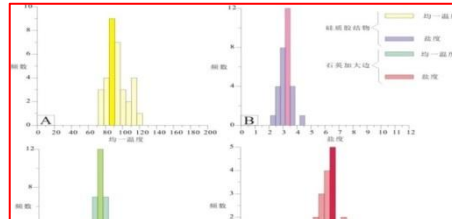
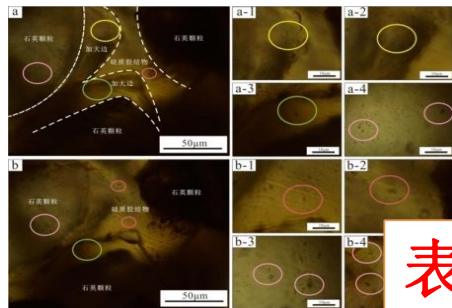
成矿流体研究内容

1. 流体包裹体特征
2. 矿石的赋存状态（肉眼见不到成矿形成的矿石矿物和脉石矿物）
3. 岩矿石蚀变特征
4. 矿体矿化体特征
5. 矿石及围岩地球化和特征
6. 有利成矿环境与构造部位

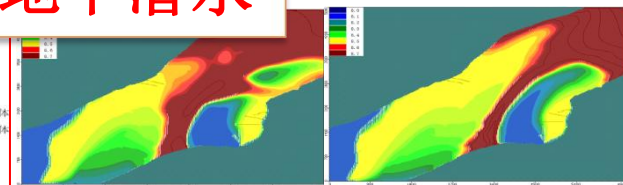
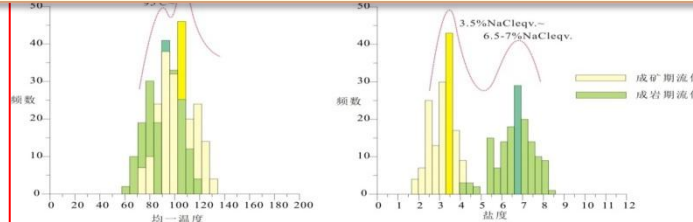
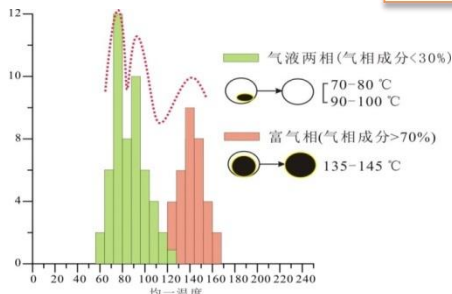
二、表生流体的特征

1、流体包裹体 (特征)

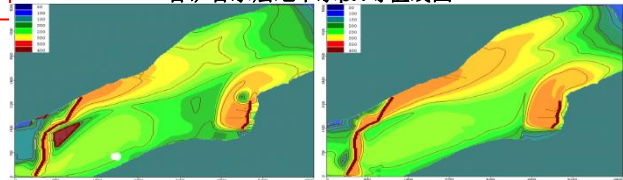
流体包裹体和成矿模拟研究



表生流体主要表现为成矿的地下潜水



伊犁盆地西山窑组上段 (J₂x₃) 和下段 (J₂x₁) 含矿含水层地下水pH等值线图



伊犁盆地西山窑组上段 (J₂x₃) 和下段 (J₂x₁) 含矿含水层EH等值线图

松辽盆地成份: 含烃盐水和液烃气液比5%~20%, 包裹体大小5~20 µm均一温度: 64.8 -109.8°C 气液比: 15%~30%包裹体大5~15 µm均一温度: 94.9 - 175 °C

鄂尔多斯盆地纳岭沟砂岩型铀矿床成岩期流体均一温度峰值范围为95°C左右, 成矿期流体均一温度数值略高于成岩期流体介于105°C左右; 成岩期流体盐度介于6.5~7%NaCl之间, 数值略高于成矿期流体盐度(介于3.5%NaCl左右)。

二、表生流体的特征

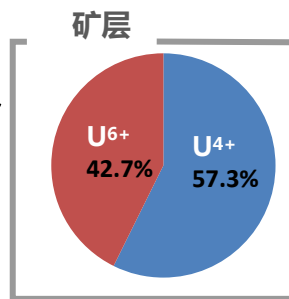
2、成矿物质储存（方式）

成矿物质呈**化合和吸附**两种状态沉淀产出。

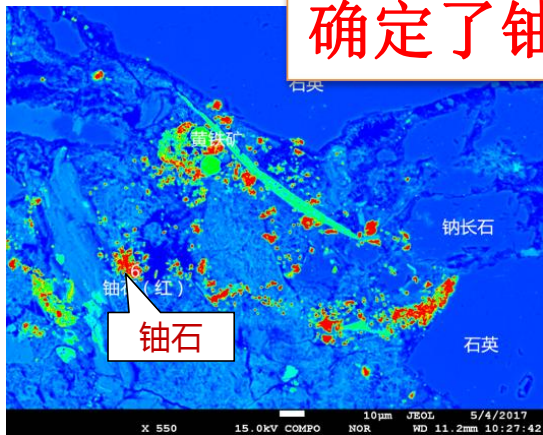
化合态矿石矿物为**铀石和沥青质铀矿**

铀矿物形态：**黄铁矿+铀石/沥青铀矿+锐钛矿+高岭石+绿泥石/蒙脱石等。**

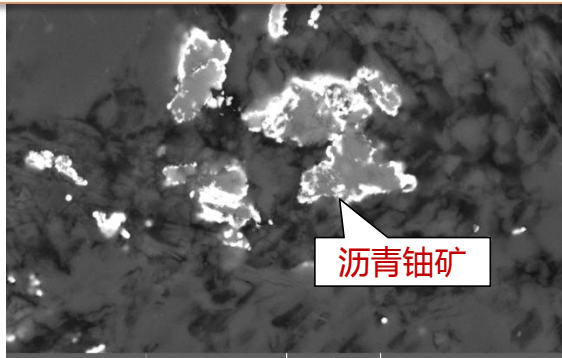
发现铀矿层铀的化合价
U⁶⁺、U⁴⁺含量相当



确定了铀矿呈**矿石矿物和离子**两种形式产出

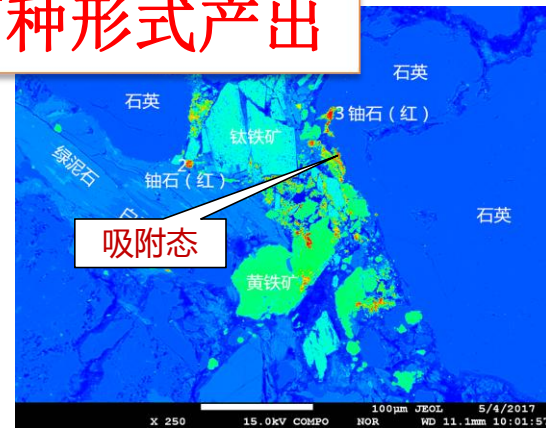


鄂尔多斯盆地**北部**塔然高勒显微照片（铀石）
化合态形式附着于石英、炭质岩屑上



鄂尔多斯盆地**南部**泾川显微照片（沥青铀矿）
化合态形式附着于石英、炭质岩屑上

鄂尔多斯盆地**北部**矿区U⁶⁺、U⁴⁺含量占比图

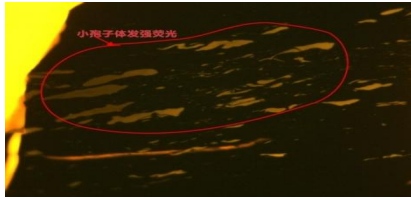


鄂尔多斯盆地**北部**塔然高勒显微照片
吸附态形式存在于粘土矿物中

二、表生流体的特征

3、成矿物质储存（条件）

有机质对成矿作的影响

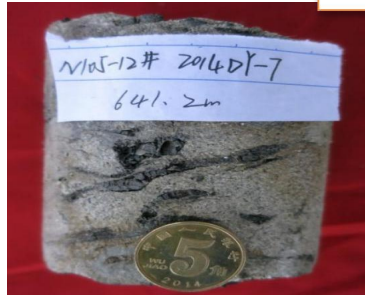


鄂尔多斯盆地大营铀
发育强荧光有机质脉

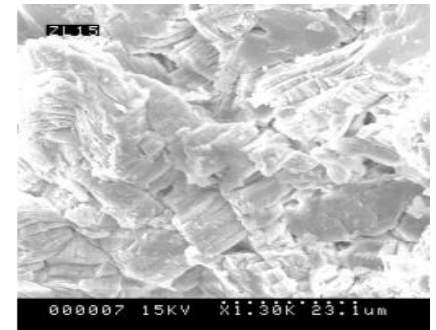
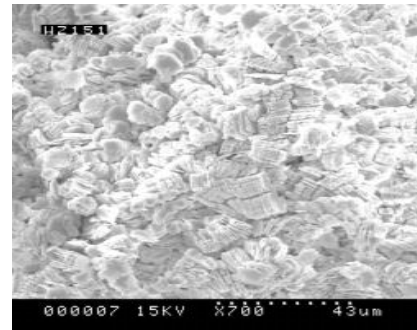
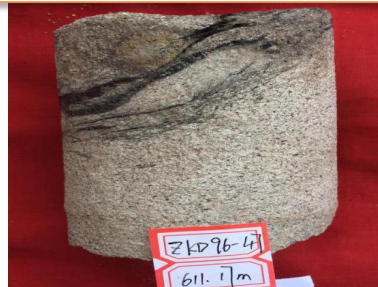


有机质对砂岩型铀矿成矿有重要的影响

东胜神山沟



鄂尔多斯盆地铀矿砂岩中含有大量的碳质条带



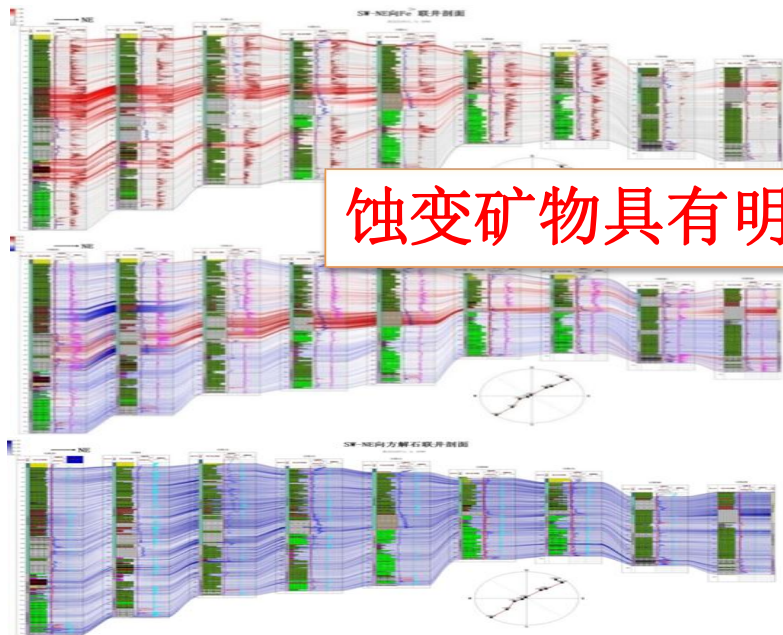
鄂尔多斯盆地漂白砂岩中呈规则自形板状的高岭石

二、表生流体的特征

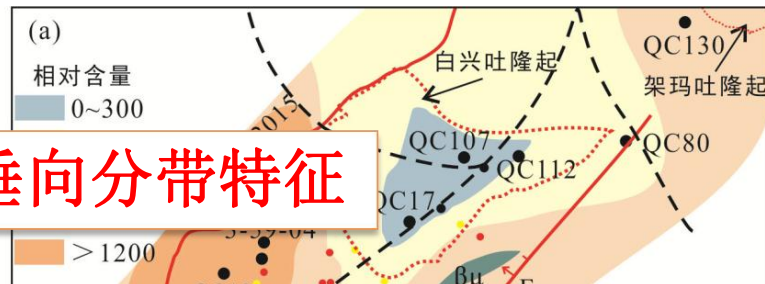
3、岩矿石蚀变特征

发现蚀变矿物具有明显的分带现象，指示了流体的运移方向

短波红外光谱扫描岩心钻孔45000m



蚀变矿物具有明显的垂向分带特征



鄂尔多斯盆地塔然高勒铀矿地区上二叠统姚家组原土质组上、下段的岩性-岩相特征及对铀成矿的差异性控制作用

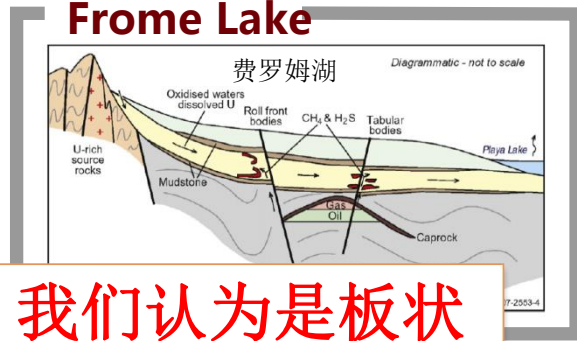
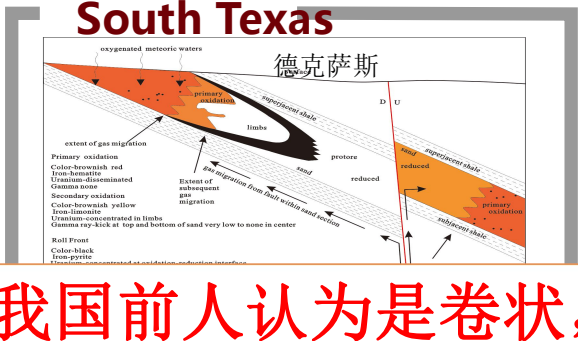
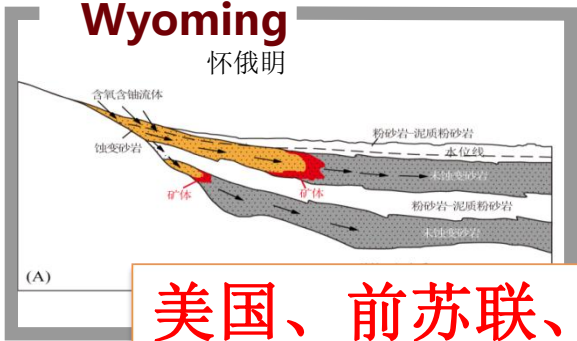
朱强, 李建...
中国地质调查局
摘要: 为查明鄂尔多斯盆地塔然高勒铀矿地区上二叠统姚家组原土质组上、下段的岩性-岩相特征, 开展了系统的岩心观察...
关键词: 岩性特征; 沉积环境;
松辽盆地...
摘要: 黏土矿物是砂岩型铀矿表生矿床形成的重要产物。本文以岩心光谱扫描为主要技术手段, 结合野外地质编录、偏光显微镜、扫描电镜等方法, 首次对松辽盆地西南部钱家店铀矿及远离矿区的88个钻孔超过9000m岩心进行了系统的蚀变矿物填图, 提取了主要黏土矿物和Fe³⁺氧化物信息。结果表明, 主要产铀层位姚家组原土质组原土质组主要是“伊利石+蒙脱石”伊蒙混层, 仅有少量的高岭石、绿帘石, 它们与松辽盆地北部具有相似特征, 是沉积期古气候的响应。而成矿段中, 高岭石含量与铀矿物具有明显正相关性, 是成矿流体运移的重要指标。原土质组的黏土矿物、Fe³⁺氧化物矿物(化)信息往往呈现成层性或韵律式变化, 而经过成矿流体改造的砂岩, 其黏土矿物、Fe³⁺氧化物信息往往呈现“舌状”或“正态曲线状”的突变变化, 这些特征可以成为原土质组原土质组原土质组原土质组的重要指标, 它们对砂岩型铀矿成矿规律研究与找矿具有重要意义。
关键词: 黏土矿物; 原生; 流体运移; 姚家组; 砂岩型铀矿; 钱家店地区

鄂尔多斯盆地塔然高勒铀矿蚀变矿物剖面特征 (朱强等, 2018)

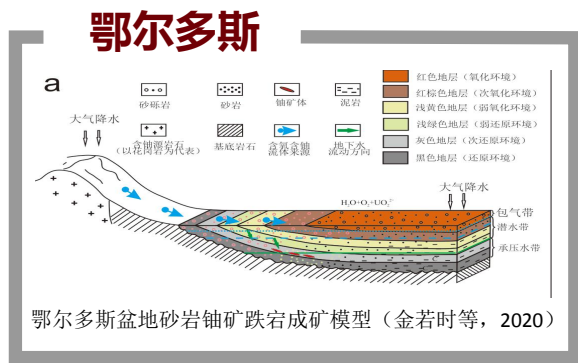
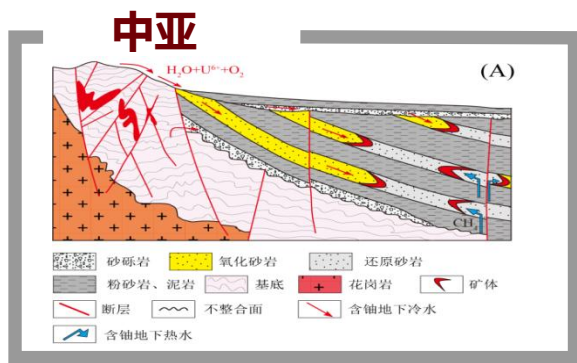
松辽盆地

二、表生流体的特征

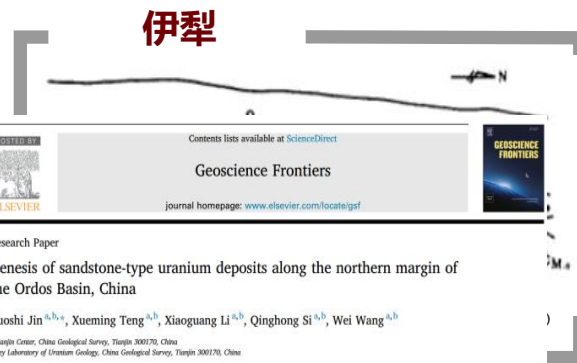
4、国内外砂岩型铀矿体产状特征



美国、前苏联、我国前人认为是卷状，我们认为板状



鄂尔多斯盆地砂岩铀矿跌宕成矿模型 (金若时等, 2020)



Research Paper
Genesis of sandstone-type uranium deposits along the northern margin of the Ordos Basin, China

Ruoshi Jin^{a,b}, Xueming Teng^{a,b}, Xiaoguang Li^{a,b}, Qinghong Si^{a,b}, Wei Wang^{a,b}
^a Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
^b Key Laboratory of Uranium Geology, China Geological Survey, Tianjin 300170, China

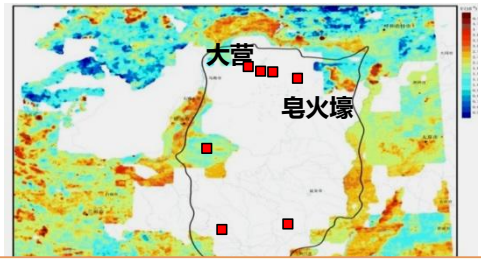
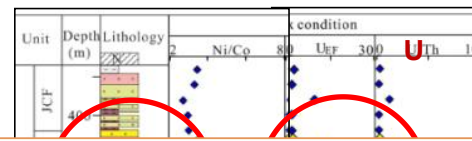
二、表生流体的特征

5、矿石及围岩地球化和特征

鄂尔多斯碎屑锆石测年
碎屑锆石U-Pb测年结果:
 早前寒武宙 2500-2400Ma
 晚前寒武宙 2300-1800Ma
 晚古生代 300-250Ma
 中生代 168-164Ma

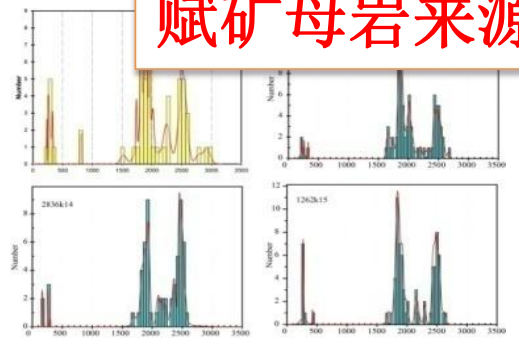
发现**铀背景场与矿床产出不是简单对应关系**
明确了：红色层为主要矿源层

红层有

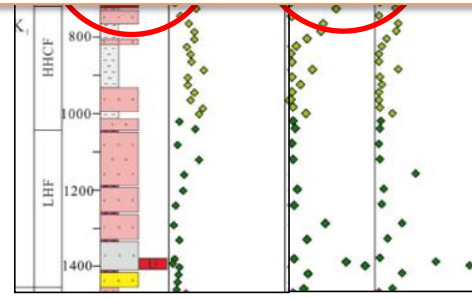


低背景区

赋矿母岩来源复杂，成矿物质铀主要来自盆内二次富集



鄂尔多斯盆地碎屑锆石测年谱系
 (王惠初, 2001; Xiao *et al.*, 2006; 金若时等, 2020)



鄂尔多斯盆地红层铀含量
 (Zhang *et al.*, 2022)

的铀矿物质富集

(天津地调中心, 2015)

第44卷第2期 中国地质 GEOLOGY IN CHINA Vol.44, No.2 Apr., 2017
 doi: 10.13292/j.gci.20170201

金若时^{1,2} 程银行^{1,3} 李建国^{1,2} 司马献章^{1,2} 苗增森^{1,2} 王少秩^{1,2}
 秦隽^{1,2} 里宏亮⁴ 李艳锋^{1,2} 张天福^{1,2}

(1.中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170;2.中国地质调查局天津地质调查中心非化石能源矿产实验室,天津 3000170; 3.中国地质大学(北京),北京 100083; 4.辽河石油勘探局新能源开发公司,辽宁 盘锦 124010)

中国北方晚中生代陆相盆地红-黑岩系耦合产出对砂岩型铀矿成矿环境的制约

摘要:为研究中国北方陆相盆地红层-黑岩系对砂岩型铀矿的制约,文章研究了国内外红-黑岩系与砂岩型铀矿赋存岩层的时间关系,挑选了10万余m岩石钻探资料,选择准噶尔、鄂尔多斯和松辽盆地3个典型产铀盆地,通过编制盆地地质柱状图、典型地区剖面图以及典型岩层的地球化学测试等方法,对红-黑岩系和砂岩型铀矿的赋存岩层进行了垂向、横向上部整合分析与对比。研究发现,北方陆相盆地自西向东铀矿赋存层层的时代由中-晚侏罗世过渡到晚白垩世,晚中生代至少存在6次大规模的岩层沉积事件;1)中侏罗世-晚侏罗世早期(Bathonian-

多个大

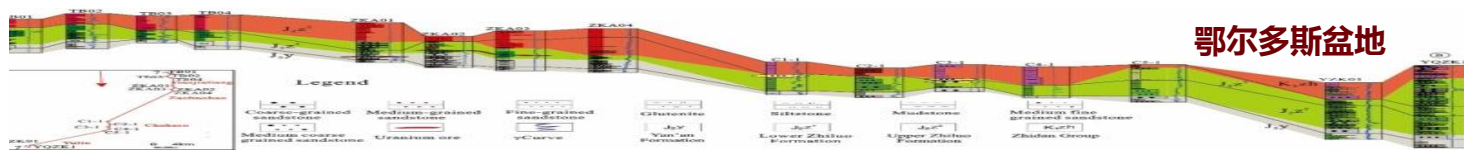
矿源：来源复杂，盆缘、盆内、深部 三种观点。

(刘汉斌等, 2007; 陈印等, 2017; 李子颖等, 2020; Jin *et al.*, 2019 等)

(核工业遥感中心)

二、表生流体的特征

6、发现了含铀岩系岩石颜色垂向分带，颠覆了传统水平分带的认识

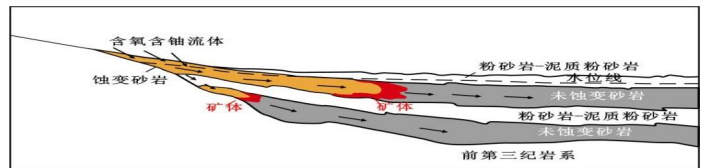


⑥	紫色 - 红色	氧化环境
⑤	黄色 - 褐色	次氧化环境
	浅黄色	弱氧化环境
③	绿色	弱还原环境
②	灰色	次还原环境
①	暗灰 - 黑色	还原环境

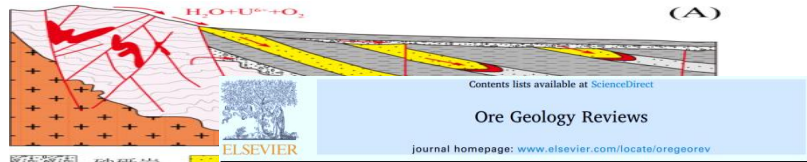
揭示了构造旋回控制盆地氧化还原环境的垂向演化过程

伊罕盆地洪海沟铀矿 钻孔数据库联合剖面含铀岩系岩石颜色特征

国内外学者多数认为控制砂岩铀矿的地层的颜色为**水平分带**



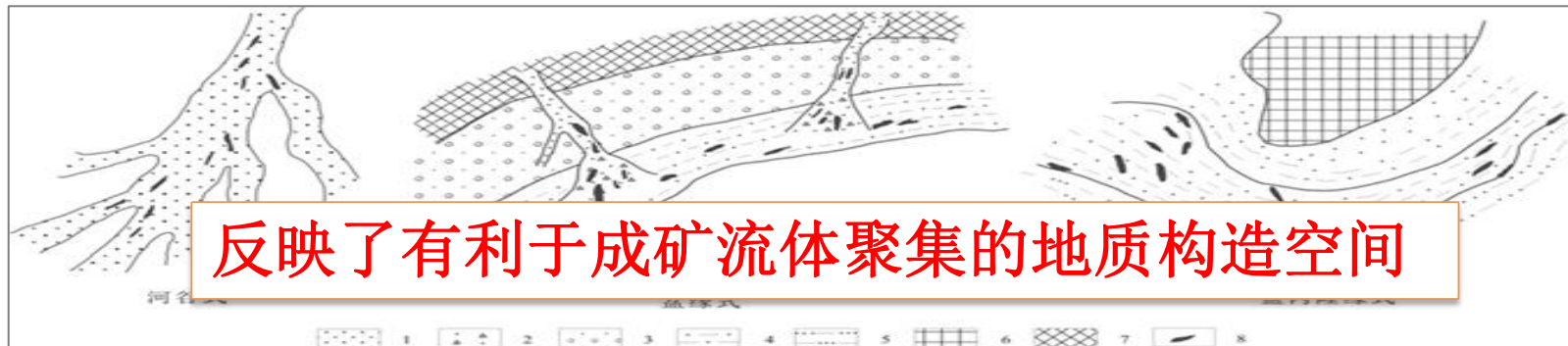
(Shawe, 1956; Adams and Smith, 1981)



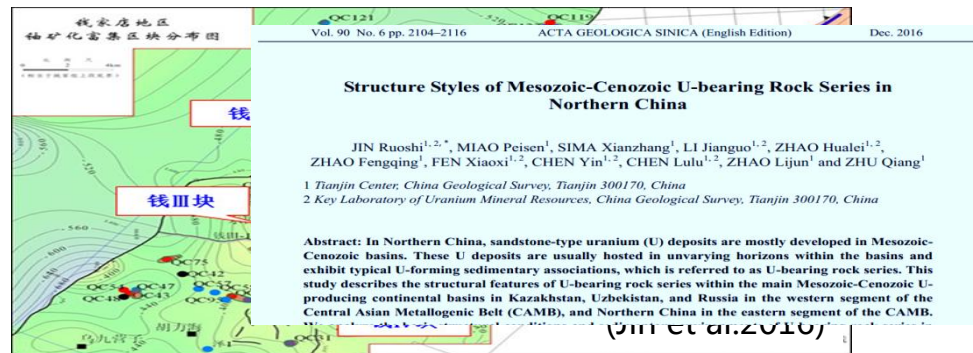
Paleo-environmental constraints on uranium mineralization in the Ordos Basin: Evidence from the color zoning of U-bearing rock series
 Ruoshi Jin^{a,b}, Reng-An Yu^{a,b}, Jun Yang^{a,b}, Xiaoxi Zhou^{a,b}, Xueming Teng^{a,b}, Shanbo Wang^{a,b}, Qinghong Si^{a,b}, Qiang Zhu^{a,b}, Tianfu Zhang^{a,b}
^aTianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
^bLaboratory of Non-fossil Energy Minerals, Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China

二、表生流体的特征

6、河谷式、盆缘式、盆内隆缘式的有利控矿构造样式

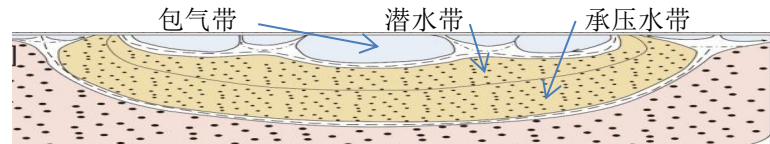


建立了含铀岩系的构造样式，并探讨了在不同构造样式条件下，矿体的展布特征，**为找矿提供了勘查方向。拓展了“盆内隆缘式”找矿空间。**



三、表生流体的动力源

1、剖析了成矿流体受不同驱动力作用形成卷状、板状、堆状三种产状矿体的水文学原理



盆地内水体总体分层示意图 (据林学钰等2010, 现代水文地质学修编)

流体驱动力

本次认识

前人认识

重力驱动 (卷状)

温差、浓度对流 (板状)

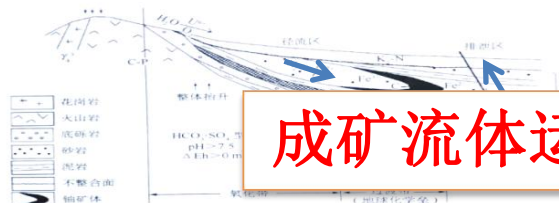
静压力驱动 (堆状)

包气带水层

潜水层

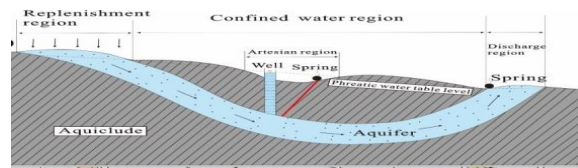
承压水层

隔水层

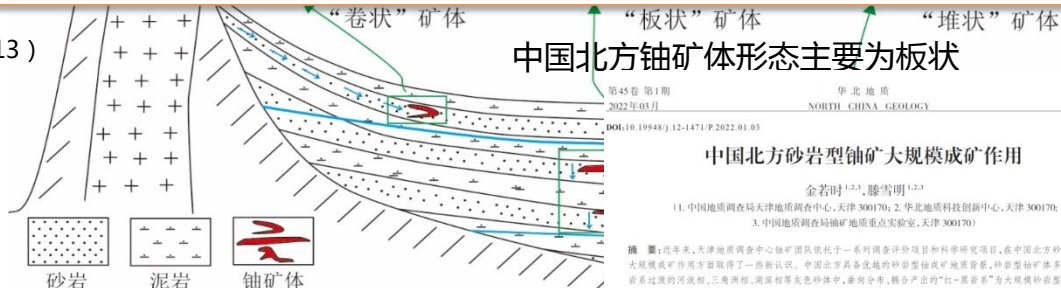


伊犁盆地南缘层间氧化带铀矿成矿模式图 (张金带等, 2013)

成矿流体运移驱动力差异控制了不同形态矿体产出



泉水形成的水文地质条件 (王大纯等, 水文地质学基础, 2010)



中国北方铀矿体形态主要为板状

第45卷 第1期
2022年03月
DOI:10.19948/j.12-1471/P.2022.01.03

中国北方砂岩型铀矿大规模成矿作用

金若町^{1,2}, 滕雪明^{1,2}

1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 华北地质科技创新中心, 天津 300170; 3. 中国地质调查局铀矿地质重点实验室, 天津 300170

摘要: 近年来, 天津地质调查中心铀矿团队依托一系列调查评价项目和科学研究项目, 在中国北方砂岩型铀矿大规模成矿作用方面取得了一些新认识。中国北方具备优越的砂岩型铀矿地质背景, 砂岩型铀矿体多产在红层岩系过渡的河流相、三角洲相、湖沼相等灰色砂体中, 垂向分带、耦合产出的“红-泥岩系”为大规模砂岩型铀矿的形成提供了先决背景。砂岩型铀矿的形成受盆地构造-沉积演化控制, 盆地的构造运动不仅控制了沉积层系的空阔展布, 其形成的构造斜坡带也为砂岩型铀矿的形成提供了有利空间。构造运动还引发区内大规模潜水流动, 是导致大规模砂岩型铀矿形成的真正动力源。本文还从区域构造、成矿背景、成矿作用、成矿机制及综合找矿预测工作等方面, 综合构建了中国北方中生代陆相盆地砂岩型铀矿研究理论体系, 旨在为今后进一步的科学研究和找矿部署提供重要参考。

驱动成矿流体移动动力条件与砂岩型铀矿体产出形态大系示意图 (金若町, 2022)

极大丰富了前人仅靠重力驱动的唯一认识

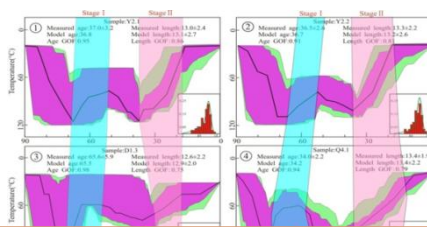
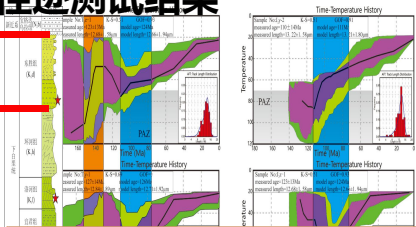
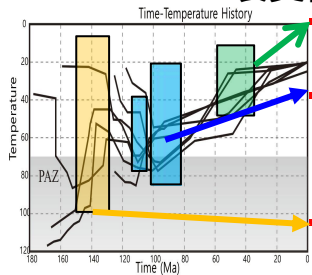
三、表生流体的动力源

2、盆地隆升期与成矿期：

鄂尔多斯盆地晚中生代岩石中磷灰石
裂变径迹测试结果

松辽盆地晚中生代岩石中磷灰石
裂变径迹测试结果

中国北方中生代含铀
盆地赋矿层位

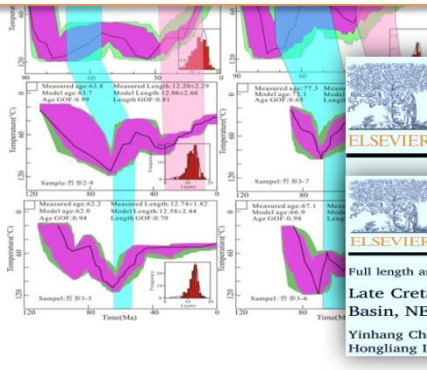
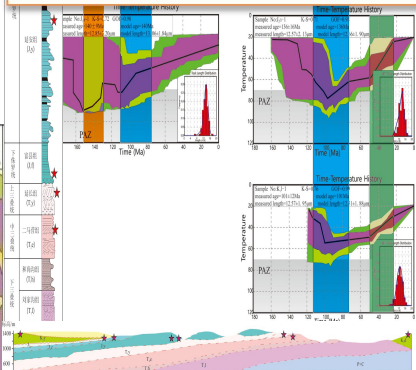


地层年代	统/组/段/层	北方盆地							
		西部典型盆地		中部典型盆地		东部典型盆地		滨西盆地	
第四系 Q	2,58	松散沉积							
上新统 N ₁	5.3	神木组 N ₁	神木组 N ₁	神木组 N ₁	神木组 N ₁	神木组 N ₁	神木组 N ₁	神木组 N ₁	神木组 N ₁
中新统 N ₂	23	神木组 N ₂	神木组 N ₂	神木组 N ₂	神木组 N ₂	神木组 N ₂	神木组 N ₂	神木组 N ₂	神木组 N ₂
渐新统 N ₃	34	神木组 N ₃	神木组 N ₃	神木组 N ₃	神木组 N ₃	神木组 N ₃	神木组 N ₃	神木组 N ₃	神木组 N ₃
始新统 E ₁		神木组 E ₁	神木组 E ₁	神木组 E ₁	神木组 E ₁	神木组 E ₁	神木组 E ₁	神木组 E ₁	神木组 E ₁
白垩统 K ₁₋₃		神木组 K ₁₋₃	神木组 K ₁₋₃	神木组 K ₁₋₃	神木组 K ₁₋₃	神木组 K ₁₋₃	神木组 K ₁₋₃	神木组 K ₁₋₃	神木组 K ₁₋₃
侏罗统 J ₁₋₃		神木组 J ₁₋₃	神木组 J ₁₋₃	神木组 J ₁₋₃	神木组 J ₁₋₃	神木组 J ₁₋₃	神木组 J ₁₋₃	神木组 J ₁₋₃	神木组 J ₁₋₃
三叠统 T ₁₋₃		神木组 T ₁₋₃	神木组 T ₁₋₃	神木组 T ₁₋₃	神木组 T ₁₋₃	神木组 T ₁₋₃	神木组 T ₁₋₃	神木组 T ₁₋₃	神木组 T ₁₋₃
石炭统 C		神木组 C	神木组 C	神木组 C	神木组 C	神木组 C	神木组 C	神木组 C	神木组 C

60Ma与20Ma是盆地构造的主要反转期

伊盟隆起四次构造抬升事件
与砂岩型铀矿相关：

- ①晚侏罗世-早白垩世 (150-126Ma)
- ②晚白垩世 (110-100Ma)
- ③晚白垩世 (100-75Ma)
- ④晚古近纪 (50-35Ma)



Contents lists available at ScienceDirect

Ore Geology Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/oregeorev

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Asian Earth Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jaes

Full length article

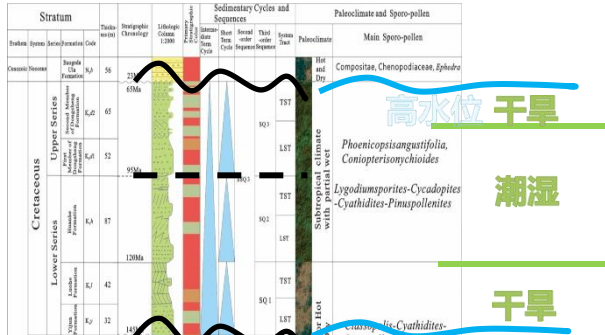
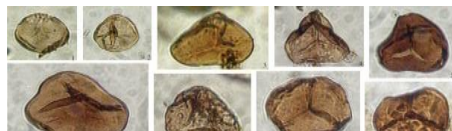
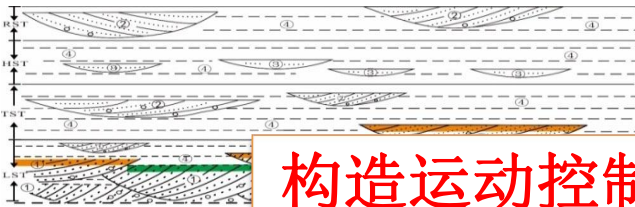
Late Cretaceous–Cenozoic thermochronology in the southern Songliao Basin, NE China: New insights from apatite and zircon fission track analysis

Yinhang Cheng^{a,b,c,d}, Shaoyi Wang^{a,b}, Ying Li^a, Cong Ao^{a,b}, Yanfeng Li^a, Jianguo Li^{a,b}, Hongliang Li^a, Tianfu Zhang^a

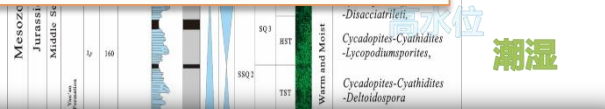
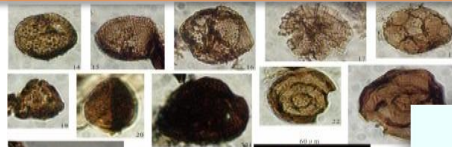
(金若时等, 2019)

三、表生流体的动力源

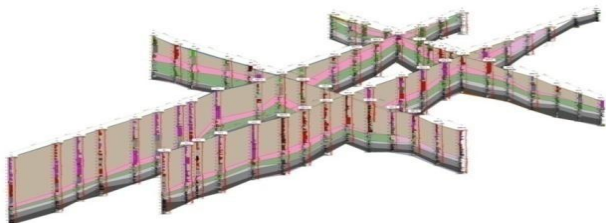
3、提出了盆地垂向运动构造运动控制了盆地形成演化过程和砂岩铀矿成矿作用



构造运动控制了盆地形成演化过程和成矿作用



利用层序地层学研究了含铀岩系水进水退过程 (fei hu et al.,2019)



岩层颜色上红下黑 (jin,et al.,2013,2017 , 2019)

建立了不同序列指标体系(jin,et al.,2013)
 沉积序列 氧化还原序列
 水浸水退序列 干旱潮湿序列

鄂尔多斯盆地东北缘煤铀岩系层序地层与煤铀赋存规律研究

Contents lists available at ScienceDirect

Ore Geology Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/oregeorev

Late Cretaceous paleoclimate change and its impact on uranium mineralization in the Kailu Depression, southwest Songliao Basin

Zenglian Xu^{a,b,c}, Jianguo Li^{a,b}, Qiang Zhu^{a,b}, Jialin Wei^{a,b}, Hongliang Li^c, Bo Zhang^{a,b}

^aTianjin Centre, China Geological Survey, 300170 Tianjin, China
^bLaboratory of Non-Fossil Energy Minerals, Tianjin Center of China Geological Survey, 300170 Tianjin, China
^cDevelopment Company of New Energy Sources of Liaohe Petroleum Exploration Bureau, CNPC, 124010 Panjin, China

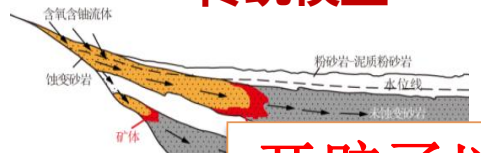
(金若时等, 2022)

四、表生流体成矿过程

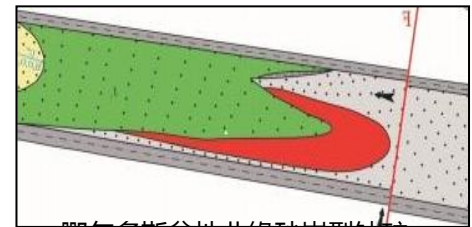
提出了“两期五阶段” 跌宕成矿模型

跌宕成矿模型（内、外生地质作用）

传统模型

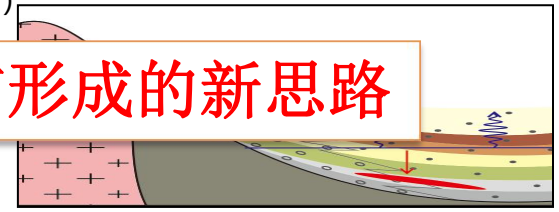
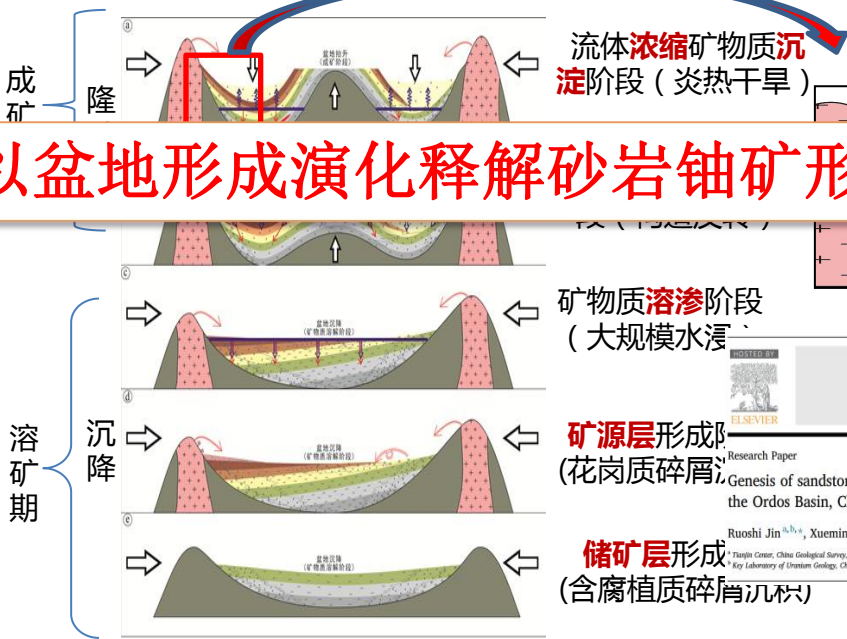


美国怀俄明盆地砂岩型“卷状”成矿模式图 (Shawe, 1956)



(李子颖等, 2009)

开辟了以盆地形成演化释解砂岩铀矿形成的新思路



Research Paper
Genesis of sandstone-type uranium deposits along the northern margin of the Ordos Basin, China

Ruoshi Jin^{a,b,*}, Xueming Teng^{a,b}, Xiaoguang Li^{a,b}, Qinghong Si^{a,b}, Wei Wang^{a,b}
^a Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
^b Key Laboratory of Uranium Geology, China Geological Survey, Tianjin 300170, China

U6+
矿
0)

四、表生流体成矿过程

建立了理论体系：

发表论著情况

论文：300多篇 (SCI、EI检索132)

专著：4部，科普：1部

国内外学术报告：20多次 得到高度评价

技术专利：

为指导中国北方系列盆地找矿突破提供了理论支撑



砂



Ruoshi Jin^{1,2}, Huanjian Liu^{1,2}, Nianguang Li^{1,2}
 1. Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
 2. Key Laboratory of Uranium Geology, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
 Corresponding author: https://orcid.org/0000-0003-3384-2675

四、表生流体成矿过程

应用效果

- 筛查30多万口钻孔圈定了：
131个远景区
269个找矿靶区

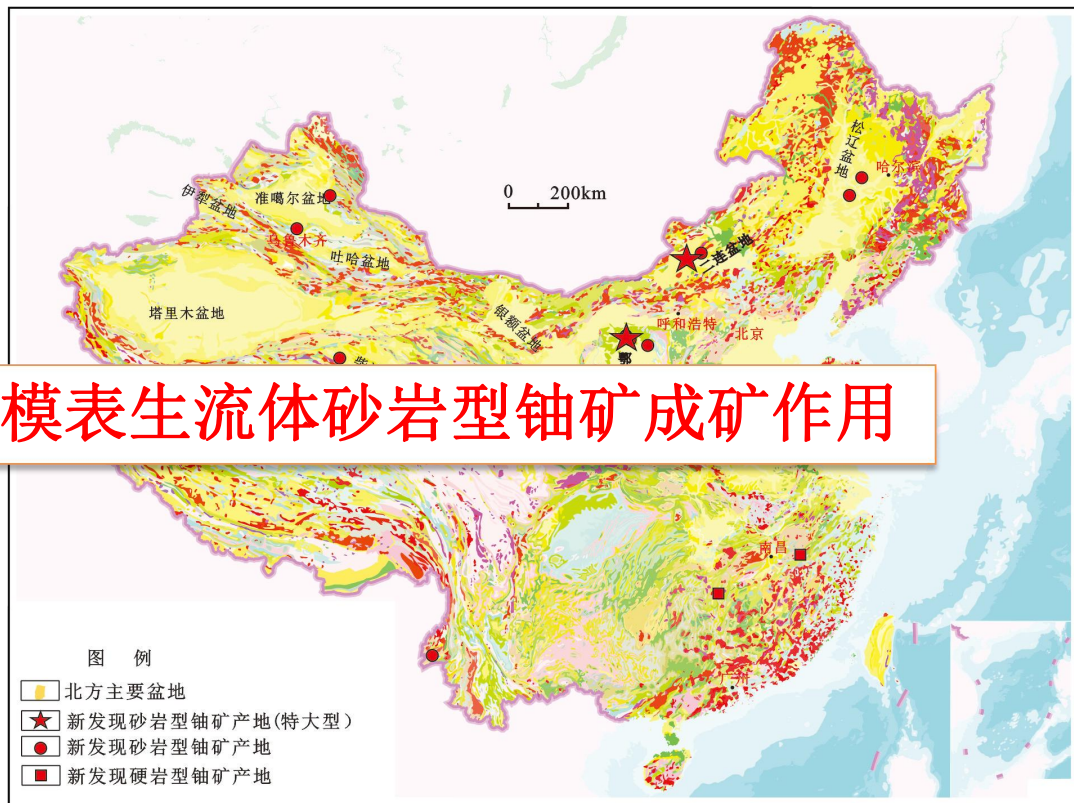
- 施工1183个钻孔新发现：
工业孔181个

矿
(见

中国北方发生过大规模表生流体砂岩型铀矿成矿作用

- 钻孔控制提交了：
23个矿产地
150多个矿(化)点

- 估算铀资源量XX万吨，高于
2020年IAEA公布我国的资源
储量。



中国北方中生代盆地新发现矿产地示意图



**谢谢！
欢迎批评指正！**

万年潮跌宕，铀住砂龙湾。
若遇娲补天，憩启扬风帆。