

黔中断裂带特征及其与铀矿成矿作用探讨

张小强¹,赵亚云²,卫永华¹,张维乾¹,黄凯平¹,郑懋荣¹

(1. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局七总队,贵州 贵阳 550005;

2. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第二地质大队,西藏 拉萨 850000)

[摘要]黔中断裂带形成于早古生代之前,是黔中重要的控岩-控矿构造复合带。本文通过对该断裂带特征及铀成矿关系分析研究,运用现代热液成矿理论,打破以往沉积-表生成矿思维束缚,认为断裂带内铀成矿的核心是构造和热液作用的叠加,成矿机制是慢源含U流体活动的参与和深部热液流体多次叠加改造,铀源主要为富铀的黑色岩系和晚中生代玄武岩;铀矿体主要赋存部位为断裂带上盘次级构造、层间破碎带,其次为断裂带局部,构造与热点复合地段是很好的铀成矿部位。

[关键词]黔中断裂带;特征;铀矿;成矿作用;构造和热液;贵州

[中图分类号]P619.14 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2022)01-0019-011

1 序言

黔中断裂带西起于纳雍县附近,向东经开阳、施秉、镇远、玉屏,走向近EW,西端与坪都-紫云断裂交合,总长约400 km(图1b)。

自上世纪50年代至近年来,贵州省有色金属和核工业地质勘查局七总队(下文简称我队)在黔中地区开展了大量铀矿地质勘查工作,尤其是沿黔中断裂带开展了1:5万放射性普查、铀资源调查评价等基础性工作,同时在断裂带白马洞504、玉屏大龙7046等铀矿(床)点开展了大量的工作,积累了丰富的铀矿地质资料。沿断裂带及旁侧,共发现铀矿床1个、铀矿(化)点25个和多处异常点(带)。但对断裂带铀成矿研究工作主要集中在白马洞504铀矿区,主要针对铀成矿地质背景、地球化学特征和矿床成因进行研究(陈露明,1990;金有中等,2005;张成江等,2009和2011;宋昊等,2011和2013;倪师军等,2012;黄凯平等,2011和2016;张维乾等,2011;张小强等,2017),认为铀成矿与构造关

系密切,是该地区铀成矿的关键,下一步找矿突破的关键在于对构造的研究。

20世纪在黔中地区铀矿地质勘查工作中,由于受国外黑色页岩型铀矿床成矿理念的影响,铀矿勘查工作者将产于黑色岩系中的铀矿床都归结为碳硅泥岩型铀矿床,对其成矿作用主要定位于原始沉积-表生淋积改造的认识上(倪师军等,2012),造成在21世纪的今天,黔中地区铀矿勘查中出现了“只见星星,不见月亮”的困境。

本文是笔者在对前人资料的综合分析整理基础上,结合近几年铀矿地质勘查成果,转变思路,运用现代热液成矿和大陆动力学演化与成矿理论,分析黔中断裂特征,探讨断裂与铀成矿关系,归纳控矿因素,为下一步找矿勘查提供参考依据。

2 断裂带活动演化历史

黔中断裂带位于扬子陆块南部被动边缘褶冲带西南缘(图1a),是一条长期活动、多次运动、深切基底的深大断裂带,控制了黔中地区铀、汞、钼、铅锌

[收稿日期]2021-03-08 [修回日期]2021-12-23

[基金项目]贵州省整装勘查第二批项目(编号:ZZKC2013-27)、中国核工业地质局基础地质项目(编号:201922-3)、贵州省有色金属和核工业地质勘查局项目(2013-07)项目联合资助。

[作者简介]张小强(1989—),男,高级工程师,主要从事地质矿产、资源调查及矿床地质研究工作。

等中低温热液矿床的形成和分布。沿断裂带岩浆活动强烈,岩石类型较为简单,以幔源岩浆形成的岩石为主,形成时代为古生代。东部沿镇远-施秉一带,成群分布呈岩墙和岩床状脉体钾镁煌斑岩,主要赋存于次级断层、密集节理裂隙带、层间滑动构造中。镇远马坪-溪头一带钾镁煌斑岩是早古生代末构造运动产物,其深部地幔热物质在寒武纪末至奥陶纪初,沿镇远-玉屏深大断裂上涌侵位(刘颜良等,2009;杨光忠,2013)。断裂西部纳雍一带,晚古生代峨眉山地幔热柱形成的峨眉山玄武岩喷溢,

有三个喷发旋回,总厚90~193 m,其中早期为玄武质火山角砾岩,中期为块状玄武岩夹厚2 m的玄武质火山角砾岩,晚期为玄武质火山角砾岩,下伏茅口灰岩中同期异相辉绿岩脉,呈岩床产出。基于前人资料结合最新成果(王砚耕,1996;沈志达等;1990;周希云,1990;梅冥相,1994;梅冥相等,2005;张从,2006;聂瑞贞,2006;牛新生等,2007;万桂梅等,2008;楼达,2008;刘颜良等,2009;邓新等,2010;戎嘉余等,2011;王砚耕等,2018),笔者将黔中断裂的活动演化历史归结如下:

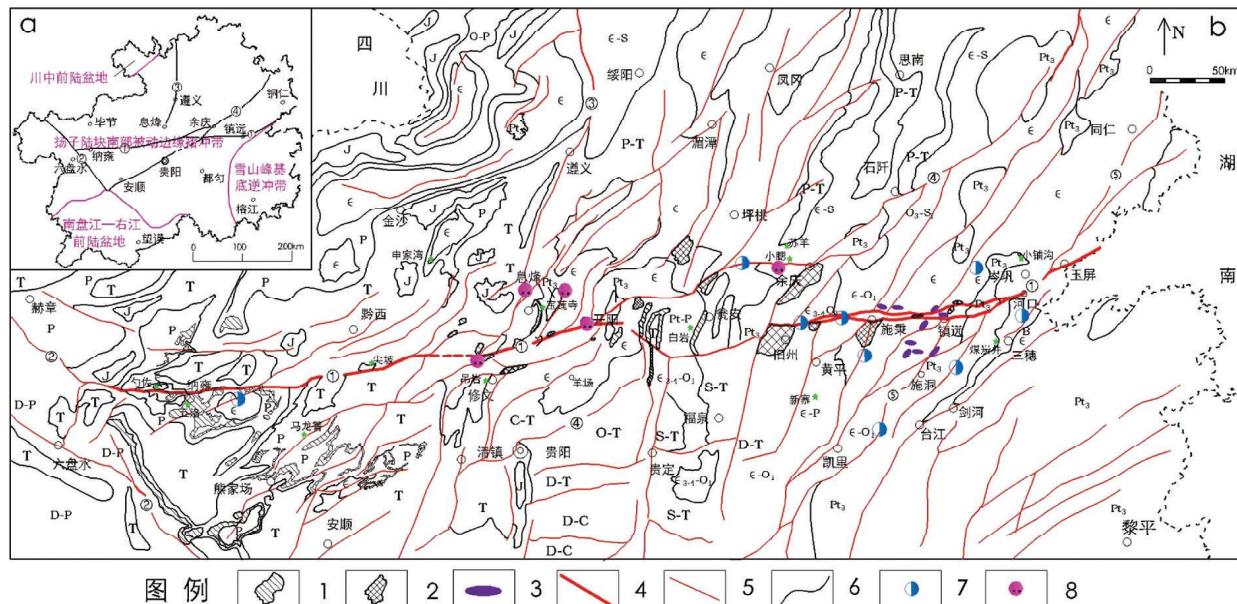


图1 黔中断裂及矿产地质略图(据贵州省区域地质志修编,2016)

Fig. 1 Sketch map of the central Guizhou fault and mineral geology(modified after Guizhou Regional Geological Record,2016)

1—玄武岩;2—白垩系上统地层;3—偏碱性超基性岩;4—深大断裂;5—断裂;6—地质界线;7—铅锌矿点;8—汞矿点;①玉屏-镇远-白马洞断裂;②紫云-垭都断裂;③遵义-卫城断裂;④石阡-贵阳断裂;⑤施洞口断裂

(1)黔中断裂在早古生代之前已存在,它控制了镇远、瓮安、息烽等地区震旦系、寒武系沉积,震旦系陡山沱组至灯影组、清虚洞组、娄山关组等地层在断裂两侧沉积厚度变化较大(图2a,b,c)。

(2)志留纪末期,发生广西运动,黔中地区地层缺失明显,使泥盆系、石炭系地层直接超覆与早古生代地层之上(图2f),同时黔中隆起达到鼎盛时期(图3c),是区内较强烈的一次构造运动,使该断裂带产生了强烈的正滑和右行走滑,且控制了奥陶至石炭系地层沉积,断裂以北缺失中-上奥陶十字铺组至志留系、泥盆系全部、石炭系大部地层。其中断裂北齐家坝地区缺失奥陶系中-上统十字铺组,断裂南十字铺组厚56 m,与上覆志留系翁向群地层呈假整合接触(图2d);断层北余庆苏羊地段翁向群厚282 m,与上覆二叠系阳新统梁

山组地层呈假整合接触,断裂南新寨地段厚459 m,与泥盆系上统望城坡组假整合接触(图2e);石炭系在断裂北息烽天合寺地区仅出露九架炉组地层(厚9 m),直接超覆与寒武系娄山关组之上,假整合与二叠系阳新统梁山组之下,在断裂南修文县小山坝地区缺失黄龙组(图2f)。

(3)中二叠纪至晚二叠纪,受海西-印支运动作用,近EW向黔中断裂、NW向紫云-垭都断裂等进一步受到强烈活动(图3e),峨眉山地幔热柱隆升,玄武岩浆沿断裂上升,发生大规模陆上火山喷发,形成大面积玄武岩,主要喷发有3个时期,早期以强爆发溢出为主,中期为持续的宁静喷溢,晚期为弱喷发和溢出的混合喷发。早期与晚期含U气、溶液流体沿黔中断裂上升,在局部形成白马洞铀汞矿床及断裂带两侧811、1208等铀矿点初步富集。

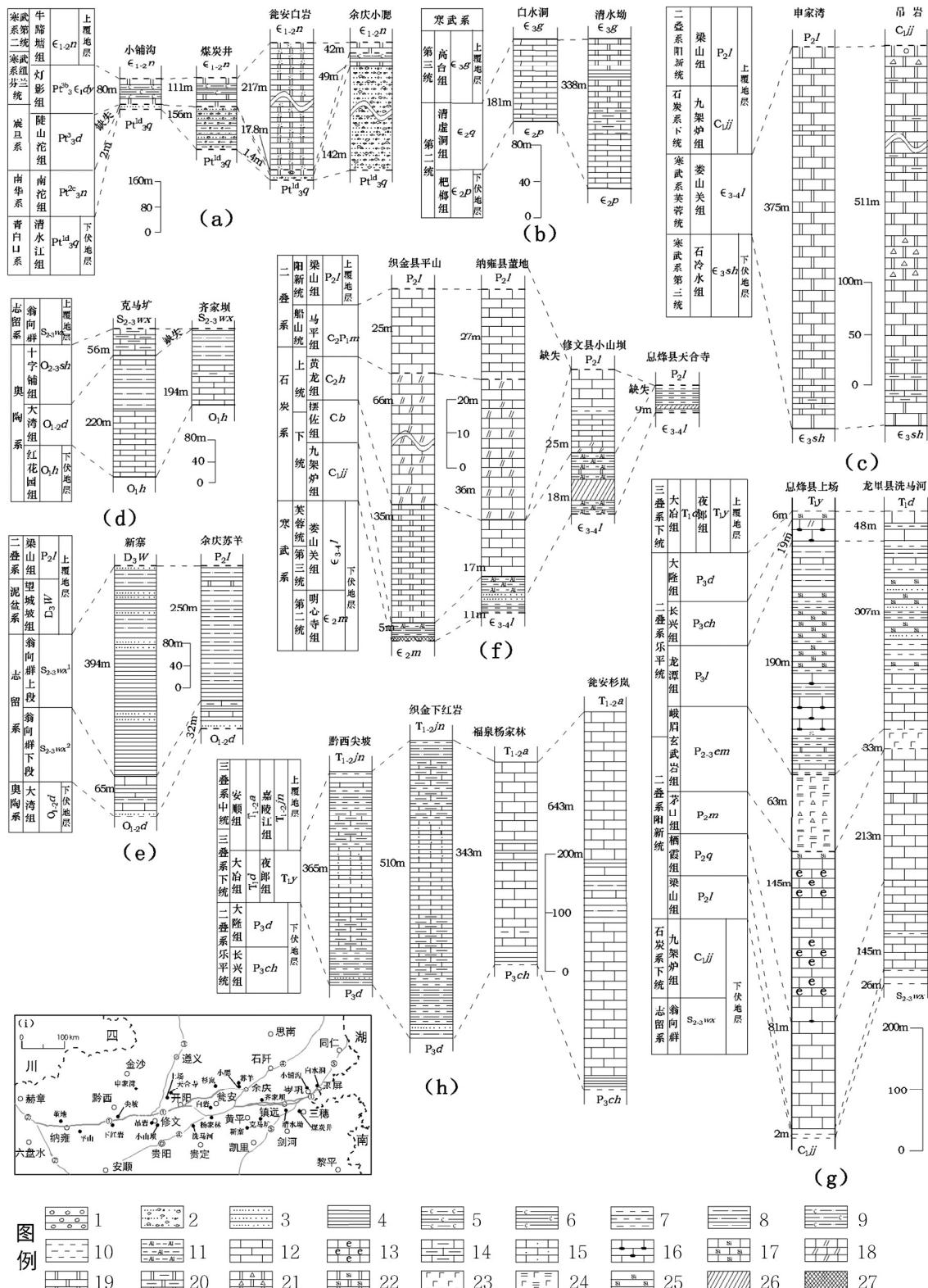


图 2 黔中断裂两侧沉积对比及位置图

Fig. 2 Sedimentary comparison and position of both sides of the central GuiZhou fault

1—砾岩; 2—冰渍砾岩; 3—砂岩; 4—页岩; 5—炭质页岩; 6—含炭质页岩; 7—泥岩; 8—粉质泥岩; 9—含炭粉砂质泥岩; 10—粘土岩; 11—铝土质粘土岩; 12—灰岩; 13—生物碎屑灰岩; 14—泥灰岩; 15—砂屑灰岩; 16—含燧石结核灰岩; 17—硅质灰岩; 18—白云质灰岩; 19—白云岩; 20—泥质白云岩; 21—角砾状白云岩; 22—铝土质粘土岩; 23—拉班玄武岩; 24—粘土化玄武岩; 25—硅质岩; 26—钾土矿; 27—赤铁矿化
 ①玉屏-镇远-白龙洞断裂; ②紫云-坪都断裂; ③遵义-卫城断裂; ④石阡-贵阳断裂; ⑤施洞口断裂

(4)侏罗纪末期—白垩纪早期,贵州地壳受到强烈燕山构造运动作用,地壳隆升,地层强烈挤压和冲断,形成侏罗山式褶皱带(图3f)。黔中断裂进一步复活,发生右行扭动,断裂带上下盘形成次级交褶、断层及多层次间滑脱构造体系,含矿热液沿断裂带上升,特别是构造与热点复合部位,形成铀矿体,如白马洞铀汞钼矿床、大龙7046铀矿点等。

(5)古近纪以来,受喜山运动影响,黔中以大面积间歇性隆升为主,并伴生断裂和褶皱活动,沿先期形成的断裂构造进一步复合重接。黔中断裂进一步复合,发生右行扭动,在构造与热点复合部位深部含U热液流体沿断裂上升,在局部层间破碎带次级断裂中富集成矿。如白马洞铀汞钼矿床在燕山期初步形成铀汞钼矿体,喜山期富含铀汞钼热液进一步叠加,形成具有工业价值铀汞钼矿床。

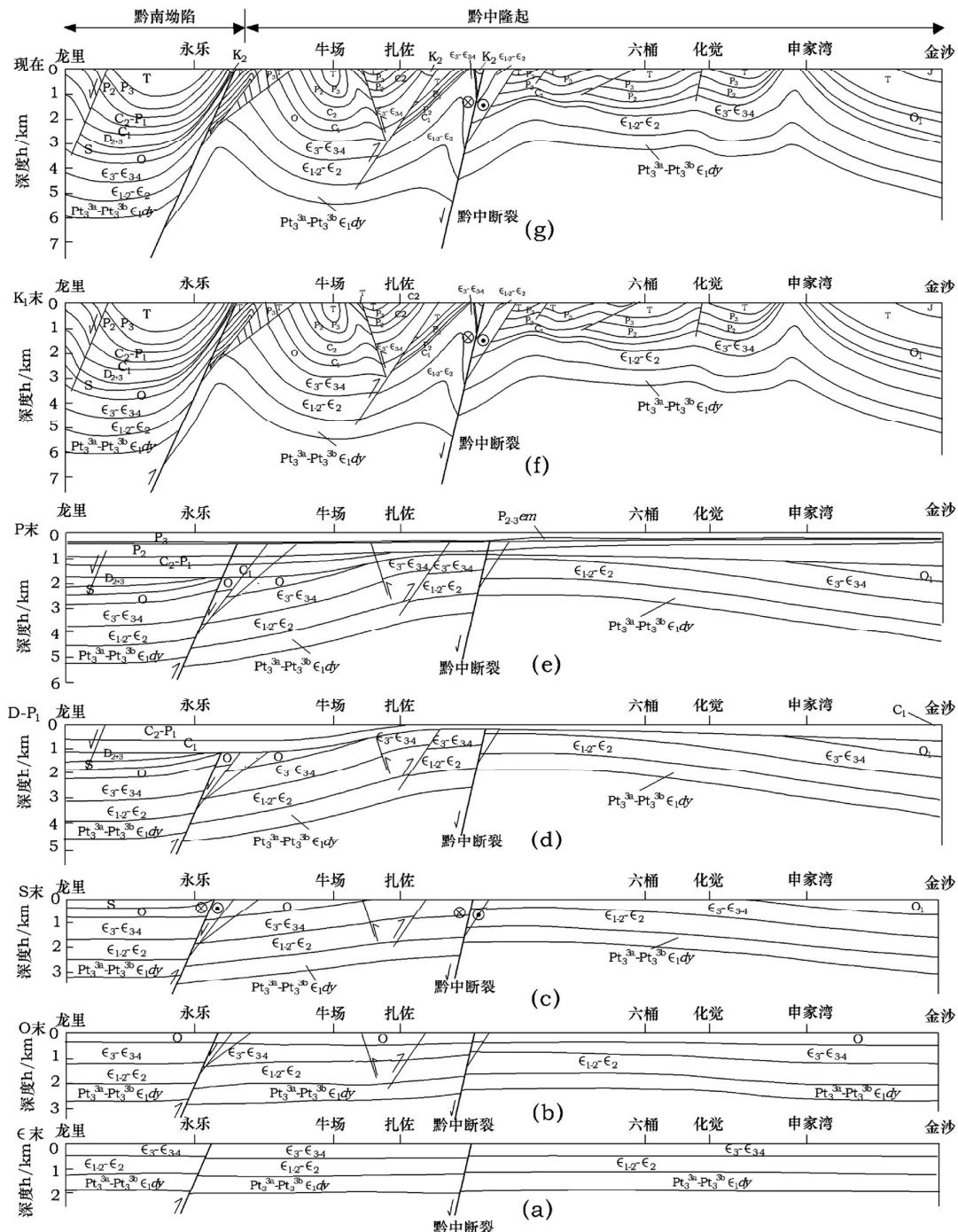


图3 黔中断裂演化示意图(据邓新等,2010,修编)

Fig. 3 Evolution of the central GuiZhou fault (Modified after Deng Xin, et al., 2010)

3 断裂构造带组成及特征

黔中断裂带经玉屏、镇远、施秉、开阳、纳雍,总体呈近EW走向,略向南凸弧形弯曲,总体向北倾斜,西端与垭都-紫云断裂交合,总长约400 km,主要表现为若干近东西向左行平移断层断续呈带串列,特别是中段开阳-余庆、东段施秉-镇远段,还限阻了若干近南SN向、NNE向、NE向逆冲断层和褶曲的延续发展,切割并错断了青白口系清水

江组至古近系各地层,控制了早古生代偏碱性超基性岩群产出和分布,是省内金刚石母岩钾镁煌斑岩的主要控岩-控矿构造,晚古生代大规模玄武岩由西向东逐渐减少、变薄。黔中断裂是岩浆和热液流体的通道,并控制了晚白垩世山间磨拉石盆地和新近系山间盆地的产出,沿断裂带有温泉出露和地震发生,说明其形成时期可能为早古生代或之前,但新构造运动期仍有活动,是一条深切基底、多期次活动的压扭性深大断裂,构造行迹东段和西段比较明显(图1b),断裂带特征详见表1。

表1 黔中断裂构造带特征

Table 1 Characteristics of the central GuiZhou fault zone

名 称	断裂构造带特征	矿产分布特征
东 段	从玉屏向西经岑巩、镇远到施秉,河口以东走向北东60°,以西走向呈近EW向,倾向南或南东,倾角60°~80°,局部(大龙7046铀矿点)地表南东倾斜,深部180~200 m转向北北西倾,倾角50°~65°,境内长约150 km。在镇远-施秉一带由下翁哨断层(北边)和镇远断层(南边)组成,两断层地表延伸约100 km,间隔小于5 km,向东在河口会合。断裂破碎带较发育,带内见揉皱、糜棱岩、构造透镜体和断层角砾岩、硅化、断层泥等。具压型特征,破碎带宽15~60 m,最宽100 m。	3个铀矿(化)点及玉屏-鱼市异常密集区,以及多处铅锌矿点等。
西 段	从开阳南向西经白马洞、纳雍,与北西向垭都断裂相交,长160 km,走向北东65°~85°,总体向南倾,倾角75°~85°,局部地段白马洞铀矿床(504)以东至二里岩(6 km处)向北倾斜,倾角81°~85°,在纳雍-以那架一带由多条断层组成,总体南倾,倾角一般大于75°,局部地段向北倾。断裂破碎带较发育,宽一般20~40 m,最宽100 m,见断层角砾岩、硅化和断层泥等,断裂带成分复杂,以片理化、断层泥为主,夹断层角砾岩、黑色蚀变角砾岩、碎裂白云岩、灰岩透镜体。在黑色蚀变角砾岩中,局部脉状、细脉状、星散状细粒黄铁矿和脉状辰砂、细脉状重晶石、针状辉锑矿发育,沿片理化层面上分布薄膜状重晶石。	1个铀矿床(白马洞)、7个铀矿(化)点和息烽-纳雍伽玛异常密集带(长约170 km,宽约50 km),以及多处汞、钼等矿点。
层间滑脱构造体系	沿断裂带上下盘,侏罗山隔档式褶皱极为发育,常有逆断层发育,属典型的薄皮构造。其中纳雍-修文西一带呈NE向发育,其重大构造界面主要有南华系/震旦系与下伏青白口系、石炭系与寒武系和中上三叠统内部平行不整合界面;修文-余庆一带近SN向发育,局部呈“S”型,其主滑脱面为寒武系底部软弱层,主要滑脱层是二叠系碎屑岩和三叠系下部软弱岩(泥质岩、粉砂质泥岩等);旧州-岑巩一带多呈NNE向发育,其重大构造界面有板溪群/下江群与梵净山群、南华系与青白口系、泥盆系与下伏地层、二叠系与下伏地层之间的平行不整合或者角度不整合等。由于受多次构造运动,从青白口系至寒武系石冷水组至二叠系,这些重大构造面、滑脱面和能干性不同的岩石之间形成了一个多层次层间滑脱体系。经钻孔证实,修文北-开阳白马洞断裂和镇远-玉屏断裂上盘,多层次层间滑脱构造极为发育,是含矿热液流体赋存的良好空间,其高台组细碎屑岩与上下地层不纯碳酸盐岩之间、清虚洞组灰岩与下伏金顶山组或杷榔组页岩、泥质砂岩之间,灯影组与上覆牛蹄组页岩、硅质岩、磷块之间,茅口组白云质灰岩与有机质灰岩等软硬岩石之间存在层间破碎带。	为白马洞铀矿床、7046、H704等铀矿(化)点,以及镇远金堡、都坪等铅锌矿床矿体主要容矿空间,是铀矿、铅锌矿、汞矿最重要成矿界面。

(戴传固等,2013)、(陈有能等,1997)认为该断裂带在早古生代最兴盛,并切割了白垩统,沿线常见热泉,其活动主要时期为燕山期,喜马拉雅期和新构造时期再次活动。地球物理资料显示其为一近EW向重力低值带,重力异常图上反映明显,物探重力等值线呈东凸的弯曲异常(贵州省地质调查院,2016)。

该断裂带控矿明显,沿断裂带分布有白马洞铀汞钼矿床、811、204、7046等多处铀矿(化)点和多处铀异常点(带),以及多处铅锌矿床等(图1b)。断裂构造控制着成矿流体运移,起导矿作用,为铀多金属成矿创造了极其有利的条件,其次级构造和层间破碎带为成矿提供了良好储矿空间。

4 断裂带铀矿化特征

黔中断裂控制了黔中低温热液型矿床的分布,是黔中地区主要成矿、控矿构造,沿断裂分布有白马洞铀汞钼矿床和204、7046等多处铀矿

(化)点(图1b)。其中代表性矿床有白马洞矿床(504)和玉屏大龙铀矿点(7046)矿化特征详见表2、图4、图5,其他813、204等主要铀矿(化)点矿化特征详见表3。据表2、表3、图4、图5可知,断裂带铀矿体产出部位主要有3种,①深大断裂局部为储矿构造,部分铀矿体直接赋存于深大断裂破碎带内,②赋存于深大断裂上盘次级断裂破碎带内,③赋存深大断裂上盘层间破碎带中,且以第③种为主。其中813、204等铀矿点部分铀矿体直接赋存于白马洞断裂黑色蚀变硅化角砾岩中,矿化于低温热液蚀变,黑色硅化角砾岩、黑色硅化蚀变岩关系密切;7002铀矿化点铀矿体主要赋存于施秉-镇远断裂破碎带内,铀矿化于富含有机质弱硅化角砾岩有关;811、1208、1201、1206等铀矿(化)点铀矿化主要赋存于二叠系栖霞组与茅口组之间和茅口组与龙潭组接触带层间破碎带黑色蚀变角砾岩中,矿化与低温热液蚀变、黑色硅化角砾岩、黑色硅化蚀变岩关系密切,伴生汞、钼矿化等,铀矿化与硅化、黑色蚀变有关,和黑色有机质、黄铁矿等关系密切。

表2 黔中断裂构造带典型矿床(点)铀矿化特征

Table 2 Characteristics of typical uranium deposit (site) in the central GuiZhou fault zone

典型矿床(点)	白马洞矿床(504)	大龙矿点(7046)
矿化特征	铀、汞、钼矿体主要赋存于北东向犀牛洞断裂与白马洞深断裂交汇处的清虚洞组上部和石冷水组下部层间破碎带和次级断裂带硅化蚀变带内。以高台组页岩为界,分为上、下两个矿化带(图4),矿化带呈北东向“S”型延伸。各矿体在上、下矿带分布不均匀,以下部矿带为主。矿体总体走向NEE,倾向南东,倾角20°~35°;上部矿带中铀矿体小而分散,多呈透镜状、新月状、囊状、分支状,往往呈陡倾产出。部分铀矿体直接赋存于深大断裂破碎带黑色硅化角砾岩中(如ZK812钻孔内)(图4),并有辰砂伴生。	铀矿体主要赋存于断裂带上盘次级断层及统敖溪组层间破碎带中(图5),大多矿体呈透镜状,走向NE,倾向SE,倾角与破碎带一致,部分铀矿体直接赋存于玉屏-镇远断裂带内,在ZK201孔内见工业铀矿体。铀矿化与富含有机质弱硅化角砾岩和粉末状黄铁矿有关,局部与黑色蚀变角砾岩关系密切。

表3 黔中断裂构造带主要铀矿(化)点矿化特征一览表

Table 3 List of mineralized characteristics of major uranium deposits (mineralization) of the central GuiZhou fault zone

编号	含矿层位	含矿主岩性	控矿构造	矿化蚀变	矿化类型	矿体形态
813	灯影组顶部	黑色蚀变硅化角砾岩、碎裂硅化白云岩等	白马洞断层及层间滑脱带	硅化、黑色蚀变、碳酸盐岩化、黄铁矿化等	构造热液型	透镜状、串珠状
204	灯影组和二叠系栖霞组顶部	构造角砾岩、黑色蚀变角砾岩、黑色硅化蚀变角砾岩	白马洞断裂及派生断裂构造破碎带	硅化、黑色蚀变、碳酸盐岩化、赤铁矿化、辰砂等	构造热液型	似层状、透镜状

续表

编号	含矿层位	含矿主岩性	控矿构造	矿化蚀变	矿化类型	矿体形态
811	二叠系茅口组	黑色蚀变角砾岩、角砾状灰岩等	白水洞断裂次级断裂构造带	硅化、方解石化、重晶石化、黑色蚀变	构造热液型	似层状、透镜状
1201	二叠系茅口组	黑色蚀变角砾岩、角砾状灰岩等	水长冲断层及次级断裂破碎带	黑色蚀变、硅化、碳酸盐化、赤铁矿化	构造热液型	似层状、囊状
1205	二叠系茅口组	黑色蚀变角砾岩、角砾状灰岩等	水长冲断层及次级断裂破碎带	黑色蚀变、硅化、碳酸盐化、赤铁矿化	构造热液型	似层状、透镜状
1206	二叠系茅口组	黑色构造角砾岩、碎裂状白云质灰岩、断层泥等	水长冲断层及次级断裂破碎带	硅化、碳酸盐岩化、黄铁矿化、赤铁矿化、辰砂、萤石化等	构造热液型	似层状、透镜状
186	寒武系清虚洞组	碎裂白云岩、硅化白云岩等	泡打岩断裂及次级断层夹持部位	硅化、赤铁矿化、碳酸盐岩化等	构造热液型	似层状、透镜状

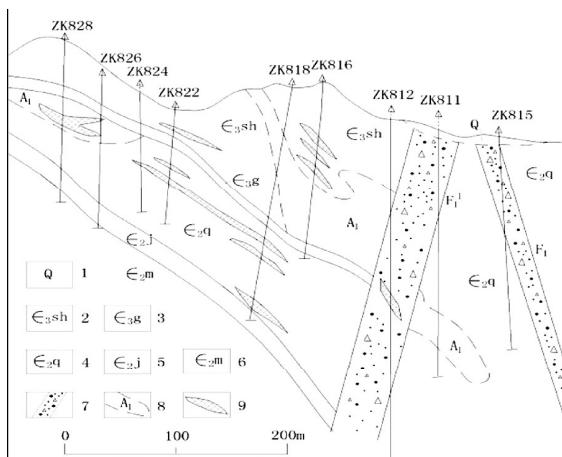


图4 白马洞铀汞钼矿床Ⅷ号勘探线剖面图

Fig. 4 Profile of prospecting line VIII in Baimadong U-Hg-Mo deposit
1—第四系;2—石冷水组;3—高台组;4—清虚洞组;5—金顶山组;
6—明心寺组;7—断裂构造破碎带;8—黑色硅化蚀变带;9—铀矿体

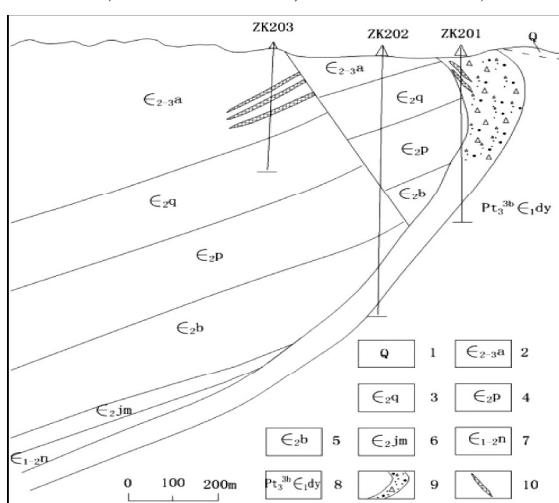


图5 大龙铀矿点Ⅱ号勘探线剖面图

Fig. 5 Profile of prospecting line II in Dalong uranium site
1—第四系;2—敖溪组;3—清虚洞组;4—杷榔组;5—变马冲组;
6—九门冲组;7—牛蹄塘组;8—灯影组;9—破碎带;10—铀矿体

5 黔中断裂与铀成矿关系

西南地区与黑色岩系有关的铀矿,其成矿与构造事件有明显的关系,只有深部流体活动的参与和改造,才能形成较好的铀矿体,否则只形成贫矿或矿化异常(倪师军等,2012;张小强等,2017;张成江等,2009)。黔中地区已发现铀矿(床)点,普遍与各类构造和热液活动关系密切,在空间上受到断裂构造的控制。经过20世纪50年代到至今铀矿勘查事实证明也是如此。

5.1 铀成矿与断裂带两侧沉积的黑色岩系和峨眉山玄武岩有关

黔中地区是中国南方主要黑色岩系分布区(倪师军等,2012),为一套炭质页岩、泥岩和碳酸盐岩、硅质岩、磷块岩、砂岩组合,其铀含量远大于地壳丰度值(2.07 mg/g (黎彤,1992)),是地壳丰度值的10—25倍,局部地段见铀异常,是黔中地区重要铀源层,其成岩过程使铀进行初始预富集,深部热液流体沿断裂带上升,使U进一步活化,还原环境下在次级断裂、层间破碎带等成矿有利地段,富集成矿。

织金县熊家场地区玄武岩铀含量为 1.3×10^{-6} (肖家飞等,2011),高于世界玄武岩2.6倍,白马洞地区玄武岩铀平均含量为 6×10^{-6} ,是世界玄武岩12倍,为该地区铀成矿提供了直接物源,是该区内主要铀源。

5.2 断裂带热液活动及铀成矿作用

白马洞-纳雍地段,断裂带热液活动明显(图6),白马洞是热液活动的中心,主要有燕山晚期、喜山早期、喜山中期3次热液活动(张小强等,2017),热液沿白马洞断裂由西向东流动,在燕山晚期形成第一次初步富集,铀成矿年龄为120 Ma(金有中等,2005),喜山期早期使铀进一步富集,铀成矿年龄44.7 Ma~51.5 Ma(陈露明,1990),

第三次是喜山中期,铀成矿年龄为28.5 Ma~37.5 Ma(唐俊儒,1986)。断裂带中热液蚀变明显,具有黑色硅化蚀变(图4b)、重晶石化、辉锑矿化、汞矿化等,断裂上盘层间滑动构造及次级断裂中,蚀变强烈、范围大,以黑色硅化蚀变、重晶石化为主,矿石矿物由中温矿物和低温矿物组成,其成分复杂,以沥青铀矿、黄铁矿、辰砂、辉锑矿、硫钼矿为主,并伴有闪锌矿、针镍矿、硫铁镍矿、辉砷镍矿、辰砂、自然汞、雄黄等。

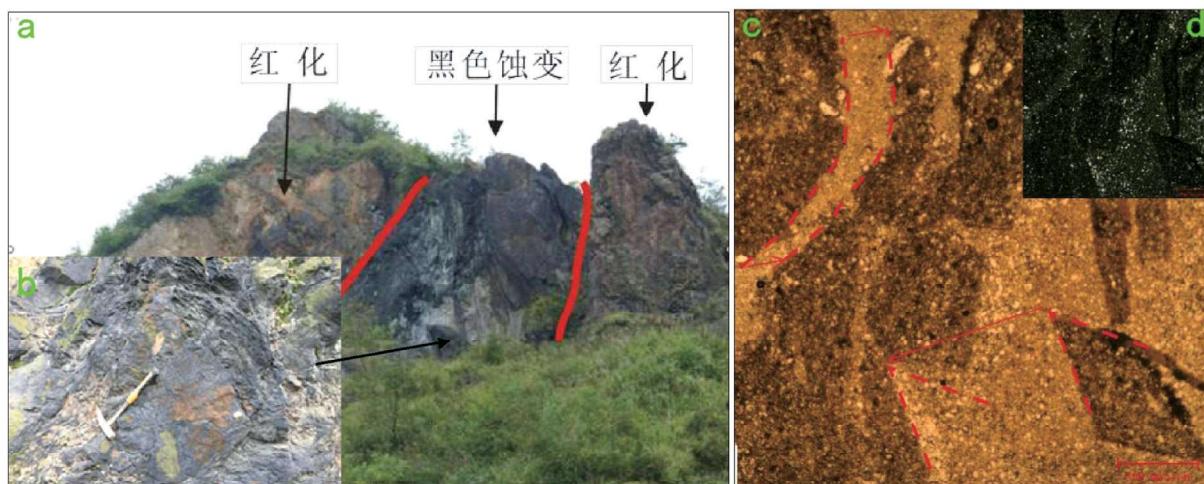


图6 白马洞铀矿床蚀变特征及显微镜下照片

Fig. 6 The microscopical photos and alteration characteristics of Baimadong uranium deposit

断裂破碎带蚀变(a),黑色蚀变构造角砾岩(b),黑色蚀变构造角砾岩显微鉴定(c(-)、d(+),放大10×5倍)

注:标本采于白马洞铀矿床断裂破碎带,为黑色蚀变构造角砾岩(c),镜下可见暗色角砾棱角分明,分布无明显的规律性,部分角砾显示出明显的可拼贴性,且角砾的成分和基质成分不同,角砾成分为石英粉砂岩,基质中可见由热液作用形成的石英,说明这些角砾是由于富含硅质的热液作用所形成的。

2013—2019年期间,我队在息烽-开阳地区采集的47件样品微量元素分析结果显示,元素组合为U、Hg、Mo、As、Se、Sb和Tl,具有典型的热液元素组合特征,其Ni、Mo、Cu、Hg等亲铁元素和亲硫元素较为富集,采集的12件碳氧同位素样品(表4),其中白马洞(504)铀矿床、龙潭坝铀矿点方解石脉 $\delta^{13}\text{C}$ 为-0.95‰~-6.89‰,与地幔 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布范围类似(主要范围-2‰~-9‰,主峰众数-5.5‰,郑永飞等,1999),同时 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为-17.55‰,比正常的碳酸盐岩区 $\delta^{18}\text{O}$ 略低,推测其来源于幔源或深俯冲陆壳物质混染或地幔多阶段去气作用(刘建明等,2003)。204铀矿点、811铀矿点方解石脉 $\delta^{13}\text{C}$ 为-0.97‰~-3.23‰,平均值为-2.22‰,其 $\delta^{13}\text{C}$ 组成与低温热液碳酸盐岩或盐岩来源的碳同位素相接近, $\delta^{18}\text{O}$ 为-8.34‰~-10.02‰,平均值为-8.99‰, $\delta^{18}\text{O}$ 组成与低温热液碳酸盐岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 组成相近。将区内碳氧同位素

数值投在Jrgen J(1988)碳氧同位素分布图(图7)中,样品主要分布在火成岩外变质带和低温热液碳酸盐岩区域,个别落入海相沉积碳酸盐岩区域,表明区内方解石中碳、氧来源具多源性。综上,认为成矿流体具有较明显的幔源性,表明深部流体参与铀成矿;前述玄武岩等幔源岩的产出,不仅说明超壳断裂的存在,而且暗示存在深部岩浆热液活动,进一步说明区内铀成矿与区域性深大断裂有关,与区内热构造事件关系密不可分。

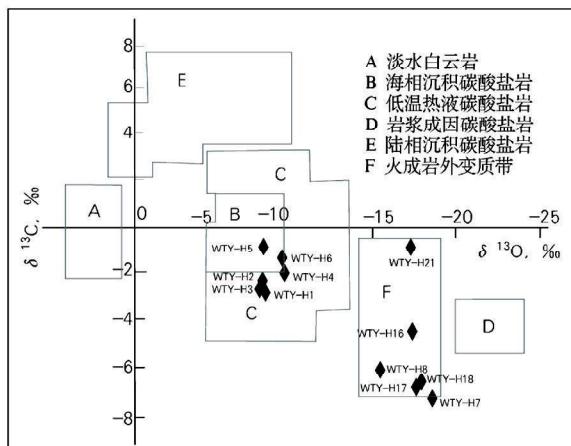
表4 息烽-修文地区方解石脉碳氧同位素测试结果表

Table 4 The results of carbon and oxygen isotope from calcite vein samples in Xifeng-Xiuwen area

序号	样号	样品名称	$\delta^{18}\text{O}$ OPDB	$\delta^{13}\text{C}$ CPDB	采样位置
1	WTY-H1	方解石脉	-8.87	-3.23	204铀矿点
2	WTY-H2	方解石脉	-8.41	-2.7	
3	WTY-H3	方解石脉	-8.34	-2.87	
4	WTY-H4	方解石脉	-10.02	-2.08	811铀矿点

续表

序号	样号	样品名称	$\delta^{18}\text{OPDB}$	$\delta^{13}\text{CPDB}$	采样位置
5	WTY-H5	方解石脉	-8.45	-0.97	
6	WTY-H6	方解石脉	-9.82	-1.49	
7	WTY-H7	方解石脉	-18.95	-7.65	龙潭坝 (813) 矿点
8	WTY-H8	方解石脉	-15.65	-6.19	
9	WTY-H16	方解石脉	-17.2	-4.6	白马洞 (504) 铀矿床
10	WTY-H17	方解石脉	-17.7	-6.89	
11	WTY-H18	方解石脉	-17.88	-6.75	
12	WTY-H21	方解石脉	-17.35	-0.95	

图7 息烽-修文地区方解石脉中
碳、氧同位素组成

(底图据 Jrgen J, 1988, 转引徐田武, 2009; 王大悦, 2001; 董福湘, 2004)

Fig. 7 The microscopical photos and alteration characteristics of Baimadong uranium deposit (Modified after Jrgen J, 1988, Quoted from Xu Tianwu, 2009, Wang Dayue, 2001, Dong Fuxiang, 2004)

通过对白马洞铀矿床中辰砂(8个样, δS^{34} 值为(+4.5~−4.51)‰, 平均−1.55‰)、黄铁矿(8个样, δS^{34} 值为(+0.89~−11.29)‰, 平均−4.83‰)、辉锑矿(6个样, δS^{34} 值为(−0.80~−9.49)‰, 平均−5.34‰)进行硫同位素分析, 结果(图8)显示, δS^{34} 值在(+2.1~−5.0)‰范围者占60%。以接近零负低值为主, 变化范围较窄, 呈离散型分布; 矿石含F 0.085%, 较远离断裂的矿床高得多。揭示区内硫的来源具有多源性, 既有地幔源硫, 亦有地层生物源硫。具有异源后生成矿、多阶段叠加成矿等特征, 其幔源硫与铀成矿关系密切。

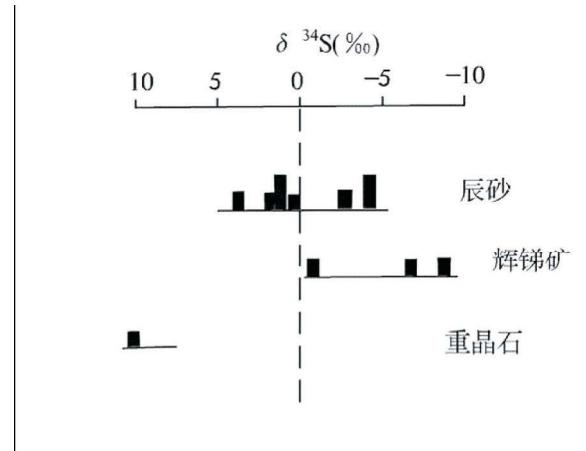


图8 白马洞矿床硫同位素特征

(据严钧平等, 1989)

Fig. 8 The composition of carbon and oxygen isotope from calcite vein samples in Xifeng-Xiuwen area (modified after Yan Junping, et al., 1989)

另外, 在贵州西部大面积分布的晚古生代玄武岩是峨眉山地幔热柱早期活动产物, 其深源地幔流体沿东西向、北西向深断裂在威宁、盘县、开阳、瓮安等地呈间歇性陆相或海相喷溢(除玄武岩边缘相外, 均为陆相喷溢), 富含 SiO_2 、U、Mn、Au等元素的岩浆期后气液与海水相混溶, 在还原环境中沉淀和初始富集, 如504、181等铀矿床(点), 铀矿化初始富集与峨眉山地幔柱早期活动岩浆期后气液关系密切(徐义刚, 2001; 陈广庆等, 2009)。(刘彦良等, 2009)对黔中断裂东段镇远断裂带采流体包裹体样品分析, 认为该断裂至少受5期热液活动改造, 其中燕山期、喜山期热液活动最剧烈, 其温度峰值与(陈露明, 1990)在白马洞矿区流体包裹体温度峰值一致, 说明黔中断裂带经历了多次构造活动和多期热液活动改造, 其热液活动与上述铀成矿时代基本一致。

此外, 在镇远、玉屏西等沿大断裂分布有多处热液型铅锌矿床(点), 其中金堡铅锌矿床 $\delta^{13}\text{CPD}$ 在−5.7‰~−6.9‰, $\delta^{18}\text{OPDB}$ 在11.2‰~12.2‰, δS^{34} 在11.5‰~14.2‰, 显示成矿物质来源具有多源性, 多与深部流体作用有关, 其深大断裂是热液流体运移通道(杨宗文, 2014), 有利于深部流体上升至地壳浅部参与成矿。

5.3 断裂带两侧“地球化学障”对铀成矿的控制

断裂带两侧寒武系牛蹄塘($E_{1-2}n$)、九门冲组(E_{2jm})、高台组(E_{2g})和二叠系龙潭组(P_3l)碳质

页岩、粘土岩等岩石透水性较差,这对成矿热液流体起到了“隔水”或“地球化学障”的作用(李朝阳等,2003)。而灯影组($Pt_3^{3b} \in 1dy$)、清虚洞组(ϵ_{2q})和茅口组(P_2m)为“透水”的脆性碳酸盐岩,在多期次构造活动影响下,在区域性大断裂旁侧易形成层间破碎带和次级断裂,这些次级断裂和层间破碎带是成矿物质沉淀的良好空间。其深部热液流体或幔源含U岩浆流体在沿区域性深大断裂运移过程中,不断萃取铀源层成矿物质,一定条件下,在层间破碎带或次级断裂破碎带中沉淀富集成矿,而其上覆透水性较差的碳质页岩、粘土岩等对铀成矿流体起到了“隔水屏蔽”或“地球化学障的作用”(李朝阳等,2003),即界面成矿。如白马洞铀矿床大多矿体赋存于清虚洞组(ϵ_{2q})、石冷水组(ϵ_{3sh})白云岩层间破碎带中,以高台组页岩为界分为上下两个矿带,813铀矿体主要赋存于灯影组($Pt_3^{3b} \epsilon_1 dy$)白云岩层间破碎带中,大龙铀矿点矿体主要赋存于寒武系敖溪组(ϵ_{2-3a})白云岩层间破碎带中。

6 结论

(1)黔中断裂形成于早古生代之前,是一条长期活动、多次运动、深切基底的深大断裂,它控制了镇远-施秉早古生代超基性煌斑岩侵位、纳雍-修文晚古生代大陆熔流峨眉山玄武岩浆喷溢,同时控制着黔中地区铀多金属矿的形成和分布,是黔中地区重要的控岩-控矿构造复合带。

(2)黔中地区铀源主要有两类,一类是黑色岩系,其成岩过程使铀进行初始预富集,局部地段见铀异常,另一类是富含 SiO_2 、U、Mn、Au等元素的晚古生代玄武岩。

(3)沿断裂带分布的白马洞铀汞钼矿床和多个铀矿(化)点明显受黔中断裂控制,并具有典型的热液成矿特征,是多期热液活动叠加的结果。断裂带铀矿体赋存部位主要有深大断裂上盘次级断裂、层间破碎带和深大断裂局部三种。

(4)断裂带内铀矿床(点)在空间上受到断裂构造控制,尤其构造与热点复合部位是很好的铀成矿部位。特别是断裂构造切割铀源层时,深部热液流体或幔源含U岩浆气液沿断裂运移,在氧化条件下,铀源层中U被活化迁移、改造,在还原等条件下,在次级断裂或层间破碎带等成矿有利

部位沉淀、富集成矿。

[参考文献]

- 陈广庆,张维乾,黄凯平,等. 2009. 峨眉山地幔柱构造与贵州铀成矿关系初探[J]. 贵州地质, 101(4):257-259.
- 陈露明. 1990. 504 铀矿床成因探讨[J]. 铀矿地质, 6(3):143-144.
- 陈有能,王祁仑,冉正万. 1997. 贵州中部向构造带的构造行迹及历史定位. 贵州地质, 14(1):40-45.
- 董福湘,刘立,马艳萍. 2004. 大港滩海地区沙一段下部砂岩储层中方解石胶结物碳-氧同位素研究[J]. 石油实验地质, 26(6):590-593.
- 戴传固,秦守荣,陈建书,等. 2013. 试论贵州深部隐伏断裂特征[J]. 地质科技情报, 32(6):1-13.
- 邓新,杨坤光,刘彦良,等. 2010. 黔中隆起性质及其构造演化[J]. 地学前缘, 17(3):79-89.
- 方维萱,胡瑞忠,苏文超,等. 2002. 贵州镇远地区钾镁煌斑岩类的侵位时代[J]. 科学通报, 47(4):307-312.
- 贵州省地质调查院. 2017. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1006-1020.
- 黄凯平,张维乾,郑懋荣. 2011. 贵州 504 铀汞钼矿床新认识及找矿方向. 中国核科学技术进展报告第二册.
- 黄凯平,郑懋荣. 贵州省白马洞铀矿床地球化学特征及成因[J]. 矿产与地质, 2016, 30(4):609-614.
- 金有中,朱西养,李庆阳,等. 2005. 西南铀矿地质志[R]. 中国核工业地质局.
- 李朝阳,刘玉平,叶霖,等. 2003. 有关贵州成矿研究中的几个问题讨论[J]. 矿物岩石地球化学通报, 22(4):350-355.
- 楼达. 2008. 黔中隆起及其周缘复杂褶皱-逆冲推覆构造及其动力学[D]. 中国海洋大学, 118-183.
- 刘建明,张宏福,孙景贵,叶杰. 2003. 山东幔源岩浆岩的碳-氧和锶-钕同位素地球化学研究[J]. 中国科学(D辑), 33(10): 921-930.
- 黎彤. 1992. 地壳元素丰度的若干统计特征[J]. 地质与勘探, 28(10):1-7.
- 刘颜良,杨坤光,邓新. 2009. 镇远-贵阳断裂带活动历史及其对黔中隆起演化的制约. 地质科技情报[J], 28(3):42-47.
- 梅冥相. 1994. 论“黔中古陆”[J]. 贵州地质, (03):199-206.
- 梅冥相,马永生,邓军,等. 2005. 加里东运动构造古地理及滇黔桂盆地的形成——兼论滇黔桂盆地深层油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 2005(03):227-236.
- 聂瑞贞. 2006. 黔中隆起及其周缘奥陶系层序地层格架及古地理演化[D]. 中国地质大学(北京).
- 倪师军,徐争启,张成江,等. 2012. 西南地区黑色岩系铀成矿作用及成因模式探讨[J]. 地球科学进展, 27(10):1035-1042.
- 牛新生,冯常茂,刘进. 2007. 黔中隆起的形成时间及形成机制探讨[J]. 海相油气地质, (02):46-50.
- 戎嘉余,陈旭,王怿,等. 2011. 奥陶-志留纪之交黔中古陆的变迁:证据与启示[J]. 中国科学: 地球科学, 41(10): 1407-1415.
- 宋昊,张成江,徐争启,等. 2013. 贵州白马洞矿床热液隐爆系统的识

- 别及对铀多金属找矿的启示[J]. 矿物学报,33(S2):237-238.
- 沈志达,梅冥相,曾羽. 1990. 贵州太康运动的地层学效应——兼论“黔中古陆”的形成[J]. 贵州地质,7(02):91-98.
- 唐俊儒,朱杰辰. 1986. 贵州某些层控铀矿成矿时代[J]. 铀矿地质,2(6):349-352.
- 王大锐,张映红. 2001. 渤海湾油气区火成岩外变质带储集层中碳酸盐胶结物成因研究及意义[J]. 石油勘探与开发,28(2):40-42.
- 万桂梅,汤良杰,郭彤楼,等. 2008. 黔中隆起及邻区分带性变形特征[J]. 地质学报,2008(03):316-320.
- 王砚耕. 1996. 贵州主要地质事件与区域地质特征[J]. 贵州地质,13(02):99-104.
- 王砚耕,陈建书,陈启飞. 2018. 贵州构造-建造划分及其意义[J]. 贵州地质,35(03):167-170+209.
- 肖家飞,熊小辉,等. 2011. 贵州峨眉山玄武岩东部边缘带岩石地球化学特征及其有关的成矿作用[J]. 矿物学报,增刊:177-178.
- 徐田武,曾溅辉,张永旺,等. 2009. 大巴山前陆构造带主断裂碳酸盐岩碳-氧同位素特征及其对流体的响应[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),33(2):34-39+48.
- 徐义刚,钟孙霖. 2001. 峨眉山大或成岩省:地幔柱活动的证据及其熔融条件[J]. 地球化学,30(1):1-9.
- 杨光忠. 2013. 贵州镇远地区钾镁煌斑岩产出控制因素浅析[J]. 地质与勘探,49(4):699-702.
- 杨宗文,刘灵. 2014. 贵州镇远地区铅锌矿同位素地球化学特征及矿床成因[J]. 云南地质,33(4):503-507.
- 张成江,黄凯平,钟康惠,等. 2014. 白马洞铀矿床构造控矿规律[R]. 贵阳:成都理工大学、贵州省有色金属和核工业地质勘查局七总队.
- 张成江,倪师军,徐争启,等. 2009. 扬子地台西缘及领区重大地质事件与铀成矿作用初探[J]. 矿物学报,S1(128):648-649.
- 张成江,徐争启,倪师军,等. 2011. 西南地区重大地质事件与铀成矿作用[J]. 中国和科学进展报告(第二卷)铀矿地质分卷.
- 张丛. 2006. 黔中隆起及周缘志留纪层序地层格架及其古地理背景[D]. 中国地质大学(北京).
- 郑启玲. 1985. 贵州境内峨眉山玄武岩的基本特征及其成矿作用的关系[J]. 贵州地质,3(1):1-10.
- 张维乾,黄凯平,陈广庆. 2011. 贵州省504铀矿床伴生元素分布规律及对深部找矿意义. 中国核科学.
- 张小强,黄凯平,袁来,等. 2017. 贵州白马洞铀矿床深断裂、层间滑脱构造体系对铀成矿控制及找矿潜力分析[J]. 贵州地质,34(4):237-243.
- 周希云. 1990. 对“黔中隆起”的几点初步认识[J]. 贵州工学院学报,1990(01):78-79.
- 郑永飞. 1999. 地幔稳定同位素地球化学. 见:郑永飞主编. 化学地球动力学[M]. 北京:科学出版社,62-118.
- JRGENJ. 1988. Carbonandoxygenisotopicstudiesofthe chalkreservoirin-heSkjoldOilfield, DanishNorthSeaimplicationsfordiagenesis [J]. ChemicalGeology,73(2):97-107.

Characteristics of the Central Guizhou Fault Zone and Its Discussion with Uranium Mineralization

ZHANG Xiao-qiang¹, ZHAO Ya-yun², WEI Yong-hua¹,
ZHANG Wei-qian¹, HUANG Kai-pin¹, ZHENG Mao-rong¹

(1. The 7th General Team of Guizhou Nonferrous Metals and Nuclear Industry Geological Survey Bureau, Guizhou, Guiyang 550005, Guizhou, China; 2. No. 2 Geological Team, Tibet Autonomous Region Geological Mining Exploration and Development Bureau, Lhasa 850000, Tibet, China)

[Abstract] The fault zone of the centre Guizhou was formed before the Early Paleozoic and it's an important rock-control, ore-control, structural complex zone in central GuiZhou. In this paper, based on the analysis and study from the fault zone characteristics and its uranium mineralization relationship, using modern hydrothermal metallogenetic theory, breaking the shackles of sedimentary-surface metallogenetic thinking in the past, it's thought that the core of fault zone uranium mineralization is the superposition of tectonic and hydrothermal processes. And the metallogenetic mechanism is the participation of mantle-derived U-bearing fluids and the multiple superimposition and transformation of deep hydrothermal fluids. The uranium sources are mainly uranium-rich black rock series and late Mesozoic basalts. The main uranium ore bodies are located in secondary structures in the upper plate of fault zone and interlayer fracture zone and secondly local fault zone. Especially, the composite zone of structure and hot spot is very good uranium mineralization location.

[Key Words] Central Guizhou fault Zone; Characteristics; Uranium deposit; Mineralization; Tectonics and Hydrotherm; Guizhou