

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩—成矿的时间差及其地质意义

华仁民

成矿作用研究国家重点实验室, 花岗岩火山岩及成矿理论研究所, 南京大学地球科学系, 210093

内容提要:南岭地区陆壳重熔型花岗岩类的成岩作用与相关的成矿作用之间存在着明显的时间差, 主要表现为3种情况: ① 南岭地区大部分“花岗岩型”铀矿床的花岗岩成岩时间是印支期, 但铀的成矿作用主要发生在燕山晚期, 其间存在着巨大的时间差; ② 在燕山中期第一阶段(170~150 Ma)达到高潮的陆壳重熔型花岗岩类, 其相关的钨锡等稀有金属矿化多发生在燕山中期第二阶段(150~139 Ma), 成岩与成矿相差十几百万年; ③ 燕山晚期许多浅侵位的花岗质岩体与相关的锡、铀矿化之间也存在明显的时间差。这一时间差反映了成岩作用与成矿作用之间在物质来源和地质构造背景等方面的差异, 可能揭示了花岗岩与矿床在形成机制上的根本性差异。南岭地区大规模金属成矿作用主要与拉张的动力学背景、壳—幔相互作用、高的热流值, 以及深部流体的参与密切相关。

关键词: 陆壳重熔型花岗岩; 成岩作用; 成矿作用; 时间差; 地幔流体; 南岭

南岭地区是中国重要的有色、稀有和贵金属矿产资源产地, 拥有许多大型、超大型矿床。大量研究成果表明, 南岭地区的金属成矿作用, 与中生代, 尤其是燕山期各种花岗岩类有密切的成因关系, 其中尤以陆壳重熔型花岗岩类与 W、Sn、Bi、Mo、Li、Be、Nb、Ta、REE 以及 U 等金属的大规模成矿作用有密切的成因关系, 并成为中国东部燕山期大规模成矿作用或“成矿大爆发”(毛景文等, 1999; 华仁民等, 1999)的重要组成部分。前人在这方面已经有大量的研究成果。笔者曾把与陆壳重熔型花岗岩类有关的矿床归结为一个成矿系统(华仁民等, 2003)。

笔者在近几年研究工作中发现, 南岭地区陆壳重熔型花岗岩类的成岩作用与相关的成矿作用之间存在着明显的时间差, 而这一时间差实际上反映了成岩作用与成矿作用之间在地质构造背景和物质来源等方面的差异。

1 基本事实

南岭地区中生代陆壳重熔型花岗岩类主要形成于以下几个时期和地区: ① 印支期花岗岩类数量较少, 大多数年龄为 240~205 Ma, 主要分布在西部的雪峰隆起带、东部的武夷隆起带, 以及湘中—粤西—桂南一带。② 燕山中期第一阶段(170~150 Ma)在南岭及其周边地区出现大量以黑云母二长花岗岩为

主的“改造型花岗岩”, 尤其在 160 Ma 前后形成高峰, 如湘南的千里山、骑田岭、黄沙坪, 赣南的西华山、漂塘、大吉山, 粤北的佛岗、红岭、司前, 桂北的花山、姑婆山、里松、栗木等。③ 燕山晚期花岗质火山—侵入杂岩(139~97 Ma)大规模发育于南岭东段(赣江断裂带以东)及临近地区。

南岭地区中生代与花岗岩类有关的成矿作用却并不完全对应于以上时间。目前看来, 与陆壳重熔型花岗岩类有关的大规模成矿作用主要发生在 150~139 Ma 的燕山中期第二阶段, 以及燕山晚期的 125~<98 Ma(华仁民等, 2005)。具体来说, 花岗岩类与有关矿床时间上的差异主要有以下三种情况。

1.1 印支期花岗岩类与花岗岩型铀矿的巨大时差

南岭地区的花岗岩型铀矿床在中国铀资源总量中占有重要地位, 通常认为该类型热液铀矿床受控于燕山期, 特别是燕山晚期的岩浆—热液作用。但是上世纪 90 年代以来, 对华南许多大型花岗岩型铀矿床宏观地质条件及成矿物质来源的深入研究表明, 印支期花岗岩类在铀矿床形成过程中可能起了更为关键的作用。因为许多大型热液铀矿床都产在印支期花岗岩中, 或其基底系由印支期花岗岩构成(卢武长等, 1991; 金景福等, 1993; 陈迪云, 1997; 邓平等, 2000; 徐夕生等, 2003), 例如福建毛洋头铀矿床, 盖层火山岩为南园组(K)的英安质至流纹质火山岩,

注: 本文为国家重点基础研究发展规划项目(编号 1999CB403209)和国家自然科学基金项目(编号 40132010, 40572057)资助的成果。

收稿日期: 2005-01-07; 改回日期: 2005-07-04; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 华仁民, 男, 1946年生。现为南京大学教授, 主要从事矿床学领域的教学与研究工作。Email: huarenmin@nju.edu.cn。

而基底是印支期高溪黑云母花岗岩;江西猫尖洞铀矿床,矿化发生在白垩纪粗安岩火山通道的周围,而其基底大富足岩体为印支期二云母花岗岩;江西白面石铀矿床,火山岩盖层为燕山早期玄武岩—流纹岩构成的双峰式火山岩组合,而基底白面石岩体为印支期二云母花岗岩;诸广山岩体中的长江、澜河、鹿井等铀矿田,矿区范围内均有大面积分布的印支期花岗岩作为燕山期小岩体和矿体的围岩。徐夕生等(2003)对贵东岩体东部与众多铀矿床有关的下庄岩体进行了单颗粒锆石 U-Pb 定年,测得年龄为 235.8 Ma,属印支期。

上述实例表明,与南岭地区大型铀矿床相关的燕山期火山岩或侵入岩的岩性是多变的,有酸性的花岗岩或火山岩,也有中性甚至基性的火山岩或侵入体,但是它们的基底或围岩却都是印支期黑云母或二云母花岗岩。而且上述研究还证实,铀主要来自于这些印支期花岗岩。章邦桐等(2003)对白面石岩体中 6710 矿田 6 种围岩的微量元素研究证明,印支期花岗岩为铀成矿提供了铀源;该花岗岩的活动铀浸出率高达 56.3%,平均为 33.7%,而双峰式火山岩组合的活动铀浸出率仅为流纹斑岩 7.8%、玄武岩 2.1%;根据铅同位素计算,基底印支期花岗岩中 12%~23.9%的铀已被迁移带出。因此,对华南的大部分“花岗岩型”铀矿床而言,其花岗岩成岩时间是印支期,而其铀成矿时间,即印支期花岗岩中的铀活化迁移富集成矿的时间却是燕山(晚)期,其间存在着巨大的时间差。

1.2 燕山中期第一阶段(170~150 Ma)花岗岩大多在第二阶段(150~139 Ma)或更晚成矿

如前所述,南岭地区中生代陆壳重熔型花岗岩类的侵位在燕山中期第一阶段(170~150 Ma)达到高潮,但与其相关的 W、Sn、Nb-Ta 等金属成矿作用却相对滞后。

以著名的赣南西华山钨矿为例,迄今为止没有人怀疑它与西华山花岗岩之间的成因关系。关于西华山花岗岩的成岩年龄,早年的 K-Ar 法测年数据跨度较大,多在 184~139 Ma 范围内(吴永乐等,1987);而上世纪 80 年代中期以来的一批 Rb-Sr、U-Pb 年龄数据则集中在 157~150 Ma(李亿斗等,1986;McKee et al., 1987;陈志雄等,1989;Maruejol et al., 1990)。大量前人资料显示西华山花岗岩可划分为三个阶段,与主矿化关系最密切的是第二阶段的晚期含石榴子石花岗岩;但是由于缺乏成矿年龄数据,只能根据岩体和矿体的相互切穿关系基本上

推断成矿时间为 150 Ma 左右,这一推断也符合成矿作用发生在花岗岩岩浆演化晚期的传统认识。然而,李华芹等(1993)所测定的西华山萤石 Sm-Nd 等时线年龄为 137.4 ± 3 Ma,黑钨矿 Sm-Nd 等时线年龄为 139.2 ± 2.8 Ma,而石英中流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄则为 139.8 ± 4.5 Ma,三者相当一致,表明西华山钨矿的成矿年龄应在 139 Ma 左右,如果这个年龄数据可靠的话,那么西华山钨矿的形成比西华山花岗岩至少晚了 10 Ma。

笔者等最近对赣南另一个著名的大吉山花岗岩及其成矿作用进行了研究。关于大吉山花岗岩年龄,上世纪 80 年代以来普遍认同的是孙恭安等(1989)测定的 Rb-Sr 等时线年龄,三期花岗岩的年龄分别为 167 Ma、161 Ma 和 159 Ma。对其中的第一期黑云母花岗岩,即所谓的“五里亭岩体”,张文兰等(2004)和邱检生等(2004)分别进行的锆石 U-Pb 年龄都已证实其属于印支期而非燕山期;张文兰等(2004)还指出大吉山第一期黑云母花岗岩与 W-Nb-Ta 矿化没有成因联系。而笔者对采自大吉山黑钨矿石英脉中的两件云母进行的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测年结果分别为 144 Ma 和 147 Ma,比孙恭安等(1989)测定的与成矿关系最密切的大吉山白云母花岗岩年龄晚了十几百万年。

湘南的骑田岭花岗岩年龄为 157~161 Ma(黄革菲,1992;朱金初等,2003;毛景文等,2004),千里山花岗岩的年龄为 162 Ma、163 Ma 等(叶伯丹等,1986;刘义茂等,1997)及 152 Ma 左右(毛景文等,1998;Li et al., 2004)。但笔者注意到,近年来刘义茂等(2002)、赵振华等(2003)发表的与骑田岭花岗岩邻近的杉山岭正长岩为 141.30 Ma;而切穿千里山花岗岩的 NE 向花岗斑岩脉的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 144.41 Ma、等时线年龄为 142.34 Ma,此外,该地区的辉绿玢岩脉 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 142.34 Ma(刘义茂等,1997),这些都显示该地区在 140 Ma 前后有一次重要的热事件。因此,笔者怀疑与骑田岭、千里山花岗岩有关的芙蓉锡矿、柿竹园多金属矿的成矿时代是否会与 140 Ma 前后的热事件有关,从而使成矿年龄比其成矿主岩骑田岭花岗岩、千里山花岗岩要晚 20 Ma 左右。目前毛景文等(2004)、Li 等(2004)所测定的芙蓉、柿竹园成矿年龄与成岩年龄基本一致。但是,王登红等(2003)发表的芙蓉锡矿白腊水矿石 Rb-Sr 等时线年龄为 136 Ma,陈毓川等也获得了相近的柿竹园 Sm-

Nd 等时线成矿年龄(未发表),它们比花岗岩成岩年龄晚了 10 Ma 以上至 20 Ma 左右。

在桂北,前人所测定的姑婆山花岗岩年龄在 164~145 Ma 之间(张德全等,1985);笔者等最近用 LA-ICPMS 测定的姑婆山花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 167~161 Ma;然而,笔者等最近测定的与姑婆山“西花岗岩体”有关的烂头山锡矿的成矿年龄(流体包裹体 Rb-Sr 等时线法)为 136 Ma(另文发表),比相关的岩体年龄晚 20 多百万年。

1.3 燕山晚期浅侵位的陆壳重熔型花岗岩类也存在成岩—成矿年龄差

燕山晚期在南岭东段及临近地区主要发育一些侵位较浅的或“潜火山岩相”的花岗岩类,有的则与火山岩共生,构成花岗质火山—侵入杂岩,有些还伴有中心式(塌陷)火山机构。对于这类岩石的成因类型,一些研究者认为应属于“同熔型”,岩浆来源于“上地幔至下地壳”;但由于它们都是富铝的,有些火山岩(如江西相山、东乡)中还含有红柱石、石榴子石等富铝矿物,并具有较高的锶同位素初始比值等特征,因此目前大部分研究者认为它们属于陆壳重熔型花岗岩类或陆壳重熔型火山—侵入杂岩或称之为“S 型花岗质火山—侵入杂岩”(王德滋等,1991,1999;沈渭洲等,1995;陈小明等,1999)。

南岭燕山晚期许多浅侵位的花岗质岩体与锡矿有关,如江西的岩背斑岩锡矿;此外还有曾家垅、中甲和尖峰岭锡矿,广东的银岩、塌山、厚婆坳等锡矿。而有些花岗质火山—侵入杂岩体则与铀矿化有关,并成为华南东部浙—皖—赣—粤 NE 向火山岩型铀矿带的重要组成部分,例如江西的相山等。

南岭及临近地区燕山晚期的上述陆壳重熔型花岗质火山—侵入岩体与相关的锡、铀等矿化之间也存在着一定程度的年龄差别。据已发表的资料,岩背花岗斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 136~126 Ma。(熊小林等,1994);而岩背斑岩锡矿的成矿年龄为 122~100 Ma(王德滋等,1993)。相山火山岩(碎斑熔岩)—花岗斑岩的时代为 141~135 Ma,并集中于 140 Ma 左右(李坤英等,1989;陈迪云等,1993;陈小明等,1999);而相山铀矿的两期成矿作用则分别发生在 120~115 Ma 和 100~97 Ma(陈繁荣等,1990;陈迪云等,1993;陈跃辉等,1995),比花岗质火山—侵入杂岩年龄至少晚 20 Ma。

2 成岩—成矿时差原因及其地质意义

上述三个方面的许多实例说明,南岭地区陆壳

重熔型花岗岩类成岩作用与相关的成矿作用之间存在较长的时间差并不是个别、偶然的,而是带有一定的普遍性。

由于花岗岩成矿要经历岩浆冷凝、挥发份聚集、热液运移、金属矿物沉淀等过程,因此,花岗岩类的侵位与相关的成矿作用在时间上有一定的差异。但是一般来说,这一时间差不会很大。笔者认为,本文所列举的花岗岩类与相关成矿作用之间 10~20 Ma 以上的时间差已经不能用正常的岩浆—热液过程来解释了;它所反映的,可能是成岩—成矿二者在物质来源、形成背景和条件等方面的根本性差异。

花岗岩与有关的成矿作用在物质来源上是有差异的。许多矿床的成矿物质不像成岩物质的来源那么简单。近年来大量研究表明,华南,尤其是南岭地区中生代花岗岩类具有较高的 I_{Sr} 值、较低的 ϵ_{Nd} 、较古老的 Nd 模式年龄,它们的成岩物质主要都是来源于该地区的基底岩石,因此可以称为“壳源花岗岩”。这些壳源花岗岩含有较丰富的 W、Sn、Bi、Mo、Li、Be、Nb、Ta、REE、U 等成矿元素,它们主要也是来源于基底岩石。然而,参与成矿作用的其他物质和组份,例如成矿流体的来源,就要复杂一些了。以花岗岩型铀矿床为例,如前所述,铀主要来源于印支期花岗岩,归根结底是来源于地壳;但是参与成矿的流体则有相当部分是来源于地幔。胡瑞忠等(2004)特别强调了幔源 CO_2 是铀成矿过程中必不可少的组分。对相山火山岩型铀矿床来说,一般认为相关的火山—侵入杂岩属于陆壳重熔型或 S 型,它们在成岩过程中很少有深部或幔源物质的参与,但近年来的研究则认为幔源物质在相山铀成矿中起了相当关键的作用。范洪海等(2003)认为,相山铀矿的成矿时代与基性岩脉侵入时代接近,形成于比成岩更拉张的环境下,富含矿化剂的深部热液在上升过程中浸取地壳基底岩石和围岩中的铀,迁移至近地表火山杂岩裂隙带中,并与裂隙带中的大气降水混合而导致铀沉淀成矿。而姜耀辉等(2004)的研究进一步指出,不仅流体,而且 U、Th 等成矿元素也来自于岩石圈之下的“富集圈”,在造山带崩塌阶段(岩石圈拆沉或减薄)以及弧后拉张环境下,“富集圈”中的 U、Th 将随地幔流体一起上升迁移至地壳中直接成矿,因此,地幔物质及地幔流体在相山铀成矿过程中起了主导作用。

除了铀的成矿作用与地幔物质密切相关外,南岭地区与燕山期陆壳重熔型花岗岩有关的 W、Sn 及其他稀有金属的成矿作用也显示出地幔物质参与的

特征,例如与成矿相近的时期发育较多的基性岩脉、煌斑岩等;但迄今为止国内关于地幔或深部流体参与这类成矿作用的专题研究尚不多见,因此有必要重视和加强这方面的研究。Burnard等(2004)研究了葡萄牙中部与海西期花岗岩有关的 Panasqueira 矿床的 He-Ar 同位素,结果表明,虽然该花岗岩是 S 型,但相关的 W-Cu(Ag)-Sn 矿床的毒砂、黑钨矿所捕获的 He 有 75% 来源于地幔,而不是地壳深熔(anatexis)形成花岗岩时的产物,因此提出了幔源流体在花岗岩热液成矿作用中的重要意义,并进一步推论成矿作用是(花岗岩形成)以后的幔源热一流体脉动(pulse)的结果。这一研究虽然没有提供花岗岩与矿床的年龄,但实际上已经表明,Panasqueira 矿床并不是与花岗岩同时形成的。

花岗岩与有关的成矿作用在时间和物质来源上的差异也反映出它们在形成的地球动力学背景有实质性差异。研究表明,华南印支期花岗岩类主要形成于印支造山运动造成的“陆壳变形叠置加厚”(王岳军等,2002),地幔物质参与很少(周新民,2003)。燕山中期第一阶段(尤其是 160 Ma 前后)广泛发育的南岭地区陆壳重熔型花岗岩类的“主体”虽然是在岩石圈全面伸展—减薄、地幔物质上涌导致玄武质岩浆底侵的背景下形成的,且分布范围广、面积大,但是这些花岗岩的成因主要是地壳物质的部分熔融,地幔物质参与较少,说明岩石圈的拉张程度仍较小。而从燕山中期第二阶段起到燕山晚期,华南地区岩石圈进一步伸展—拉张。这一阶段的特征是断裂活动的发育、地壳热流值的明显升高、地幔物质的较多参与,以及火山活动的频繁发生,一些来源更深、侵位更浅的小岩体(如花岗斑岩等)广泛发育,基性岩脉、煌斑岩等与幔源密切相关的岩石也较发育。例如,在 160 Ma 前后侵位的千里山、骑田岭等陆壳重熔型花岗岩体中及其邻近,广泛发育较年轻(140 Ma 左右)的酸性、碱性和基性岩脉,就充分显示了拉张的动力学背景开始占主导作用。

燕山晚期,太平洋构造体系对中国东南部的影响也日趋明显,并引发了大陆边缘大规模的火山岩浆作用、弧后的扩张作用、板内岩石圈的进一步伸展,以及深断裂的活动,这使得该时期的壳—幔相互作用达到了一个前所未有的程度,而中国东部的大规模成矿作用也恰在此时达到了高潮(华仁民等,2005)。因此,南岭地区陆壳重熔型花岗岩类成岩作用与相关成矿作用的时间差提供了一个重要的信息,即尽管花岗岩类可以在挤压—陆壳加厚的动力

学背景下由地壳物质的部分熔融形成,但是大规模的成矿作用却主要与拉张的动力学背景、壳—幔相互作用、高的热流值,以及深部流体的参与密切相关。

法国中央高原的华力西(Variscan)碰撞带具有与南岭地区类似的情形。Marignac等(1999)的总结显示:在晚泥盆世到早石炭世的华力西主碰撞(collision proper)阶段,该地区有大量的过铝质花岗岩侵位,而基本上没有相关的热液成矿作用;但这些花岗岩却是稀有金属、尤其是铀(在以后成矿时)的源岩。主要的金属成矿作用发生在晚石炭世到早二叠世的后碰撞(hyper-collision)阶段,此时构造体制由挤压转向拉张,热流升高,岩石圈发生拆沉;大规模的成矿作用主要包括以花岗岩为中心的高温钨矿化、稀有金属花岗岩相关的热液锡矿化、剪切带中的金—锑矿化,以及发生于早二叠世拉张背景下的铀矿化等。

总之,南岭地区中生代 W、Sn、Nb、Ta、REE 及 U 等金属的大规模成矿作用虽然与陆壳重熔型花岗岩类有密切的成因关系,但是二者之间所存在的明显的时间差,不仅反映了二者在物质来源和形成背景等方面的不同,而且最终可能揭示了花岗岩与矿床在形成机制上的根本性差异,即:(陆壳重熔型)花岗岩是地壳物质部分熔融—侵位的产物,而矿床则是在一定的构造动力学条件下由于热和流体的作用使岩石中分散的金属元素迁移—集中的产物。

需要指出的是,本文提出的论点主要是建立在目前所能获得的年龄数据基础上的,因此,精确可靠的成岩和成矿年龄,就成为制约这一认识的关键。而成矿年龄的精确测定,正是目前矿床学研究中的难点之一。本文所引用的成矿年龄数据,无论是数量上还是质量上都还是不够的,这就难免使本文的认识具有争议性。笔者期望着今后有更多更好的成岩—成矿年龄数据来进一步证明和完善这一认识。

参 考 文 献

- 陈迪云,周文斌,周鲁民,等. 1993. 相山铀矿田同位素地质学特征. 矿床地质, 12(4): 370~377.
- 陈迪云. 1997. 毛洋头火山岩铀(银、钼)矿床的控矿因素及成因. 矿床地质, 16(2): 139~150.
- 陈繁荣,沈渭洲,王德滋,等. 1990. 1220 铀矿田同位素地球化学及矿床成因研究. 大地构造与成矿学, 14(1): 69~77.
- 陈小明,陆建军,刘昌实,等. 1999. 桐庐、相山火山侵入杂岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄. 岩石学报, 15(2): 272~278.
- 陈跃辉,李建红. 1995. 相山铀矿田西部成矿构造应力场及与铀矿化关系. 矿床地质, 14(3): 243~251.
- 陈志雄,李善择,朱晋干. 1989. 西华山和红岭钨矿床成矿地质特

- 征的研究. 见: 宜昌地质矿产研究所编. 南岭地质矿产科研报告集(二). 武汉: 中国地质大学出版社, 277~325.
- 邓平, 谭正中, 吴烈勤. 2000. 粤北花岗岩构造岩浆活动与铀成矿序列. 华南铀矿地质, 17(1~2): 32~43.
- 范洪海, 凌洪飞, 王德滋, 等. 2003. 相山铀矿田成矿机理研究. 铀矿地质, 19(4): 208~213.
- 胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 等. 2004. 华南白垩—第三纪地壳拉张与铀成矿的关系. 地学前缘, 11(1): 153~160.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. 矿床地质, 18(4): 300~308.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 2003. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统. 中国科学(D辑), 33(4): 335~343.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 2005. 论华南地区中生代三次大规模成矿作用. 矿床地质, 24(2): 99~107.
- 黄革菲. 1992. 骑田岭复式岩体侵位时代讨论. 地质与勘探, 28(11): 7~11.
- 姜耀辉, 蒋少涌, 凌洪飞. 2004. 地幔流体与铀成矿作用. 地学前缘, 11(2): 491~499.
- 金景福, 刘埃平. 1993. 361 铀矿床花岗岩特征和铀源. 矿床地质, 12(3): 253~264.
- 李华芹, 刘家齐, 魏林. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社, 1~126.
- 李坤英, 沈加林, 王小平. 1989. 中国浙闽赣地区造山带陆相火山岩同位素年代学. 地层学杂志, 13(1): 1~13.
- 李亿斗, 盛继福, Le Bel, 等. 1986. 西华山花岗岩下陆壳起源证据. 地质学报, 60(3): 256~273.
- 刘义茂, 戴樟模, 卢焕章, 等. 1997. 千里山花岗岩体成岩成矿的 Ar/Ar 和 Sm-Nd 同位素年龄. 中国科学(D辑), 27(5): 425~430.
- 刘义茂, 许继峰, 戴樟模, 等. 2002. 骑田岭花岗岩 Ar/Ar 同位素年龄及其地质意义. 中国科学(D辑), 32(增刊): 40~48.
- 卢武长, 王玉生. 1991. 福建 570 矿区同位素地球化学研究. 矿物岩石, 11(2): 65~71.
- 毛景文, 李红艳, 宋学信, 等. 1998. 湖南柿竹园钨锡钼多金属矿床地质与地球化学. 北京: 地质出版社, 215.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. 矿床地质, 18(4): 291~299.
- 毛景文, 李晓峰, Lehmann B, 等. 2004. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 Ar-Ar 测年及其地球动力学意义. 矿床地质, 22(2): 164~175.
- 邱检生, McLanes B I A, 徐夕生, 等. 2004. 赣南大吉山五里亭岩体的锆石 ELA-ICP-MS 定年及其与成矿关系的新认识. 地质论评, 50(2): 125~133.
- 沈渭洲, 王德滋, 刘昌实. 1995. 华南含锡斑岩的同位素地球化学特征及其成因. 地质学报, 69(4): 349~359.
- 孙恭安, 史明魁, 张宏良, 等. 1989. 大吉山花岗岩体岩石学、地球化学及成矿作用的研究. 见: 宜昌地质矿产研究所编. 南岭地质矿产科研报告集(2). 武汉: 中国地质大学出版社, 326~363.
- 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 等. 1991. 江西东乡—相山中生代 S 型火山岩带的发现及其地质意义. 科学通报, 36(19): 1491~1493.
- 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 等. 1993. 江西岩背斑岩锡矿区火山—侵入杂岩. 南京大学学报, 29(4): 625~650.
- 王德滋, 周金城. 1999. 我国花岗岩研究的回顾与展望. 岩石学报, 15(2): 161~169.
- 王登红, 陈毓川, 李华芹, 等. 2003. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义. 地质通报, 22(1): 50~56.
- 王岳军, Zhang Y H, 范蔚茗, 等. 2002. 湖南印支期过铝质花岗岩的形成: 岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟. 中国科学(D辑), 32(6): 491~499.
- 吴永乐, 梅勇文, 刘鹏, 等. 1987. 西华山钨矿地质(地质专报). 北京: 地质出版社, 1~317.
- 熊小林, 朱金初, 刘昌实, 等. 1994. 江西岩背斑岩锡矿蚀变分带及其主要蚀变岩的地球化学特征. 矿床地质, 13(1): 1~10.
- 徐夕生, 邓平, O'Reilly S Y, 等. 2003. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针 ICPMS U-Pb 定年及其成岩意义. 科学通报, 48(12): 1328~1334.
- 叶伯丹, 申永治, 朱杰辰. 1986. 全国同位素地质年龄数据汇编(第 4 集). 北京: 地质出版社, 1197.
- 张德全, 王雪英, 孙桂英. 1985. 关于广西姑婆山里松岩体的定位年龄和冷凝历史的探讨. 地质论评, 31(3): 232~239.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 2004. 江西大吉山五里亭花岗岩单颗粒锆石同位素年龄及其地质意义探讨. 地质学报, 78(3): 352~358.
- 章邦桐, 陈培荣, 孔兴功. 2003. 赣南白面石过铝花岗岩基底为 6710 铀矿田提供成矿物质的地球化学佐证. 地球化学, 32(3): 201~207.
- 赵振华, 涂光焱, 等. 2003. 中国超大型矿床(II). 北京: 科学出版社, 54~56.
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考. 高校地质学报, 9(4): 556~565.
- 朱金初, 黄革菲, 张佩华, 等. 2003. 湘南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究. 地质论评, 49(3): 245~252.

References

- Burnard P G, Polya D A. 2004. Importance of mantle derived fluids during granite associated hydrothermal circulation: He and Ar isotopes of ore minerals from Panasqueira. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(7): 1607~1615.
- Chen D Y, Zhou W B, Zhou L M, et al. 1993. Isotope geology of the Xiangshan uranium orefield. *Mineral Deposits*, 12(4): 370~377 (in Chinese with English abstract).
- Chen D Y. 1997. Ore-control factors and genesis of the Maoyangtuo volcanogenic uranium (silver, molybdenum) deposit. *Mineral Deposits*, 16(2): 137~150 (in Chinese with English abstract).
- Chen F R, Shen W Z, Wang D Z, et al. 1990. Isotopic geochemistry of uranium ore-field No. 1220 and the implication to ore genesis. *Geotectonica et Metallogenia*, 14(1): 69~77 (in Chinese with English abstract).
- Chen X M, Lu J J, Liu C S, et al. 1999. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages of the volcanic—intrusive complexes in Tonglu and Xiangshan areas. *Acta Geoscientia Sinica*, 15(2): 272~278 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y H, Li J H. 1995. The metallotectonic stress field in the west of the Xiangshan uranium orefield and its relation to uranium mineralization. *Mineral Deposits*, 14(3): 243~251 (in Chinese with English abstract).
- Deng P, Tan Z Z, Wu L Q. 2000. Tectono-magmatism of granite and uranium metallogenic sequences in North Guangdong. *Uranium Geology in South China*, 17(1~2): 32~43 (in Chinese).
- Fan H H, Ling H F, Wang D Z, et al. 2003. Study on metallogenetic mechanism of Xiangshan uranium ore-field. *Uranium Geology*, 19(4): 208~213 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Bi X W, Su W C, et al. 2004. The relationship between uranium metallogenesis and crustal extension during the Cretaceous—Tertiary in South China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 153~160 (in Chinese with English abstract).

- Hua R M, Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China. *Mineral Deposits*, 18(4): 300~308 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L, et al. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China. *Mineral Deposits*, 24(2): 99~107 (in Chinese with English abstract).
- Huang G F. 1992. Discussion on emplacement time of Qitianling composite rock masses. *Geology and Prospecting*, 28(11): 7~11 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Y H, Jiang S Y, Ling H F. 2004. Mantle-derived fluids and uranium mineralization. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 491~499 (in Chinese with English abstract).
- Jin J F, Liu A P. 1993. Characteristics of granites and sources of uranium in No. 361 uranium deposit. *Mineral Deposits*, 12(3): 253~264 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Liu J Q, Wei L. 1993. Study on geochronology of fluid inclusion in hydrothermal ore deposits and its geological applications. Beijing: Geological Publishing House, 1~126 (in Chinese).
- Li K Y, Shen J L, Wang X P. 1989. Isotopic geochronology of Mesozoic terrestrial volcanic rocks in the Zhejiang—Fujian—Jiangxi area. *Journal of Stratigraphy*, 13(1): 1~13 (in Chinese with English abstract).
- Li X H, Liu D Y, Sun M, et al. 2004. Precise Sm-Nd and U-Pb isotopic dating of the supergiant Shizhuyuan polymetallic deposit and its host granite, SE China. *Geological Magazine*, 141(2): 225~231.
- Li Y D, Sheng J F, Le Bel, et al. 1986. Evidence of lower crust source for the Xihuashan granite. *Acta Geologica Sinica*, 60(3): 256~273 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y M, Dai T M, Lu H Z, et al. 1997. Ar/Ar and Sm/Nd isotopic ages of the lithogenesis and mineralization of the Qianlishan granite. *Science in China (Series D)*, 27(5): 425~430 (in Chinese).
- Liu Y M, Xu J F, Dai T M, et al. 2002. Ar/Ar isotopic ages of the Qitianling granite and their geological significance. *Science in China (Series D)*, 32(Supp.): 40~48 (in Chinese).
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Song Xuexin, et al., 1998. *Geology and Geochemistry of Shizhuyuan W—Sn—Mo—Bi Poly-metallic Deposit, Hunan*. Beijing: Geological Publishing House, 215 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Hua R M, Li X B. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits. *Mineral Deposits*, 18(4): 291~299 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li X F, Lehmann B, et al. 2004. Ar-Ar dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield, Hunan Province, and its geodynamic significance. *Mineral Deposits*, 22(2): 164~175 (in Chinese with English abstract).
- Marignac C, Cuney M. 1999. Ore deposits of the French Massif Central: insight into the metallogenesis of the Variscan collision belt. *Mineralium Deposita*, 34: 472~504.
- Maruejol P, Cuney M, Turpin L. 1990. Magmatic and hydrothermal REE fractionation in the Xihuashan granites (SE China). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104: 668~680.
- McKee E H, Rytuba J J, Xu Keqin. 1987. Geochronology of the Xihuashan composite granitic body and tungsten mineralization, Jiangxi Province, South China. *Economic Geology*, 82: 218~223.
- Qiu Jiansheng, McLanes B I A, Xu Xisheng, et al. 2004. Zircon ELA-ICP-MS dating for Wuling pluton at Dajishan, Southern Jiangxi and new recognition about its relation to tungsten mineralization. *Geological Review*, 50(2): 125~133 (in Chinese with English abstract).
- Shen W Z, Wang D Z, Liu C S. 1995. Isotope geochemical characteristics and material sources of tin-bearing porphyries in South China. *Acta Geologica Sinica*, 69(4): 349~359 (in Chinese with English abstract).
- Wang D Z, Liu C S, Shen W Z, et al. 1991. Discovery of Mesozoic S-type volcanic belt in Dongxiang—Xiangshan, Jiangxi, and its geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 36(19): 1491~1493 (in Chinese with English abstract).
- Wang D Z, Shen W Z, Liu C S, et al. 1994. Geochemical features and origin of volcanic—intrusive complex in Yanbei, Jiangxi. *Science in China (Series B)*, 24(5): 531~538 (in Chinese with English abstract).
- Wang D Z, Zhou J C. 1999. Look back and look forward to granite research. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 161~169 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Li H Q, et al. 2003. Geological and geochemical features of the Furong tin deposit in Hunan and their significance for mineral prospecting. *Geologic Bulletin of China*, 22(1): 50~56 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M, et al. 2002. Numerical modeling for generation of Indo-Sinian peraluminous granitoids, Hunan Province: basaltic underplating vs. tectonic thickening. *Science in China (Series D)*, 45(11): 1042~1056.
- Wu Y L, Mei Y W, Liu P, et al. 1987. *Geology of the Xihuashan Tungsten Deposit*. Beijing: Geological Publishing House, 1~317 (in Chinese with English abstract).
- Xiong X L, Zhu J C, Liu C S, et al. 1994. Alteration zoning of the Yanbei porphyry tin deposit in Jiangxi and geochemical characteristics of its main altered rocks. *Mineral Deposits*, 13(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Deng P, O'Reilly S Y, et al. 2003. Single zircon LAM-ICPMS U-Pb dating of Guidong complex (SE China) and its petrogenetic significance. *Chinese Science Bulletin*, 48(17): 1892~1899.
- Zhang B T, Chen P R, Kong X G. 2003. Geochemical evidence for contribution of ore-forming material to the No. 6710 uranium orefield by the Baimianshi peraluminous granite basement, southern Jiangxi Province. *Geochimica*, 32(3): 201~207 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Wang X Y, Sun G Y. 1985. Cooling history and emplacement ages of the Guposhan—Lisong granite masses. Guangxi. *Geological Review*, 31(3): 232~239 (in Chinese with English abstract).
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, et al. 2004. Single zircon U-Pb isotope age of the Wuliting granite in Dajishan area of Jiangxi, and its geological implication. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 352~358 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Tu G C, et al. 2003. *Super-large Ore Deposits in China Vol. 2*. Beijing: Science Press, 54~56 (in Chinese).
- Zhou X M. 2003. My thinking about granite geneses of South China. *Geological Journal of China Universities*, 9(4): 556~565 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu, Huang Gefei, Zhang Peihua, et al. 2003. On the emplacement age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling pluton, south Hunan province. *Geological Review*, 49(3): 245~252 (in Chinese with English abstract).

Differences between Rock-forming and Related Ore-forming Times for the Mesozoic Granitoids of Crust Remelting Types in the Nanling Range, South China, and Its Geological Significance

HUA Renmin

*State Key Laboratory for Mineral Deposit Research, Institute of Granite, Volcanics & Metallogensis,
Department of Earth Sciences, Nanjing University, 210093*

Abstract

The temporal differences between the emplacement of Mesozoic granitoids of crust remelting types and related mineralizations are quite common in the Nanling Range area, South China. Three major cases are recognized. (1) The host granitic rocks of those granite-type uranium deposits are mostly of the Indosinian Period (235~205 Ma), whereas the uranium mineralization took place in the late Yanshanian Period (younger than 140 Ma). (2) The first stage of the Yanshanian Period (170~150 Ma) was the time when most crust remelting granitic plutons developed. However, the associated mineralizations of W, Sn and other rare metals mostly occur in the second stage of the Yanshanian Period (150~139 Ma). (3) Many shallow—emplaced granitic rocks developed in the late Yanshanian Period (139~<98 Ma), which are closely related with Sn and U mineralizations. There are also differences between rock-forming and ore-forming times. It is suggested that this temporal difference might reflect their differences in material sources as well as geotectonic settings, and further more, the primary difference of the mechanisms between granite formation and ore formation. It is concluded that the large-scale metallogeny in the Nanling Range area was essentially related with extension geotectonic setting, crust—mantle interaction, high heat flow, and the participation of deep-sourced fluids.

Key words: crust remelting type; rock-formation; ore-formation; temporal difference; mantle fluid; Nanling Range
