

柴西北缘中新世构造演化及铀源分析

张超^{1,2}, 王善博^{1,2}, 俞初安^{1,2}, 程银行^{1,2}, 冯平³, 于航³

(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. 四川省核工业地质局二八三大队, 四川 达州 635000)

摘要:柴达木盆地在中、新生代以来构造演化共经历了大约两次从断陷-拗陷-挤压隆升的完整大型构造演化阶段。铀矿成矿受构造条件、沉积相、地层岩性、水文地质条件、氧化作用等因素综合控制,盆地内稳定的构造斜坡带对铀成矿最为有利,沉积体系中辫状河三角洲是最有利的成矿部位,三角洲平原分流河道砂体、三角洲前缘砂体是最有利的容矿砂体。盆地中铀的来源主要有基底铀源、沉积盖层铀源及蚀源区铀源三部分,其中中侏罗统的含煤碎屑岩建造,可作为后生成矿的铀源。

关键词:柴西北缘; 中新世; 构造演化; 铀源

中图分类号: P536

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2021)02-0067-07

砂岩型铀矿床系指产于砂岩、砂砾岩等碎屑岩中的外生后成铀矿床,产于中间地块或陆块上的造山带山间盆地以及大中型自流盆地的海陆交互相或陆相沉积系统中,其中以三角洲相和河流相沉积最为重要^[1]。近年来,能源盆地中煤铀、油铀等多矿种共同勘探开发受到愈来愈多的聚焦和瞩目^[2-3],尤其通过对煤田、油田钻孔资料和测井资料的二次开发开展砂岩型铀矿调查已成为新的勘查方向^[4-5]。柴达木盆地是我国非常重要的内陆含煤、含油气盆地,盆地西北缘现已发现多处规模不等的砂岩型铀矿点及矿化异常点^[16-18],该地区已成为我国北方重要的砂岩型铀矿找矿地区之一。本文运用盆地动力学等理论探讨了构造演化与铀成矿的关系,通过区域成矿地质条件分析,结合铀矿化信息,认为柴达木盆地铀成矿类型较多,最有成矿远景的有沉积成岩叠加后生改造型(包括层间氧化带和含煤模型)和渗入-渗出(复成因)型,前者主要含矿层位为中侏罗统大煤沟组,后者主要含矿层位为上新统狮子沟组和上油沙山组,盆地内最有成矿远景的为盆地北缘。

通过对柴达木盆地砂岩型铀矿的找矿实践发现,虽然一些比较好的铀矿找矿线索在冷湖、花土沟、北大滩及鱼卡等地被陆续发现,且前人已进行了一定的研究^[16],但由于该盆地西北缘构造复杂,对柴达木盆地西北缘中新世盖层成矿条件与成矿潜力

未进行综合分析和评价,铀矿找矿目的层不明确,对区域铀矿化类型、成矿有关物源分析、找矿标志及成矿影响因素等方面研究程度不够深入,未建立区域找矿模型,因此对盆地西北缘砂岩型铀矿类型和找矿方向进行探讨变得非常重要。本文通过对柴西北缘中新世地质构造运动、铀成矿控制因素、找矿标志、物源及铀源等方面的分析,厘定柴西北缘铀成矿条件、成矿潜力及找矿目的层,最终确立研究区中新世沉积构造演化和铀源基本特征。

1 区域地质概况

柴达木盆地位于我国西北部的东段,大地构造位置位于秦祁昆造山带内,北邻中朝-塔里板块,南达羌塘板块,南东与扬子板块相呼应(图1a)。各大板块之间以深大断裂带为界,柴达木盆地夹持于阿尔金断裂带、昆南断裂带和祁连山东麓断裂带构成的三角形范围内,面积约26万km²。盆地基底为加里东阶段早寒武纪变质结晶岩系,具有由显生宙褶皱基底和元古宙结晶基底构成的复杂基底构造,基底顶面主要发育元古代、古生代浅变质岩、火成岩体及深变质岩^[19]。盆地发育有较厚的中、新生代地层,且其中主要发育新生代地层。沉积地层自上而下分别为第四系七个泉组,新生界新近系狮子沟组、上油砂山组、下油砂山组,新生界古近系上干柴沟组、下

收稿日期:2020-10-16

资助项目:中国地质调查局地质调查项目:“鄂尔多斯、柴达木等盆地砂岩型铀矿调查(DD20190119)”

作者简介:张超(1987-),男,工程师,硕士,从事矿床学研究及矿产地质调查工作,E-mail: 402709002@qq.com。

干柴沟组、路乐河组,中生界白垩系犬牙沟群和侏罗系采石岭组、大煤沟组、小煤沟组(表1)。

2 盆地构造演化特征及其与铀成矿关系

印支、燕山及喜马拉雅构造运动在柴达木盆地十分活跃,根据构造作用方式、沉积作用、变质作用、岩浆活动及同位素年龄资料,结合青海油田相关资料,柴达木盆地构造演化在中新生代从早到晚可划分早-中侏罗世伸展断陷阶段、晚侏罗世-白垩纪挤压隆升阶段、古近纪弱断陷阶段、新近纪拗陷阶段、上新世晚期-第四纪挤压反转阶段等5个演化阶段^[21](图2)。

柴达木盆地为晚印支运动在元古代结晶基底上受断裂控制的断陷盆地,盆地海相沉积阶段结束于晚印支运动,后期陆相盆地开始发育。柴达木盆地从印支运动后期到欧亚大陆与冈底斯地块拼接之前阶段,盆地北缘的阿尔金山南缘和祁连山前古构造带在早侏罗世发生剧烈构造活动,盆地进入伸展构造演化阶段,近南北向构造应力加强,分割性较强、规模较小的一系列差异断陷盆地群开始形成,为后期铀矿形成提供了良好的铀源基底。下侏罗统零星分布于阿尔金山与祁连山的交汇处及柴北缘西段等一些较为局限的区域,在欧龙布鲁克分区发育最好。柴西北缘地区在早-中侏罗世伸展断陷阶段沉积了一套湖泊-沼泽-河流相含煤碎屑岩建造,利于发育砂岩型铀矿目的层及层间氧化带。

(1)晚侏罗世-白垩纪挤压隆升阶段

羌塘地块与冈底斯地块在中晚侏罗世碰撞会聚

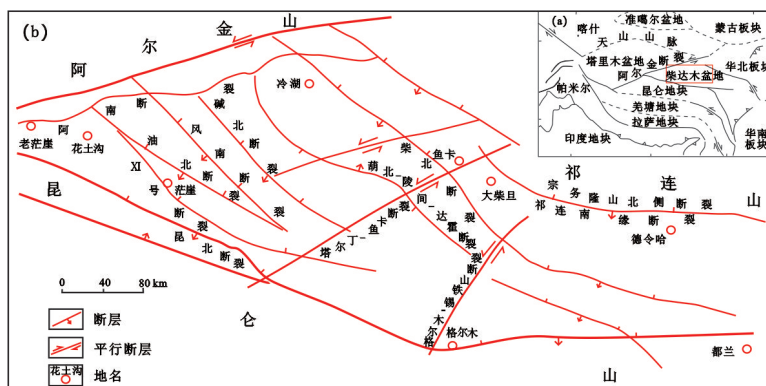


图1 青藏高原及邻区大地构造简图(a)(据参考文献[20]修改),柴达木盆地基底断裂构造图(b)(据青海油田,2004修改)

Fig.1 Simplified geological map of Tibetan plateau, nearby area and tectonic map of basement fracture in Qaidam Basin

导致中特提斯洋逐渐闭合,柴达木盆地范围逐步扩展,沉积中心位于西北部,复杂构造运动使该地区挤压拗陷型盆地开始演化:盆地由冲积扇沉积体系向大型湖泊或曲流河方向发展,湖水深度逐步由深变浅^[22]。沉积物类型为棕红色粗碎屑岩,沉积物粒度变细。该时期古氧化带发育,有利于产生后生氧化作用,奠定了层间氧化带发育的基础,对后期铀元素富集产生一定的影响。德令哈、鱼卡地区发现的古氧化带发育相应的铀矿化,大都在晚侏罗世-白垩纪挤压隆升阶段形成^[12]。其中古氧化带型铀矿化典型代表为北大滩铀矿点。

(2)古近纪弱伸展弱断陷阶段

青藏高原在古近纪由于印度板块与欧亚板块的陆内俯冲及北移,其整体在该时期处于近南北向的持续挤压构造背景,盆地整体上处于收缩变形汇聚状态。柴达木盆地有两个沉积中心,一个位于茫崖以西,一个位于一里坪一带,由于受不同断裂的影响,盆地西北部地区断裂走滑引起其向东伸展、逃逸。盆地在古新世渐新世早期为裂陷前的早期充填沉积阶段,由棕红色砂泥岩组成,为后期上部铀矿层位的形成提供良好的基底与部分铀源。古近纪主要的断陷期是渐新统晚期,断层切割侏罗系,整体覆盖侏罗系,反应其伸展背景,其沉降中心是一里坪和柴西茫崖-英雄岭凹陷。

(3)新近纪早-中期拗陷阶段

随着青藏高原在中新世陆内俯冲构造运动加剧,柴达木盆地受挤压作用增强,向东逃逸受阻加剧,拉分走滑逐渐转变为构造挤压作用,断陷作用减弱,盆地转入拗陷演化阶段,盆地沉积范围较前一阶段扩大,中新世为主要含铀层位,发育细

粒灰色砂泥岩,一里坪与茫崖拗陷连为一体,盆地沉积中心位于英雄岭构造带与俄博梁构造带之间,该时期形成的构造破碎带为后期铀元素的运移及富集提供了良好的场所。

(4)新近纪晚期-第四纪挤压反转阶段

青藏高原在喜马拉雅晚期由于陆内俯冲作用进一步加剧而总体抬升,盆地受到阿尔金走滑运动和盆地内区域应力场的影响,祁连山及青南高寒山区开始向盆地内部推覆、逆冲,且构造运动强度逐渐增大及受塔里木地块阻挡,各构造

表1 柴达木盆地盖层(中生代)地层特征表(据青海油田)

Table 1 Stratigraphic characteristics of meso-cenozoic caprock in Qaidam Basin(after Qinghai Oilfield)

地层分区		盆地东缘山区		盆地北缘山区		北部地区		中、东部地区		西部地区	
地层系统		厚/m	建造	厚/m	建造	厚/m	建造	厚/m	建造	厚/m	建造
第四系(Q)		380	碎屑岩、粘土岩和化学岩建造	1 840	碎屑岩、粘土岩和化学岩建造	大于452	碎屑岩、粘土岩和化学岩建造	2 809	碎屑岩、粘土岩和化学岩建造	大于261	碎屑岩、粘土岩和化学岩建造
新近系(N)	上新统	狮子沟组		986	杂色粗碎屑岩建造	1 176	杂色碎屑岩和膏岩建造	1 221	灰色细碎屑岩建造	673	杂色碎屑岩和膏岩建造
		上油砂山组		1 237	黄色中细碎屑岩建造	1 331	黄色中细碎屑岩建造	1 798	灰色中细碎屑岩建造	822	灰色粗碎屑岩建造
	中新统	下油砂山组		1 167	杂色河流-三角洲相碎屑岩建造	1 184	杂色中粗碎屑岩建造	2 482	灰色中细碎屑岩建造	1 243	黄色中粗碎屑岩建造
		上干柴沟组		大于138	杂色中粗碎屑岩建造						
	渐新统			616	杂色河流-三角洲相碎屑岩建造	785	灰色半咸水-咸水湖相碎屑岩建造	848	灰色半咸水-咸水湖相碎屑岩建造		
				664	红色河流-三角洲相碎屑岩建造	835	红色河流-三角洲相碎屑岩建造	1 966	红色河流-三角洲相碎屑岩建造	1 011	杂色山麓洪积-湖泊相碎屑岩建造
				337	杂色碎屑岩建造	822	杂色碎屑岩建造	267	红色中粗碎屑岩建造	1 043	灰色中细碎屑岩建造
	始新统							未见底			
	古新统	路乐河组									
	白垩系(K)	下统	犬牙沟群	1 451	陆相红色碎屑岩建造	1 451	陆相红色碎屑岩建造	未揭露			花岗岩
侏罗系(J)	上统	红水沟组		589	杂色砂砾岩建造	565	陆相红色碎屑岩建造	248	陆相红色碎屑岩建造		
		采石岭组		< 100	杂色砂砾岩建造	73	杂色碎屑岩建造	276	杂色碎屑岩建造		
					灰色细碎屑岩建造夹煤层和菱铁矿层	923	杂色碎屑岩夹煤层建造	218	灰色含煤碎屑岩建造		
	中统	大煤沟组		170	暗色含煤碎屑岩建造	247	暗色含煤碎屑岩建造	1 390	暗色含煤碎屑岩建造		
	下统	小煤沟组		450	暗色含煤碎屑岩建造	247	暗色含煤碎屑岩建造				
		湖西山组							未揭露		未揭露
三叠系(T)	上统	八宝山群		3 073	火山岩夹海相碎屑岩建造	不详	火山岩夹陆相碎屑岩建造	2 087	暗色轻微变质的碎屑岩建造		
	中统	古浪堤组		1 717	碎屑岩-碳酸盐岩建造	100	山麓洪积相建造				
	下统	隆务河群		1 505	碎屑岩-火山岩-碳酸盐岩建造	693	砾岩、砂岩为主的碎屑岩建造				

带逐渐向东扩展,形成大量的断裂、褶皱,整个盆地现今的盆岭相间的构造格局基本形成^[23]。晚更新世末构造运动使地层形成一系列近NW向构造洼地,构造反转运动发育叠瓦式断块,上盘由于遭受构造强烈剥蚀作用,含矿目的层出露地表,近现代层间氧化带由于地层沉积构造运动条件开始发育。鱼卡-绿梁山前发现有层间氧化带,该带的上下两翼均见有铀异常点或矿化带。上新世晚期-第四纪是目的层发生铀矿化的叠加改造和层间氧化阶段^[21]。

综上所述,受区域地质构造背景的影响,柴达木盆地在中、新生代以来共经历了大约两次从断陷-拗

陷-挤压隆升的完整大型构造演化阶段。前一阶段,侏罗世早期形成一套以含煤碎屑岩建造特征为主的砂岩铀矿成矿目的层,构造地质运动在侏罗世晚期-白垩纪发生反转,古氧化成矿作用的基本形成;后一阶段,经过古近纪始新世-渐新世伸展-新近纪上新世发生拗陷等地质作用,含矿目的层下降被掩埋;盆地在上新世-第四纪的挤压反转作用下进入新的层间氧化叠加改造时期。

3 铀源分析

柴达木盆地铀源以多源性为特点,可分为外部

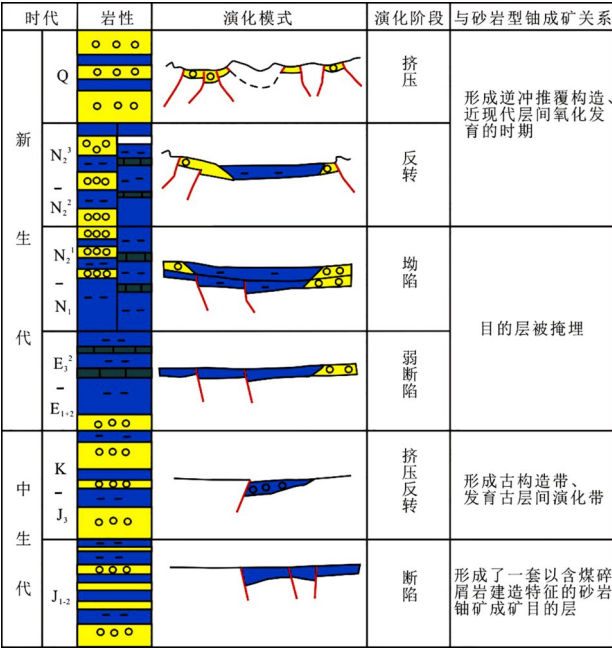


图2 柴达木盆地中生代构造演化示意图
(据参考文献[21]修改)

Fig.2 Sketch map of the Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Qaidam Basin

铀源、内部铀源及中转铀源。外部铀源主要指基底蚀源区铀源,为后生成矿提供一定的铀源,分布较广泛。内部铀源相对来说对铀成矿的贡献非常重要;中生代地层沉积时,由于气候温暖潮湿,地层中富含大量的腐殖质、煤层和炭质,吸附铀能力较强,盆地盖层中的白垩系、侏罗系、三叠系及新近系,铀丰度值相对较高,特别是中侏罗统的含煤碎屑岩建造,可作为后生成矿的铀源。中转铀源一般指盆地内部先期形成的铀矿床及矿化异常点带,可作为后期再生富集和二次叠加铀成矿的重要中转铀源。

在柴达木盆地西北缘地区,铀源对铀元素的富集矿化非常重要。该盆地为中生代沉积盆地。盆地中铀元素的来源及影响因素主要与以下三种铀源有关:(1)基底铀源;(2)沉积盖层铀源;(3)蚀源区铀源。

3.1 基底铀源

柴达木盆地具元古代结晶基底和古生代褶皱基底二元基底结构,结晶基底构建了盆地稳定的构造格架,蕴含着较丰富的铀源。火成岩体、元古代中深变质岩和古生代浅变质岩分布于基底顶面^[10];基底蚀源区岩性主要为中酸性、酸性火山岩,岩石中铀含量高,为盆地提供了丰富的铀源,在后期的风化剥蚀过程中随地下水搬运至

盆地内富集成矿。

中生代之前结晶、褶皱基底演化阶段较长,柴达木地区在元古代总体地质过程为由活动到稳定发展阶段。元古代在柴北缘开始断续出露,柴北缘北带为具有古元古代基底的古老陆块残块-欧龙布鲁克陆块^[24]。中元古界零星分布,青白口系缺失,在构造应力作用下使沉积地层回升,逐渐形成了一系列中高级变质岩系^[25],基本构成了柴达木地块的原始含铀元素丰富的结晶基底,形成活动陆缘火山-陆缘碎屑岩建造^[26]。地块从晚奥陶世开始分裂,地层可分性及连续性较差^[27],由于构造变动强烈,阿尔金断裂及赛什腾山-达肯大板-宗务山山前断裂产生,伴有岩浆侵入活动,发育有中性-中酸性火山岩,因其铀元素丰富成为后期成矿重要铀源。后期柴达木盆地总体处于弧后部位,经历弧后拉张-弧后造山地质构造运动事件^[28],晚奥陶世古洋壳俯冲殆尽,裂陷槽逐渐封闭,形成柴北断褶带。该地质演化阶段在一定程度上构成了富铀元素的地层结晶基底,奠定了盆地较成熟铀成矿结晶基底基础。

结晶基底由前加里东期石英闪长岩、闪长岩、花岗岩和斜长花岗岩等岩浆岩及元古宇混合岩化区域热流动力变质岩组成。元古宇变质岩可分上、下两部分。下部由一套中深变质岩系组成,属角闪岩相,混合岩化作用十分强烈;上部为一套浅变质的白云岩、大理岩、绿泥片岩、石英岩夹千枚岩、绢云片岩等,属千枚岩相,是在滨海至浅海环境下形成的碳酸盐岩建造和碎屑岩建造。该构造层含铀量高达 $(3.5 \sim 19.0) \times 10^{-6}$ (表2)。褶皱基底主要由古生界组成,按时间先后可分为加里东期、海西期和印支期三个构造层。加里东期构造层属海陆交互相沉积,岩性为火山岩夹碳酸盐岩、浅变质碎屑岩、花岗岩、闪长岩等。其中滩涧山群(O_3tj)及酸性侵入岩分布面积广,

表2 柴达木盆地主要基底铀含量统计表

Table 2 Statistical table on the content of main base uranium in Qaidam Basin

基底类型	系(群)	地层代号	地面伽玛能谱测量 cU			化学分析值/($\times 10^{-6}$)	
			/($\times 10^{-6}$)			区间值	平均值
			区间值	平均值	个数		
褶皱基底	赛什腾群	S ₂ ss	1.2 ~ 2.9	2.3	11	---	---
	滩涧山群	O ₃ tj	---	---	---	12.0 ~ 26.0	18
结晶基底	青白口群	Pt ₃ qb	---	---	---	10.0 ~ 15.0	12.3
结晶基底	党河群	Pt ₃ dh	---	---	---	3.5 ~ 19.0	15.6
结晶基底	达肯达板群	Pt ₁ dk	2.1 ~ 8.4	4.3	30	---	---

注:数据来自283地质队。

含铀量高,达 $(12.0 \sim 26.0) \times 10^{-6}$ (表2),是盆地非常重要的铀源层。海西期构造层由晚古生代形成的一套海陆过渡相火山岩、碎屑岩及花岗闪长岩、闪长岩、二长花岗岩、石英闪长岩等组成。区域无显著变质特征,上、中石炭统板岩、变质砂岩等铀元素含量普遍较高。区内中元古代斜长花岗岩、印支期花岗岩和华力西期斜长花岗岩等各时代侵入岩铀元素含量也较高^[29]。基底铀源在构造运动过程中源源不断的为较浅地层提供铀源,是该地区重要铀源。

3.2 沉积盖层铀源

盆地原始铀预富集情况对沉积盖层的铀含量具有重要影响,而区域铀成矿在一定程度上受铀的预富集影响^[30]。高含铀量和高迁移率是评价铀源条件优差的关键因素之一,沉积盖层存在铀的富集。由于中生代盆地地层整体抬升而被较均匀剥蚀,导致与侏罗系平行或小角度不整合^[31],反映出侏罗系被暴露、掀斜于地表,接收含铀流体进入目的层形成层间氧化带,进而形成铀元素的富集而成矿^[14]。

柴达木盆地含矿层本身铀含量较高,能为盆地成矿提供大量铀源。盆地中新世代沉积盖层中侏罗系粉砂岩及泥岩,新近系砂岩、粉砂岩及泥岩铀元素含量相对较高,特别值得指出的是部分上油砂山组及狮子沟组灰色、灰绿色泥质粉砂岩铀元素特别高,铀含量在 $(2.3 \sim 2.8) \times 10^{-6}$ 之间,局部甚至为 $(5 \sim 7) \times 10^{-6}$;中-下侏罗统粉砂岩及泥岩铀元素含量也较高,其中劣质煤层及含炭质岩石中铀含量介于 $(6 \sim 20) \times 10^{-6}$ 之间^[14]。因此,新近系和侏罗系是区内砂岩型铀成矿及找矿较为有利的铀源层体。

3.3 铀源区铀源

盆地西北缘被昆仑山、阿尔金山、祁连山等夹持(图1b),分布有大量的中酸性花岗岩体、变质岩体及火山岩体等,三大山脉在中新生代处在一个较复杂的构造演化阶段,其隆升剥蚀等地质现象经常发生,由于风化剥蚀及水流作用碎屑物质得以源源不断地向盆地内输送,为盆地西北部提供重要物源物质;另一方面周围山区原始岩体铀元素含量较高,前人对周边岩体进行地面伽玛能谱测量结果显示其具有较高的含铀性,如乌兰凹陷西北缘阿木内可山南缘的砂体,一般伽玛强度 $62 \sim 68 \gamma$,局部 277γ ^[14]。地下水及地表水系比较发育,不断从盆地周缘向盆地内部汇聚,铀的活化迁移现象频繁。柴达木盆地属渗入型自流水盆地,能将多种母岩中丰富的铀元素带入

到盆地内,扮演了运移铀源的角色,为盆地提供了良好的外部铀源条件。

4 铀成矿控制因素及成矿预测分析

4.1 成矿控制因素分析

柴达木盆地西北缘砂岩型铀矿受构造条件、沉积相、地层岩性、水文地质条件、氧化作用等因素综合控制^[32]。盆地铀矿受构造的控制主要体现在以下3个方面:(1)盆地西北缘含矿砂体的展布受斜坡带控制;(2)XI号及昆北断裂等为盆地西北缘主要的构造减压区(图1),较好的构成地下水的排泄系统,有利于铀元素富集成矿;(3)弱伸展的构造环境有利于含铀矿层沉积体系发育,该环境有利于地下水的长期渗入。盆地铀矿的形成具有显著的层控性及岩系专属性。主要体现在以下3个方面:(1)容矿层位及岩系特征:盆地铀矿化主要发生在新近系上油砂山组和第四系七个泉组中,绿灰色碎屑岩为典型容矿建造;(2)铀矿化类型对砂体结构及岩性有一定要求,七个泉组岩性结构主要有2种形式,其中层间氧化带型铀矿化形成于以泥岩(粉砂岩)-砂岩-泥岩(粉砂岩)自下而上的岩性组合中(图3);(3)综合砂体特征对铀元素成矿具有一定制约作用:从盆地西北缘含矿层砂体厚度统计看来,砂岩型铀矿化主要与砂体厚度适中的层位密切相关^[32-33]。盆地西北缘铀矿化受正常三角洲沉积、辫状河三角洲沉积和冲积扇沉积体系控制。温湿的古气候有利于形成富含黄铁矿及有机质等高还原容量的砂体,干旱炎热的古气候条件在后生改造成矿期有利于加快铀元素的活化迁移速率。地层氧化作用分为潜水及层间氧化作用两种,潜水氧化作用是铀矿床的主要成矿要素之一,主要表现为几乎所有岩石大都被氧化成紫红色、红褐色。潜水氧化带规模越大,潜水氧化型铀矿越容易形成;层间氧化作用是盆地层间氧化带型铀矿的重要成矿因素,灰色砂岩被氧化为黄色、黄褐色等。氧化作用越强,含氧含铀水渗入时间越长,越有利于层间氧化带型铀矿成矿。

4.2 找矿标志分析

盆地内稳定的构造斜坡带对铀成矿最为有利,构造变形较强烈区域下部变缓部位有利于层间氧化带型铀矿化的形成。铀含矿地层层位结构一般有着细粒级以上的砂岩岩石粒径及泥-砂-泥的岩性组合序列,含砂率 $>45\%$,单层砂体厚度介于 $15 \sim 30 \text{ m}$ 之

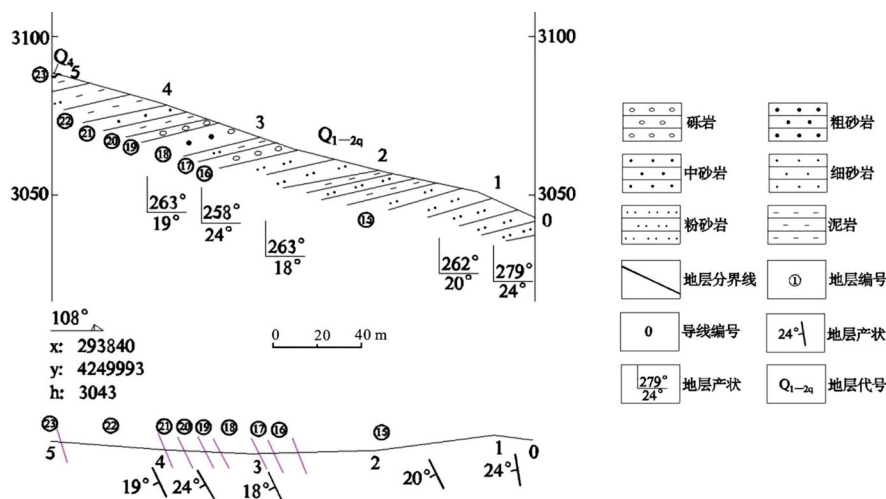


图3 新近系七个泉组实测剖面图

Fig.3 Field profile of Qigequan formation in Neogene

间。岩石中 CaCO_3 含量 $< 1\%$, 富含硫化物、有机质等还原剂。沉积体系中辫状河三角洲是最有利的成矿沉积部位, 三角洲平原分流河道砂体、三角洲前缘砂体是最有利的容矿砂体, 为发育较成熟的渗入型承压盆地, 补-径-排水动力系统完善, 含矿层中地下水的含氧性、承压性及渗透性较好, 层间氧化作用标志明显地段利于成矿。

5 结论

(1) 柴达木盆地在中、新生代以来构造演化共经历了大约两次从断陷-拗陷-挤压隆升的完整大型构造演化阶段, 构造运动在晚侏罗世-白垩纪发生反转。

(2) 柴达木盆地西北缘砂岩型铀矿受构造条件、水文地质条件等因素综合控制, 盆地内稳定的构造斜坡带对铀成矿最为有利。

(3) 柴达木盆地中铀元素来源及富集主要与以下三种铀源有关: 基底铀源、沉积盖层铀源及蚀源区铀源, 三者对盆地铀富集成矿贡献都非常大。

参考文献:

- [1] 刘丽锋. 中新生代盆地金属矿物分析及找矿前景[J]. 世界有色金属, 2017, 23: 95-97.
- [2] 杨伟利, 王毅, 王传刚, 等. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产分布特征与协同勘探[J]. 地质学报, 2010, 84(04): 579-586.
- [3] 王毅, 杨伟利, 邓军, 等. 多种能源矿产同盆共存富集成矿(藏)体系与协同勘探-以鄂尔多斯盆地为例[J]. 地质学报, 2014, 88(05): 815-824.
- [4] 金若时, 覃志安. 中国北方含煤盆地砂岩型铀矿找矿模式层序研究[J]. 地质调查与研究, 2013, 36(02): 82-83.
- [5] 金若时, 黄彭涛, 苗培森, 等. 准噶尔盆地东缘侏罗系砂岩型铀矿成矿条件与找矿方向[J]. 地质通报, 2014, 33(2-3): 359-369.
- [6] 吴兆剑, 韩效忠. 煤田资料的铀矿二次开发技术及其找矿意义-以二连盆地 ZS 煤田铀矿点的发现为例[J]. 中国地质, 2016, 43(02): 617-627.
- [7] 汤超, 司马献章, 朱强, 等. 沉积盆地油气与砂岩型铀矿成矿关系研究[J]. 地质找矿论丛, 2017, 32(02): 286-294.
- [8] 汤超, 金若时, 谷社峰, 等. 松辽盆地北部四方台组工业铀矿的发现及其意义[J]. 地质调查与研究, 2018, 41(01): 1-32.
- [9] 程银行, 张天福, 曾威, 等. 中国北方中新生代盆地砂岩型铀超常富集的驱动力[J]. 大地构造与成矿学, 2020, 44(04): 590-606.
- [10] 冯晓曦, 滕雪明, 何友宇. 初步探讨鄂尔多斯盆地东胜铀矿田成矿作用研究若干问题[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(02): 96-103+108.
- [11] 俞初安, 司庆红, 王善博, 等. 鄂尔多斯盆地西缘石槽村地区直罗组砂岩地球化学特征和碎屑锆石 U-Pb 年代学特征: 对构造背景及物源的启示[J]. 大地构造与成矿学, 2020, 44(04): 754-771.
- [12] 司庆红, 李建国, 张博, 等. 钱家店凹陷含铀岩系姚家组高岭土化特征及高岭石氢氧同位素的流体指示意义[J]. 大地构造与成矿学, 2020, 44(04): 667-681.
- [13] 陈印, 滕学明. 砂岩型铀矿表生流体成矿作用国际地球科学计划 (IGCP675) 成功获批[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(01): 81.
- [14] Jin R S, Feng X X, Teng X M, et al. Genesis of green sandstone/mudstone from Middle Jurassic Zhiluo Formation in the Dongsheng Uranium Orefield, Ordos Basin and its enlightenment for uranium mineralization[J]. China Geology, 2021, 3, 52-66. doi: 10.31035/cg2020002.
- [15] Yu R A, Wang S B, Zhu Q, et al. Zircon U-Pb ages and provenance characteristic of sandstone from Zhiluo Formation and debating of formation background of uranium

- deposit in Huangling area, Ordos Basin, China[J]. China Geology, 2021. doi: 10.31035/cg2021006.
- [16] 冯伟, 宋宪生. 柴达木盆地北缘砂岩型铀矿类型及找矿方向研究[J]. 西部资源, 2018, 5:45-47.
- [17] 张超, 王善博, 程银行, 等. 柴西北缘花土沟地区新近系油砂山组沉积特征及铀源分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(09):3427-3434.
- [18] 张超, 俞初安, 王善博, 等. 柴西北缘花土沟地区新近系狮子沟组沉积特征与砂岩型铀矿关系分析[J/OL]. 中国地质, 2020, {3},{4}{5}:1-18[2021-07-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20201010.1111.005.html>.
- [19] 蔡郑红. 柴达木盆地西部阿尔金斜坡地区沉积地层与构造研究[D]. 兰州大学硕士论文, 2007.
- [20] 王亮, 肖安成, 巩庆霖, 等. 柴达木盆地西部中新统内部的角度不整合及其大地构造意义[J]. 中国科学:地球科学. 2010, 40(11):1582-1590.
- [21] 刘林, 宋哲, 宋宪生, 等. 柴达木盆地北缘中生代地质构造演化与砂岩型铀矿成矿关系[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2008, 31(04):306-312.
- [22] 汪立群, 罗晓容. 柴达木盆地北缘油气成藏与勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社. 2012:8-12.
- [23] 范丽琨, 蔡岩萍, 梁海川, 等. 东昆仑地质构造及地球动力学演化特征[J]. 地质调查与研究, 2009, 31(03):181-186.
- [24] 李怀坤, 陆松年, 王惠初, 等. 青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录—全吉群[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(01):27-37.
- [25] 王惠初, 李怀坤, 陆松年, 等. 柴北缘鱼卡地区达肯大坂岩群的地质特征与构造环境[J]. 地质调查与研究, 2006, 29(04):253-262.
- [26] 辛后田, 王惠初, 周世军, 等. 柴北缘的大地构造演化及其地质事件群[J]. 地质调查与研究, 2006, 29(04):311-320.
- [27] 刘林, 宋宪生, 冯伟, 等. 柴达木盆地北缘砂岩型铀矿成矿前景分析[A].//中国核学会. 中国核科学技术进展报告—中国核学会2009年学术年会论文集(第一卷·第1册)[C]. 中国核学会:中国核学会, 2009:8.
- [28] 施俊, 真允庆, 吴金凤, 等. 柴达木盆地石炭纪油气资源的找藏前景[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(01):43-51.
- [29] 王德鹏, 汪成勇. 柴达木盆地北缘铀矿化地球物理特征分析[J]. 内蒙古煤炭经济. 2019, 5:158-160.
- [30] 刘华健, 金若时, 李建国, 等. 松辽盆地北部含铀岩系沉积物源及铀源分析研究进展[J]. 地质调查与研究, 2017, 40(04):281-289.
- [31] 肖安成, 陈志勇, 杨树锋, 等. 柴达木盆地北缘晚白垩世古构造活动的特征研究[J]. 地学前缘, 2005, 12(04):451-457.
- [32] 刘武生, 贾立城. 应用矿床模型综合地质信息法评价砂岩型铀资源潜力—以伊犁盆地南缘层间氧化带型铀矿为例[J]. 铀矿地质, 2011, 27(06):352-379.
- [33] 张超, 俞初安, 王善博, 等. 柴西北缘跃进二号地区晚新生代沉积特征及沉积相演化[J]. 西北地质, 2021, 54(03):27-38.

Mesozoic–cenozoic tectonic evolution and uranium source analysis in northwestern Qaidam basin

ZHANG Chao^{1,2}, WANG Shan-bo^{1,2}, YU Reng-an^{1,2}, CHENG Yin-hang^{1,2},
FENG Ping³, YU Hang³

(1. Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2. North China Center for Geoscience Innovation Tianjin 300170, China; 3. The nuclear industry geological survey 283 brigade in Sichuan province, Dazhou Sichuan 635000, China)

Abstract: Since the Mesozoic and Cenozoic, the Qaidam Basin has undergone about two complete large-scale tectonic evolution stages characterized by fault depression to compressive uplift. The tectonic movement reversed in late Jurassic-Cretaceous. Uranium mineralization is controlled by many factors including tectonic conditions, sedimentary facies, stratigraphic lithology, hydrogeological conditions and so on. The stable structural slope zone in the basin is most favorable for uranium mineralization. Braided river delta is the most favorable place for ore-forming and precipitation in the sedimentary system. Delta plain distributary channel sand bodies and delta front sand bodies are the most favorable ore-hosting sand bodies. The uranium sources in the basin includes deep uranium source, sedimentary cover uranium source and erosion uranium. The coal-bearing clastic rock formation of middle Jurassic can provide uranium provenance for the post-mineralization.

Key words: northwestern Qaidam; Mesozoic-cenozoic; tectonic evolution; uranium source