

云南武定迤纳厂铁铜矿岩浆角砾岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其意义

侯 林^{1,2}, 丁 俊², 邓 军¹, 廖震文², 彭惠娟³

HOU Lin^{1,2}, DING Jun², DENG Jun¹, LIAO Zhen-wen², PENG Hui-juan³

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

1. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

摘要: 康滇地区是中国西南地区重要的元古宙铁铜成矿带。该地区元古宙昆阳群中串珠状分布岩浆角砾岩, 周边分布大量铁铜矿床。选取武定迤纳厂东方红矿段穿插斜切入迤纳厂组的岩浆角砾岩, 挑选胶结物中的岩浆锆石进行 LA-ICP-MS 测年, 得到复合岩浆锆石内核 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2193\text{Ma} \pm 8\text{Ma}$, 代表深部围岩原生锆石年龄; 岩浆锆石或复合岩浆锆石边缘环带 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $1739\text{Ma} \pm 13\text{Ma}$, 代表岩浆侵位年龄; 下交点年龄为 $980\text{Ma} \pm 11\text{Ma}$, 代表变质年龄。结合相关资料判断, 迤纳厂组与上昆阳群、大红山群、河口群均为 1.7Ga 左右昆阳板内裂谷拉张、岩浆侵位/喷发的同时异相产物。这对在滇中地区昆阳裂谷中, 元古宙地层内的岩浆角砾岩周边寻找 IOCG (IRON-OXIDE-COPPER-GOLD, 铁氧化物-铜-金) 型铁铜矿具有重要的启示。

关键词: 武定迤纳厂; 岩浆角砾岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb; 铁氧化物-铜-金

中图分类号: P618.3; P597^{+.3}

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2013)04-0580-09

Hou L, Ding J, Deng J, Liao Z W, Peng H J. Zircon LA-ICP-MS dating of the magmatic breccia from the Yinachang iron-copper deposit in Wuding County of Yunnan Province and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(4):580-588

Abstract: Central Yunnan Province is an important Proterozoic iron-copper metallogenic belt in Southwest China. Magmatic breccia, accompanied with iron-copper deposits, occurs in Proterozoic Kunyang Group. To get the zircon LA-ICP-MS U-Pb age of the magmatic breccia, the authors collected the samples of magmatic breccias that obliquely penetrate the Yinachang Formation in the Yinachang deposit of Wuding County, and selected the magmatic zircon from the cement. The core of the zircon has an average weighted $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of $2193\text{Ma} \pm 8\text{Ma}$, which represents the age of primary zircon from the depth. The outer zones of the zircon have an average weighted $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of $1739\text{Ma} \pm 13\text{Ma}$, representing the formation age of the magma. The metamorphic age of the breccia is $980\text{Ma} \pm 11\text{Ma}$. In combination with related data, the authors believe that the strata of the Yinachang Formation, the Upper Kunyang Group, the Dahongshan Group and the Hekou Group are contemporary products of the magmatic activity during the intraplate extension. This discovery has an important inspiration in search for IOCG type deposits around the magmatic breccia in the Proterozoic strata within the Kunyang rift of central Yunnan Province.

Key words: Yinachang deposit; magmatic breccia; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; IOCG

收稿日期: 2012-03-30; 修订日期: 2013-01-06

资助项目: 中国地质调查局项目《云南武定地区铁铜矿远景调查》(编号: 1212011120640)、《川滇黔相邻区重要矿产成矿规律和找矿方向研究》(编号: 1212011085162)

作者简介: 侯林(1985-), 男, 在读博士生, 从事区域成矿学方面的研究。E-mail: 175928855@qq.com

康滇地区纵贯中国云南省中部,北起康定,南至元江,西以绿汁江断裂为界,东至小江断裂,南北长约 500km,东西宽近 200km,面积约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。出露岩石主要以变质岩-混合岩杂岩为主,并有少量新元古代基性岩浆岩,如基性杂岩体、辉长岩体(岩脉)及玄武岩出露^[1-3]。区内分布有大量铁-铜-(金-稀土)矿床,这些矿床的发现、开发、研究的历史都较悠久,但其控矿条件、富集规律尚不清楚。单铜矿而言,就有“大红山式”、“拉拉式”、“东川式”、“稀矿山式”、“桃园式”、“烂泥坪式”、“凤山式”等,总的来讲大致可以分成 2 类:①以武定迤纳厂、新平大红山和东川稀矿山为代表的铁多金属矿床,矿体呈似层状、细脉浸染状赋存于以钠质角斑岩、炭质板岩为主的变质火山岩和变质碎屑岩中,矿石以条纹条带浸染状为主,不规则团块状、角砾状次之;②以东川因民-落雪、易门铜厂为代表的铜矿床,矿体主要呈细脉状、似层状赋存于东川群落雪组白云岩和碎屑岩的转化带中,矿石以条纹状、波状为主,网脉状次之。20 世纪 60 年代以前,一般认为成矿与基性岩浆热液有关,是热液顺层交代而成的;60 年代末到 70 年代初,地质学家们开始注意到矿体,尤其是铜矿分布的层位性,于是提出沉积-变质学说;70 年代中期有学者在矿体围岩中发现了火山岩,于是又提出火山沉积-变质说^[4];在 20 世纪 90 年代,结合国际成矿理论,学者又将其归结为火山喷发沉积块状硫化物矿床(VHMS)和海底喷气沉积矿床(SEDEX)型矿床^[4]。各种矿床(模)式虽注重了它们之间的异同点,进行了成矿组合和成矿条件的部分研究,但与国外典型矿床的对比研究还显得零星和分散,有必要在总结这些矿床描述性模型的基础上,选择其中较典型的矿床分析其成矿模式、控矿因素和找矿标志,并与国外相关矿床模型做对比研究,为本区超大型矿床找矿模型的建立及找矿靶区的圈定提供思路。

滇中地区元古代构造-岩浆-成矿机制一直是众多学者讨论的话题。在对本区中元古代地质构造特征进行研究后,龚琳等^[5]提出,在中元古代至新元古代,滇中地区存在一次裂谷拉张事件,并将该裂谷命名为昆阳裂谷。昆阳裂谷是一个发育不完整的裂谷,其中沉积了东川群、大红山群、河口群等。滇中地区分布有大量的不同种类的角砾岩。其中,形成在浅成到超浅成酸性岩体顶部,由岩浆二次沸腾和减压作用形成的岩浆角砾岩^[6]均侵入到了东川群、大红

山群及河口群地层内部(图 1)。在这些角砾岩分布的区域,往往容易形成元古代铁-铜-(金-稀土)矿床,矿体周边分布的岩浆角砾岩对滇中地区的元古代铁铜矿床的形成起到了至关重要的作用,按照一些成矿模式理论(如 IOCG 系统, Iron-Oxide-Copper-Gold, 铁氧化物-铜-金),它们正是成矿的主要控矿构造和矿质运移通道。而在研究区内体现出来的地质事实也印证了这一点。这一特点难免让人联想到裂谷-岩浆角砾岩-铁铜成矿三者之间的关系,以及这种成矿模式与 IOCG 成矿系统的可比性。近年来,有学者将这些岩浆角砾岩所在的单个铁铜矿床如稀矿山、迤纳厂、大红山等与 IOCG 矿床进行对比,对该地区成矿作用的研究有一定的指导作用^[7-11],但由于岩浆角砾岩成分复杂,加之受过去地质年代学测试技术所限,其侵入年龄一直是地质工作人员研究的难点所在,往往只能通过地质体之间的接触关系加以推测,这就使得对这些岩浆角砾岩的成因和其对矿床形成的贡献,乃至整个滇中地区 IOCG 成矿系统的研究和建立,缺失了最关键的一环:成岩和成矿时代的精确制约。因此,探求角砾岩的形成时代,对矿床形成模式的把握具有重要的指示意义。本文拟通过对康滇地区中部元古代铁铜矿床武定迤纳厂矿区的岩浆角砾岩胶结物中的锆石进行精密的 LA-ICP-MS 测年,厘定其形成时代,讨论角砾岩形成时康滇地区裂谷-岩浆-成矿这 3 个事件的递进关系,为康滇地区 IOCG 成矿系统的建立、IOCG 型铁铜矿找矿工作的开展提供可用素材。

1 岩体分布与地质概况

1.1 岩体分布

不同成因角砾岩的广泛分布是康滇地区比较显著的地质特征之一。其中,以刺穿体形式存在的岩浆角砾岩体最具成矿潜力。从康滇地区地质矿产分布图(图 1)中可以看出,岩浆角砾岩体大致为北北西走向,东以绿汁江断裂为界,西以普渡河断裂为界,以串珠状侵入到元古宙东川群中。而在这种角砾岩分布的区域,往往大量分布有元古宙铁铜矿床。

1.2 岩体地质特征

岩体常见规模为数十米至数百米宽,数百米至两三千米长。区内最大的玉碗水角砾岩体长约 8km,宽约 4km,面积逾 20 km^2 。岩体在平面上多为带状、纺锤状、蝌蚪状或不规则状产出,在垂向上则

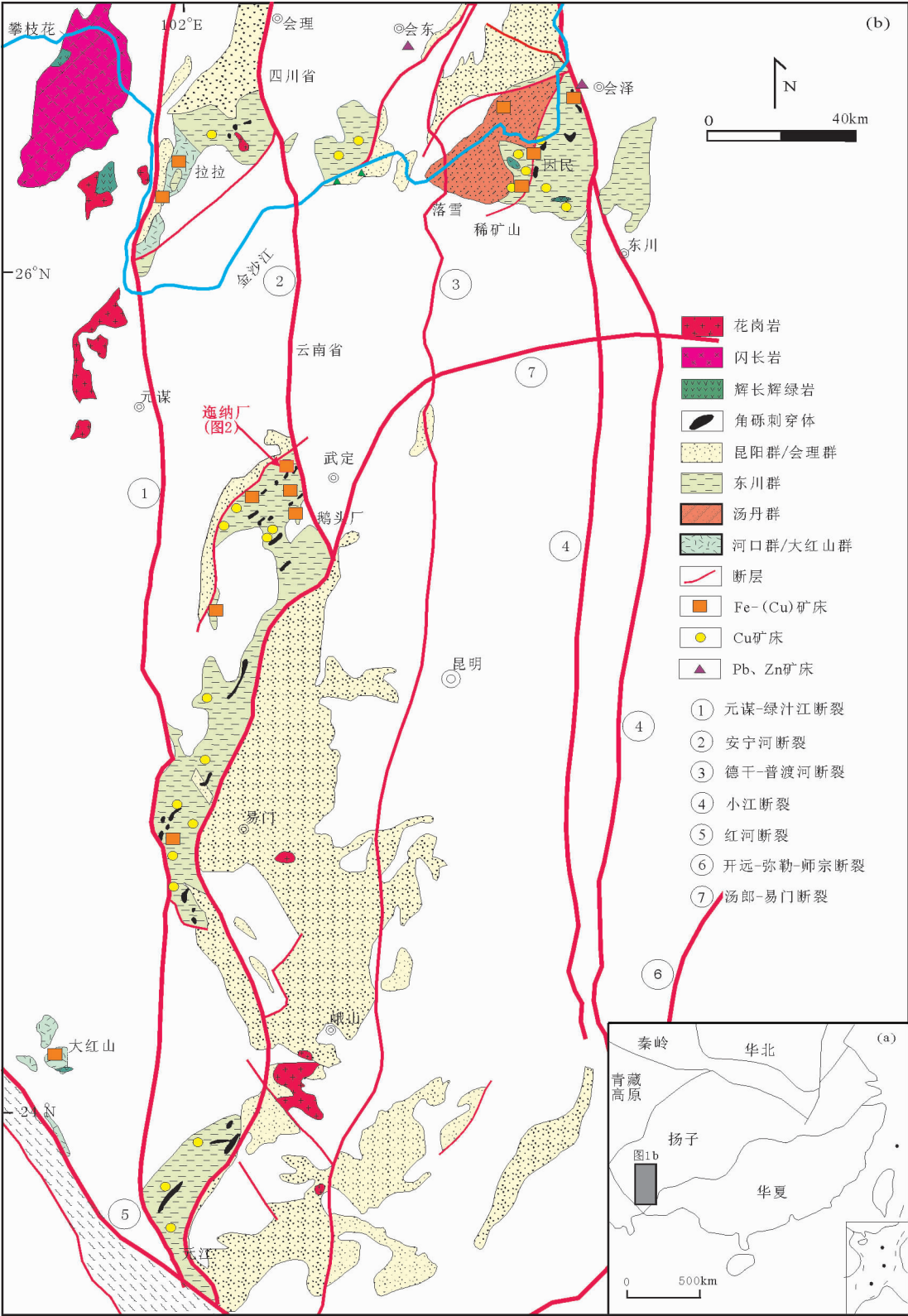


图 1 康滇地区地质矿产图
Fig. 1 Geological map of Kang-Dian area, showing
distribution of mineral resources

没有明显的分带。岩体沿断裂构造贯入,赋存于褶皱核部或两翼虚脱部位、层间滑脱部位和断裂膨大部位(图 2)。从野外观察结果看,岩体侵入于迤纳厂组下部灰白色中薄层硅化白云岩夹黑色炭质泥岩(岩性与东川群因民组地层对应)之中,又被迤纳厂组中部中层碳酸岩(岩性上与东川群落雪组地层对应)覆盖,但二者间界线不清晰(图 3-a)。

岩体呈块状、角砾状构造,角砾状结构(图 3-b)。主要分为 2 部分:大小不等的角砾(40%)、灰绿色胶结物(50%)。角砾成分为磨圆程度低的强硅化、绢云母化炭质砂板岩(图 3-c),碳酸岩角砾(图 3-d、3-e)(另含显微粒状石英、少量长石和部分方解石),以次棱角状不均匀分布,角砾周边有重结晶(图 3-f),

重结晶产物主要为长石、石英和绢云母,说明受热液作用影响明显。胶结物由自形一半自形石英、长石和少量角闪石组成,初步判断其成分为闪长质(图 3-g)。整个岩石变质程度较深,石英蚀变后为绢云母代替,大部分角闪石发生方解石化,留下残留碎屑(图 3-h)。角砾和胶结物中都有明显的磁铁矿化和镜铁矿化(图 3-g)。

2 样品的采集与测试

综合考虑各方面因素(矿区工作程度、区域代表性、样品新鲜程度、地层意义、成矿意义等),采取了武定迤纳厂矿区东方红矿段斜切迤纳厂组下部,迤纳厂组中部地层覆盖于其上的角砾岩体(采样位置

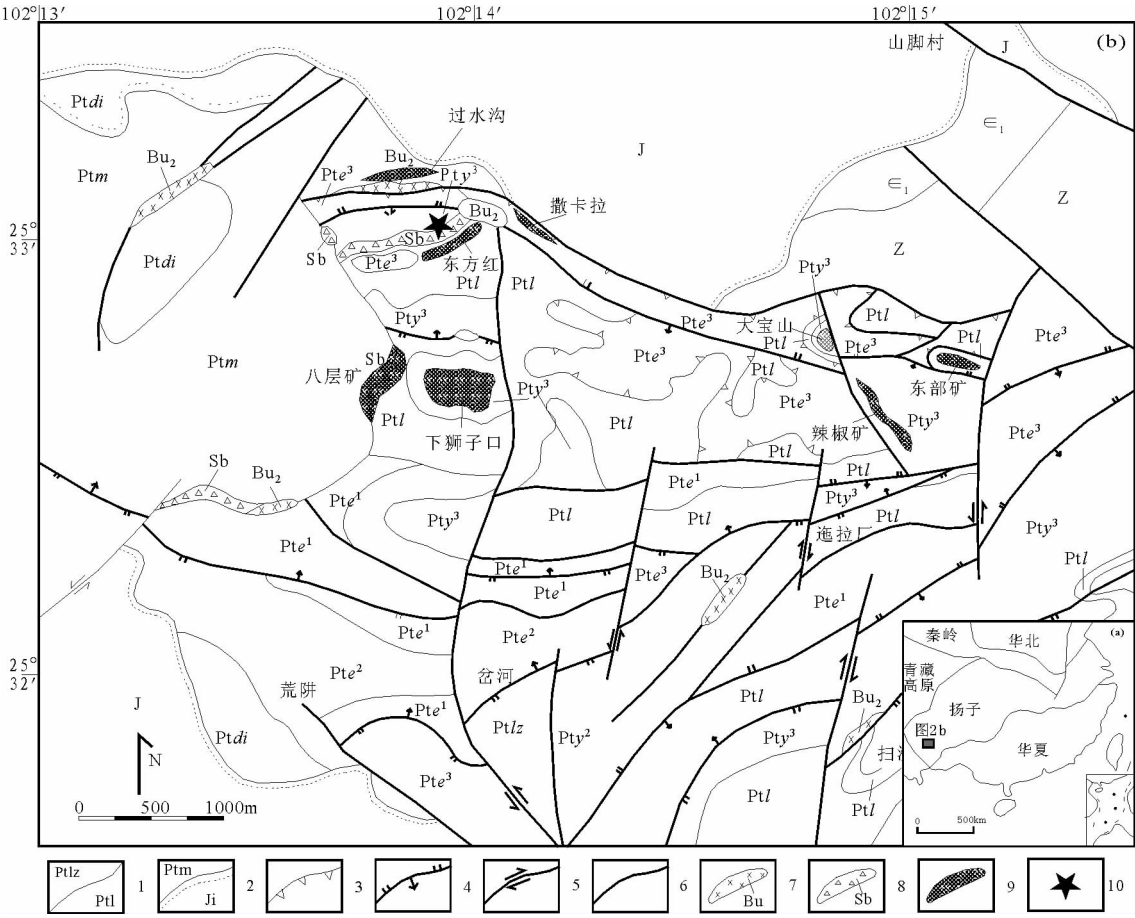


图 2 迤纳厂矿区地质图及采样位置

Fig. 2 Geological map of the Yinachang ore district, showing sampling sites

1—整合接触界线; 2—不整合接触界线; 3—推覆构造; 4—逆断层; 5—走滑断层;
6—断层; 7—辉绿岩; 8—角砾岩; 9—矿体; 10—采样位置; Pty—中元古代东川群因民组; Pd—中元古代东川群落雪组;
Pte—中元古代东川群鹅头厂组; Ptlz—中元古代东川群绿枝江组; Ptdi—中元古代昆阳群大营盘组;
Ptm—中元古代昆阳群美党组; Z—震旦系; E—寒武系; J—侏罗系

见图 2 中五角星)作为对象,采取锆石年龄样。

锆石测年样品的分选在河北省廊坊市地源矿物测试分选技术服务有限公司进行。分选过程为:首先,用小型切割机从约为 20kg 的样品中切割出胶结物,将其机械破碎至豌豆大小,在镜下仔细挑选胶结物,然后再次进行机械破碎至 120 目,在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒用于年龄测定。锆石样品制靶和阴极发光照相在北京锆年领航科技有限公司进行。锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质科学院矿产资源研究所的 LA-ICP-MS 上完成。激光剥蚀系统为配备有 193nm ArF 准分子激光器的 GeoLas 2005。ICP-MS 为日本 Agilent 公司生产的 Agilent 7500a。应用澳大利亚国家地质标准局锆石 TEM (417Ma) 进行元素分馏校正,应用标准锆石 91500 (1062.4Ma) 标定样品的 U、Th、Pb 含量。根据实测的 ^{204}Pb 进行普通 Pb 校正。年龄计算和图解使用 GEOKIT 和 ISOPLOT 3.0^[12] 程序。同位素比值误差为 1σ , 加权平均年龄为 95% 的置信度。由于样品年龄较老,年龄值选用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄。

3 锆石形态及 U-Th-Pb 分析结果

3.1 CL 形态

从角砾岩样品 DFH1 中分选出的锆石多呈自形一半自形短柱状,长 80~300 μm ,宽为 50~150 μm ,为浅肉红色或无色。从阴极发光图像所显示的锆石内部结构看(图 4),所测锆石大致可分为

发育规则韵律环带的岩浆锆石和具有新壳老核的复合岩浆锆石。岩浆锆石发光较强,环带密集而清晰且宽窄基本一致,显示出典型的岩浆锆石内部结构特点(图 4 点 1、6、20 等);复合岩浆锆石内部可见明显暗色核心,具有港湾状溶蚀结构,其环带密集程度不高且宽窄不一,边部在阴极发光下呈暗色,致使边部环带不易被发现,部分锆石边部还具有暗色外壳(图 4 点 4、11、21 等)。后面的分析也提到,这类锆石的 U、Th 含量偏高。Crofu 等^[13]和周剑雄^[14]的研究表明,碱性岩中的锆石 U、Th 含量较高,通常导致阴极发光的亮度较弱,环带较少或不明显,部分锆石发生蜕晶化,使结构破坏,产生许多小孔洞或充填一些矿物包裹体。据此推测,锆石成因与区内碱性岩浆密切相关。利用 LA-ICP-MS 对该样品的 22 颗锆石进行了 22 个边缘环带点和 12 个中心点的 U-Pb 年龄测定,获得的同位素比值、年龄及稀土元素结果见表 1。

3.2 锆石年龄

由表 1 可看出,岩浆锆石的 U(平均值为 79×10^{-6})、Th(平均值为 63×10^{-6})含量中等偏低,可能是由于后期地质热事件引起丢失;Th/U 平均比值接近 1.0,具有岩浆锆石的特点(0.90)(表 1)。复合型岩浆锆石内核和外壳年龄有明显的不同:内核年龄明显偏老,将 CL 图像中的 4、29、11、30、34、17、34、21、34、25、27、32 点年龄进行加权平均,得到一组较为集中的年龄,这组年龄大致落在了一致线上(图 5-a), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

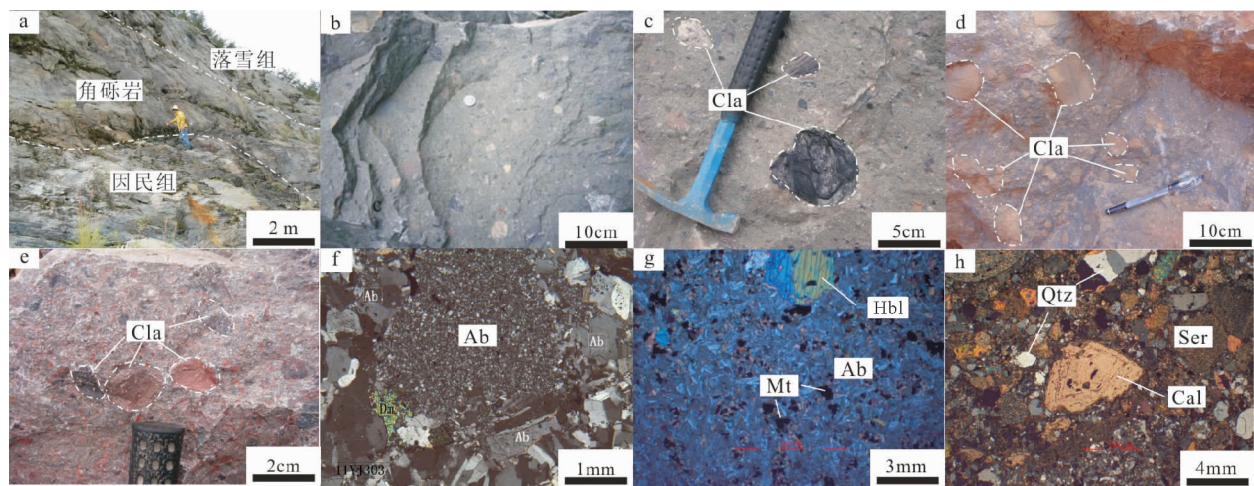


图 3 武定迤纳厂岩浆角砾岩特征

Fig. 3 Magmatic breccia characteristics of the Yinachang deposit in Wuding County
Cla—角砾; Mt—磁铁矿; Ab—长石; Hbl—角闪石; Qtz—石英; Ser—绢云母; Cal—方解石

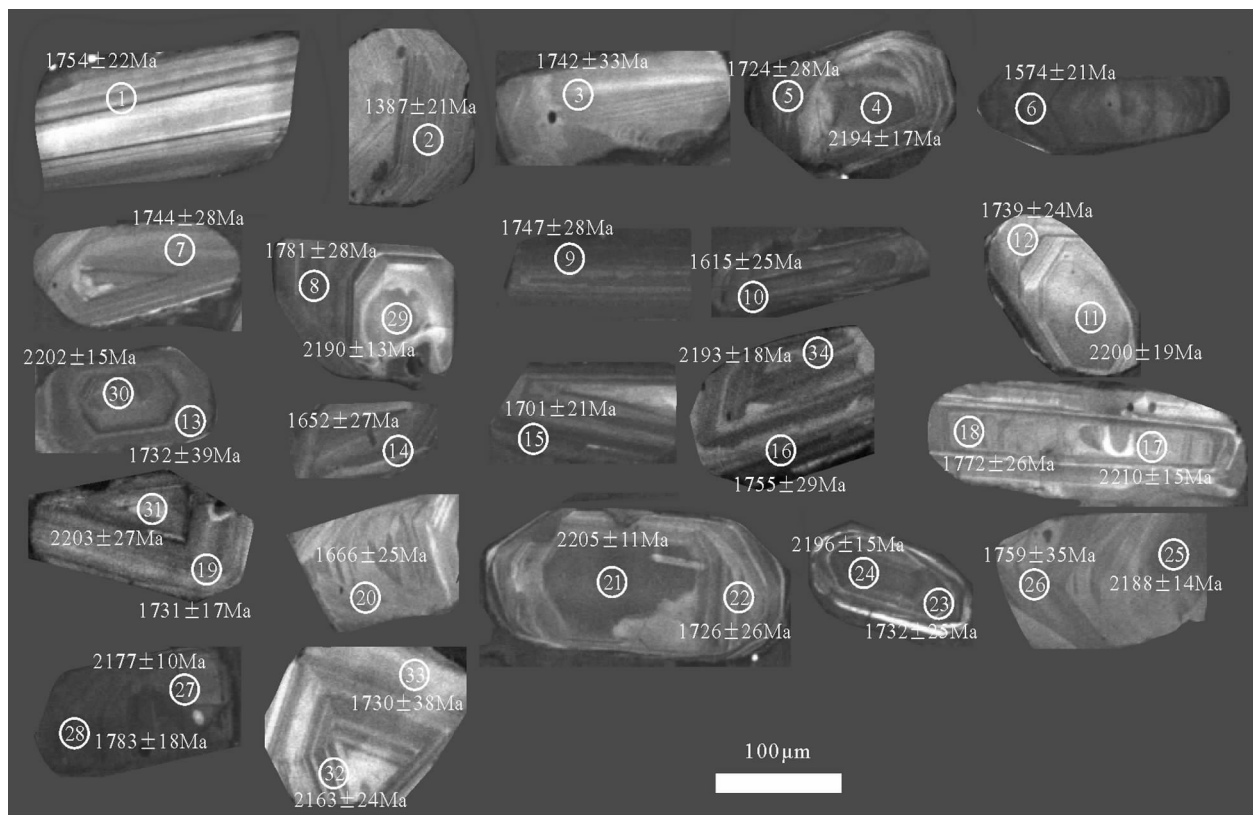


图 4 迤纳厂矿区岩浆角砾岩胶结物锆石 CL 图像及 U-Pb 年龄

Fig. 4 Zircon cathodoluminescence images and U-Pb age of magmatic breccia cements in the Yinchang ore district

年龄为 $2193\text{Ma} \pm 8\text{Ma}$, MSWD 为 0.66, 代表了岩浆活动带出的围岩原始锆石年龄; 外壳年龄较为年轻, 将除去上述点的年龄与岩浆锆石一起进行加权平均后发现, 大部分年龄明显表现出一致性, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $1739\text{Ma} \pm 13\text{Ma}$, MSWD 为 0.68, 代表了岩浆活动期的年龄; 另外有 5 个点年龄明显低于平均年龄, 并与一致线没有相关性, 部分点也发生了右偏移, 说明这些点经历了明显的放射性铅丢失, 导致测得的年龄没有直接的地质意义, 但通过做不一致线后将其与一致曲线相交 (图 5-b), 得到 2 组交点年龄 (上交点 $1750\text{Ma} \pm 7\text{Ma}$, 下交点 $980\text{Ma} \pm 11\text{Ma}$), 分别代表了原始岩浆侵入 (喷发) 的年龄与后期地质事件的年龄 (晋宁运动)。

4 讨论与结论

4.1 角砾岩的形成时代

岩浆型锆石和复合型锆石边缘代表的滇中迤

纳厂矿区角砾岩的喷发 (侵位) 年龄为 $1739\text{Ma} \pm 13\text{Ma}$, 属于中元古代—新元古代昆阳裂谷^[3]运动的早期。这一结果与大红山群钠长浅粒岩锆石 U-Pb 年龄 $1675\text{Ma} \pm 8\text{Ma}$ ^[15]、东川群因民组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄 $1742\text{Ma} \pm 13\text{Ma}$ ^[16-17], 以及河口群石英角砾岩锆石 U-Pb 年龄 $1722\text{Ma} \pm \text{Ma}$ ^[18] 基本一致, 表明成岩的一致性, 也反应了滇中地区在 1700Ma 左右, 伴随昆阳裂谷的形成发生了一系列连续的同时异相的火山—岩浆活动。岩浆型锆石部分点年龄偏小且发生右移, 表明锆石在形成之后受到了新的地质构造运动的影响导致其放射铅丢失。不一致线与一致曲线下交点年龄约为 980Ma, 与该时间发生于滇中地区的晋宁运动相一致, 从而印证了这一假设。从区域上看, 通过野外观察, 发现角砾岩刺穿体也有侵入至鹅头厂、绿汁江组的现象, 说明该区沿绿汁江断裂的伸展从 1.7Ga 开始, 一直持续至 1.4Ga 左右。

表 1 迤纳厂矿区岩漿角砾岩胶结物锆石的 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Th-Pb isotopic analyses of magmatic breccia cements in the Yinachang ore district

样品编号 DFH1	Th/ 10 ⁶	U/ 10 ⁶	Th/U	同 位 素 比 值		207Pb/235U		207Pb/238U		同 位 素 年 龄 /Ma	
				1σ	207Pb/235U	1σ	207Pb/238U	1σ	207Pb/206Pb	1σ	206Pb/238U
1	45.0	32.0	1.41	0.0013	4.661	0.056	0.315	0.003	1754	22	1767
2	91.9	221	0.42	0.0012	2.530	0.034	0.208	0.002	1387	21	1217
3	32.9	29.2	1.13	0.0020	4.567	0.069	0.307	0.004	1742	33	1726
4	45.1	48.0	0.94	0.0011	7.534	0.179	0.405	0.006	2194	17	2191
5	304	202	1.51	0.0017	4.720	0.054	0.306	0.003	1724	28	1722
6	105	96.5	1.09	0.0013	3.519	0.030	0.256	0.001	1574	21	1466
7	54.3	37.5	1.45	0.0016	4.691	0.094	0.316	0.005	1744	28	1769
8	72.5	66.3	1.09	0.0017	4.70	0.189	0.319	0.009	1781	28	1784
9	47.9	99.8	0.48	0.0017	4.659	0.061	0.314	0.003	1747	28	1759
10	64.0	115.5	0.55	0.0015	3.724	0.060	0.266	0.003	1615	25	1522
11	72.8	42.5	1.71	0.0012	7.881	0.041	0.412	0.001	2200	19	2223
12	145	137	1.06	0.0015	4.652	0.064	0.309	0.003	1739	24	1735
13	49.9	91.4	0.55	0.0024	4.737	0.079	0.305	0.004	1732	39	1717
14	37.0	46.1	0.80	0.0016	4.013	0.058	0.280	0.002	1652	27	1593
15	31.3	24.0	1.31	0.0013	4.003	0.056	0.280	0.002	1701	21	1593
16	27.0	29.9	0.90	0.0018	4.708	0.064	0.313	0.003	1755	29	1757
17	93.1	47.9	1.95	0.0010	7.355	0.087	0.400	0.003	2210	15	2170
18	179	169	1.05	0.0016	4.746	0.064	0.318	0.003	1772	26	1781
19	141	177	0.80	0.0010	4.635	0.063	0.316	0.003	1731	17	1768
20	63	162	0.39	0.0015	4.625	0.063	0.314	0.002	1666	25	1762
21	34.0	49.3	0.69	0.0016	4.718	0.062	0.318	0.003	1726	26	1780
22	40.9	67.4	0.61	0.0007	7.827	0.107	0.410	0.004	2205	11	2215
23	13.7	25.4	0.54	0.0015	4.739	0.063	0.315	0.003	1732	25	1767
24	46.2	43.7	1.06	0.0009	7.355	0.049	0.400	0.002	2196	15	2169
25	47.9	55.2	0.87	0.0009	7.358	0.096	0.395	0.003	2188	14	2146
26	62.8	115	0.55	0.0022	4.565	0.062	0.298	0.003	1759	35	1679
27	44.9	52.8	0.85	0.0012	4.626	0.063	0.295	0.003	1783	18	1664
28	42.6	62.5	0.68	0.0007	7.803	0.045	0.408	0.002	2177	10	2206
29	45.7	47.8	0.96	0.0008	7.812	0.146	0.410	0.005	2190	13	2216
30	20.8	26.7	0.78	0.0010	7.356	0.077	0.396	0.003	2202	15	2151
31	50.6	52.7	0.96	0.0017	7.613	0.145	0.404	0.005	2203	27	2187
32	33.6	52.2	0.64	0.0014	7.376	0.089	0.399	0.003	2162	24	2166
33	22.6	75.6	0.30	0.0024	4.591	0.073	0.310	0.004	1730	38	1740
34	33.9	77.6	0.44	0.0011	7.364	0.048	0.394	0.002	2193	18	2141

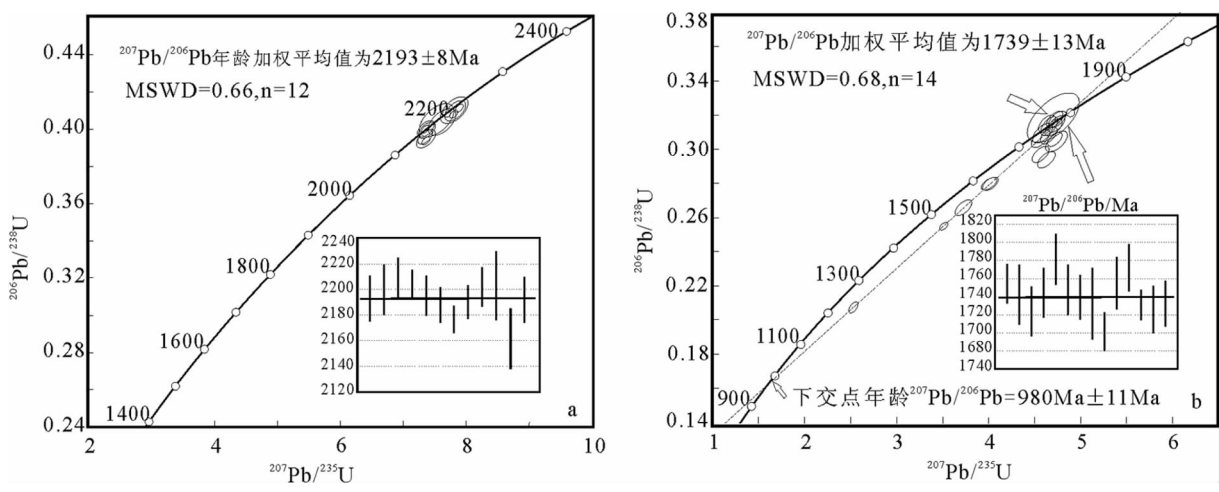


图 5 迤纳厂矿区岩浆角砾岩胶结物锆石 U-Pb 谐和图(a 为锆石核部,b 为锆石边部)
Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagram of magmatic breccia cements in the Yinachang ore district (a-core of the zircon; b-outer zone of the zircon)

4.2 角砾岩的地层意义

之前的工作,对滇中地区北段东川群因民组、落雪组、河口群地层和南段的大红山群年龄都有了可靠的界定,认为它们均为中元古代 1.7~1.6Ga 沉积的地层,而其下还保存着一套更为古老的古元古代地层,包括平顶山组、菜园湾组、望厂组等^[26]。而对中段迤纳厂组的归属问题还处于研究过程中。有学者通过岩性对比,将迤纳厂组中被角砾岩体侵入的灰白色中薄层硅化白云岩夹黑色炭质泥岩划入东川群因民组地层,但受限于没有确切可靠的年龄数据。此次工作将侵入于迤纳厂组底部,且被迤纳厂组再次覆盖的角砾岩胶结物进行测年得到的结果表明,迤纳厂组在形成时间上与东川群基本一致,可以推断,迤纳厂组是东川群在滇中地区的表现。锆石 U-Pb 定年研究表明,复合型锆石中核部年龄代表了被火山-岩浆活动重熔的深部围岩的锆石年龄为 2193Ma±8Ma,属于古元古代,并与东川地区因民组之下望厂组凝灰岩的锆石 U-Pb 年龄 2285Ma 基本一致,属同一时期的产物,表明在滇中迤纳厂地区深部的确有更老的地层存在,这套地层才是滇中真正的基底地层。

4.3 角砾岩的构造意义

早期许多学者^[19-20]提出康滇地区在元古代存在绿岩型裂谷(大于 2.0Ga)、昆阳拗拉谷(2.0~1.9Ga)、昆阳裂谷(中—新元古代),但裂谷拉张的时间一直有争议。本次获得的岩浆角砾岩侵位时代为

1739Ma,对昆阳裂谷拉张的时间进行了精确制约,即古元古代末期。在形成时间上与大红山群、河口群的火山喷发基本一致^[16-18,21]。迤纳厂岩浆角砾岩胶结物的地球化学特征显示出 E-MORB、陆内裂谷等属性,说明在 1.7~1.4Ga,康滇地区的确发生了一次陆内拉张伸展的事件。这个事件直接导致深部中基性岩浆穿透下昆阳群,侵位至东川群,并引起地壳重熔形成长英质岩浆,在上涌过程中受到上覆隔挡层的阻挡,流体内压力超过上覆岩石的抗张强度和岩石静压力之和^[2],导致岩石爆裂,形成岩浆角砾岩。另外,岩浆角砾岩锆石核部年龄证明了汤丹群地层的存在,该套地层作为滇中地区最古老的地层为昆阳裂谷拉张提供了最必要的刚性基底。另据赵太平^[23-25]和彭澎^[26-27]等的报道,中国华北大庙斜长岩杂岩体和密云奥长环斑花岗岩、长城系大红峪组钾质火山岩和基性岩墙群一起可能代表华北陆块 1750~1650Ma 大陆裂解事件岩浆作用的产物。这一时间与本次测试结果正好吻合,它们可能代表了 1.8~1.6Ga 发生的全球型的 Columbia 超大陆裂解事件。

4.4 角砾岩与成矿

过去一直缺乏对武定地区迤纳厂组地层时代的精确界定,以及迤纳厂、稀矿山、大红山等铁铜矿床与矿区出露的角砾岩体在成因上的联系研究。通过野外考察发现,滇中地区元古代铁铜矿床的产出与角砾岩体紧密相关。本次测得的角砾岩的侵位年龄略早于前人测得的矿石全岩 Sm-Nd 年龄 1617Ma^[28-31],说明

了成岩与成矿的继承性。结合这 2 点,能够得出成矿与成岩的必然联系。在该地区的铁铜找矿工作中,必须要充分考虑到这一点,着重在东川群底部地层和岩浆角砾岩体周边开展找矿工作,结合地球物理手段,以求取得大的找矿突破。

IOCG 矿床形成于拉张环境中,其成矿严格受角砾岩控制,并被区域规模的蚀变带或角砾岩带所围绕,围岩蚀变以钠化为主。这些条件迳纳厂铁铜矿都满足。曾有学者分别将东川稀矿山、武定迳纳厂、新平大红山铁铜矿与 IOCG 矿床进行过对比,这些矿床与 IOCG 矿床有相似和区别之处,主要的区别是矿体的产出部位、控矿构造不同。但如果按照 IOCG 成矿系统的思路,却恰恰说明了是在同一成矿系统下的不同端元矿床特征的表现。如果将这些矿床联系起来,与 IOCG 成矿系统中各个端元矿床的特征进行对比研究,“对号入座”,并结合昆阳裂谷发展史,有希望建立一套“滇中 IOCG 成矿系统”。这对滇中地区铁铜找矿工作具有重要的启示意义。

致谢:感谢成都地质矿产研究所王生伟博士、杨波博士、郭阳工程师、王子正工程师和杨斌硕士在野外的帮助和支持,本文在写作过程中得到了香港大学周美夫教授的指导,在审稿过程中得到两位匿名审稿专家的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Zhou M F, Kennedy A K, Sun M. Neo-proterozoic arc-related mafic intrusions in the northern margin of South China: Implications for accretion of Rodinia[J]. *Journal of Geology*, 2002, 110: 611–618.
- [2] Zhou M F, Malpas J, Song X. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupean mass extinction[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196: 113–122.
- [3] 杨时蕙. 从磁铁矿内部结构探讨云南迳纳厂铁矿床的成因[J]. 中国地质科学院, 成都地质矿产研究所所刊, 1982, (3): 137–147.
- [4] 毛景文, 余金杰, 袁顺达, 等. 铁氧化物-铜-金 (IOCG) 型矿床: 基本特征、研究现状与找矿勘查[J]. *矿床地质*, 2008, 27(3): 267–278.
- [5] 龚琳, 何毅特. 云南东川元古宙裂谷型铜矿[M]. 北京冶金工业出版社, 1996.
- [6] 章增凤. 隐爆角砾岩的特征及其形成机制[J]. *地质科技情报*, 1991, 10(4): 1–5.
- [7] 刘肇昌, 李凡友, 钟康惠, 等. 扬子地台西缘及邻区裂谷(陷)构造与金属成矿[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1995, 4(2): 70–76.
- [8] 吴建民, 黄永平. 稀矿山式铁铜矿床与奥林匹克坝式铜多金属矿床的对比研究[J]. *矿产资源与地质*, 1998, 12(64): 79–85.
- [9] 李泽琴, 胡瑞忠, 王奖臻, 等. 中国首例铁氧化物-铜-金-铀-稀土型矿床的厘定及其成矿演化[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2002, 21(4): 258–260.
- [10] 王国泰, 包昌良. 云南东川昆阳古裂谷型铜矿的成矿模式与找矿方向[J]. *矿产与地质*, 2003, 17(97): 342–344.
- [11] 方维萱, 柳玉龙, 张守林, 等. 全球铁氧化物铜金型 (IOCG) 矿床的 3 类大陆动力学背景与成矿模式[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2009, 39(3): 404–413.
- [12] Ludwig K R. User's manual for Isoplot 3.0: a geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Geo chronology Center Special Publication. 2003: 70.
- [13] Crofu F, Hanchar J M, Hoskin P W O, et al. Atlas of zircon textures[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, 53: 469–500.
- [14] 周剑雄, 陈振宇. 电子探针下锆石阴极发光的研究[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2007: 1–104.
- [15] Greentree M R, Li Z X. The oldest known rocks in south-western China: SHRIMP U-Pb magmatic crystallisation age and detrital provenance analysis of the Paleoproterozoic Dahongshan Group. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 33(5/6): 289–302.
- [16] Zhao X F, Zhou M F, Li J W, et al. Late Paleoproterozoic to early Mesoproterozoic Dongchuan Group in Yunnan, S W China: Implications for tectonic evolution of the Yangtze Block[J]. *Precambrian Research*, 2010, 182: 57–69.
- [17] 朱华平, 范文玉, 周邦国, 等. 论东川地区前震旦系地层层序: 来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据[J]. *高校地质学报*, 2011, 17(3): 452–261.
- [18] 王东兵, 孙志明, 尹福光, 等. 扬子地块西缘河口群的时代: 来自火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄的证据[J]. *地层学杂志*, 2012, 36(3): 630–635.
- [19] 潘杏南, 赵济湘, 张选阳, 等. 康滇构造与裂谷作用[M]. 重庆: 重庆出版社. 1985.
- [20] 华仁民. 论昆阳拗拉谷[J]. *地质学报*, 1990, 4: 289–301.
- [21] Hu A Q, Zhu B Q, Mao C X, et al. Geochronology of the Dahongshan group. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1991, 10(3): 195–203.
- [22] Shelnut J P, Noble D C. Preminalization radial dike of tourmalinized fluidization breccia, Julcani distr, Peru[J]. *Economic Geology*, 1985, 80: 1622–1632.
- [23] 赵太平, 金成伟, 翟明国, 等. 华北陆块南部熊耳群火山岩的地球化学特征与成因[J]. *岩石学报*, 2002, 18(1): 59–69.
- [24] 赵太平, 陈福坤, 翟明国, 等. 河北大庙斜长岩杂岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2004, 20(3): 685–690.
- [25] Zhao T P, Chen W, Zhou M F. Geochemical and Nd-Hf isotopic constraints on the origin of the ~1.74Ga Damiao anorthosite complex, North China Craton[J]. *Lithos*, 2009, (113): 673–690.
- [26] 彭澎, 翟明国, 张华峰, 等. 华北克拉通 1.8Ga 镁铁质岩墙群的地球化学特征及其地质意义: 以晋冀蒙交界地区为例[J]. *岩石学报*, 2004, 20(03): 439–456.
- [27] 彭澎, 刘富, 翟明国, 等. 密云岩墙群的时代及其对长城系底界年龄的制约[J]. *科学通报*, 2011, 56(35): 2975–2980.
- [28] 周邦国, 王生伟, 孙晓明, 等. 云南东川望厂组熔结凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. *地质论评*, 2012, 58(2): 359–368.
- [29] 杨耀民. 中元古代昆阳群 Fe-Cu-REE 矿床地球化学研究——以武定迳纳厂矿床为例[D]. 中科院地球化学研究所博士学位论文, 2003.
- [30] 杨耀民, 涂光炽, 胡瑞忠. 迳纳厂稀土铁铜矿床稀土元素地球化学[J]. *矿物学报*, 2004, 24(3): 301–308.
- [31] 杨耀民, 涂光炽, 胡瑞忠, 等. 武定迳纳厂 Fe-Cu-REE 矿床 Sm-Nd 同位素年代学及其地质意义[J]. *科学通报*, 2005, 50(12): 1253–1258.