

粤东北仁差盆地构造演化与铀成矿构造机制探讨*

娄峰¹, 于玉帅^{2,3}, 郑义⁴, 蓝恒春¹, 朱晓琼¹, 邱惟¹

1. 广东省核工业地质局292大队, 广东 河源 517001;

2. 中国地质调查局武汉地质调查中心//中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心, 湖北 武汉 430205;

3. 东华理工大学省部共建核资源与环境国家重点实验室培育基地, 江西 南昌 330013;

4. 中山大学地球科学与地质工程学院, 广东 广州 510275)

摘要: 基于对仁差盆地以及邻区区域节理筛分和统计分析, 恢复了仁差盆地自印支期以来的古应力要素。印支期, 仁差地区受到南北向的挤压, 并形成东轴西向的褶皱, 并使地壳加厚; 燕山早期, 形成凹陷盆地, 开始接受沉积; 燕山晚期, 在重力作用下失稳导致近南北向伸展作用的产生, 形成仁差 NNE 断陷火山盆地的雏形; 始新世, 盆地转向隆起和剥蚀阶段, 形成了仁差盆地南高北低, 东高西低的现代构造格局。根据区域应力分析以及仁差盆地的地质特征, 构建了仁差盆地的构造演化模型。在此基础上, 进一步对仁差盆地的断裂体系演化做了初步研究, 并通过形变构造分析, 提出了本地区断裂体系与铀成矿的关系模式。

关键词: 构造演化; 构造机制; 铀成矿; 仁差盆地

中图分类号: P618.4 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2017)04-0145-09

Tectonic evolution and mechanism of uranium mineralization structure in the Rencha Basin, northeastern Guangdong

LOU Feng¹, YU Yushuai^{2,3}, ZHENG Yi⁴, LAN Hengchun¹, ZHU Xiaojiong¹, QIU Wei¹

(1. Party 292, Geological Bureau for Nuclear Industry of Guangdong,

Heyuan 517001, China;

2. Wuhan Center of Geology Survey, CGS//Research Center of Granitic Diagenesis and Mineralization, CGS, Wuhan 430205, China;

3. State Key Laboratory Breeding Base of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, China;

4. School of Earth Science and Geological Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The ancient stress factors since the Indosinian movement in Rencha basin and its adjacent area have been recovered based on joint screening and statistical analysis. The Rencha region was squeezed by the north-south stress during the Indosinian time, accompanying the formation of a series of east-west folds and crust thickening. A series of sag-type basins began to form and accept deposition in the early Yanshan orogeny, but the north-south extension led to instability induced by gravity and the embryonic formation of a NNE downfaulted volcanic basin in late Yanshan period. In the Eocene, the basin turned to uplifting and eroding stage, forming a modern tectonic pattern, with the east higher than the west. Ac-

* 收稿日期: 2016-05-03

基金项目: 国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项(2016YFC0600205); 中国地质调查局二级项目(DD20160134, 121201009000150007); 国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项(2016YFC0600400)

作者简介: 娄峰(1979年生), 男; 研究方向: 花岗岩与铀成矿; E-mail: louf@mail.sysu.edu.cn

通信作者: 于玉帅(1985年生), 男; 研究方向: 铀成矿理论与成矿预测; E-mail: shuaiyuy1103@163.com

ording to the regional stress analysis and geological characteristics, tectonic evolution model of the Rencha Basin was constructed. In the end, a preliminary fault system evolution of the Rencha Basin was carried out and the relationship between the fault system and uranium mineralization was proposed based on the deformation analysis.

Key words: tectonic evolution; tectonic mechanism; uranium mineralization; Rencha Basin

仁差盆地是粤东北地区典型的中生代火山断陷盆地之一,大地构造位置处于华南加里东褶皱系,永安-梅州晚古生代拗陷带,河源深断裂带东北部,是南岭成矿带与武夷成矿带的交汇部位,具有良好的区域成矿地质背景^[1]。盆地呈北北东向,为中生代陆相火山岩断陷盆地(K_2-E)。在广东省境内,盆地南北长 16 km,东西宽 10~15 km,面积约 200 km²。经过前人多年的勘探找矿工作,在区内发现多处铀、金、银、钼等多金属矿床(点),显示出良好的找矿前景^[2]。根据地质力学分析法,即从形变或结构的研究出发,该区正好处于南岭东西向复杂构造带和以河源-邵武断裂带为代表的新华夏系构造带复合交接地段,并有 SN 向、NW 向、NNE 向构造带的叠加。目前所见的 EW 向与 NE 向构造主要是在中-新生代构造运动定形的,并引起了地壳酸性熔浆的多次入侵和岩浆喷发。本文从盆地构造应力场分析入手,开展盆地断裂构造演化与铀成矿作用的研究,对该盆地的演化史研究以及铀找矿实践工作提供一定的依据。

1 仁差盆地构造特征

仁差盆地由 2 套地层组成,其中基底由寒武系、泥盆系-石炭系浅变质页岩和燕山早期文象花岗岩组成,它们主要分布在盆地边缘及外侧。盆地西部为桂坑花岗岩体,东部为大神坝岩体。盖层主要由晚白垩世火山岩组成,火山活动从弱到强,据岩相分析,火山岩系经历了爆发-喷溢-喷发-侵入几个阶段。岩层下部为含角砾凝灰岩、流纹岩,中部为火山碎屑岩、熔结凝灰岩,上部为火山碎屑岩,形成了喷发频繁、时间长、强度大、间歇多、厚度较大的酸性火山岩系。

1.1 断裂构造

盆地内构造以断裂构造为主,次为褶皱构造。断裂构造以 NNE 向为主,次为 EW 向和 NW 向。盆地主要受 NNE 向猪麻坝断裂、鹧鸪隆断裂夹持,还有众多次级断裂和火山构造(图 1)。其中鹧鸪隆断裂、猪麻坝断裂、麻楼断裂、鹿子坑断裂、火山口构造等是该区的主要控矿、含矿构造,盆地南

部的 278 铀矿床就赋存于麻楼断裂中。多期次构造活动,形成大的硅化带、破碎角砾岩带、构造岩等,成为铀多金属矿理想的成矿地段。仁差盆地断裂构造按规模分 V 级,按走向可分为 6 组,即近 EW 向、NNE 向和 NW 向,以 NNE 向为主,次为 NNW 向,NEE 向和 NW 向。

1.1.1 NNE 向断裂 NNE 向断裂是仁差盆地最主要的断裂组群,Ⅰ级构造为鹧鸪隆断裂,Ⅱ级构造以猪麻坝断裂为代表(图 1),是控盆控岩构造。它们控制了盆地的形成和火山活动,构造规模大,活动强烈,形成大的硅化带或破碎角砾岩带,活动具有长期性和继承性;Ⅲ级构造以鹿子坑断裂、文西断裂、咸水断裂、胡屋-上蔡断裂为代表;土祭-磷石下王竹冈一号断裂为Ⅳ级构造;发育在潘屋、曹屋、苏坑、土窝里等的断裂为Ⅴ级构造。Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级构造均发育在鹧鸪隆断裂构造上盘,自北向南呈左行斜列,多为正断层,构成阶梯状地堑构造。

1.1.2 NNW 向断裂 该组构造由Ⅳ级构造上村二、三号断裂和塔下、华山断裂组成。

1.1.3 NW 向断裂 以Ⅳ级构造松溪桥断裂为代表,在盆地内还发育有几组近等间距出现的 NW 向构造,为中基性脉岩,如罗车、鹿子坑、文西-胡屋中基性岩脉。

1.1.4 EW 向断裂 Ⅱ级构造为南部的麻楼断裂,Ⅲ级构造为北部的书院-竹子岭断裂,该组构造形成较早,多以断裂组形式展布。EW 向与 NNE 向相互交切、复合,控制着菖蒲群上组酸性岩浆的活动。

1.1.5 NW 向断裂 该组构造为Ⅴ级构造,以仙子宫、五指山、任地等断裂为代表。

1.1.6 NE 向组 该组构造为Ⅴ级构造,以野胡村一、二号等断裂为代表,规模小,为盖层断裂,形成时间较晚,往往错断 NNE 向和 EW 向断裂。

1.2 褶皱构造

盆地内褶皱构造主要表现为开阔的向斜盆地,仁居-差干向斜盆地,还有仁居、官屋、潘屋、差干 4 个小向斜盆地。在盆地东侧有 NNE 向带状展布的上举-水大坝向斜和苏坑-大富前背斜;盆地南为黄田复背斜。

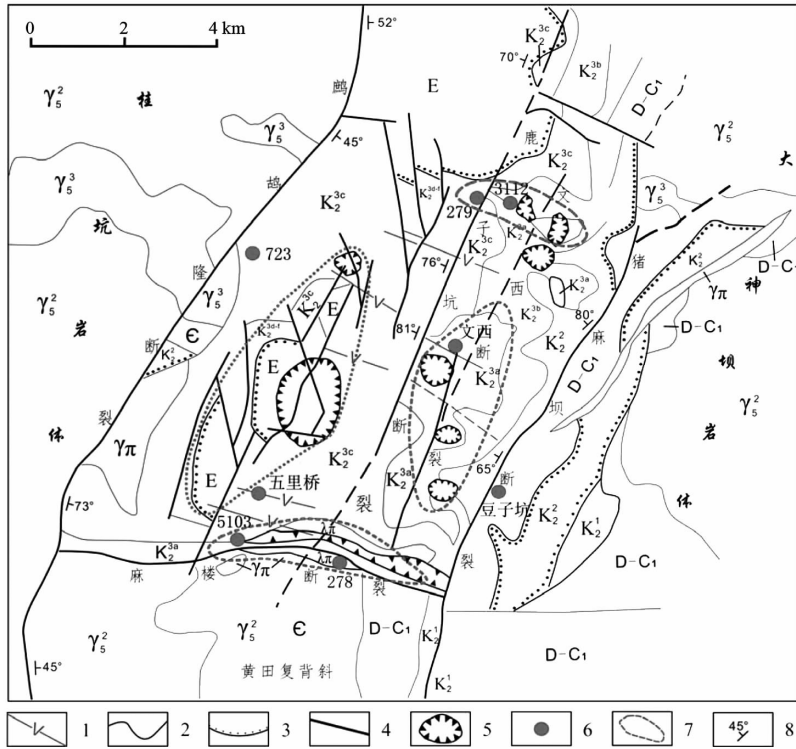


图 1 仁差盆地地质简图

Fig. 1 Geological sketch of the Rencha volcanic basin

1 - 中基性岩脉; 2 - 地质界线; 3 - 不整合界线; 4 - 断层; 5 - 古火山口; 6 - 矿床、矿点; 7 - 火山凹陷; 8 - 产状

1.3 火山构造

1.3.1 火山口 分布在盆地内的凉子石 - 3112 矿化点、鹅石山 - 畚脑、五福 - 塔下、文西、下举等地区, 除盆地南缘一带为线型喷发口外, 其他为中心式喷发口。

1.3.2 火山凹陷 盆地内分布着 4 个火山凹陷, 即凉子石 - 差干、文峰阁 - 文西、五福 - 仁居、鹅石 - 畚脑。火山凹陷有的是次级破火山口, 有的是后期断陷中心 (图 1)。

2 区域应力和盆地演化

粤东北乃至整个中国东南部的盆地, 早中生代多为凹陷盆地, 晚中生代以伸展断陷盆地为主^[3], 且共轭剪节理极为发育, 邓平等^[4]就曾通过对闽西 - 赣南早、中侏罗世盆地内节理进行过统计, 分析了该区的应力场演化。笔者也试图根据区域古应力场的演化, 构建仁差盆地的构造演化史以及与之相关的构造体系。仁差盆地由于受多期构造运动的强烈改造及印支、燕山期岩浆活动的扰动, 不断受到抬升和剥蚀, 区内地层出现缺失, 目前出露的地层仅为盆地外围的寒武纪、泥盆纪和石炭纪地层, 盆地内为白垩纪火山岩和古近纪沉积岩所覆盖。目

前仁差盆地现有的地层不足以完成印支期以来应力场演化的连续性, 因此相邻地区各期次地层古应力的恢复, 有助于对仁差盆地的构造演化提供直接的信息。

2.1 区域应力分析

大量区域资料整理及野外节理测量获得, 粤东北仁差盆地及邻区 2 000 多组节理产状数据 (统计地区主要为粤东北平远地区、梅县白渡, 粤北南雄盆地和焦岭以东闽西的东坑、湖雷地区)。根据节理出现在不同地层单元的情况及切割关系进行筛分, 大致将统计的共轭节理划分为 4 期。① 发育在上三叠统的节理; ② 下侏罗统和中侏罗统, 但没有切穿白垩系地层的节理; ③ 下白垩统和上侏罗统的节理; ④ 贯穿古近系至侏罗系地层内的节理。将 4 个不同期次节理经吴氏网赤平投影 (表 1), 求得不同时代岩层中的节理极密值。所有赤平投影图都显示了 2 组极密节理区域, 分别对应一组共轭剪节理。第一期上三叠统岩层的极密点为 $67^\circ \angle 10^\circ$ 和 $305^\circ \angle 9^\circ$, 对应剪切面优势变形方位为 $157^\circ / 247^\circ \angle 80^\circ$ 和 $35^\circ / 125^\circ \angle 81^\circ$; 第二期下、中侏罗统中的极密点为 $90^\circ \angle 26^\circ$ ($100^\circ \angle 14^\circ$) 和 $286^\circ \angle 13^\circ$ ($300^\circ \angle 10^\circ$), 对应剪切面优势变形方

位为 $0^\circ/270^\circ \angle 64^\circ$ ($10^\circ/280^\circ \angle 76^\circ$) 和 $16^\circ/106^\circ \angle 77^\circ$ ($30^\circ/120^\circ \angle 80^\circ$); 第三期下白垩统和上侏罗统中的极密点为 $48^\circ \angle 24^\circ$ ($44^\circ \angle 8^\circ$) 和 $336^\circ \angle 22^\circ$ ($326^\circ \angle 10^\circ$), 对应剪切面优势变形方位为 $138^\circ/228^\circ \angle 66^\circ$ ($134^\circ/224^\circ \angle 82^\circ$) 和 $66^\circ/156^\circ \angle 68^\circ$ ($56^\circ/146^\circ \angle 80^\circ$); 第四期古近系至侏罗系地层中的极密点为 $45^\circ \angle 20^\circ$ 和 $304^\circ \angle 38^\circ$, 对应剪切面优势变形方位为 $135^\circ/225^\circ \angle 70^\circ$ 和 $34^\circ/124^\circ \angle 52^\circ$ 。

将上述极密点经赤平投影求得每期的主应力轴倾伏向和倾伏角。第一期节理主要集中在平远上三叠统地层中, 最大和最小主应力轴 σ_1 和 σ_3 近水平展布, 中间轴 σ_2 较陡, σ_1 ($\sigma_1 = 4^\circ \angle 20^\circ$) 近南北方向展布, 推测与印支期后造山碰撞 SN 向挤压的区域应力场有关。第二期节理主要集中在闽西东坑、湖雷地区下侏罗统和中侏罗统地层中, 最大主应力方向近南北向且较陡直 ($\sigma_1 = 5^\circ \angle 65^\circ$ 和 $\sigma_1 = 5^\circ \angle 65^\circ$), 说明早侏罗世晚期开始, 本区应力由南


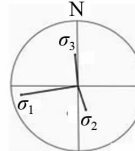

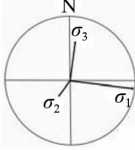

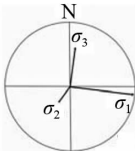
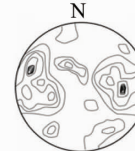
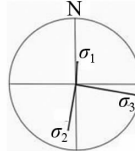
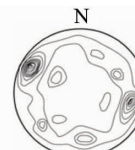
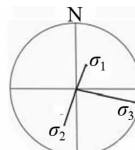

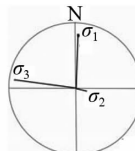
北向水平挤压转变为南北向的垂向挤压和东西向的伸展, 推测与燕山早期地壳增厚和强烈岩浆活动或深部裂谷作用有关。第三期节理主要集中于粤东北平远县和梅县下、中侏罗统地层中, 最大主应力轴倾伏向北西和南东展布 ($\sigma_1 = 102^\circ \angle 2^\circ$ 和 $\sigma_1 = 278^\circ \angle 4^\circ$), 为早白垩世应力场作用, 推测是太平洋板块向欧亚板块俯冲的应力场所至。第四期节理主要集中于粤北南雄盆地晚白垩世至古近纪地层中, 最大主应力轴近东西向展布, 呈现东西挤压、南北伸展的应力状态 ($\sigma_1 = 264^\circ \angle 10^\circ$ 和 $\sigma_3 = 358^\circ \angle 42^\circ$), 且伸展轴 σ_3 较陡, 这也与中国东部地区在该阶段形成诸多的伸展断陷盆的地质事实相吻合^[5-6]。

2.2 盆地构造演化

根据仁差盆地及邻区古应力场的恢复, 结合仁差盆地的地质特征, 主要总结了仁差盆地自印支期以来, 与应力场对应的构造事件和构造演化史。

表 1 粤东北构造应力期次划分表

Table 1 Tectonic stress stage division of northeastern Guangdong

期次划分	时代	节理极密等值线	主应力轴赤平投影	古应力场
第四期	$K_2 - E$	 节理个数118 极密点 $45^\circ \angle 20^\circ$ $304^\circ \angle 38^\circ$	 $\sigma_1=264^\circ \angle 10^\circ$ $\sigma_2=160^\circ \angle 48^\circ$ $\sigma_3=358^\circ \angle 42^\circ$	EW 水平挤压 SN 垂向伸展
第三期	K_1	 节理个数112 极密点 $48^\circ \angle 24^\circ$ $336^\circ \angle 22^\circ$	 $\sigma_1=102^\circ \angle 2^\circ$ $\sigma_2=200^\circ \angle 60^\circ$ $\sigma_3=15^\circ \angle 30^\circ$	NW - SE 水平挤压 SN 水平伸展
		 节理个数135 极密点 $44^\circ \angle 8^\circ$ $326^\circ \angle 10^\circ$	 $\sigma_1=102^\circ \angle 2^\circ$ $\sigma_2=200^\circ \angle 60^\circ$ $\sigma_3=15^\circ \angle 30^\circ$	
第二期	$J_1 - J_2$	 节理个数138 极密点 $90^\circ \angle 26^\circ$ $286^\circ \angle 13^\circ$	 $\sigma_1=5^\circ \angle 65^\circ$ $\sigma_2=193^\circ \angle 25^\circ$ $\sigma_3=100^\circ \angle 7^\circ$	SN 向垂向挤压 EW 向水平伸展
		 节理个数96 极密点 $100^\circ \angle 14^\circ$ $300^\circ \angle 10^\circ$	 $\sigma_1=14^\circ \angle 55^\circ$ $\sigma_2=200^\circ \angle 36^\circ$ $\sigma_3=105^\circ \angle 5^\circ$	
第一期	T_3	 节理个数126 极密点 $67^\circ \angle 10^\circ$ $305^\circ \angle 9^\circ$	 $\sigma_1=4^\circ \angle 20^\circ$ $\sigma_2=184^\circ \angle 72^\circ$ $\sigma_3=275^\circ \angle 5^\circ$	SN 向水平挤压 EW 向水平伸展

印支期，仁差地区地壳受到南北向的挤压 ($\sigma_1 = 14^\circ \angle 20^\circ$)，在现今盆地南部麻楼地区形成东西向断裂带，地层受区域热变质作用在基底形成脆韧性转化带。受区域应力持续影响，仁差盆地南部以麻楼断裂为界向北逆冲推覆，将基底早古生代及上覆地层推覆至晚古生代地层之上，并形成轴东西向的褶皱，并使地壳加厚 (图 2 a - T₃)。

燕山早期由于古太平洋板块向欧亚板块俯冲进一步导致地壳增厚和强烈岩浆活动，形成了华南广泛分布的花岗岩体 (图 2 b - J)。据仁差盆地勘探钻孔内的基底文象花岗岩 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 年龄测试结果显示，仁差盆地基底花岗岩成岩年龄为 (179.18 ± 0.98) Ma 和 (186.32 ± 0.85) Ma，表明仁差盆地基底花岗岩形成于早侏罗世晚期，这一时期粤东北邻区的连平大顶铁矿石背岩体 (176 ± 4) Ma 和闽西南地区紫金山岩体为 (168 ± 4) Ma^[7-8]，均发育有花岗岩基底，虽然形成时代稍晚，但从区域上看，应为同期的岩浆活动产物。此阶段由于太平洋板块向欧亚板块发生俯冲，导致地壳增温，壳内物质熔融形成岩浆，由于上覆地层增厚，此时主应力方向陡直 ($\sigma_1 = 14^\circ \angle 55^\circ, \sigma_2 = 5^\circ \angle 65^\circ$)，区域上形成一系列 NE 向凹陷盆地。

展作用的产生 ($\sigma_3 = 358^\circ \angle 42^\circ$)，同时伴有中、基性岩脉的侵入和 NNE 伸展断陷盆地的产生，在盆地边部形成众多的小型火山口，形成仁差断陷火山盆地的雏形，一直持续到古近纪早期 (图 2c)。据最新测年资料显示，仁差盆地流纹岩样品中单颗粒锆石 (93.5 ± 1.6) Ma，次花斑岩 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 年龄 (95.1 ± 1.1) Ma 和辉绿岩年龄为 (96.2 ± 2.8) Ma^[9]。此阶段仁差地区持续受 NW 向应力影响 ($\sigma_1 = 278^\circ \angle 4^\circ$)，导致早期形成的东西向断裂左旋张裂，盆地向北西掀斜，并形成规模巨大的北北东向断裂及褶皱，至此区域构造骨架、盆地轮廓基本形成。

始新世，太平洋板块加速了向欧亚板块的俯冲，同时因受印度板块与欧亚板块的碰撞的影响，在两个方向力的作用下华南大陆总体抬升^[10]，从而结束了仁差盆地的沉积，转向隆起和剥蚀阶段，形成了仁差盆地南高北低，东高西低的现代地貌，在南部麻楼地区出露寒武系地层和东部的泥盆、石炭系地层 (图 2 d - E)。

3 断裂构造演化与铀成矿

本区的北东向断裂 - 鹧鸪隆断裂是区域河源 - 绍武断裂带的组成部分，该断裂带总体走向 NEE，属于新华夏构造体系的元素，故其形成时的力学性质应为左旋压扭性^[11]，明显经过多期活动，不但控制了晚白垩 - 古近纪火山断陷盆地的形成，同时诱发了盆地内部复杂的次级构造体系，NW 向、NNW 和 EW 向断层和 NNE 向断层一起，构成了仁差盆地最主要的导矿和控矿断层体系。

河源 - 绍武断裂经历了多次的区域挤压和伸展构造作用，而规模最大的伸展活动开始于晚白垩世。邹和平等^[12]曾对华南 NNE 向断裂做了系统的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄图谱，其中河源断裂糜棱岩中的白云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄显示该断裂在 90.5 ~ 87.7 Ma 发生了强烈的韧性剪切作用，后期韧 - 脆性转化伸展年龄为 85.8 ~ 59.2 Ma。邻区的南雄断裂带韧性剪切运动发生在 94.6 Ma；莲花山断裂带的韧性剪切年龄为 117.5 ~ 129.7 Ma，后期地壳伸展年龄为 97 ~ 66 Ma；南澳断裂带韧性剪切年龄为 121.5 ~ 126.2 Ma，后期地壳伸展年龄为 86.0 Ma；东南沿海地区沿北东向断裂还形成一系列碱性 (A 型) 花岗岩和基性岩脉，形成年龄大约为 90 ~ 94 Ma^[13-14]，如漳州新村岩体为 93 ~ 97 Ma、魁岐岩体为 93 Ma、笔架山岩体为 92 Ma^[15]。因此，仁差盆地 NNE 向断裂所受应力从挤压 - 伸展的转换时

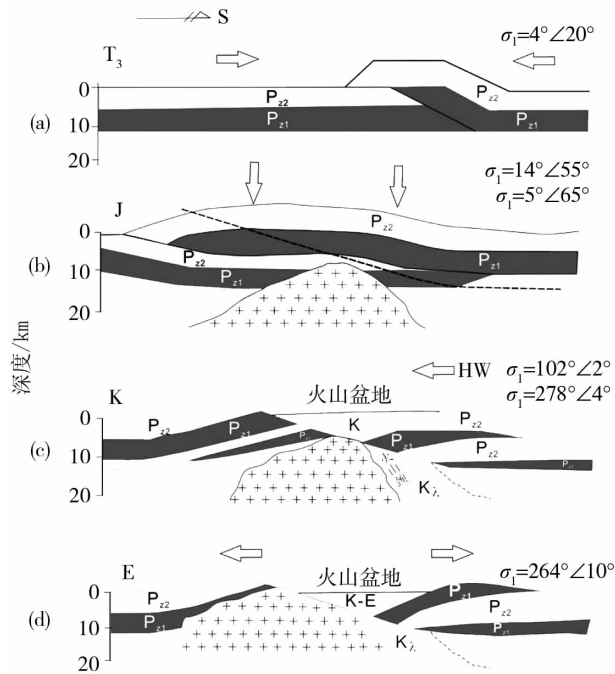


图 2 仁差盆地构造演化图

Fig. 2 Tectonic evolution of the Rencha volcanic basin

燕山晚期，由于印支期和燕山早期造山运动形成增厚的地壳，在重力作用下失稳导致近南北向伸

间大致在早白垩世晚期或晚白垩世早期,这一时间段与邻区的构造年龄资料基本吻合,反映区域上构造运动与演化的统一性。

3.1 断裂形成机制

早白垩世晚期,由于仁差盆地区域上受控于太平洋构造域,盆地主要以北西西和南东东向的水平挤压为主 ($\sigma_1 = 102^\circ \angle 2^\circ, \sigma_2 = 278^\circ \angle 4^\circ$) (表 1), 首先形成一组 NNW 向的单斜断裂, 呈左行雁列式展布, 主要分布在鹧鸪隆断裂以东、鹿子坑断裂西, 如上村二、三号、塔下、华山等断裂。

随后沿优势剪切面形成与 NNW 主压应力方向平行的追踪张裂面, 在仁差盆地内表现为多组自南向北近等间距排列的中基性岩脉充填 (图 3), 如松溪桥、罗车、鹿子坑、文西-胡屋中基性岩组等。

由于主压应力的持续影响, 盆地两侧断层夹持

的中间地块发生弯曲并在轴部及两侧形成与主压应力垂直的纵张裂面, 即 NNE 向组断裂, 如鹿子坑、文西、胡屋-上增、潘屋和曹屋等次级断裂 (图 4)。

因此, 从构造形迹上分析, 仁差盆地的断裂体系是由晚白垩世 NNW 和 SEE 向应力场诱发而形成, 其主要派生断裂演化次序为 NNW 向断裂 - NNW 向断裂 - NNE 向断裂。在断裂演化过程中, 伴随着左旋张扭或压扭, 后期以新华夏系代表的 NNE 向断裂构造对前期构造有不同程度的改造, 形成了仁差盆地复杂的断裂构造体系, 也成为后期轴等多金属矿床有利的导矿和控矿构造。

3.2 铀成矿与断裂体系的关系

研究表明仁差盆地的铀成矿年龄主要集中在晚白垩世 60.5 ~ 70.7 Ma 以来, 个别年龄数据为新生代^[9]。因此, 晚白垩世成为铀矿的主要成矿年龄阶段, 在时间上大致与仁差盆地的伸展时间所对应或者稍滞后^[16]。众所周知, 华南众多的火成岩型铀矿与伸展构造息息相关, 除中基性岩和 A 型花岗岩外, 断裂的表现形式也是伸展作用最具体的标志物之一, 只是充填不同而已。

岩浆成矿过程中, 往往是通过导矿构造运移至低应力区域, 也就是我们常说的低压区。虽然导矿构造起到运移的作用, 但是多数导矿构造是岩浆系统的开放构造 (断层的表现形式为拉张), 若构造连接至地表, 大部分成矿流体或气体会随之流失, 不能形成大规模矿床, 而导矿构造所派生的次级构造由于与导矿构造贯通且环境较封闭, 多数成为理

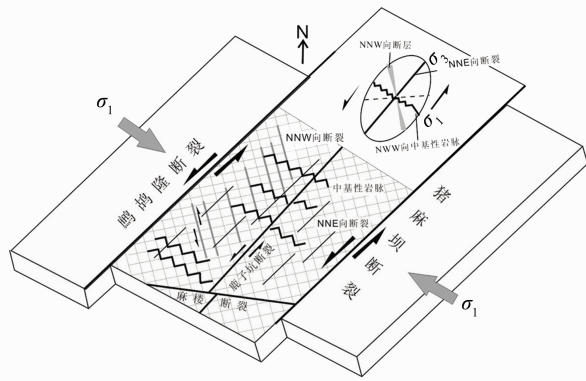


图 3 仁差盆地断裂构造演化模式图

Fig. 3 Fault tectonic evolution of the Rencha Basin (图中网格为 2 组共轭剪切优势面走向)

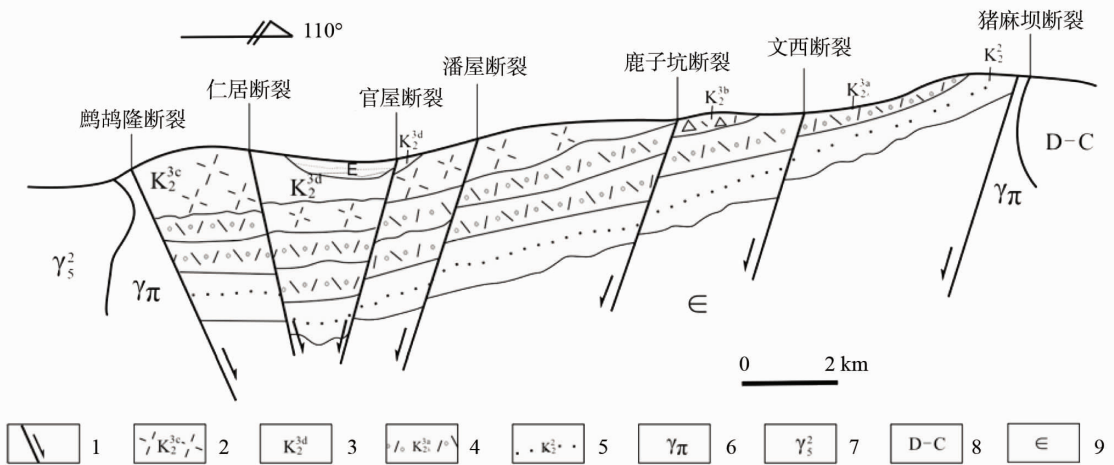


图 4 仁差盆地剖面图

Fig. 4 Profile of the Rencha Basin

- 1 - 断裂; 2 - 白垩系熔结凝灰岩; 3 - 白垩系含砾凝灰岩; 4 - 白垩系流纹岩; 5 - 白垩系砂砾岩; 6 - 花岗斑岩;
- 7 - 燕山早期花岗岩; 8 - 泥盆、石炭系石英砂砾岩; 9 - 寒武系片岩

想的控矿和成矿场所。因此，导矿构造、控矿构造和成矿构造的筛分，为铀矿找矿实践提供了更多的有利信息。在以往的铀矿找矿工作中，多条不同走向断层的交汇部位通常是地质工作者最关注的找矿地段，也是最有可能成为导矿构造的地质体。但是，必须通过断层的活动期次筛分和应力分析加以判别，现以仁差盆地为例说明。

仁差盆地内断层主要受新华夏系区域应力影响，使后期断层相互切割，主要为 NNE 向断层切割 NW 或 EW 向构造，但是 NW 或 EW 断层切割北东向断层的现象也很普遍，如南部的麻楼 EW 断裂和差干 NW 向基性岩脉均切断了 NNE 向的鹿子坑断裂，因为华南新华夏系主应力方位为 NW-SE，且以水平应力为主，在这种应力场中，NNE 向断层与主压力的交角较大，断层可以作右旋压扭运动，以粘滑为主^[17]；NW 或 EW 断层与主压力交角较小，断层面上摩擦力小，多数断层作左旋张扭运动，以稳滑为主，并且断层在很大程度上受到拉张作用，在断层上盘的自重下可以引起下滑，加上左旋平移，其活动量大于 NNE 向断层。因此，经常表现为 NW 或 EW 断层切割了北东向断层。

由于 NW 或 EW 向断层产状不同，两个方向断层互切又分为 4 种情况（以 NW 和 NNE 向断层为例）：① NW 向断层倾向 SW，切断 NNE 向断层（假定 NNE 向断层倾向 SE，下同）的结果，是两断层交汇部位形成拉张区，即低应力区（图 5a）；② NW 向断层倾向 NE，切断 NNE 向断层的结果，是两断层交汇部位形成挤压区即高应力区（图 5b）；③ NNE 向断层切断 SW 倾向的 NW 向断层结果，是两断层交汇部位形成拉张区（图 5c）；④ NNE 向断层切断 NE 倾向的 NW 向断层结果，是两断层交汇部位形成挤压区（图 5-d）。

NNE 向断层和 NW 或 EW 断层交汇部位形成的拉张区，是成矿流体最理性的导矿构造。如差干铀多金属矿床位于 NNE 向鹿子坑断裂和一组以辉绿岩为代表的 NW 向构造的交汇部位（图 6a）。NW 向辉绿岩（倾向 SW）切断 NNE 向鹿子坑断裂，两断裂交汇处形成拉张区（如图 5a），在拉张区以西鹿子坑断裂上盘 500~600 m 范围的隐伏次级裂隙内，经钻孔验证发现了矿体的存在和大量的矿化现象，且次级断裂的发育程度控制了矿化的垂直幅度和规模。在裂隙发育带和构造角砾岩带，还发现有富而厚的多金属工业矿化。

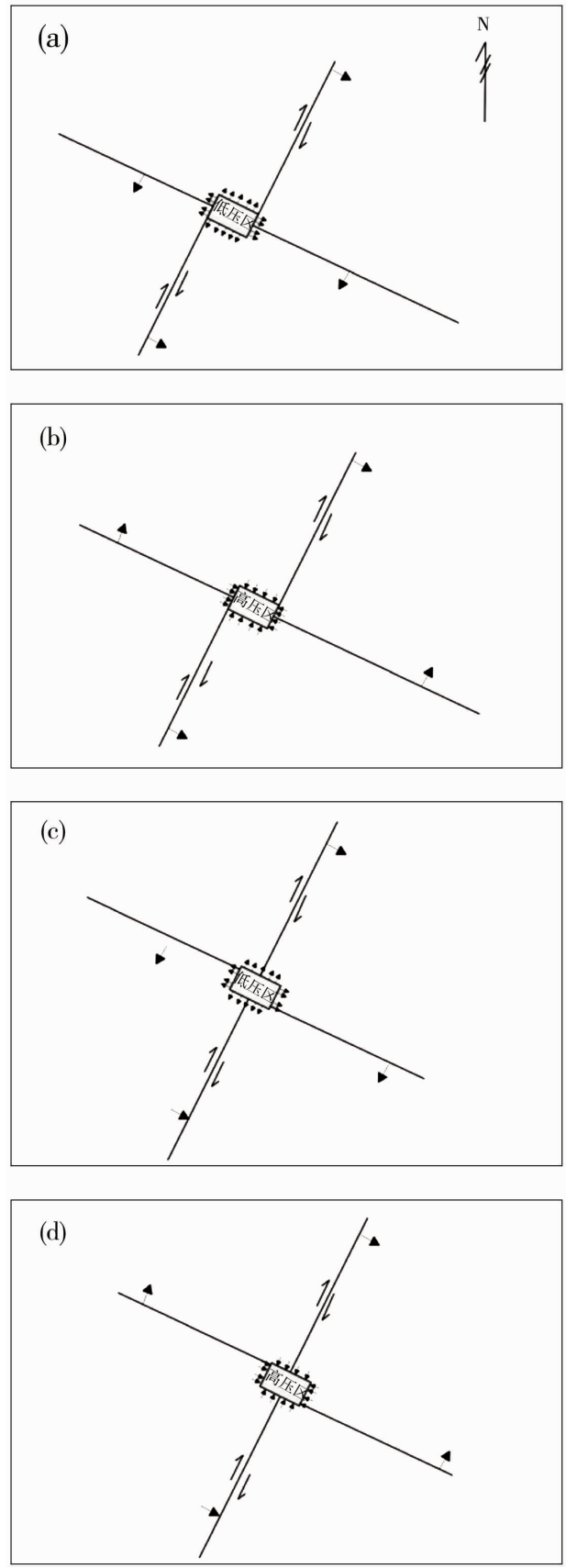


图 5 断层切割关系模型

Fig. 5 Model of cutting relationship of faults

图 6b 是仁差盆地南部麻楼铀矿床东段 II 号矿体平面图, 麻楼铀矿床内存在多条 NE 向断裂构造, 达 10 多条, 其中控制 II 号矿体的 NNE 向 F_8 断层横切近 EW 向麻楼断裂带 F_1 、火山岩和变质岩。在 F_1 断距间形成拉张区 (如图 5c), 在拉张区两侧, 主要在 F_8 上盘的次流纹斑岩上界内带裂

隙群带中形成富铀矿体。因此, NNE 向沿倾向的延伸轴向方向是寻找深部工业矿体的另一找矿标志之一, 尤其 NNE 向断裂构造与 F_1 断裂构造的交汇部位, 以及次流纹斑岩顶界内接触带裂隙构造的发育部位是储矿的有利空间。

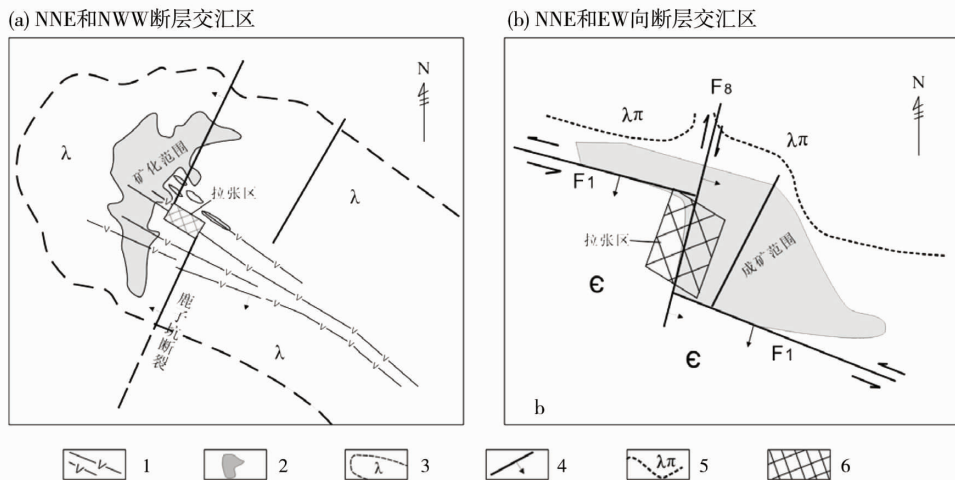


图 6 断层构造与铀矿化的空间关系

Fig. 6 Spatial relation of fault tectonic and uranium mineralization

1 - 基性岩脉; 2 - 矿化或矿体范围; 3 - 流纹岩边界; 4 - 断层; 5 - 次流纹斑岩边界 6 - 拉张区

4 结 论

对仁差盆地以及邻区区域节理筛分和统计分析, 恢复了仁差盆地自印支期以来的古应力要素, 并根据区域应力分析以及仁差盆地的地质特征, 构建了仁差盆地的构造演化模型。在此基础上, 进一步对仁差盆地的断裂体系演化做了初步研究, 并通过形变构造分析, 提出了本地区断裂体系与铀成矿的关系模式, 主要得到以下认识:

1) 印支期, 仁差地区受到南北向的挤压, 在南部麻楼地区形成东西向断裂带。受区域应力持续影响, 仁差盆地南部以麻楼断裂为界向北逆冲推覆, 将基底早古生代及上覆地层推覆至晚古生代地层之上, 并形成长轴东西向的褶皱, 并使地壳加厚; 燕山早期, 由于古太平洋板块向欧亚板块俯冲, 进一步导致地壳增厚和强烈岩浆活动, 仁差盆地及周边形成了大规模的花岗岩基底, 并受重力作用, 形成凹陷盆地, 开始接受沉积; 燕山晚期, 由于印支期和燕山早期造山运动形成增厚的地壳, 在重力作用下失稳导致近南北向伸展作用的产生, 同时伴有中、基性岩脉的侵入和 NNE 伸展断陷盆地

的产生, 在盆地边部形成众多的小型火山口, 形成仁差断陷火山盆地的雏形, 一直持续到古近纪早期; 始新世, 因受印度板块与欧亚板块的碰撞的影响, 在两个方向力的作用下仁差盆地转向隆起和剥蚀阶段, 形成了仁差盆地南高北低, 东高西低的现代构造格局。

2) 从构造形迹上分析, 仁差盆地的断裂体系是由晚白垩世 NNW 和 SEE 向应力场诱发而形成, 其主要派生断裂演化次序为 NNW 向断裂 - NNW 向断裂 - NNE 向断裂。在断裂演化过程中, 伴随着左旋张扭或压扭, 后期以新华夏系代表的 NNE 向断裂构造对前期构造有不同程度的改造, 形成了仁差盆地复杂的断裂构造体系, 也成为后期铀等多金属矿床有利的导矿和控矿构造。

3) 仁差盆地内断层主要受新华夏系区域应力影响, 使后期断层相互切割, 其中 NNE 向断层和 NNW 或 EW 断层交汇部位形成的拉张区, 是仁差盆地最主要的导矿构造, 而 NNE 成为最主要的控矿构造, 其所派生的次级断裂或裂隙是铀多金属矿主要的赋存场所, 也是该地区重要的找矿标志之一。

参考文献:

- [1] 刘延勇,卢映新,梁业武,等. 仁差火山盆地多金属成矿条件分析[J]. 桂林工学院报,2007,27(4):471-473.
LIU Y Y, LU Y Y, LIANG Y W, et al. Analysis on metallogenic conditions of Rencha volcanic basin[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2007, 27(4):471-473.
- [2] 宋仕珠,赵巍,郑明良,等. 粤东北仁差盆地麻楼逆冲推覆构造特征与铀成矿作用[J]. 铀矿地质,2010,26(5):283-287.
SONG S Z, ZHAO W, ZHENG M L, et al. Features and uranium mineralization of Malou thrust nappe structure in Rencha basin of northeast Guangdong[J]. Uranium Geology, 2010, 26(5):283-287.
- [3] 王晶,陈国能, GRAPES R, 等. 壳内岩浆层演化的盆地效应:以中国东南部中生代盆地为例[J]. 地学前缘, 2011, 18(1):24-31.
WANG J, CHEN G N, GRAPES R, et al. The relationship between evolution of the intracrustal magma layer and development of basins: An example from the Mesozoic basins in Southeast China [J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(1):24-31.
- [4] 邓平,舒良树,余心起,等. 闽西-赣南早-中侏罗世盆地及其火成岩特征[J]. 岩石学报,2004,20(3):521-532.
DENG P, SHU L L, YU X Q, et al. Early-Middle Jurassic basins and features of igneous rocks in the western Fujian-southern Jiangxi region [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3):521-532.
- [5] 陈培荣. 华南东部中生代岩浆作用的动力学背景及其与铀成矿关系[J]. 铀矿地质,2004,20(5):266-270.
CHEN P R. Geodynamic setting of Mesozoic magmatism and its relationship to uranium metallogenesis in southeastern China [J]. Uranium Geology, 2004, 20(5):266-270.
- [6] 毛景文,谢桂青,李晓峰,等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘,2004,11(1):44-55.
MAO J W, XIE G Q, LI X F, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1):44-55.
- [7] 邓平,舒良树,谭正中,等. 南岭中段中生代构造-岩浆活动与铀成矿序列[J]. 铀矿地质,2002,18(5):257-263.
DENG P, SHU L S, TAN Z Z, et al. Mesozoic tectonomagmatic activity and uranium metallogenetic sequence in mid-Nanling tectonic belt [J]. Uranium Geology, 2002, 18(5):257-263.
- [8] 赵希林,毛建仁,陈荣,等. 闽西南地区紫金山岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 中国地质,2008,35(4):590-597.
ZHAO X L, MAO J R, CHEN R, et al. SHRIMP zircon dating of Zijinshan pluton in southwestern Fujian and its implications [J]. Geology in China, 2008, 35(4):590-597.
- [9] 刘国奇,赵葵东,夏菲,等. 广东仁差盆地火山岩型铀矿床成岩成矿时代和成因研究[J]. 矿物学报,2015(S):7-10.
LIU G Q, ZHAO C D, XIA F, et al. Uranium of Rencha Volcanic Basin deposits metallogenic epoch and genesis research in Guangdong province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015(S):7-10.
- [10] 张培震,张会平,郑文俊,等. 东亚大陆新生代构造演化[J]. 地震地质,2014,36(3):574-585.
ZHANG P Z, ZHANG H P, ZHENG W J, et al. Cenozoic tectonic evolution of continental Eastern Asia [J]. Seismology and Geology, 2014, 36(3):574-585.
- [11] 水涛,刘昌森. 广东及其邻区的华夏系方向构造[J]. 地质科学,1979,7(3):195-204.
SHUI T, LIU C S. On the Cathaysian structural system in Guangdong province and its neighboring regions [J]. Chinese Journal of Geology, 1979, 7(3):195-204.
- [12] 邹和平,王建华,丘元禧. 广东南澳和莲花山韧性剪切带⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义[J]. 地球学报,2000,21(4):356-364.
ZOU H P, WANG J H, QIU Y X. ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of the Nanao shear zone and the Lianhuashan shear zone in Guangdong province and their geological significance [J]. Acta Geoscientia sinica, 2000, 21(4):356-364.
- [13] 陶奎元. 环太平洋中国东南大陆火山带独特性探讨 [C]//陆志刚,陶奎元. 中国东南沿海火山地质与矿产论文集(第1辑). 北京:地质出版社,1992:1-13.
- [14] 王德滋,周新民,等. 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[M]. 北京:科学出版社,2002:1-295.
- [15] 周恂若,吴克隆,严炳铨,等. 漳州 I-A 型花岗岩 [M]. 北京:科学出版社,1994:1-148.
- [16] 陈国能,邱惟,卢映新,等. 陆壳多次重熔与火山岩型铀-多金属矿田的形成[J]. 地学前缘,2015,22(4):22-28.
CHEN G N, QIU W, LU Y X, et al. Multi crustal melting and its relationship to the formation of volcanic-type uranium-polymetal ore-field [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(4):22-28.
- [17] 黄玉昆,邹和平,张珂,等. 新构造学[M]. 广州:广东省地图出版社,1995:144-145.