

甘肃龙首山成矿带地质构造演化 及其对铀成矿的控制作用

安国堡¹, 辛存林², 杨涛², 王露菡², 祁正强²

(1. 四川省核工业地质局二八二大队, 四川 德阳 618000;

2. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:龙首山成矿带大地构造演化主要经历了元古代龙首山边缘沉降带形成和发展、古生代边缘沉降带活化隆起和陆缘带局部拗陷、中生代断块活动等3个构造时期。龙首山成矿带位于华北古陆西南缘, 古陆块及其边缘是重要的铀成矿区域。区内铀成矿受区域大地构造演化控制, 铀矿化相应地分为3个成矿期, 即元古代成矿期、古生代成矿期和中生代成矿期。与3个成矿期相对应, 龙首山成矿带形成了分别与下元古界变质岩、祁连期重熔型花岗岩和中生代断块升降有关的3个铀矿化成矿系列。龙首山成矿带成矿模式可概括为: 下元古界地层预富集→(吕梁期)伟晶状白岗岩体预富集(或祁连期花岗岩类岩石预富集)→(天山期)断裂构造、热液蚀变预富集→(印支期、四川期和喜马拉雅期)脉体叠加工业富集。

关键词:构造演化; 铀矿; 成矿规律; 控制作用; 成矿带; 成矿期; 成矿模式; 龙首山

中图分类号: P548; P619.14

文献标志码: A

Geotectonic Evolution of Longshoushan Metallogenic Belt in Gansu and Its Control Function on Uranium Mineralization

AN Guo-bao¹, XIN Cun-lin², YANG Tao², WANG Lu-han², QI Zheng-qiang²

(1. No. 282 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology for Nuclear Industry, Deyang 618000,

Sichuan, China; 2. College of Geography and Environment Science,

Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: The geotectonic evolution of Longshoushan metallogenic belt experiences three tectonic periods, including the initial stage and development of Proterozoic Longshoushan margin subsiding belt, and the active uplift of Paleozoic subsiding belt and partial collapse of continental margin belt, and the activity of Meso-Cenozoic fault block. Longshoushan metallogenic belt locates at the southwest margin of North China paleoland, and the paleoland and its margin are the most important uranium metallogenic zones. Uranium mineralization is controlled by geotectonic evolution; accordingly uranium-mineralized process is divided into three metallogenic periods, including Proterozoic, Paleozoic and Meso-Cenozoic. Corresponding with the three metallogenic periods, Longshoushan metallogenic belt form three metallogenic series of uranium mineralization, which are separately related to Lower Proterozoic metamorphic rocks, the crustal remelting granites in Qilian stage and the fault block uplift and sag in Meso-Cenozoic. The

收稿日期: 2016-05-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41262001); 甘肃省科技支撑基金项目(1104FKCA116);

甘肃省高等学校研究生导师科研项目(1101-07); 兰州市科技计划基金项目(2011-2-89)

作者简介: 安国堡(1966-), 男, 甘肃秦安人, 教授级高级工程师, E-mail: anguobao01@163.com。

metallogenic model of Longshoushan metallogenic belt can be summarized as the pre-enrichment of Lower Proterozoic stratum, the pre-enrichment of (Luliang stage) pegmatoid alaskite (or the pre-enrichment of granitoids in Qilian stage), the pre-enrichment of (Tianshan stage) fault structure and hydrothermal alteration, and the industrial enrichment of (Indosinian, Sichuan stage and Himalayan) vein material superimposed.

Key words: tectonic evolution; uranium deposit; metallogenic regularity; control function; metallogenic belt; mineralization period; metallogenic model; Longshoushan

0 引言

龙首山成矿带东起甘肃省民勤县红崖山,西到张掖市合黎山,东西长 180 km,南北宽几千米至十余千米,面积约 2 600 km²。区内元古界地层分布广泛,吕梁期和祁连期侵入岩发育,从酸性岩到超基性岩均有分布。与镁铁—超镁铁质岩体有关,龙首山中段产出了世界级金川铜镍硫化物矿床,镍资源储量规模达到世界第三,单矿体镍资源储量世界第一;与中酸性及碱性侵入岩有关,龙首山成矿带(主要在中段)已经发现 4 种不同类型的 5 个铀矿床、40 个矿(化)点和超过 2 000 个异常点,形成了一条以碱交代型和伟晶状白岗岩型铀矿化为主要特点的铀成矿带^[1]。龙首山地区地处河西走廊东段,经济发达,交通便利,地质研究程度相对较高。要不断扩大成矿远景,进行有效的成矿预测,就要先查清区域地质背景和矿区成矿条件。本文根据区域大地构造演化资料^[2],以成矿背景、成矿系统和成矿演化为主要内容,研究龙首山成矿带铀成矿的物质基础和时空结构,阐明铀矿床的形成和分布规律,为该区矿产预测和普查找矿提供科学依据。

1 区域地质背景

龙首山成矿带位于华北板块西南缘龙首山陆缘带,其西南侧为华北板块的河西走廊边缘海盆^[3](图 1)。龙首山成矿带为一复向斜构造带,以上元古界孩母山群为核部,以中元古界墩子沟群和下元古界龙首山群为两翼。该复向斜轴向 NWW,轴面倒转北倾,倾角 70°左右。复向斜南侧被山前大断裂切割而与走廊过渡带相邻。

2 铀矿化特征

龙首山成矿带现已发现铀矿床、矿点、矿化点的成因类型有岩浆+热液型、碱交代型、沉积型、沉积变质型、淋积型和淋积+热液型等。其中,碱交代型和岩浆+热液型铀矿化是中国其他地区比较少见的

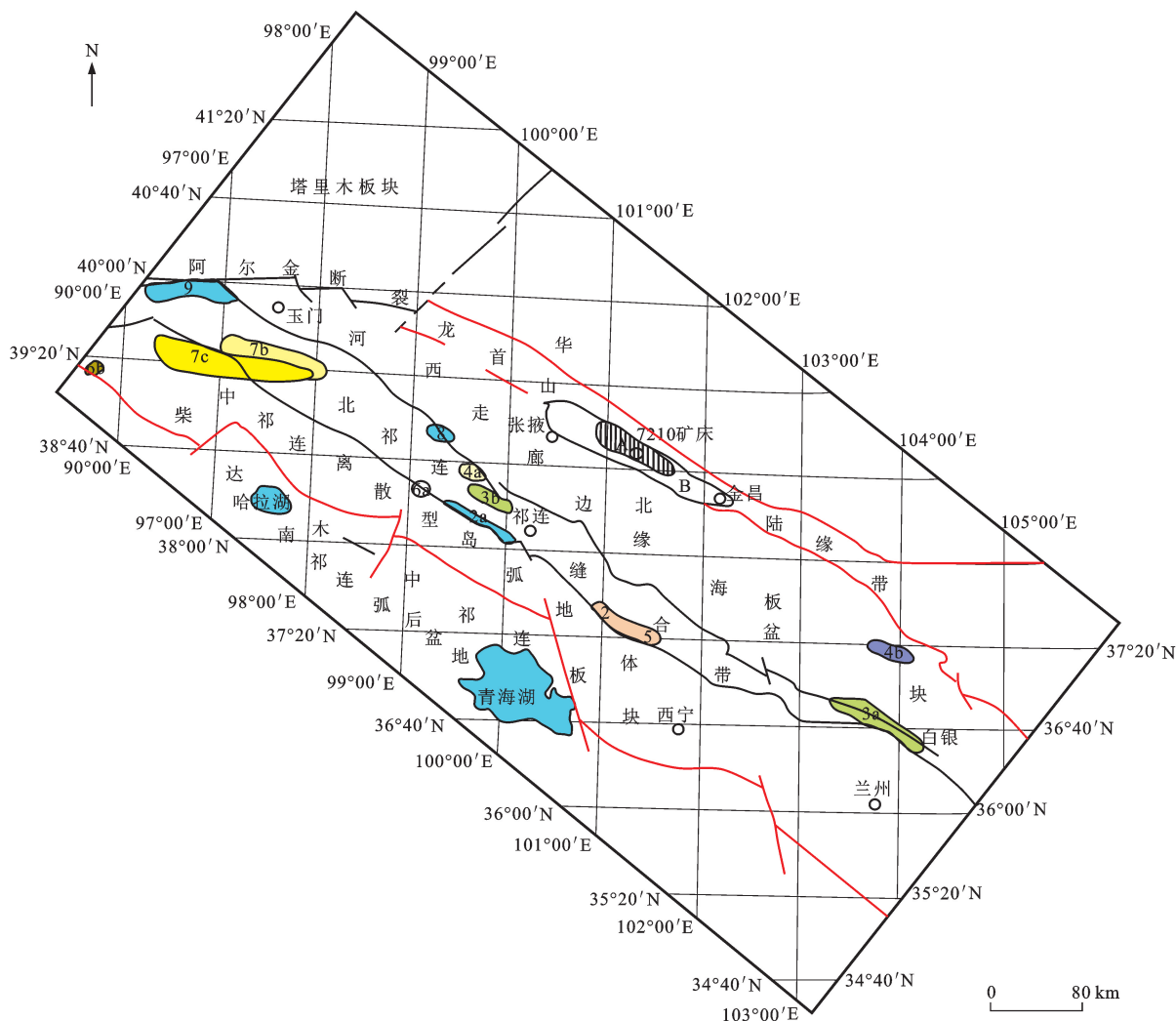
两种矿化类型。龙首山成矿带可划分出 3 个成矿系列 5 个成矿亚系列。

I 成矿系列为下元古界变质岩出露区与混合岩化气液作用有关的铀矿化成矿系列,如 71-4 矿化点,成矿年龄为 560 Ma;II 成矿系列为与壳源重熔型花岗岩有关的铀矿床成矿系列,包括 3 个成矿亚系列(II₁、II₂ 和 II₃);III 成矿系列为中新世淋积型铀矿床成矿系列,如 1204 矿床。

II₁ 成矿亚系列为与吕梁期伟晶状白岗岩有关的铀矿床成矿亚系列,如 7210 矿床,晶质铀矿 U-Pb 同位素年龄为 (1 767 ± (141 ~ 162)) Ma (吕梁晚期)。II₂ 成矿亚系列为与祁连期中粗粒斑状黑云母花岗岩中的钠交代、硅化和胶状黄铁矿化蚀变有关的铀矿床成矿亚系列,例如与钠交代有关的碱交代热液型铀矿床有 701、706 矿床,与硅化和胶状黄铁矿化蚀变有关的硅质脉热液型铀矿床有 7201 矿床。701 矿床沥青铀矿同位素年龄为 381 ~ 398 Ma,属中泥盆世;706 矿床沥青铀矿形成时间更晚一些,并有两个成矿期,同位素年龄分别为 299 Ma (属天山期的晚石炭世末或早二叠世早期)和 99 ~ 122 Ma (四川期);7201 矿床成矿年龄为 290 ~ 330 Ma (属天山期的早石炭世—早二叠世)。II₃ 成矿亚系列为与祁连期碱性杂岩有关的铀矿化,如 607-1、汪尔井等矿(化)点,成矿年龄为 430 Ma (属祁连期的早志留世)。

以上铀矿物同位素年龄同时表明,区内热液型矿化主要形成于板内拉张的天山期(中泥盆世—中二叠世),而不是碰撞造山的祁连期(中寒武世—早泥盆世)。

龙首山成矿带铀矿化受花岗岩、构造和热液活动的控制,目前有工业意义的铀矿化均属花岗岩型铀矿,与花岗岩类岩石关系密切。一方面,铀矿化仅与花岗岩类岩石有成因联系;另一方面,铀矿化在空间上总是分布在花岗岩体内及其接触带附近,花岗岩被认为是铀矿化形成的先决条件。目前较有意义的铀矿化主要分布在花岗岩体内或外接触带几百米范围内,如岌岭岩体及其周围集中了本区铀矿化的



A 为龙首山元古代陆缘海盆沉积成矿组合(东搭山成矿组合);B 为龙首山中元古代裂谷底劈岩浆成矿组合(金川镍、铜成矿组合);I 为中元古代祁连洋成矿系统;1 为中元古代(火山-)沉积成矿组合(桦树沟—柳沟峡铁成矿组合);2 为晋宁期超基性岩成矿组合(拉水峡铜镍成矿组合);II 为兴凯—加里东祁连洋成矿系统;3 为早期岛弧(裂谷)成矿系统;3a 为白银厂铜多金属成矿组合;3b 为清水沟铜多金属成矿组合;4 为中期弧后扩张盆地成矿组合;4a 为石里居—九一个镍铜多金属成矿组合;4b 为猪嘴哑巴铜多金属成矿组合;5 为中晚期弧后扩张盆地成矿组合(红沟—蛟龙掌铜及多金属成矿组合);6 为洋壳残片成矿组合;6a 为玉石沟铬成矿组合;6b 为大道吉尔铬成矿组合;7 为与俯冲作用有关的岩浆热液成矿组合;7a 为大东沟—吊大坂铅锌成矿组合;7b 为桦树沟—柳沟峡铜多金属成矿组合;7c 为塔尔沟—小柳沟钨钼成矿组合;III 为碰撞造山成矿系统;8 为沉积盆地成矿组合(天鹿成矿组合);9 为陆内造山运动、韧性剪切成矿组合(寒山—鹰嘴山金成矿组合)

图1 甘肃龙首山成矿带大地构造位置

Fig.1 Sketch Map Showing the Tectonic Location of Longshoushan Metallogenic Belt in Gansu

60%以上,其次是红石泉岩体和青山堡岩体,其他广大地区目前还没有发现有工业意义的铀矿化。铀矿化的空间分布明显受构造控制,大陆边缘活动带和祁连山裂陷槽的发育构成了龙首山成矿带特定的构造环境,较好的铀矿化多分布在次级背斜的轴部。密集的裂隙带和规模较大的破碎带岩石强破碎,微裂隙发育,热液活动强,易形成大的交代蚀变体,是铀矿化形成的有利部位。几个主要铀矿床矿化较好的地段均处在这种构造膨大部位。本区主要铀矿化都是热液型,因此,热液活动的演化规律在很大程度上决定着铀矿化的时空分布。

3 区域大地构造演化

龙首山成矿带大地构造演化主要经历了3个构造时期,即元古代龙首山边缘沉降带形成和发展时期、古生代边缘沉降带活化隆起和陆缘带局部拗陷时期、中生代断块活动时期。

3.1 元古代龙首山边缘沉降带形成和发展时期

元古代构造期主要经历了古元古代陆块形成和碰撞、中元古代龙首山边缘沉降带形成-新元古代早期青白口纪边缘沉降带褶皱隆起、新元古代中晚期南华纪—震旦纪边缘沉降带沉降3个阶段。

3.1.1 古元古代陆块形成和碰撞阶段

龙首山构造带是吕梁期(1.8~2.5 Ga)构造事件所形成的变质结晶基底,位于原始中朝陆块由太古宙时期形成的稳定陆块——阿拉善板块的南缘。太古宙时期形成的稳定陆块(中朝陆块主体(从鄂尔多斯、华北地区到朝鲜半岛)、阿拉善板块和塔里木板块)之间是古元古代构造事件所形成的构造活动带,主要有敦煌—龙首山碰撞带(年龄为1.94~2.06 Ga)、天山—北山—祁连碰撞带(天山带锆石 U-Pb 同位素年龄为2.0~2.3 Ga,祁连带为2.2 Ga)、柴达木碰撞带(柴达木盆地北缘年龄为2.2 Ga)、东昆仑边缘增生带(年龄为1.85 Ga)以及西昆仑—阿尔金碰撞带(年龄为2.13~2.46 Ga)。原始中朝陆块在吕梁期通过进一步的裂陷、碰撞、拼合,最后再次结合而成结晶基底,这样就在古元古代末期(1800 Ma)聚合成了规模巨大的原始中朝陆块(西起塔里木,东至朝鲜半岛),并且该陆块一直可以比较稳定地演化到中元古代末期(1000 Ma)。龙首山成矿带及7210矿床出露的龙首山群就是这一时期(古元古代)裂陷、沉积和碰撞的产物,并成为敦煌—龙首山碰撞带(年龄为1.94~2.06 Ga)的组成部分。

7210矿床内出露的灰白色、灰绿色中粒石英闪长岩-斜长花岗岩($\gamma_2^{1\#}$)和橘黄色、红色、肉红色伟晶状白岗岩($\gamma_2^{2\#}$)是与这次陆块碰撞有关的侵入岩。石英闪长岩-斜长花岗岩锆石 U-Th-Pb 等时线年龄为(2147±74)Ma。石英闪长岩体呈岩株状侵入于龙首山群,岩体内部为石英闪长岩,向边部和顶部过渡为斜长花岗岩。伟晶状白岗岩侵入于龙首山群和石英闪长岩-斜长花岗岩,又被石炭系所覆盖(图2)。伟晶状白岗岩白云母 K-Ar 同位素年龄为1697~1750 Ma,锆石 U-Th-Pb 等时线年龄为1959 Ma,晶质铀矿 U-Pb 同位素年龄为(1767±(141~162))Ma,矿石全岩 U-Pb 同位素年龄为(1805±(18~20))Ma,成岩期黄铁矿 U-Pb 同位素结晶年龄为(1974±(181~206))Ma^[4]。这些年龄接近或稍晚于敦煌—龙首山碰撞带(年龄为1.94~2.06 Ga),与矿区地质背景和区域构造演化历史相吻合,说明石英闪长岩-斜长花岗岩、伟晶状白岗岩均是古元古代末期与陆块碰撞、拼合有关的中酸性岩浆活动的产物。

3.1.2 中元古代龙首山边缘沉降带形成-新元古代早期青白口纪边缘沉降带褶皱隆起阶段

从中元古代(年龄为1000~1800 Ma)开始,原

始中朝陆块(包括华北—朝鲜、阿拉善、柴达木、塔里木等板块)开始发生张裂,出现了南塔里木、北塔里木、古柴达木板块和古中朝陆块(敦煌—阿拉善—华北—朝鲜)等之间的初始张裂,它们被浅海裂陷区分开。这一构造活动即汤中立等所指的中元古代华北板块裂解^[3,5]。中朝陆块西南缘的敦煌—阿拉善南部中新元古代浅海相沉积地层厚度为14525 m,阿拉善—龙首山为9662 m,形成了一条范围相当宽阔的边缘沉降带,包括河西走廊边缘海盆和龙首山陆缘带。这一时期在龙首山陆缘带沉积了中元古界墩子沟群;位于古中朝陆块西部的古柴达木板块同时在中元古代发生四周裂陷,并以古祁连洋(中—新元古祁连洋)为界,与中朝陆块—阿拉善板块相分离;这一时期在甘肃祁连形成了一套半深海火山岩-碳酸盐岩-复理石建造,普遍经历了角闪岩-绿片岩相的区域变质,地层厚度为18543 m。

新元古代早期800~1000 Ma的青白口纪(晋宁期),古中朝陆块、南塔里木和柴达木板块(包括中祁连等)的基本构造格局仍与中元古代相近,但沉积地层的分布范围扩大了。形成于中元古代的南塔里木、北塔里木、柴达木板块与古中朝陆块之间的塔里木中部裂陷带、阿尔金裂陷带及祁连裂陷带(中—新元古祁连洋)在青白口纪中后期发生缩短和碰撞,形成了3条俯冲、碰撞和拼合带,使古中朝陆块(包括阿拉善)、塔里木和柴达木板块重新聚合成原始中朝陆块的西半部。位于中朝陆块西南缘的龙首山边缘沉降带也随之褶皱缩短和上升隆起遭受剥蚀,缺失青白口纪地层。

3.1.3 新元古代中晚期南华纪—震旦纪边缘沉降带沉降阶段

青白口纪古中朝陆块(包括阿拉善)、塔里木和柴达木板块的碰撞和拼合作用不太强烈,使得新元古代中晚期南华纪—震旦纪(520~800 Ma)祁连地区再次出现明显的裂陷(即形成了兴凯—加里东祁连洋),使塔里木—柴达木板块与阿拉善—华北板块分离,并使塔里木—柴达木板块具有明显不同于中朝陆块(包括阿拉善)主体的沉积特征。伴随祁连裂陷沉降的加剧,与之毗连的龙首山地区在震旦纪(570~680 Ma)也发生了沉降,沉积了孩母山群冰川-浅海相碳酸盐岩-碎屑岩局部基性火山岩建造。震旦纪(550~680 Ma),中国大陆多数地区为构造活动稳定区,中朝陆块南缘和塔里木板块—柴达木板块北缘进入冰川带,发育罗圈组冰积层,该时期即相当于全球590 Ma前后的Varanerian冰期。孩母

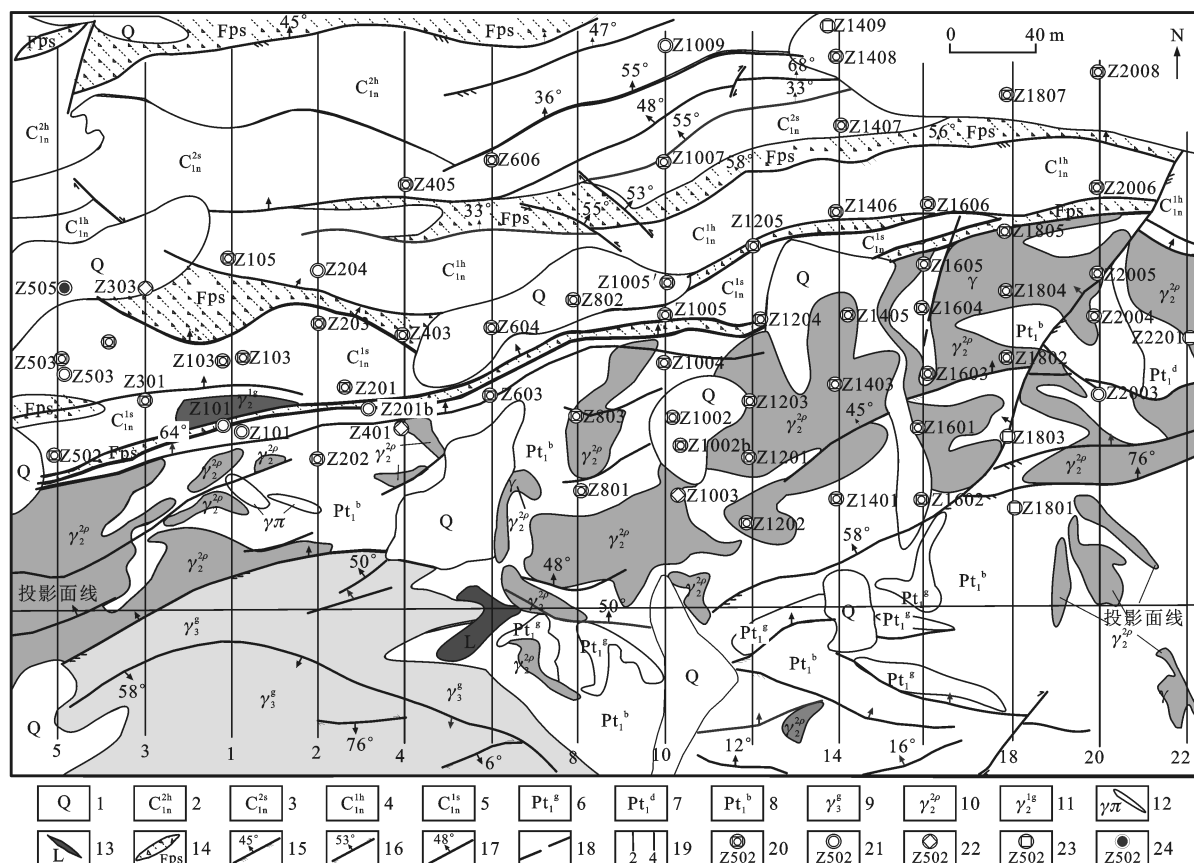


Fig. 2 Geological Sketch Map of 7210 Deposit

山群应该是与罗圈组相当的地层。

根据罗圈组冰积层及其相当沉积层系的分布,中朝陆块主体(鄂尔多斯—华北—朝鲜半岛)和阿拉善板块在震旦纪时期是连在一起的。中朝陆块此时以祁连裂陷槽(兴凯—加里东祁连洋)为界,与塔里木—柴达木板块被海洋所分隔,但它们之间的距离不远。一般认为该期的裂陷槽还属于大陆裂谷性质,是白银厂—祁连郭米寺一带大型铜多金属矿床形成的控制因素。而处于中朝陆块阿拉善板块西南缘的龙首山边缘沉降带此时处在祁连裂陷槽的东北缘,接受了孩母山群冰川—浅海相沉积。

3.2 古生代边缘沉降带活化隆起和陆缘带局部坳陷时期

古生代构造期主要经历了寒武纪—早泥盆世(祁连期)边缘沉降带活化隆起和中泥盆世—中二叠

世(天山期)陆缘带局部坳陷两个阶段

3.2.1 寒武纪—早泥盆世(祁连期)边缘沉降带活化隆起阶段

阿拉善板块和柴达木板块从太古宙到中寒武世时期一直处在中朝陆块的西部。然而,从晚寒武世开始到奥陶纪—志留纪,阿拉善板块四周发生裂陷,发育了半深海复理石沉积,并伴有基性火山喷发。生物组合变为华南型,说明阿拉善板块已脱离中朝陆块。奥陶纪是塔里木、柴达木和阿拉善等板块强烈拉张的时期,板块四周普遍发育半深海沉积。上述板块之间的祁连与阿尔金地区火山活动强烈,并已发现许多奥陶纪残留洋壳的证据——蛇绿岩套;志留纪时期开始海退,并发生陆块碰撞,形成了祁连—阿尔金碰撞带(碰撞造山),使塔里木、柴达木、阿拉善板块及附近的小地块拼合到一起。祁连早古

生代碰撞带的深部地球物理剖面研究表明,阿拉善—敦煌板块楔入祁连的中地壳,断层带具有对冲特征,地壳浅部逆断层面为南倾,而下地壳的逆断层面为北倾。祁连—阿尔金碰撞带主要的碰撞和拼接时期包括北祁连带为 440~460 Ma,柴达木北缘为 465 Ma,阿尔金带西南段为 440~503 Ma,这样就形成了一个独立的新板块——西域板块。

在一个构造事件的早期,一般都有板块之间或板块边缘伸展作用所造成的基性或超基性岩浆活动,晚期则以板缘或板内挤压、缩短作用所形成的中酸性岩浆活动为主。进入古生代以来,随着祁连裂陷槽(兴凯—加里东祁连洋)的持续扩张,处于裂陷槽东北缘的龙首山边缘沉降带因受到强烈的挤压而活化,成为古生代时期大陆边缘构造岩浆活动带。边缘沉降带开始隆起并且遭受剥蚀,早古生代地层全部缺失。此前形成的元古代地层形成了强烈的全形褶皱和区域性挤压断裂带,褶皱轴向以 NWW—SEE 向为主,同时还伴随着强烈的区域变质和频繁的岩浆活动。位于龙首山成矿带中段的岌岭岩体同位素年龄为 488~529 Ma^[6-7],属早古生代早期(早寒武世—早奥陶世)。西域板块的祁连和河西走廊地区早古生代晚期的花岗岩岩浆活动最为强烈(年龄为 401~410 Ma)。7210 矿床中粒花岗岩(γ_3^s)9 个全岩样品 Rb-Sr 同位素年龄为(404±40)Ma。该数据误差较大,时间跨度从 444 Ma(早志留世)到 364 Ma(中泥盆世)。结合前述区域花岗质岩浆活动最强烈的时期为 401~410 Ma(属早泥盆世)的背景,该中粒花岗岩应该是祁连晚期早泥盆世(397~416 Ma)挤压环境下构造岩浆活动的产物。从区域上来看,北祁连加里东晚期中酸性岩浆侵入作用发生在志留纪末,部分延至泥盆纪^[8]。矿区正长岩(ξ_4)锆石 U-Th-Pb 同位素年龄为 351~451 Ma,数据误差更大,时间跨度从 451 Ma(晚奥陶世)到 351 Ma(早石炭世),差额达 100 Ma。根据区域构造演化及其与中粒花岗岩呈侵入接触关系来判断,矿区正长岩的侵入时间也应该在早泥盆世,在中粒花岗岩之后侵入,故亦属祁连晚期岩浆活动的产物。

3.2.2 中泥盆世—中二叠世(天山期)陆缘带局部拗陷阶段

晚古生代,祁连裂陷槽由扩张转变为缩短,与之毗连的龙首山陆缘带构造应力场则由挤压变为局部拉张。龙首山地区在经历了寒武纪—早泥盆世的剥蚀、夷平之后,在东部甘肃省金昌市附近接受了少量

的泥盆系和二叠系砂泥质沉积物,在红石泉以西和大泉一带形成了两个拉张带,在早石炭世接受了南洼顶组海陆交互相灰岩和陆源碎屑岩沉积。

3.3 中新生代断块活动时期

龙首山成矿带中生界沉积了侏罗系芨芨沟群湖沼相和白垩系庙沟群内陆湖沼相陆源碎屑建造,新生界主要为第四系河流相陆源碎屑。中新生代以菱形断块的不均衡升降运动为主,没有大规模的岩浆活动,为本区相对稳定时期。

4 区域大地构造演化对铀成矿时空上的控制

龙首山成矿带位于华北古陆西南缘,古陆块及其边缘是重要的铀成矿区域。一方面,古陆块是最早期形成的成熟陆块,本身 U 含量高,可以为铀成矿提供铀源;另一方面,古陆块边缘壳幔物质作用显著,成矿物质大规模富集,岩浆活动频繁,造山系不断活动,为铀成矿提供了有利的地质环境,使古陆块及其边缘成为铀矿集中区,一定程度上控制着铀矿床的时空分布^[9]。龙首山成矿带内矿床、矿点、矿化点的分布受元古界铀源层和不同时期产铀花岗岩的双重控制,矿体则定位于不同时期构造作用所形成的褶皱和断裂构造中。

龙首山成矿带从早元古代一直到中新生代均有铀矿化显示。与本区 3 个大的地质构造发展演化时期相一致,铀矿化也可以分为 3 个大的成矿期,即元古代成矿期、古生代成矿期和中新生代成矿期。

4.1 元古代成矿期

元古代地质发展奠定了后期成岩成矿的基础。一方面,现已发现的铀矿化点(带)绝大多数分布在元古界地层出露范围内,尤其集中在龙首山群发育地段,以变粒岩、片岩、千枚岩等 U 含量偏高的岩性更为有利;另一方面,由这些 U 含量较高的地层重熔而形成的花岗岩体(如岌岭岩体(形成于祁连期)和红石泉岩体)具有较高的 U 丰度。这些含 U 较高的花岗岩为后期热液型铀矿床的形成提供了直接的铀源。红石泉岩体中由龙首山群重熔而成的伟晶状白岗岩形成了 7210 矿床伟晶状白岗岩型铀矿化的第一次富集,在伟晶状白岗岩成岩晚期形成了范围较大的“全岩型”贫矿化。伟晶状白岗岩晶质铀矿 U-Pb 同位素年龄为(1 767±(141~162))Ma。

元古代是世界上最重要也是中国最早的铀成矿期。华北板块的东北部鞍山古陆块发现了中国最古老的铀矿床及矿点,如 410 矿床和 3075 矿床(辽宁连

山关),这两个矿床的成矿年龄分别为 $(1\ 933 \pm (89 \sim 109))\text{Ma}$ 及 $(1\ 851 \pm (71 \sim 80))\text{Ma}$ 。在 $1\ 850\text{ Ma}$ 左右有一期广泛区域变质作用和混合岩化作用,并在华北地台形成了广泛分布的一期铀矿化;该铀矿化同位素年龄为 $1\ 832 \sim 1\ 834\text{ Ma}$,是变质热液、混合热液或混合岩化作用形成的,包括辽宁连山关 3075 矿床、凤城翁泉沟铀铁硼矿床、营口六块地铀-黄铁矿矿床,山西平陆 405 矿床和甘肃红石泉 7210 矿床等^[10]。

4.2 古生代成矿期

古生代成矿期是本区铀的主要富集成矿期,与重熔的中酸性岩浆活动有关。该成矿期首先是以钠质活动为特征,形成钠交代型铀矿化,随后是以硅质活动为主的硅质脉型铀矿化,同期在吕梁期形成的伟晶状白岗岩型铀矿化基础上叠加了热液型铀矿化。

早古生代祁连裂陷槽的扩张造成了与之毗连的龙首山地区强烈的构造变形和大规模的重熔岩浆活动。切割到中地壳低速层的断裂诱发与地壳重熔相关的 S 型酸性岩浆活动,形成了对成矿有利的花岗岩体,如岌岭岩体等。岌岭岩体是以花岗岩为主的复式杂岩体,沿岌岭复背斜形成纺锤状岩基,夹持于两大断裂之间,呈 NWW 向展布,断续长达 54 km ,出露面积近 200 km^2 。该岩体主要由闪长岩、花岗岩、正长岩以及酸性和基性脉岩组成,同位素年龄为 $488 \sim 529\text{ Ma}$ (早寒武世—早奥陶世)。岌岭岩体由老地层重熔岩浆演化而成,具多期次、分异、演化完善和富铀等特点,中新生代又有适当的抬升,是区内最主要的产铀岩体,已经发现的 5 个矿床有 3 个(701、706、7201 矿床)产于该岩体中。

晚古生代中朝陆块和祁连地区处于相对稳定的时期,既没有受到北面天山—兴安碰撞带太大的影响,也基本上没有受到南面扬子板块及其附近地区伸展、张裂的影响。龙首山地区此时受局部伸展构造的影响,即总体上在挤压作用背景下,碰撞造山带内受局部伸展断裂(横张断裂)的控制,局部发生拗陷和断陷,形成陆源碎屑少量碳酸盐岩建造。自晚古生代直到中新生代,本区没有发生大规模的构造和岩浆活动,热液型铀矿床在这种局部伸展构造影响下形成,主要热液型铀矿床沥青铀矿同位素年龄主要分布在晚古生代(天山期)。构造活跃的碰撞造山期不利于岩浆和流体内成矿物质的聚集;相反,碰撞期形成的断层带在伸展期容易适度张开,成为许多矿床储集的良好空间。中国大陆最主要的内外生

成矿作用是板内伸展成矿作用,而不是与俯冲、碰撞造山作用或其他构造作用相关。碰撞构造作用很强的时期并不是主要成矿期。早古生代是本区碰撞构造作用很强的时期,故不是主要成矿期。

7210 矿床中粒花岗岩是古生代末期板缘挤压、缩短作用所形成的中酸性岩浆岩。7210 矿床铀矿体受伟晶状白岗岩体与龙首山群变质岩的接触界面以及伟晶状白岗岩与中粒花岗岩的接触界面的双重控制,铀矿化主要产在这两个接触界面之间的伟晶状白岗岩一侧(图 2、3)。在与变质岩内外接触带附近,铀矿体既赋存在花岗岩一侧,也赋存在变质岩一侧。在花岗岩一侧形成了伟晶状白岗岩型矿石,在变质岩一侧形成了石英岩型和变质片岩型矿石。同时,铀矿体严格受伟晶状白岗岩与中粒花岗岩接触界面的控制。铀矿化只产于伟晶状白岗岩一侧,而中粒花岗岩一侧则无矿化。这说明中粒花岗岩的侵入与伟晶状白岗岩中的热液型铀矿化具有一定的成因联系。由于中粒花岗岩的上侵,在挤压应力的作用下,在其上部较脆性的围岩-伟晶状白岗岩中产生了一系列与中粒花岗岩体边界平行的逆断层或挤压破碎带。这些逆断层或挤压破碎带在后期构造应力场转变为张应力时会呈现为张开的性质,易于富集成矿。矿床热液型铀矿化成矿年龄为 $300 \sim 350\text{ Ma}$ (早—晚石炭世)^[11]。

区域上,龙首山成矿带属于祁连—龙首山 NW

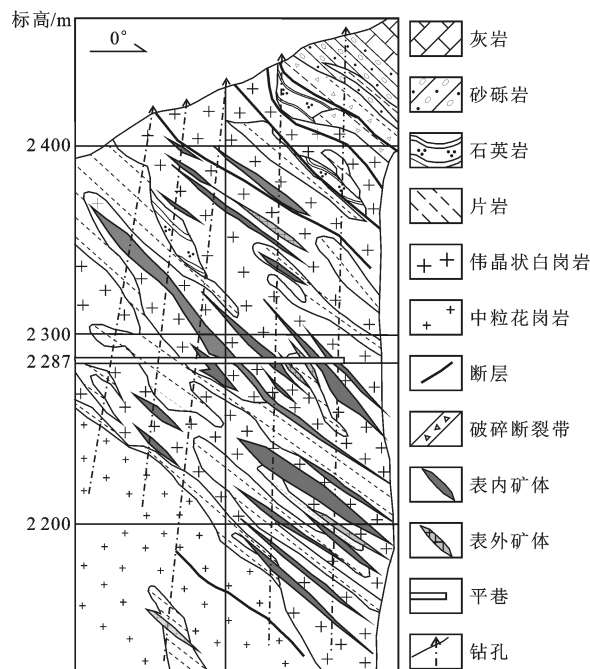


图3 7210 矿床 6 号勘探线地质剖面

Fig. 3 Geological Section Along Exploratory Line 6 of 7210 Deposit

向海西铀成矿带,海西期是主要的铀成矿期,印支期—燕山期岩浆活动造成了本区铀矿化的叠

加^[12-15]。北祁连中段北坡铀成矿区部分矿床、矿点矿石铀矿物同位素年龄见表 1。

表 1 部分矿床、矿点矿石铀矿物同位素年龄

Tab. 1 Isotope Ages of Uranium Minerals from Part Deposits and Ore Occurrences

序号	取样位置	测定矿物	绝对年龄/Ma	地质时代	构造期	资料来源
1	122 矿点	沥青铀矿	344	C ₁	天山期(260~397 Ma)	文献[7]
2	大羊尕	沥青铀矿	310	C ₂		
3	大羊尕	沥青铀矿	305	C ₂		
4	621 矿床	沥青铀矿	252~256	P ₃	印支期(200~260 Ma)	
5	701 矿点	沥青铀矿	175~177	J	燕山期(135~200 Ma)	
6	701 矿点	沥青铀矿	168~173	J		
7	621 矿床	沥青铀矿	170	J		
8	大乌龙沟	沥青铀矿	145~159	J		
9	大羊尕	沥青铀矿	131	K	四川期(56~135 Ma)	
10	621 矿床	沥青铀矿	90~91	K		

621 矿床矿石中的沥青铀矿有 3 组年龄数据,它们分别形成于印支期、燕山期和四川期,进一步表明本区铀矿化是成矿物质多期叠加的产物。

本区岷岭岩体成岩年龄为 488~529 Ma,而热液型铀矿成矿年龄为 99~398 Ma。巨大的矿-岩时差进一步支持了中国热液型铀矿成矿理论体系,即热液型铀矿的成矿年龄和岩体的成岩年龄往往间隔很大,即存在矿-岩时差。铀成矿和花岗岩体的形成不是同一作用的结果,无论是铀成矿的热液还是成矿的铀源,均与花岗岩浆的分异作用毫无关系,铀源来自岩石铀而不是岩浆铀。这一理论创新从科学上坚定了中国在花岗岩地区找铀矿的信念。矿-岩时差规律简易模式为:岩体铀活化、浸出→成矿^[16]。

4.3 中新生代成矿期

矿化类型有热液叠加型、淋积型和沉积型。祁连期形成的热液型矿化在其后多期次的构造旋回中多次叠加,最终形成了较富的热液叠加型矿化。

印支期(200~260 Ma),本区处于祁连强变形区和阿拉善弱变形区的过渡部位,龙首山地区遭受了较强的构造变形。在 NNE 向挤压缩短、NWW 向伸展作用下,祁连期形成的断层重新活动,NWW 向断层继续遭受挤压,岩石破碎程度加剧,断层规模进一步扩大;NNE 向断裂与区域最大主压应力方向近于平行或平行,断层性质具张扭性,从而为含铀热液的运移提供了有利通道。7210 矿床密集近平行发育的 NE—NEE 向含矿断裂可能部分是在这一时期形成的。NWW 向和 NNE 向断裂规模大,切割地壳较深,在成矿过程中起着导矿构造的作用,而 NE—NEE 向断裂与最大主压应力有较大的夹角,

因而断裂规模较小,在成矿中起着储矿构造的作用。该期形成的铀矿化在本区未获得同位素年龄数据,但邻区北祁连 621 矿床第一期铀矿化属于印支期,其同位素年龄为 252~256 Ma。

燕山期(135~200 Ma),本区处于西北微弱变形区,走向为近 EW 向断层,在燕山期的断裂活动性不太大,近 SN 向的伸展作用则比较明显,断层主要表现为正断层的活动特征。该期成矿作用在本区不明显,但在邻区北祁连地区比较明显(表 1)。

四川期(56~135 Ma),阿尔金—祁连地区处于强变形区,与之毗连的龙首山地区不可避免地受到影响。该期构造应力场方位与印支期基本相同,又一次遭受了 NNE—SSW 向近水平的缩短作用和 NWW—SEE 向的水平伸展作用。7210 矿床早先形成的走向近 EW 向和 NWW 向的断层在四川期有一定程度的重新活动,沿原有断裂面发生逆断层活动;原走向为 NE 的断层由于和当时区域最大主应力方向呈小角度相交,都表现为走滑-正断层特征,而走向为 NW 的断层则表现为右行走滑-逆断层活动;原先 NNE 向断层转为正断层。NWW 向和近 EW 向逆断层的重新活动标志着成矿母岩体——伟晶状白岗岩、岷岭岩体等产铀岩石遭受了更强烈的破碎,为岩体中品质铀矿的迁出以及水岩反应的充分发生创造了有利条件。NE—NNE 向走滑-正断层的继续活动为热液运移提供了畅通的通道。成矿物质最后在溶液相对滞流的 NE—NEE 向及部分近 EW 向次级裂隙中沉淀富集。706 矿床晚成矿期沥青铀矿同位素年龄为 99~122 Ma,属四川期;邻区 621 矿床第三期沥青铀矿同位素年龄为

90~91 Ma,亦属四川期。

喜马拉雅期(0.78~23.00 Ma)中国大陆构造应力场以SN向近水平的缩短作用和近EW向的水平伸展作用为主要特征。该期中国大陆西部地区的构造变形相当强烈,构成了一个规模巨大的青藏逆掩断层系统,其东北前缘到达龙首山—海原逆掩断层带,西侧为阿尔金左行走滑断层带,东侧是大雪山东缘—小江右行走滑-正断层。在此范围内的一系列走向NWW的断层都构成了一个个叠瓦状逆掩断层系,其中包括中祁连南缘逆掩断层和北祁连北缘逆掩断层。该构造期铀成矿作用缺乏同位素年龄证据,可能主要形成断块的升降及与之相关的表生淋积型铀矿化。淋积型矿化形成了有工业意义的矿床——1204矿床。

总之,中国大陆西部地区祁连期、天山期、印支期、四川期和喜马拉雅期的褶皱几乎是在同一方向的缩短作用下叠加而成。7210矿床吕梁期形成了伟晶状白岗岩型铀矿化体,祁连期和天山期的构造岩浆活动使较均匀弥散在岩体中的晶质铀矿部分发生活化并富集形成热液型铀矿体;印支期、四川期和喜马拉雅期较强烈的构造活动使伟晶状白岗岩、岷岭岩体等含矿岩石又多次遭受挤压破碎,产生更多的裂隙和断裂构造,早先形成的断裂又多次重新活动,岩石与热液接触的面积在每次构造活动后都会相应地增大。因此,岩石中更多的晶质铀矿等铀矿物中的铀会被萃取出来进入热液,溶解在热液中的铀在较封闭的NE—近EW向断裂构造中还原沉淀,最后富集成具有工业意义的铀矿体。由此可见,本区7210矿床是在早期“岩体型”铀矿化的基础上叠加了多期热液型铀矿化而形成的,而701、706等碱交代热液型铀矿床和7201硅质脉热液型铀矿床也是由多期热液型铀矿化叠加富集形成的,它们均是区域地质构造演化的结果。

淋积型矿化受断块不平衡升降制约。较好的矿化多分布在断块相对隆起的部位,在相对隆起的断块上具有较多的矿化显示,如岷岭断块。这是由于断块的相对抬升,将较深部位形成的岩体和矿化抬升到浅部,有利于后期地质作用发育,使矿化再富集而被发现。该类型铀矿床以1204矿床为代表。

5 结 语

(1)龙首山地区大地构造演化主要经历了元古代龙首山边缘沉降带形成和发展、古生代边缘沉降带活化隆起和陆缘带局部拗陷、中新生代断块

活动3个构造时期。7210矿床属于吕梁期伟晶状白岗岩(γ_2^g)和祁连期中粒花岗岩(γ_3^g),其先后对矿区“岩体型”铀矿化体的形成和热液型铀矿化体的叠加具有决定性的作用。形成于祁连期的岷岭岩体是本区最主要的产铀岩体。天山期是本区热液型铀矿化的主要形成时期。印支期、四川期和喜马拉雅期的构造热液活动对前期热液型铀矿体进行多期次的叠加和改造,最终形成了目前具有工业意义的铀矿床。

(2)中国热液型铀矿具有“源-运-导-集-存”基本成矿规律,即热液型铀矿遵循塔级式定向累积增量预富集模式:地层预富集→岩体预富集→构造、热液蚀变预富集→脉体叠加工业富集。龙首山成矿带符合这一成矿规律,其成矿模式可概括为:下元古界地层预富集→(吕梁期)伟晶状白岗岩体预富集(或祁连期花岗岩类岩石预富集)→(天山期)断裂构造、热液蚀变预富集→(印支期、四川期和喜马拉雅期)脉体叠加工业富集。这一成矿过程完全由区域地质构造演化控制。

(3)龙首山成矿带位于华北古陆西南缘,古陆块及其边缘是重要的铀成矿区域。找矿实践证明,龙首山成矿带具有有利的成矿条件和较好的铀成矿前景。

参 考 文 献 :

References :

- [1] 彭永石,胡俊祯,金才坤,等.甘肃省龙首山成矿带成矿规律及远景评价[R].咸阳:核工业部西北地质勘查局二〇三研究所,1986.
PENG Yong-shi, HU Jun-zhen, JIN Cai-kun, et al. Evaluation of Metallogenic Rule of Longshoushan Metallogenic Belt and Prospecting in Gansu Province [R]. Xianyang: No. 203 Research Institute, Northwest Bureau of Geology and Exploration of Ministry of Nuclear Industry, 1986.
- [2] 万天丰. 中国大地构造学[M]. 北京:地质出版社, 2011.
WAN Tian-feng. China Geotectonics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [3] 汤中立. 华北古陆西南缘(龙首山—祁连山)成矿系统及成矿构造动力学[M]. 北京:地质出版社, 2002.
TANG Zhong-li. Metallogenic System and Metallogenic Tectonic Dynamics in Southwest Margin of North China Block (Longshou Mountain-Qilian Mountain) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.
- [4] 马章海,李继刚. 龙首山铀矿带207矿床初步勘探总

- 结报告[R].武威:核工业部西北地质勘查局二一二大队,1986.
- MA Zhang-hai, LI Ji-gang. Report of Preliminary Exploration for 207 Deposit in Longshoushan Uranium Ore Belt[R]. Wuwei: No. 212 Team, Northwest Bureau of Geology and Exploration of Ministry of Nuclear Industry, 1986.
- [5] 汤中立, 钱壮志, 姜常义, 等. 岩浆硫化物矿床勘查研究的趋势与小岩体成矿系统[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(1): 1-9.
- TANG Zhong-li, QIAN Zhuang-zhi, JIANG Chang-yi, et al. Trends of Research in Exploration of Magmatic Sulfide Deposits and Small Intrusions Metallogenic System[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(1): 1-9.
- [6] 刘洛图, 王 健. 大胆实践, 认真研究, 突破 701、706 碱交代型铀矿床[C]//核工业部地质局. 中国铀矿床发现和发展实例(1955~1985). 北京: 核工业部地质局, 1985: 17-31.
- LIU Luo-tu, WANG Jian. Practicing Boldly, Studying Seriously and Breaking Through 701, 706 Uranium Deposits with Alkali Metasomatism Type[C]// Bureau of Geology, Ministry of Nuclear Industry. Examples of Discovery and Development of Uranium Deposits in China(1955-1985). Beijing: Bureau of Geology, Ministry of Nuclear Industry, 1985: 17-31.
- [7] 安国堡. 青海省冷龙岭地区铀成矿规律探讨[R]. 西宁: 核工业部西北地质勘查局六五二大队, 1985.
- AN Guo-bao. Study on Uranium Metallogenic Regularity in Lenglongling Area of Qinghai Province[R]. Xining: No. 652 Team, Northwest Bureau of Geology and Exploration of Ministry of Nuclear Industry, 1985.
- [8] 杨森楠, 杨巍然. 中国区域大地构造学[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- YANG Sen-nan, YANG Wei-ran. Regional Tectonics in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [9] 宋继叶, 蔡煜琦, 姚春玲, 等. 古陆块及其边缘与铀成矿的关系[J]. 铀矿地质, 2011, 27(1): 8-12.
- SONG Ji-ye, CAI Yu-qi, YAO Chun-ling, et al. The Relationship Between Paleo-landmass and Uranium Mineralization in China[J]. Uranium Geology, 2011, 27(1): 8-12.
- [10] 王文广, 王 驹. 连山关铀矿床特殊的工业铀矿物组合及其特征和意义[J]. 铀矿地质, 1991, 7(4): 196-205.
- WANG Wen-guang, WANG Ju. The Unique Economic Uranium Mineral Assemblage in Lianshanguan Uranium Deposit and Its Characteristics and Significance[J]. Uranium Geology, 1991, 7(4): 196-205.
- [11] 辛存林, 马维云, 安国堡, 等. 甘肃龙首山 207 铀矿床成矿地质特征及其成矿机制探讨[J]. 地质学报, 2013, 87(4): 578-590.
- XIN Cun-lin, MA Wei-yun, AN Guo-bao, et al. Geological Characteristics and Mineralization Mechanism of the No. 207 Uranium Deposit in Longshoushan, Gansu Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(4): 578-590.
- [12] 魏晋庭, 安真昌, 安国堡. 北祁连中段北坡铀矿地质特征[J]. 地质找矿论丛, 2009, 24(2): 117-122.
- WEI Jin-ting, AN Zhen-chang, AN Guo-bao. Geological Features of Uranium Mineralization in the Northern Slope of the Middle Sector of North Qilian Mountains[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2009, 24(2): 117-122.
- [13] 赵如意, 姜常义, 陈 旭, 等. 甘肃省龙首山成矿带中段钠长岩脉地质特征及其与铀矿化关系研究[J]. 地质与勘探, 2015, 51(6): 1069-1078.
- ZHAO Ru-yi, JIANG Chang-yi, CHEN Xu, et al. Geological Features of Albitite Veins and Its Relationship with Uranium Metallogenic in the Middle Longshou Mountains of Gansu Province[J]. Geology and Exploration, 2015, 51(6): 1069-1078.
- [14] 聂 利, 赵如意, 陈 旭, 等. 甘肃省龙首山成矿带芨岭岩体闪长岩特征及其与铀成矿关系[J]. 现代地质, 2016, 30(4): 760-769.
- NIE Li, ZHAO Ru-yi, CHEN Xu, et al. Characteristics of Diorite from Jiling Pluton and Its Relationship with Uranium Metallogenic in Longshou Mountains, Gansu Province[J]. Geoscience, 2016, 30(4): 760-769.
- [15] 陈云杰, 傅成铭, 王 刚, 等. 花岗岩型热液铀矿床 C、O 同位素研究: 以甘肃省龙首山芨岭矿区为例[J]. 地质与勘探, 2014, 50(4): 641-648.
- CHEN Yun-jie, FU Cheng-ming, WANG Gang, et al. Carbon and Oxygen Isotopes in Granite-type Hydrothermal Uranium Deposits: A Case Study of the Jiling Uranium Ore Field in Longshoushan, Gansu Province[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(4): 641-648.
- [16] 杜乐天. 中国热液铀矿成矿理论体系[J]. 铀矿地质, 2011, 27(2): 65-68.
- DU Le-tian. On the Theory System of Hydrothermal Uranium Metalization in China[J]. Uranium Geology, 2011, 27(2): 65-68.