

北祁连中段北坡铀矿地质特征

魏晋庭, 安真昌, 安国堡

(甘肃省核工业地质局 212 大队, 甘肃 武威 733040)

摘要: 北祁连中段北坡是甘肃西部的一个铀成矿带, 下奥陶统火山岩、下志留统条带状砂岩及硅质岩、上泥盆统块状砾岩和含砾砂岩是重要的含铀建造; 矿化受断裂和裂隙构造控制, 区域性 NW 向构造岩带控制着矿带的延展方向, 矿体产于多次活动的断裂构造带中; 矿化与岩体有密切的时空关系, 许多矿点和矿化点围绕岩体分布或产于岩体内部, 晚加里东—晚燕山期的火山—次火山中酸性岩浆活动引起和促进了含铀建造中铀的活化、迁移和富集; 铀矿化是地层、构造和岩浆活动共同作用的结果, 矿化类型属于钠交代热液型。

关键词: 铀成矿带; 成矿作用; 冷龙岭; 北祁连

doi: 10.3969/j.issn.1004-1412.2009.02.005

中图分类号: P613; P619.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1412(2009)02-0117-06

0 引言

本文所讨论的北祁连中段北坡的范围, 是指东起直河, 西至黑河, 呈 NW-SE 向狭长带状展布的北祁连山冷龙岭北坡地区, 其行政区划隶属甘肃省肃南县、民乐县以及青海省的祁连县。

该区的区域地质调查和找矿勘查工作始于 20 世纪 50 年代末, 发现了煤、铁、锰、铜、汞、金等多种矿产。铀矿地质工作始于 1956 年, 先后有多家地勘单位在该区做了大量卓有成效的工作, 发现了一批铀矿床(点), 同时积累了丰富的资料^{①②}。总结已知矿床(点)地质特征、分析控矿地质因素、探讨矿床形成机理, 对提高铀矿研究水平和促进隐伏矿的找矿勘查具有重要意义。

1 区域地质特征

北祁连中段北坡地处北祁连加里东构造带走廊南山北坡—毛毛山—南华山复向斜之次级构造单元冷龙岭复向斜。

区内地层以古生界为主, 中生界出露有限, 仅见

三叠系和白垩系分布于南缘主脊分水岭一带, 新生界主要沉积于走廊南山北坡低海拔地带(图 1)。

区内地质构造复杂, 褶皱构造分为两大类型, 加里东期呈紧密线状, 其他各期均为开阔平缓状; 断裂构造多呈 NW-SE 向密集分布, 冷龙岭复向斜南缘断裂带和北缘断裂带构成了区内基本构造骨架。

区内岩浆活动频繁, 加里东期火山活动尤为强烈(表 1)。

2 区域铀矿化特征

2.1 区域铀矿化类型与产出特征

区内共发现异常点带 901 个, 有远景意义的点带 300 个, 其中矿化点 38 个、矿点 6 个、大型矿床 1 个。铀矿化大部分是铀型(占 90.90%), 少数是钍型(1.78%)和铀钍混合型(0.89%), 其余(6.44%)为未分型。铀矿化成因类型有热液型(75.03%)、沉积型(17.98%)、淋滤型(6.33%)和沉积变质型(0.67%), 其中有工业意义的是热液型。热液型按含矿围岩又可分为钠交代砂砾岩型、钠交代火山岩型和钠交代花岗岩型。砂砾岩型分布最广、数量最多; 火山岩型数量不多, 但具重要的找矿意义; 花岗岩型有利于扩大找矿领域。

收稿日期: 2008-10-24

作者简介: 魏晋庭(1965-), 男, 工程师, 主要从事地质找矿与地质管理工作。通信地址: 甘肃省武威市四号信箱; 邮编: 733040; E-mail: anguobao01@163.com

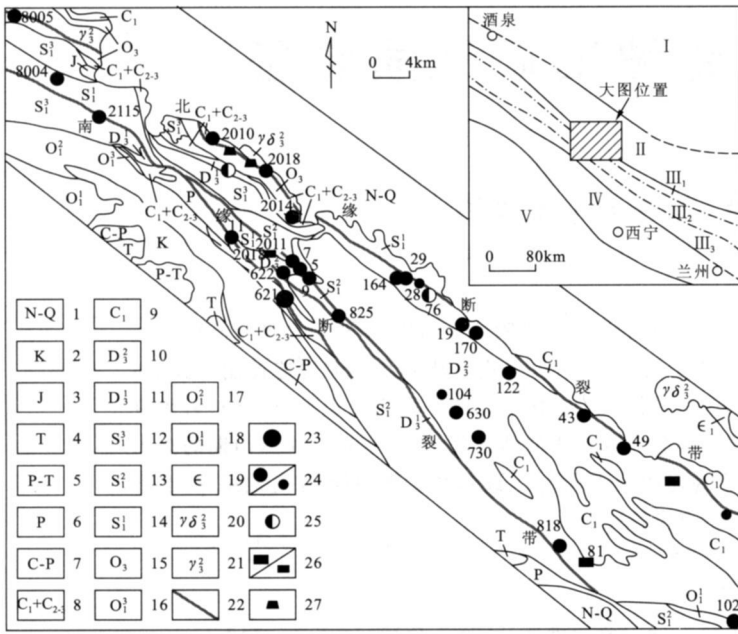


图 1 北祁连中段北坡区域地质略图

Fig. 1 Simplified regional geological map of northern slope of the middle sector of north Qilian mountains

1. 新生界 2. 白垩系 3. 侏罗系 4. 三叠系 5. 二叠-三叠系 6. 二叠系 7. 石炭系
8. 下石炭统+中上石炭统 9. 下石炭统 10. 上泥盆统上岩段 11. 上泥盆统下岩段
12. 下志留统上岩段 13. 下志留统中岩段 14. 下志留统下岩段 15. 上奥陶统
16. 下奥陶统上岩段 17. 下奥陶统中岩段 18. 下奥陶统下岩段 19. 下寒武统
20. 加里东中期花岗岩 21. 加里东中期花岗岩 22. 断裂 23. 热液型铀矿 24. 热液型铀矿(化)点/异常点 25. 热液型铀钍混合型矿化点 26. 沉积型铀矿化点/异常点 27. 淋积型铀异常点

本区铀矿化主要分布在冷龙岭主脊北坡冷龙岭复向斜南北缘断裂带及其所夹持的“入”字型地块内,铀矿床、铀矿点和矿化点沿南北缘断裂带密集分布,构成了冷龙岭成矿带的南缘成矿亚带和北缘成矿亚带。

区内矿床、矿点、矿化点和异常点大多数分布在上泥盆统(717 个,占统计总数的 79.58%),部分分布在下志留统(66 个,占 7.33%)和石炭系(70 个,占 7.77%),少数在奥陶系中(20 个,占 2.22%)、二叠系(19 个,2.11%)和三叠系(6 个,0.67%),寒武系(2 个,0.22%)和白垩系(1 个,0.11%)中仅零星分布。上泥盆统中矿点、矿化点数虽多,但迄今尚未突破;本区唯一的矿床(621 矿床)产于下志留统中。区内沉积型铀矿化点带虽多,但规模小、品位低,成矿远景不佳。

2.2 热液型铀矿化基本特征

本区热液型铀矿化含矿主岩主要有:①上泥盆

统紫红色长石石英砂岩夹泥质细砂岩(D_3^2),紫红色细-粉砂岩夹长石石英砂岩、砂砾岩(D_3^{1-3}),紫红色长石石英砂岩、砂砾岩(D_3^{1-2}),紫红色片理化砾岩、砂岩及泥质粉砂岩(D_3^{1-1});②下志留统中岩组变砂岩、砂板岩(S_1^2);③上奥陶统火山岩(O_3)和下统下组火山岩夹板岩、千枚岩(O_1^1)。

矿(化)体产于低级别、低序次裂隙内或地层不整合面附近。矿(化)体呈似层状、脉状、透镜状、扁豆状,长几十米到几百米,甚至大于 1 km,宽几米到几十米,矿石最高品位达 0.38% (如 122 矿点)。矿石具胶状、粒状结构,脉状、网脉状、细脉浸染状、角砾状、团块状构造。矿石矿物成分简单,除铀外,含少量的黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿等金属硫化物以及赤铁矿、镜铁矿等。脉石矿物有钠长石、绿泥石和碳酸盐等。铀以独立铀矿物或分散吸附状态存在:原生铀矿物为沥青铀矿和晶质铀矿,前者分布普遍,后者仅在少数点上出现。沥青铀矿呈脉状、网脉状、浸染状、团块状或肾状,与赤铁矿、绿泥石、铁绿泥石或方解石共生;晶质铀矿呈六边形或四边形,浸染状或粒状集合体脉与铁绿泥石、赤铁矿或铁白云石共生。次生铀矿物为铀黑、菱镁铀矿、纤铀碳酸盐、铜铀云母、钙铀云母等。分散吸附状态的铀呈超显微离子团分散在矿石的孔隙和胶结物中,被尘埃状赤铁矿、铁绿泥石吸附,少量被黄铁矿、闪锌矿吸附。本区热液型铀矿床(点)主要产出层位及代表性矿床(点)主要地质特征见表 2。

2.3 热液蚀变类型和分带特征

本区与铀矿化有关的蚀变主要是钠长石化、赤铁矿化、绿泥石化及碳酸盐化。

钠长石化是本区分布最广的一种热液蚀变,泥盆系及其以前各时代地层(如志留系和奥陶系)均发生了钠交代蚀变,形成了钠交代岩。粒状、糖粒状、短柱状钠长石常呈不连续脉状、团块状交代上泥盆统和下志留统砾岩、砂岩以及闪长玢岩和安山岩等。钠长石常呈糖粒状交代长石、石英,或充填于裂隙中形成钠长石细脉,交代钾长石、斜长石时形成棋盘格子状构造。钠长石交代砾岩时,主要交代胶结物。钠交代主要发生在矿前期,成矿期较弱。钠交代的范围比铀矿化范围大几倍到几十倍,是本区重要的找矿标志。

表 1 北祁连中段北坡岩浆活动期次划分表

Table 1 Division of magmatic activities in the northern slope of the middle sector of North Qilian Mountains				
岩浆期次	岩石类型	产状	产出层位	同位素年龄(M a)
印支—燕山	云斜煌斑岩	岩脉		157, 157, 131
	花岗闪长岩	小岩体	D ₃ ⁺²	
	闪长玢岩		O ₁ ¹	
	闪长岩		O ₁ ¹	
	辉长岩		O ₁ ¹	
	辉石橄榄岩	似脉状、岩株	O ₁ ¹	
海西	云斜煌斑岩	岩脉		317
	流纹质凝灰熔岩	同地层一致	D ₃ ⁺²	394, 15, 328, 21
	石英斑岩	次火山岩体		
	安山玢岩	次火山岩体	D ₃ ⁺³ , D ₃ ⁺²	
	白云母花岗岩			310
	黑云母花岗岩	小岩体	C ₁ ¹	
	花岗闪长岩	小岩体	C ₃ ⁺²	
	闪长玢岩	岩枝	D ₃	
	安山岩	层状	O ₁ ¹ , O ₃ ¹ , O ₃	
加里东	安山玄武岩	层状	O ₁ ¹ , O ₁ ³ , O ₃	
	玄武岩	层状	O ₁ ¹ , O ₁ ³ , O ₃	
	似斑状花岗岩			410
	花岗岩	小岩体	Є, O ₃	
	花岗闪长岩	小岩枝	O ₃	
	闪长玢岩	小岩株	S ₁ ² , S ₁ ³	
	辉绿玢岩	岩墙	S ₁ ²	
	花岗岩	小岩体	O ₃	
	斜长花岗岩	岩枝	O ₁ ¹	
	花岗闪长岩	岩株	O ₁ ¹ , O ₃	
	闪长玢岩	小岩体	O ₃	
	闪长岩	小岩体	C ₁ ¹	
	斜方辉石橄榄岩	串珠状小岩体	O ₁ ²⁻¹	
	花岗闪长岩	岩株	Є	

赤铁矿化主要表现为赤铁矿、针铁矿、纤铁矿呈细小的尘点状、云雾状散染于长石、碳酸盐的表面或裂隙中。早期赤铁矿化分布广, 作用弱, 呈中等红化, 与晚期钠长石化伴生; 晚期赤铁矿化叠加于早期赤铁矿化之上, 分布范围较小, 但作用强烈, 同时伴随有绿泥石化、碳酸盐化、弱硅化和较好的铀矿化。赤铁矿化范围稍大于铀矿化。赤铁矿化与铀矿化正相关, 红化越强烈, 铀矿化越好。矿化富集处通常具有“红色蚀变”, 红色蚀变是本区最重要的找矿标志。

碳酸盐化分布较广, 作用时间较长。可见方解石、白云石、菱铁矿交代围岩中的暗色矿物、长石或胶结物, 或呈细脉状、团块状充填岩石裂隙。矿前期和成矿期碳酸盐呈脉状、团块状或分散粒状, 与赤铁矿伴生; 矿后期为白色细脉穿插于矿石中。

绿泥石化普遍发育, 但强度较弱。与铀矿化关系密切的是细小鳞片状铁绿泥石, 与沥青铀矿紧密共生。

硅化也是比较普遍的一种蚀变, 蚀变作用持续

时间较长, 但在铀矿化强烈部位硅化相对较弱。由于成矿过程中的去硅作用, SiO₂ 迁移到矿体外围富集, 从而形成环绕矿(化)体分布的硅化圈。

根据蚀变矿物组合和空间分布特征, 从矿体到围岩可划分出如下几个蚀变岩相带: ①内部带: 主要由赤铁矿、铁绿泥石、铁白云石、碳酸盐组成, 含少量金属矿物(黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、辉锑矿、方铅矿), 岩石颜色较深, 铀主要富集于该带; ②过渡带: 主要蚀变为钠长石化和浸染状硅化, 赤铁矿和金属矿物较少, 铀矿化较贫; ③边缘带: 由绿泥石、碳酸盐、硅化脉以及绢云母等组成, 岩石因发生退色蚀变而颜色变浅, 该带无铀的富集。

2.4 矿化阶段

根据矿体中各种矿物细脉之间的穿切关系, 可将本区热液型矿体成矿作用划分为 5 个阶段。

第 I 阶段(钠长石阶段): 主要形成钠长石—白云石—方解石组合, 属矿前期阶段, 矿化微弱, 形成的钠长石—碳酸盐带相对较宽。

表 2 北祁连中段北坡代表性热液铀矿床(点)一览表

Table 2 Basic geological features of the typical hydrothermal type uranium deposits(or prospects) in the northern slope of the middle sector of North Qilian Mountains

矿床(点)代号	矿床类型	含矿地层及岩性	控矿构造	围岩蚀变	矿化规模
621 矿床	钠交代砂砾岩型	S ₁ ² 条带状硅质砂岩	NE 向张裂隙, 近 SN 和近 EW 向扭性裂隙	钠长石化、赤铁矿化、镜铁矿化、铁绿泥石化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化	矿床
622 矿点	钠交代砂砾岩型	D ₃ ^{*2} 片理化砾岩、块状砾岩、砂岩	NE 向张裂隙, NW 向压扭性裂隙	钠长石化、赤铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化、镜铁矿化、硅化	工业储量 100t
29 矿点	钠交代砂砾岩型	S ₁ ² 硅质细砂岩	断裂破碎带	钠长石化、赤铁矿化、硅化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化	长 2 km, 宽十几米
825 矿化点	钠交代砂砾岩型	S ₁ ² 角闪斜长 安山玢岩、硅质条带状砂岩	内外接触带、不整合面、NW 向小断裂、NW 向张裂隙	钠长石化、赤铁矿化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化	长 20m (矿体), 最高品位 0.048%
118 矿化点	钠交代砂砾岩型	D ₃ ^{*1} 紫红色砾岩、含砾砂岩	65°∠31°, 180°∠68° 羽状裂隙	赤铁矿化、钠长石化、硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化	长 110 m, 宽 4m, 80~200y
170 矿化点	钠交代砂砾岩型	D ₃ ^{*2} 中粒-中粗粒长石英砂岩	245°∠85° 压扭性断裂	钠长石化、赤铁矿化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化	长 1500m, 宽 40m, 最高品位 0.070%
122 矿点	钠交代砂砾岩型	D ₃ ^{*2} 肉红色蚀变砂岩及砂砾岩	走向 340° 和 25° 压扭性裂隙	钠长石化、赤铁矿化、黄铁矿化、方铅矿化、黄铜矿化、绿泥石化、绢云母化、硅化	长 1800m, 宽 40~140m, 品位 0.010%~0.380%
49 矿化点	钠交代砂砾岩型	D ₃ ^{*2} 中粗粒长石英砂岩、流纹质凝灰熔岩	NW 向压扭性裂隙、NE 向张性裂隙	钠长石化、赤铁矿化、黄铁矿化、碳酸盐化、硅化、绿泥石化、绢云母化	长 300m, 宽 2m, 50~1000y
52 矿化点	钠交代砂砾岩型	P 灰白-灰色石英砂岩	NW 向层间破碎带	钠长石化、赤铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化	长 1000m, 宽 50m, 200~1000y
102 矿点	钠交代火山岩型	D ₃ ^b , O ₁ 中粗粒长石英砂岩、安山玄武质凝灰岩	近 EW 和近 SN 直交裂隙	钠长石化、赤铁矿化、碳酸盐化、绢云母化	长 1300 m, 宽 1.25 m, 品位 0.01%~0.05%
2004 矿化点	钠交代火山岩型	O ₃ 熔岩角砾岩	压扭断裂 50°∠60°, 张裂隙 133°∠63°	钠长石化、赤铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、硅化、黄铁矿化	长 500m, 宽 40~80m, 品位 0.050%~0.062%

阶段 II(红化阶段): 主要形成赤铁矿-菱铁矿-铁白云石-方解石-钠长石组合, 属成矿早期阶段, 所形成的红化带较窄, 矿化强度较高, 但尚未形成富矿体。

阶段 III(铁绿泥石-沥青铀矿阶段): 矿石矿物包括黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和沥青铀矿, 脉石矿物包括绿泥石、铁白云石、方解石、菱铁矿、赤铁矿、石英和萤石等。属成矿晚期阶段, 是铀的主要成矿阶段。

阶段 IV(镜铁矿-白云石阶段): 以出现镜铁矿为特征, 主要由白云石、方解石、镜铁矿、菱铁矿组成。在坑道壁上可见该阶段形成的白云石-镜铁矿脉穿切成矿期形成的石英脉或红化脉。该阶段属于矿后期。

阶段 V(表生氧化阶段): 主要形成蓝铜矿、孔雀石、纤铀碳钙石、菱镁铀矿等。

3 主要控矿因素

3.1 地层岩性的控矿作用

微量铀分析表明, 奥陶系、下志留统、上泥盆统铀丰度较高, 平均为 7.3×10^{-6} , 有些地区高达 $30 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$, 可以为铀成矿提供较丰富的物源。下奥陶统火山岩、下志留统条带状砂岩和硅质砂岩、上泥盆统块状砾岩、含砾硬砂岩以及中细粒长石英砂岩是本区主要的含矿岩石。

3.2 构造对成矿的控制作用

本区铀矿床(点)绝大部分沿冷龙岭北坡复式向斜两翼的南、北缘断裂带分布。在矿床(点)上, 统计结果表明含矿构造是多方向的, NW 向、NE 向、近 EW 向、近 SN 向断裂都有可能含矿。地层不整合面附近是矿化最易发生的部位, 矿体多位于断裂构造切割不整合面的交汇处。在下志留统与上泥盆统

之间的角度不整合面附近有较普遍的蚀变和矿化现象,南缘亚带中如 825 矿化点、大羊尕的一些矿化点以及大连土 10 号矿化点,北缘亚带中如 29 号矿点均产在不整合面上下两盘。下志留统在隆起带上长期遭受风化剥蚀,为上泥盆统提供了铀源。

构造的多期活动造成本区铀矿化的叠加富集。矿石多具压碎结构、胶状结构以及角砾状构造,表明晚期矿化叠加在了早期矿化之上。矿床中矿、岩的时差大,矿石同位素年龄跨度较大(如 621 矿床)暗示矿床曾经历了多期的成矿作用。

3.3 岩浆活动与成矿的关系

(1) 空间分布关系。本区岩浆岩和铀矿化都沿南、北缘断裂带分布,形成了南北两条岩浆岩-铀矿化带。许多铀矿(化)点和异常点都分布在岩体或岩脉的内外接触带或其附近,有的直接产在侵入体、次火山岩体或火山岩体中。如大羊尕 701 号点产在闪长玢岩中,白石崖 57 号点产在安山玢岩中,牧场山 2004 号点和窑洞沟 825 号点产于火山岩中,平姜沟 88 号点产在流纹斑岩中。区内主要的产铀地层中都有不同期次的深成侵入岩、次火山岩或火山岩(表 1)。

(2) 时间关系。本区铀矿成矿期和岩浆活动时期相吻合。加里东晚期和海西早期碱性岩浆活动导致了本区泥盆系及其之前的地层发生了强烈的钠交代。岩浆和火山活动强烈的海西期是本区主要的铀成矿期(表 1,表 3),印支-燕山期岩浆活动造成本区铀矿化的叠加。

(3) 成因关系。岩浆岩和矿化蚀变岩化学组成上有一个共同的特点,就是碱质含量都比较高, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 平均值达 6.61%, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 3.07$ 。可以看出,岩浆活动除了提供热动力条件外,岩浆物质还直接参与了铀的成矿作用。蚀变岩与岩浆岩之间在特征和成分上的连续性和相关性说明导致碱交代的流体主要源自岩浆,成矿作用是岩浆作用、碱交代作用的结果,二者具有直接的成因关系。就区域上来说,祁连山北缘断裂带内发育与深源幔汁活动有关的碱交代型铀矿床。

4 矿床成因

4.1 成矿时代

核工业部北京三所曾对区内部分矿床(点)的矿石进行了同位素年龄测定,测试结果列于表 3。

表 3 北祁连中段北坡矿石中矿物的形成时期表
Table 4 Chronology of minerals in ore in the northern slope of the middle sector of North Qilian Mountains

取样位置	测定矿物	年龄(Ma)	地质时代	构造运动
621 矿床	钠长石	405	S ₃	加里东晚期
621 矿床	钠长石	400		
122 矿点	沥青铀矿	344	D ₂	海西早期
大羊尕	黑云母	317	C ₂	海西中期
大羊尕	沥青铀矿	310		
大羊尕	沥青铀矿	305		
621 矿床	沥青铀矿	252~256	P	海西晚期
701 点	沥青铀矿	175~177	J	印支-燕山期
701 点	沥青铀矿	168~173		
621 矿床	沥青铀矿	170		
大乌龙沟	沥青铀矿	145~159		
大羊尕	黑云母	157	K	
大羊尕	沥青铀矿	131		
621 矿床	沥青铀矿	90~91		

从表 3 可以看出,621 矿床钠长石形成于 400~405 Ma,另据有关资料^①,该矿床强钠长石化年龄为 360 Ma,据此可以推断 621 矿床钠长石大体形成于 405~360 Ma 之间,相当于志留纪末到晚泥盆世。该矿床产出的志留系中有加里东晚期的闪长玢岩和辉绿玢岩墙侵入,矿区早期的钠长石可能是这期岩浆活动的产物;较晚形成的钠长石则可能与海西早期的构造-岩浆活动有关。由于本区钠长石化蚀变主要发育在泥盆系及其以前各时代地层中,故本区碱交代作用不晚于泥盆纪末。621 矿床矿石中的沥青铀矿有 3 组年龄数据,它们分别形成于海西晚期、燕山早期和燕山晚期,暗示本区铀矿化是成矿物质多期叠加的产物。这一结论与野外观察相吻合。在坑道中可以看到,矿体与围岩界线清楚,矿体一侧颜色较深,围岩一侧由于发生了退色蚀变而颜色变浅,两者以明显的断裂面为界。早期贫矿形成之后,晚期矿化又沿构造裂隙叠加于早期贫矿体之上,从而形成了较富的铀矿体。从无矿围岩→贫矿体→富矿体,岩石颜色逐渐变深,三者分带明显。

从区域上来看,本区处于祁连-龙首山碱交代型铀成矿带,其成矿期属海西早期。

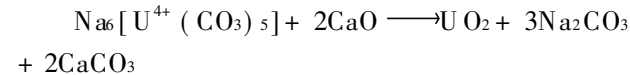
4.2 成矿温度

核工业北京三所曾对 621 矿床矿石中的黄铁矿、钠长石、沥青铀矿等矿物的形成温度采用不同的方法进行测定,其测定结果是,红化钠长石化砂岩中的黄铁矿气液包裹体爆裂法温度为 160 ℃,条带状钠长石化砂岩中的黄铁矿气液包裹体爆裂法温度为 220 ℃,钠长石均一法温度为 320 ℃,沥青铀矿的爆

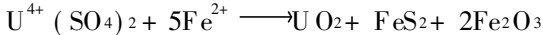
裂法温度为 380 ℃, 石英和白云石为 185~ 700 ℃。结合蚀变矿物的共生组合, 显示出该热液矿床早期形成温度为中高温, 中、晚期为中低温。

4.3 铀的成矿过程探讨

志留纪末所发生的加里东运动使祁连山地区的下古生界岩层发生强烈的变质变形, 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。621 矿床钠长石同位素年龄为 400~ 405 Ma, 证实钠交代作用发生于志留纪末期。钠交代使岩石中分散状态的铀初次富集; 海西中晚期, 花岗闪长岩、花岗岩、白云母花岗岩、安山玢岩和云斜煌斑岩脉等沿南、北缘断裂带侵入于泥盆系和石炭系, 并产生大量的含矿热液活动。这种热液不断从围岩中萃取活性铀进入溶液, 其中铀可能以碳酸盐络合物 ($\text{Na}_6[\text{U}^{4+}(\text{CO}_3)_5]$) 和铀的硫酸盐 $[\text{U}^{4+}(\text{SO}_4)_2]$ 形式存在。这种溶液在高压条件下沿构造带向上迁移、向两侧渗透, 在适当的环境下(如断裂构造、地层不整合面), 由于溶液 CO_2 的分压减小, CO_2 逸出, 含铀溶液与围岩中的 Ca, Mg 起作用生成沥青铀矿、方解石和白云石:



铀的硫酸盐 $[\text{U}^{4+}(\text{SO}_4)_2]$ 与低价铁相遇时则生成沥青铀矿、黄铁矿和赤铁矿的集合体:



绿泥石是岩石在钠交代过程中由黑云母等矿物蚀变而成。与铀矿关系密切的铁绿泥石是含低价铁 (Fe^{2+}) 的矿物, 大量绿泥石的存在是还原环境的重要标志。

本区铀矿床形成以后, 又经历了燕山期构造—岩浆活动的矿化叠加。

5 结论

北祁连中段北坡铀成矿的有利条件是: 含矿地

层中铀丰度较高, 地层间不整合面分布广泛, 断裂构造发育, 岩浆活动频繁, 热液蚀变强烈。有利的赋矿地层(岩性)为下奥陶统火山岩、下志留统条带状砂岩和硅质砂岩、上泥盆统砾岩和长英质砂岩。铀矿产于南、北缘深大断裂带及被其切穿的地层不整合面附近。铀矿化与加里东晚期、海西期以及印支—燕山期富钠质中酸性岩浆活动和中基性脉体活动有密切的成因联系。铀矿成因类型以钠交代砂(砾)岩型为主, 其次是钠交代火山岩型。

冷龙岭复向斜南、北缘断裂带是铀成矿的最有利地区, 下志留统、奥陶系和上泥盆统是成矿有利层位, 上泥盆统和下志留统不整合面附近的条带状砂岩、块状或片状砂(砾)岩和下奥陶统火山岩是寻找热液型铀矿床的构造和岩性标志。

- ① 核工业部西北地勘局 216 大队. 甘肃省北祁连中段铀矿化特征及成矿远景(内部资料). 1985.
- ② 核工业部西北地勘局 652 大队. 青海省冷龙岭地区铀成矿规律探讨(内部资料). 1985.

参考文献:

- [1] 黄净白, 黄世杰. 中国铀资源区域成矿特征[J]. 铀矿地质, 2005, (3): 129-138.
- [2] 杨森楠, 杨巍然. 中国区域大地构造学[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [3] 赵秀德. 华北地台区太古界含铁岩系中铀矿的成矿地质条件[J]. 地质找矿论丛, 1990, 5(1): 46-56.
- [4] 薛振华, 蒋振频, 董永杰, 等. 相山铀矿田邹家山工区含铀凝灰岩的矿化特征[J]. 铀矿地质, 2004, (2): 118-122.
- [5] 赫英. 碱交代作用及其与钨矿化的关系——主要以西华山钨矿为例[J]. 矿床地质, 1987, (2): 31-40.

MOLYBDENUM DEPOSIT AS AN EXAMPLE

WANG Cheng¹, GONG Qing-jie², XI Bin-bin³

(1. *Institute of Eastern China Geological and Mining Organization for Non-ferrous Metal, Nanjing 210007, China*; 2. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geoscience, Beijing 100083, China*; 3. *Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi 214151, Jiangsu, China*)

Abstract: Taking American Henderson porphyry Mo deposit as an example the author analyzes fluid evolution process of the ore-forming system from aspects of geochemistry, mineralogy etc. The ore fluid evolved temporally from high to low temperature with different mineral assemblages developed in different evolutionary stages and behavior disparity of different elements in the evolutionary way. The geochemical evolution way of fluid in varied sections followed roughly the same direction and pattern but differences occurred in certain stages due to variation of the fluid composition, emplacement depth and flowing direction.

Key Words: porphyry molybdenum deposit; evolution of fluid; geochemistry

(上接第 122 页)

GEOLOGICAL FEATURES OF URANIUM MINERALIZATION IN THE
NORTHERN SLOPE OF THE MIDDLE SECTOR
OF NORTH QILIAN MOUNTAINS

WEI Jin-ting, AN Zhen-chang, AN Guo-bao

(No. 212 Team of Geological Bureau of Nuclear Industry in Gansu Province, Wuwei 733040, Gansu, China)

Abstract: The northern slope of the middle sector of North Qilian Mountains is an uranium ore belt in the west Gansu province. Lower Ordovician volcanics, Lower Silurian banded sandstone and siliceous sandstone and Upper Devonian massive conglomerate and pebble-sandstone are the important U-bearing formation. The mineralization is controlled by faults and cracks, extension of the ore belt by the regional NW tectonomagmatic rock belt. Ore bodies occur generally in the multiply active fractural zones. The mineralization is closely related to intrusive body temporally and spatially so as to many ore (mineralization) occurrences which are located in the intrusive body or in the surroundings. Late Caledonian-Late Yanshanian volcanic-sub-volcanic intermediate-acidic magmatism played an important role in mobilization, transportation and enrichment of uranium from the formation. U-mineralization is the result of combination of the strata, tectonism and magmatism thus the Na replacement hydrothermal type.

Key Words: U-ore belt; U-metallogeny; Lenglongling; the North Qilian Mountains