

文章编号: 0258-7106(2009)03-0297-16

与云南个旧超大型锡矿床有关的花岗岩 锆石 U-Pb 定年及意义*

程彦博¹, 毛景文², 谢桂青^{1, 2}, 陈懋弘^{1, 2}, 杨宗喜¹

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所
国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘要 云南个旧地区发育大量与成矿时空密切相关的火成岩, 包括玄武岩、辉长岩、花岗岩和正长岩, 花岗岩被认为是个旧地区与成矿关系最密切的侵入岩。文章首次采用 LA-ICP-MS 和 SHRIMP U-Pb 方法对研究区内的花岗岩进行了精确定年, 数据表明, 不同类型的花岗岩同时或近于同时形成。龙岔河似斑状花岗岩主要形成于 $(82.0 \pm 0.3) \sim (83.2 \pm 1.4)$ Ma, 马拉格-松树脚似斑状花岗岩形成于 (82.8 ± 1.7) Ma, 老厂似斑状花岗岩形成于 (83.3 ± 1.6) Ma, 白沙冲等粒花岗岩形成于 (77.4 ± 2.5) Ma, 均集中形成于晚白垩世。结合前人的研究成果和本次新获得的数据, 矿区内岩浆作用发生的时限基本可以限定在 76~85 Ma 之间, 与整个华南西部地区成岩成矿时代吻合。年代学研究表明, 个旧地区燕山晚期的构造背景与滇东南-桂西地区相同, 而与红河断裂以西的藏南-三江锡矿带具有较明显的不同。

关键词 地球化学; 花岗岩; 锆石 U-Pb 年龄; 动力学背景; 云南个旧

中图分类号: P618.44; P597+.3

文献标志码: A

Zircon U-Pb dating of granites in Gejiu superlarge tin polymetallic orefield and its significance

CHENG YanBo¹, MAO JingWen², XIE GuiQing^{1, 2}, CHEN MaoHong^{1, 2} and YANG ZongXi¹

(1 Faculty of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Lots of igneous rocks are distributed in the Gejiu tin polymetallic orefield of Yunnan Province, and granites here are considered to have some original connection with the ore deposits. SHRIMP and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yielded some age data: the Longchahe porphyritic granite is $(81.2 \pm 1.4) \sim (83.2 \pm 1.4)$ Ma, the porphyritic granite in Malage-Songshujia area is (82.8 ± 1.7) Ma, the porphyritic granite in Laochang area is (83.3 ± 1.6) Ma and the Baishachong equigranular granite is (77.4 ± 2.5) Ma. Based on these data together with some new data obtained in this study, the authors hold that southeast Yunnan and west Guangxi belonged to the same geotectonic setting in Late Yanshanian period, but were obviously different from the south Tibet-Three River tin belt.

Key words: geochemistry, granite, zircon U-Pb dating, geodynamic setting, Gejiu in Yunnan

* 本文得到“国家重点基础研究发展计划(973计划)(2007CB411405、2007CB411407)”、“中国地质调查局大调查项目”“我国主要金属矿床模型研究(1212010634001)”及“斯伦贝谢科技研究计划(SLBX0804)”的联合资助

第一作者简介 程彦博,男,1983年生,在读博士研究生。矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: chamboll@geology.com.cn

收稿日期 2009-02-06; 改回日期 2009-04-22。李岩编辑。

燕山晚期(集中在 80~90 Ma 左右)在中国的华南西部地区发生了一起重要的成岩成矿事件[冶金工业部西南冶金地质勘探公司(下简称 308 队), 1984 於崇文等, 1988; 陈毓川等, 1993; 庄永秋等, 1996; 毛景文等, 2008a; 2008b], 形成了一批世界级的锡多金属矿床, 其中个旧锡铜多金属矿床以其锡储量在全球最大而备受关注。长久以来, 对个旧锡矿的形成原因有多种认识(邓玉书, 1951; 陈吉琛, 1983; 汪自芬, 1983; 308 队, 1984; 伍勤生等, 1984; 彭程电, 1985; 李家和, 1985; 周怀阳, 1988; 戴福盛, 1996; 庄永秋等, 1996; 周建平等, 1997; 边千韬, 1998; 张欢等, 2003; 秦德先等, 2006; 王永磊等, 2007), 但花岗质岩石对矿床形成的重要性始终未曾受到怀疑。自 20 世纪 80 年代以来, 前人针对个旧地区的花岗岩做了大量的工作, 对其形成时代存在争议(308 队, 1984; 伍勤生等, 1984; 1986; 汪自芬, 1986; 云南省地质矿产局, 1990; 王新光等, 1992; 戴福盛, 1996), 同时, 由于超大型锡多金属区特殊的大地构造位置(图 1), 过去对包括个旧在内的华南西部锡矿带在白垩纪晚期的岩石圈伸展作用过程中究竟是受到太平洋构造域还是特提斯体制的影响比较困惑(毛景文等, 2007; 程彦博等, 2008a)。最新研究认为, 滇东南和桂西地区白垩纪晚期的地球动力学背景更类似于包括中国华南在内的滨太平洋构造域(毛景文等, 2008b; 陈懋弘等, 2008; 程彦博等, 2008b; 杨宗喜等, 2008)。本文运用 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法, 选取锡多金属矿区内具代表性的花岗质岩石开展系统的年代学研究, 并通过对华南西部的滇东南—桂西地区与红河断裂以西的三江地区晚白垩世岩浆-矿床热事件的比较, 进一步探讨个旧地区燕山晚期的地球动力学背景。

1 区域地质概况

个旧超大型锡多金属矿田位于中国华南成矿省的最西端, 毗邻三江特提斯成矿带, 隶属于华夏地块西部的右江盆地(图 1)。其北部以弥勒-师宗断裂与扬子陆块分界, 西南面以红河断裂与哀牢山断块毗邻, 南部为越北古陆。印支期形成了个旧地区主要的地层: 上三叠统火把冲组板岩、砂岩、砂砾岩, 中三叠统法郎组砂岩、页岩夹凝灰岩和玄武质熔岩, 中三叠统个旧组碳酸盐岩, 下三叠统紫红色砂岩夹绿色

砂岩、泥灰岩。矿区范围内断裂发育, 小江岩石圈断裂南缘的南北向个旧断裂将矿区划分为东、西 2 区, 矿床多位于东区。矿区内 EW 向和 NE-SW 向的次级断裂是最重要的控矿构造。个旧地区的岩体为以燕山期花岗质岩浆侵入活动为主形成的复式花岗岩体。个旧西区有龙岔河和神仙水 2 个岩体, 花岗岩出露较广, 其中龙岔河岩体的面积超过 200 km², 形状不规则, 侵位于中-上三叠统中; 岩石类型主要为黑云母花岗岩和碱长花岗岩(图 1)。个旧东区有白沙冲、马拉格-松树脚、老厂-卡房岩体, 多以不规则状相互孤立出露于地表。这些岩体绝大部分隐伏于地表以下, 出露的面积不足 7 km²(图 1), 同样侵位于中-上三叠统硅质岩与钙质粉砂岩地层中(赵一鸣等, 1990; 308 队, 1984; 戴福盛, 1996; 庄永秋等, 1996)。

2 个旧地区花岗岩体地质、岩石学特征及采样位置

根据岩石的矿物组成与结构等, 个旧花岗岩可分为似斑状黑云母花岗岩和粒状黑云母花岗岩 2 种(308 队, 1984; 庄永秋等, 1996)。似斑状花岗岩主要有龙岔河岩体、马拉格-松树脚(以下简称马松)岩体和新发现的老厂似斑状花岗岩; 粒状花岗岩主要有神仙水岩体、白沙冲岩体和老卡岩体。本文选取龙岔河似斑状花岗岩体、马松似斑状花岗岩体、老厂似斑状花岗岩体和白沙冲等粒花岗岩为对象开展研究(表 1, 图 1)。

2.1 龙岔河似斑状花岗岩

岩石分布于个旧西区, 岩性为似斑状黑云母花岗岩, 出露面积约 200 km²。岩体北、西、南三面与三叠纪地层接触, 东侧与辉长岩、粒状花岗岩及碱性岩接触(图 1)。岩石呈现灰色、青灰色, 似斑状结构, 斑晶含量较多, 并局部富集。常见的副矿物有榍石、磁铁矿、钛铁矿、褐帘石、锆石、独居石等。斑晶以钾长石为主, 斑晶大小一般为 (2~3)×(1~1.5) cm², 局部成条带状, 含量为 15%~20%。最多可达 30% 左右。龙岔河岩体除含粗大的长石斑晶外, 基质粒度大小不一, 据基质结构可将本类岩石分为 2 种类型: 中粗粒似斑状黑云母花岗岩及中细粒似斑状黑云母花岗岩。大体上以前者为主, 后者仅零星出露。龙岔河岩体中后期脉岩不发育, 仅见少量细粒花岗岩, 细晶岩-富钾碱性长石细晶岩。其他如伟晶岩、石英脉等分布更少。

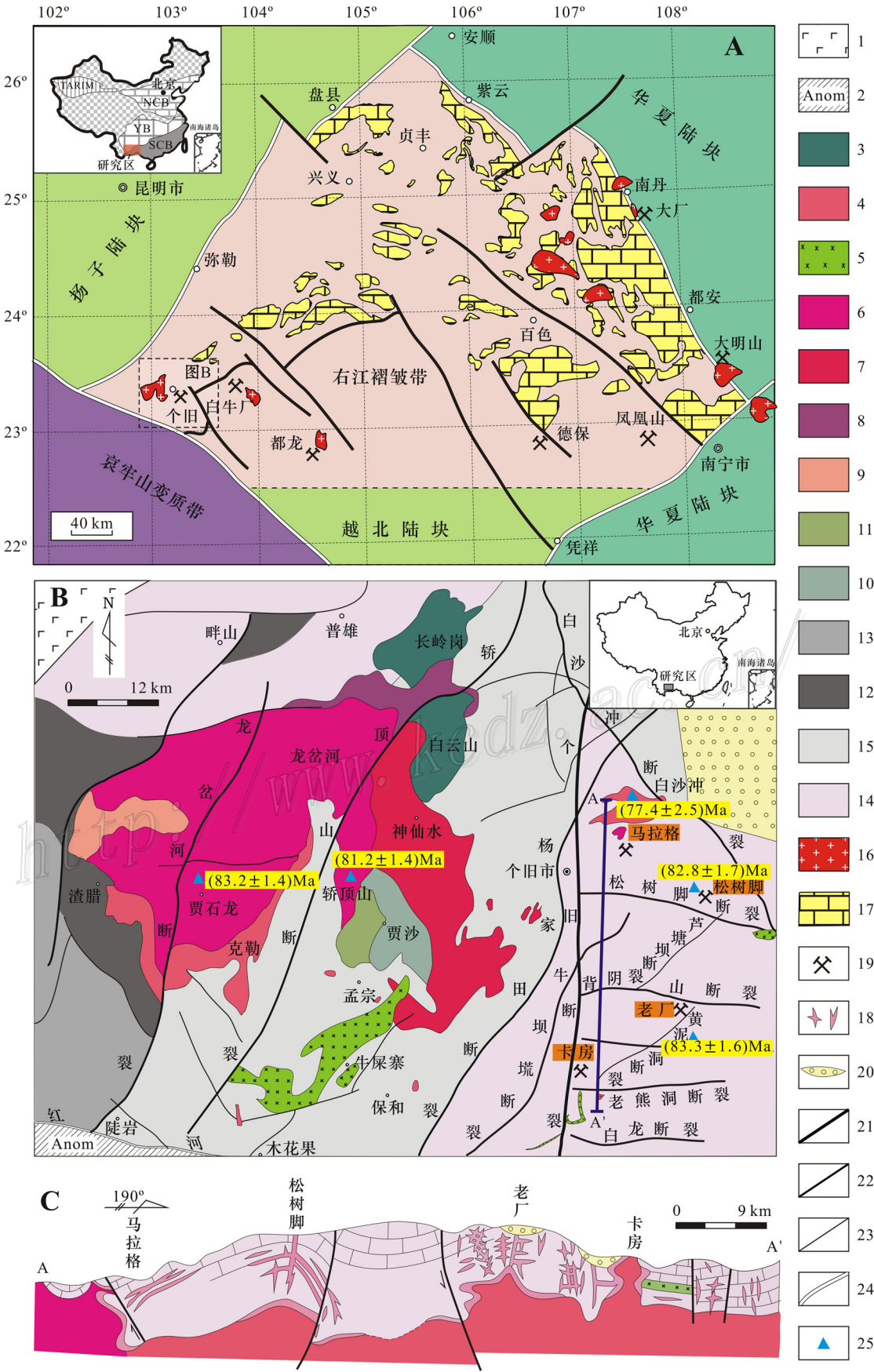


图 1 A. 右江褶皱带内构造、矿床分布及周边构造单元位置示意图(据陈懋弘,2008 修编);B. 云南个旧地区地质示意图(据 308 队,1984;陈毓川等,1993 修编);C. 个旧东区锡矿床与花岗质岩石接触关系剖面示意图(据中国地质科学院地质研究所编图研究室,2007)

1—峨眉山玄武岩;2—哀劳山变质带;3—白云山碱性岩;4—粗粒黑云母花岗岩;5—变玄武岩;6—似斑状黑云母花岗岩;7—碱性花岗岩;8—细粒碱性花岗岩;9—细粒黑云母花岗岩;10—辉长岩;11—闪长岩;12—飞仙关组地层;13—火把冲组地层;14—法郎组地层;15—个旧组地层;16—花岗岩;17—碳酸盐地层;18—锡矿床;19—矿体;20—第四纪沉积物;21—I 级断裂;22—II 级断裂;23—III 级断裂;24—地质单元边界;25—采样位置。NCB—华北陆块;YCB—扬子陆块;SCB—华南陆块;TARIM—塔里木陆块

Fig. 1 A. Structure and deposit distribution in the Youjiang fold belt and locations of surrounding tectonic units(modified from Chen, 2008);B. Sketch map showing geology and distribution of polymetallic tin deposits in Gejiu area(modified from No. 308 Geological Party, 1984;Chen, 1993);C. Diagram showing the relationship between tin deposits and granite of Gejiu area, Yunnan Province

1—Permian Emeishan basalt;2—Ailaoshan metamorphic zone;3—Baiyunshan alkaline rocks;4—Medium-grained biotite granite;5—Triassic basaltic lava;6—Porphyritic biotite granite;7—Alkali feldspar granite;8—Fine-grained alkaline granite;9—Fine-grained equigranular biotite granite;10—Gabbro;11—Alkali feldspar granite with mafic enclaves;12—Feixianguan Formation;13—Huobachong Formation;14—Falang Formation;15—Gejiu Formation;16—Granite;17—Carbonate strata;18—Tin deposit;19—Ore body;20—Sedimentary of Quaternary;21—First order fault;22—Secondary order fault;23—Third order fault;24—Geological unit boundary;25—Sampling Location. NCB—North China block;YCB—Yangtze block;SCB—South China block;TARIM—TARIM block

表 1 本次研究样品的采样点信息
Table 1 Some information about the sample spot of this study

点号	所在岩体	坐标点	岩性	采样位置
CYB0707033	龙岔河岩体	23°18'34"N, 03°03'03"E	似斑状黑云母花岗岩	龙岔河岩体东端的贾沙镇附近
CYB0807055	龙岔河岩体	23°20'52"N, 102°58'02"E	似斑状黑云母花岗岩	龙岔河岩体西端的贾石龙村附近
CYB0707013	马松岩体	无	似斑状黑云母花岗岩	松树脚矿区第二坑口 1~4# 矿体 1 820 m 中段
CYB0807031	老卡岩体	无	似斑状黑云母花岗岩	老厂矿区竹叶山坑 1700 m 中段
CYB0707032	白沙冲岩体	23°24'12"N, 103°22'44"E	等粒黑云母花岗岩	白沙冲岩体的北部

2.2 马拉格-松树脚似斑状花岗岩

马松岩体沿 NWW 向的马松穹窿轴部侵入到中三叠统碳酸盐地层中,分布于马拉格至松树脚一带。在松树脚侵入层位较低,为个旧组下部地层,马拉格则主要为中、上部地层。岩体基本上隐伏于地表以下一百米至五六百米深处(图 1),零星出露,露头面积约 0.065 km²,而深部已控制的范围(海拔 1 500 m 以上)达 15 km²。岩石呈灰色,具似斑状结构。斑晶以微斜条纹长石为主,含量 10%~20%,自形晶。斑晶中普遍包裹有黑云母,有的包裹斜长石、石英。基质以中粒为主,结构呈粗细不同的变化,斑晶也因此减少或消失,呈近粒状花岗岩,尤其在岩体边部和深部常可见到;基质的矿物成分主要为石英、条纹长石、斜长石,其次为黑云母。矿物含量:石英 31%,钾长石 32%~36%、斜长石 26%、黑云母 5%~8%,其中松树脚钾长石含量略低而黑云母含量略高(图 2)。副矿物主要有磷灰石、磁铁矿、钛铁矿、榍石、锆石、褐帘石等,以榍石最多。在马松岩体下部还可见到后期的中细粒黑云母花岗岩及细晶质花岗岩呈脉状贯入到似斑状黑云母花岗岩中,或贯入到岩体附近的碳酸盐围岩中。

2.3 老厂似斑状花岗岩

岩石呈暗灰色至深灰色,SiO₂ 含量相对于粒状

花岗岩明显减少,基性程度相对较高,岩石主要呈花岗结构及似斑状结构。斑晶由微斜长石和石英组成,含量约达 5%。长石斑晶,外形轮廓不完整,边缘常见石英和斜长石小颗粒,斑晶粒径一般(0.7~1)×(1.2~3)cm²;石英斑晶呈烟灰色,粒状,粒径一般 0.5 cm 左右。基质为细粒花岗岩,仍由微斜长石、石英、斜长石及黑云母组成。微斜长石的晶形完好,颗粒相对较大,粒径 0.7×0.5 cm²,占基质的 20%~30%;黑云母含量较高,粒径 0.3×0.5 cm²,约占全岩的 5%~7%(图 2)。副矿物有磷灰石、磁铁矿、钛铁矿、榍石、锆石等。

据野外观察,这种似斑状花岗质岩石与等粒黑云母花岗岩直接接触,接触界线明显,两种岩相之间无过渡现象。且这两种岩相交互出现,在含斑花岗岩相内可见到有等粒花岗岩相出现,反之亦然。推测这两种花岗质岩浆侵入时间相距较近,并无较长的时间间隔,有可能是在某一个岩相的岩浆侵位而尚未冷却结晶之时,另一岩浆随即上涌侵入,因而,两者结晶时间应大致相同。此现象与本次研究所获得的锆石 U-Pb 精确定年结果符合,两者为同期岩浆。

2.4 白沙冲等粒花岗岩

白沙冲岩体地表呈东西延长的似椭圆形出露于

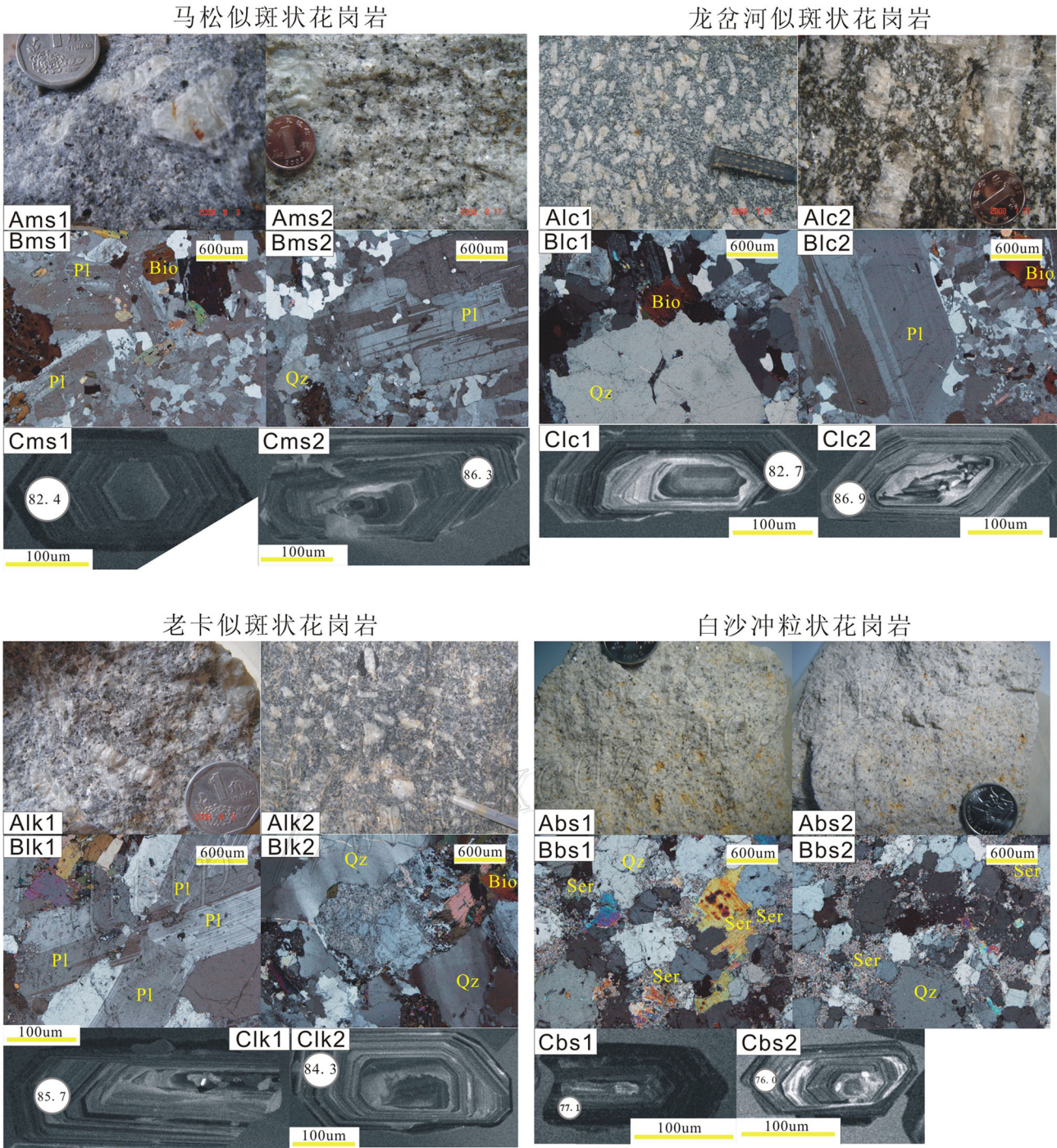


图 2 个旧地区花岗岩的岩石标本、薄片及锆石特征。A. 岩石标本照片；B. 岩石薄片在显微镜下的照片；
C. 本次测试采用的锆石的照片（圆圈代表分析点位置，数值代表该点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 年龄）
Fig. 2 Some sample pictures (A), slice photos (B) and CL images of representative zircons (C) from Gejiu granites
(circles are analytic points, and numerals signify $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ data)

马拉格北面之小马拉格、一碗水至白沙冲一带，出露面积 6.25 km²，岩体侵入于个旧组灰岩中（图 1）。岩体各个部分岩性变化不大，主要为浅肉红色中粗粒黑云母花岗岩，边缘粒度稍细，近于中粒，岩石具

粒状结构。主要矿物有微斜长石、斜长石、石英、黑云母等，副矿物有锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿、钛铁矿、独居石、电气石和萤石等。微斜条纹长石含量约 38%，呈半自形柱状晶体。斜长石含量约 27%，较为

自形,绢云母化普遍(图2)。石英含量约为30%,呈他形粒状,分布于其他矿物粒间或部分熔蚀包裹斜长石及钾长石。黑云母含量为3%左右。

3 实验技术与结果

3.1 实验技术方法

用于挑选锆石的样品重量约10 kg,样品的破碎和锆石挑选工作由河北省廊坊市诚信地质服务公司完成,每种岩相挑出锆石100~500粒。锆石单矿物分离采用常规方法,即将岩石样品粉碎至约300 μm ,经磁法和密度分选后,淘洗、挑纯,然后将分选后的锆石和标准锆石参考样(TEM)一起用环氧树脂固定于样品靶上,对样品靶表面研磨抛光(Williams, 1992; 宋彪等, 2002),然后进行反射光和透射光照相,并用阴极发光扫描电镜进行图像分析,检查锆石的内部结构,再进行镀金以备分析。阴极发光成像(CL)分别在北京离子探针中心电子探针室和西北大学大陆动力学重点实验室完成。

SHRIMP U-Pb 年龄测试在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成,详细分析流程和原理参考 Compston 等(1984; 1992)和 Williams 等(1987; 1996; 1998)。应用澳大利亚地调局标准锆石 TEM (417 Ma)进行元素间的分馏校正。应用 RSES(澳大利亚国立大学地学院)参考锆石 SL13(年龄 572 Ma, U 含量 238×10^{-6})标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量。分析时每测 3 次样品后测定一次标样(TEM),以控制仪器的稳定性和离子记数统计的精确性。数据处理采用 ISOPLOT 及 SQUID1.02 程序。普通铅是根据 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 年龄谐合校正的。表 2 中所列单个数据点的误差均为 1σ ,加权平均年龄具 95% 的置信度。

LA-ICP-MS 测试分析在西北大学大陆动力学重点实验室完成,锆石定年分析所用的 ICP-MS 为 Agilent 公司生产的 Agilent 7500a。锆石 U-Pb 定年及微量元素分析在同一个系统内同时完成,激光束斑直径为 44 μm 。LA-ICP-MS 激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,数据分析前用 NIST610 进行调试仪器,使之达到最优状态。在测试过程中每测定 5 个样品点后,重复测定一个锆石 91500 和一个 NIST610 进行校正,观察仪器的状态以保证测试的精度。详细实验测试过程可参见袁洪林等(2003)。数据处理采用 GLITTER(ver 4.0)程序,普通铅校

正采用 Anderson(2002)的方法,锆石谐和图用 Iso-plot 程序(ver 3.0)获得。样品分析过程中,91500 标样的分析结果为 $(1\,060.1 \pm 10.2)\text{Ma}$ ($n=4, 1\sigma$), GJ-1 标样的分析结果为 $(610.1 \pm 6.2)\text{Ma}$ ($n=2, 1\sigma$),对应的年龄推荐值为 $(1\,062.4 \pm 0.6)\text{Ma}$ (1σ)和 $(608.53 \pm 0.37)\text{Ma}$ (1σ),两者在误差范围内一致。本文所测定的岩石形成于晚中生代,其结果以 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄计算,年龄误差为 1σ 。

3.2 实验结果和解释

4 个样品中的锆石大小不等,总体而言颗粒较大,粒径 100~350 μm ,多呈长柱状,自形程度较好,大部分锆石颗粒以灰白色、淡棕色为主。阴极发光(CL)图像显示(图2),大部分锆石具有明显的密集振荡环带,通常认为这是由于锆石结晶时岩浆的温度较低、微量元素的扩散速度较慢所致(吴元保等, 2004)。个旧地区花岗岩的 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果见表 2a 和表 2b。

3.2.1 龙岔河似斑状花岗岩

本文运用 SHRIMP 方法对龙岔河似斑状花岗岩样品中的锆石进行了 15 个颗粒的 15 个点测定,锆石 Th/U 比值变化范围为 0.14~0.48,平均值为 0.27。分析结果在谐和图上呈密集分布(图 3a),表明锆石形成以后, U-Pb 同位素体系保持了封闭,故测定的年龄值是可信的。锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 的加权平均年龄为 $(83.2 \pm 1.4)\text{Ma}$,MSWD 值为 1.5。同时运用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 方法对此岩体进行定年,共分析了 20 个点,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $(82.0 \pm 0.25)\text{Ma}$,MSWD 值为 0.48(图 3e)。两个数据基本一致,这一数据可解释为龙岔河似斑状花岗岩的结晶年龄。

3.2.2 马拉格-松树脚似斑状花岗岩

运用 SHRIMP 方法对马拉格-松树脚似斑状花岗岩分析了 14 个锆石颗粒,其中 13 个颗粒的分析结果都位于谐和曲线上(图 3b)。锆石 Th/U 比值变化范围为 0.08~0.38,平均值为 0.20, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(82.8 \pm 1.7)\text{Ma}$,MSWD 值为 0.93,这一年龄解释为马松岩体的结晶年龄。其中,颗粒 3.1 的分析结果不一致,由 CL 图像可以清楚地看出,颗粒 3.1 具有一个继承核,分析点可能跨上了老的继承核,与其他锆石的 U、Th、Pb 含量相比,颗粒 3.1 明显具有偏高的 U 含量,其 Th/U 比值偏低,仅为 0.09,因此,这个颗粒未参加年龄计算。

3.2.3 老厂似斑状花岗岩

表 2 个旧地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄数据
Table 2 Zircon U-Pb dating of granites in Gejiu area, Yunnan Province

a. SHRIMP 法

点号	$^{206}\text{Pb}/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	误差/ $\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/ $\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/ $\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Me	误差/ 1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Me	误差/ 1σ
龙岔河似斑状花岗岩, 样品号: CYB0807055															
055-1.1	0.08	5196	1089	0.22	62.60	0.0475	1.1	0.0140	3.0	0.0918	3.2	89.7	2.6	75	26
055-2.1	0.25	3127	758	0.25	36.29	0.0458	1.9	0.0135	3.0	0.0852	3.5	86.3	2.6	-10	46
055-3.1	0.13	2728	1268	0.48	34.60	0.0474	1.6	0.0147	3.0	0.0963	3.4	94.4	2.8	68	38
055-4.1	0.03	5499	1141	0.21	66.02	0.0472	0.8	0.0140	3.0	0.0910	3.1	89.4	2.6	61	20
055-5.1	0.05	2505	412	0.17	27.72	0.0496	1.4	0.0129	3.0	0.0880	3.3	82.5	2.4	176	33
055-6.1	2.55	2509	776	0.32	28.54	0.0494	6.0	0.0129	3.0	0.0878	6.7	82.7	2.5	165	139
055-7.1	0.29	2899	1398	0.50	33.89	0.0451	2.2	0.0136	3.0	0.0843	3.7	86.9	2.6	-51	54
055-8.1	0.73	4593	1045	0.24	52.13	0.0470	5.0	0.0131	3.0	0.0850	5.8	84.0	2.5	49	119
055-9.1	0.11	2202	544	0.26	24.65	0.0481	1.5	0.0130	3.0	0.0864	3.4	83.4	2.5	105	36
055-10.1	0.61	2037	557	0.28	22.78	0.0434	4.0	0.0129	3.0	0.0773	5.0	82.9	2.5	-147	99
055-11.1	0.07	2394	707	0.31	27.37	0.0485	1.9	0.0133	3.1	0.0890	3.6	85.2	2.6	126	45
055-12.1	0.14	2072	661	0.33	22.85	0.0486	1.9	0.0128	3.0	0.0860	3.6	82.1	2.5	130	45
055-13.1	0.11	4573	634	0.14	48.52	0.0470	2.0	0.0123	3.0	0.0799	3.6	79.0	2.3	48	47
055-14.1	0.16	1903	486	0.26	20.24	0.0500	2.3	0.0124	3.0	0.0852	3.8	79.2	2.4	195	54
055-15.1	0.12	2784	580	0.22	30.01	0.0480	1.8	0.0125	3.0	0.0829	3.5	80.3	2.4	99	44
马拉格-松树脚似斑状花岗岩, 样品号: CYB0707013															
013-1.1	0.24	2241	733	0.34	25.73	0.0471	3.0	0.0133	3.5	0.0867	4.6	85.4	3.0	57	72
013-2.1	0.14	3208	513	0.17	37.16	0.0477	1.8	0.0135	3.6	0.0886	4.0	86.2	3.1	86	42
013-3.1	0.04	13233	1118	0.09	163.14	0.0470	0.8	0.0143	3.5	0.0930	3.6	91.8	3.2	49	18
013-4.1	0.22	1719	582	0.35	19.58	0.0488	2.7	0.0132	3.5	0.0891	4.5	84.7	3.0	140	64
013-5.1	0.04	3013	834	0.29	34.91	0.0480	1.7	0.0135	3.5	0.0893	3.9	86.3	3.0	101	40
013-6.1	0.74	3764	849	0.23	43.21	0.0567	2.5	0.0133	3.5	0.1037	4.3	84.9	3.0	480	56
013-7.1	0.00	3873	723	0.19	44.24	0.0492	1.4	0.0133	3.5	0.0901	3.8	85.1	3.0	155	34
013-8.1	0.23	3185	418	0.14	34.59	0.0485	2.4	0.0126	3.6	0.0843	4.3	80.8	2.9	122	57
013-9.1	0.22	3507	607	0.18	38.83	0.0509	1.7	0.0129	3.5	0.0902	3.9	82.4	2.9	235	38
013-10.1	0.18	4298	683	0.16	45.93	0.0464	1.8	0.0124	3.5	0.0794	3.9	79.6	2.8	17	44
013-11.1	0.00	3096	501	0.17	33.30	0.0488	1.7	0.0125	3.5	0.0843	3.9	80.2	2.8	140	40
013-12.1	0.04	4759	662	0.14	48.95	0.0467	1.4	0.0120	3.5	0.0771	3.8	76.7	2.7	35	34
013-13.1	0.15	2985	524	0.18	31.53	0.0473	2.1	0.0123	3.5	0.0801	4.1	78.7	2.7	67	50
013-14.1	0.18	2230	536	0.25	24.36	0.0477	2.3	0.0127	3.5	0.0834	4.2	81.3	2.8	83	54

续表 2-a
Cont. Table 2-a

点号	$^{206}\text{Pb}\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	误差/ $\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/ $\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/ $\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	年龄/Ma	误差/ 1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	年龄/Ma	误差/ 1σ
老厂斑状花岗岩, 样品号: CYB0807031																	
031-1.1	0.17	1719	463	0.28	19.48	0.0467	2.4	0.0132	2.7	0.0849	3.6	84.3	2.2	36	58		
031-2.1	0.19	2086	553	0.27	23.28	0.0463	2.1	0.0130	2.5	0.0828	3.3	83.0	2.1	14	51		
031-3.1	0.30	971	413	0.44	11.20	0.0520	3.0	0.0134	2.6	0.0959	3.9	85.7	2.2	284	69		
031-4.1	0.16	2329	671	0.30	26.94	0.0468	2.1	0.0134	2.5	0.0867	3.3	86.1	2.1	39	51		
031-5.1	0.13	1532	466	0.31	18.12	0.0487	2.7	0.0137	2.5	0.0922	3.7	88.0	2.2	131	63		
031-6.1	0.16	2245	739	0.34	25.66	0.0484	2.3	0.0133	2.5	0.0886	3.4	85.1	2.1	118	54		
031-7.1	0.78	644	303	0.49	7.21	0.0496	4.7	0.0129	2.6	0.0885	5.4	82.9	2.2	175	110		
031-8.1	0.26	1453	486	0.35	16.16	0.0515	2.9	0.0129	2.5	0.0917	3.9	82.7	2.1	264	67		
031-9.1	0.12	2111	462	0.23	23.25	0.0484	2.3	0.0128	2.5	0.0854	3.4	82.0	2.0	118	54		
031-10.1	0.19	2005	618	0.32	22.49	0.0469	2.2	0.0130	2.5	0.0843	3.3	83.4	2.1	47	52		
031-11.1	0.61	1484	472	0.33	15.41	0.0468	4.2	0.0120	2.5	0.0776	4.9	77.0	1.9	41	100		
031-12.1	0.10	3682	646	0.18	40.97	0.0474	1.8	0.0129	2.5	0.0846	3.0	82.9	2.0	70	42		
031-13.1	0.00	949	387	0.42	10.94	0.0491	2.9	0.0134	2.6	0.0909	3.9	85.9	2.2	154	68		
031-14.1	0.42	1012	371	0.38	10.92	0.0504	4.5	0.0125	2.6	0.0869	5.1	80.1	2.0	212	103		
白沙冲等粒花岗岩, 样品号: CYB0707032																	
032-1.1	1.73	13168	2255	0.18	124.79	0.0593	2.3	0.0108	3.6	0.0886	4.2	69.5	2.5	577	49		
032-2.1	2.20	3548	752	0.22	36.92	0.0577	7.4	0.0118	3.6	0.0942	8.2	75.9	2.7	517	161		
032-3.1	9.31	3638	582	0.17	44.11	0.0935	6.9	0.0128	3.7	0.1650	7.8	82.0	3.0	1498	131		
032-4.1	1.83	3544	833	0.24	35.64	0.0651	4.2	0.0115	3.6	0.1031	5.5	73.7	2.6	777	89		
032-5.1	3.50	17463	9391	0.56	142.04	0.0895	4.0	0.0091	3.6	0.1128	5.3	58.6	2.1	1416	76		
032-6.1	4.95	5356	1148	0.22	58.18	0.0919	8.8	0.0120	3.7	0.1523	9.5	77.0	2.8	1465	167		
032-6.1	5.95	2394	557	0.24	27.17	0.0903	6.5	0.0124	3.7	0.1546	7.5	79.6	3.0	1431	124		
032-8.1	14.23	6291	2098	0.34	91.14	0.2717	4.6	0.0145	4.1	0.5418	6.2	92.6	3.8	3316	72		
032-9.1	0.64	18023	1349	0.08	143.94	0.0527	1.8	0.0092	3.6	0.0671	4.0	59.3	2.1	317	40		
032-10.1	1.67	24484	3101	0.13	151.89	0.0965	1.6	0.0071	3.6	0.0944	3.9	45.6	1.6	1557	30		
032-11.1	0.33	2614	557	0.22	23.61	0.0519	2.6	0.0105	3.6	0.0750	4.4	67.2	2.4	281	59		

续表 2-b
Cont. Table 2-b

b. LA-ICP-MS 法											
点号	U/ 10^{-6}	Th/ 10^{-6}	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/±%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/±%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/±%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/1 σ
白沙冲等粒花岗岩, 样品号: CYB0707032											
bse-1	262	219	0.84	0.0672	0.0042	0.1149	0.0068	0.0124	0.0002	0.0038	0.0001
bse-2	409	398	0.97	0.0502	0.0019	0.0883	0.0032	0.0128	0.0002	0.0038	0.0002
bse-3	752	474	0.63	0.0746	0.0057	0.1281	0.0093	0.0125	0.0003	0.0038	0.0001
bse-4	160	188	1.18	0.0498	0.0026	0.0871	0.0044	0.0127	0.0002	0.0034	0.0002
bse-5	134	116	0.87	0.0523	0.0025	0.0919	0.0042	0.0128	0.0002	0.0042	0.0002
bse-6	322	142	0.44	0.0522	0.0022	0.0904	0.0036	0.0126	0.0002	0.0041	0.0003
bse-7	744	243	0.33	0.0486	0.0020	0.0833	0.0033	0.0124	0.0002	0.0039	0.0001
bse-8	609	449	0.74	0.0641	0.0058	0.1058	0.0093	0.0120	0.0002	0.0037	0.0001
bse-9	495	254	0.51	0.0583	0.0047	0.0976	0.0077	0.0121	0.0002	0.0038	0.0001
龙盆河板状花岗岩, 样品号: CYB0707033											
033-1	418	334	0.80	0.0508	0.0014	0.0902	0.0020	0.0129	0.0001	0.0043	0.0001
033-2	696	845	1.21	0.0476	0.0023	0.0831	0.0039	0.0127	0.0002	0.0040	0.0000
033-3	452	272	0.60	0.0515	0.0022	0.0908	0.0037	0.0128	0.0002	0.0040	0.0000
033-4	659	705	1.07	0.0484	0.0014	0.0863	0.0019	0.0129	0.0001	0.0040	0.0001
033-5	690	834	1.21	0.0505	0.0015	0.0895	0.0020	0.0129	0.0001	0.0040	0.0001
033-6	651	463	0.71	0.0477	0.0015	0.0849	0.0021	0.0129	0.0001	0.0042	0.0001
033-7	424	423	1.00	0.0534	0.0018	0.0941	0.0026	0.0128	0.0002	0.0041	0.0001
033-8	608	726	1.19	0.0487	0.0014	0.0870	0.0019	0.0130	0.0001	0.0043	0.0001
033-9	676	689	1.02	0.0479	0.0024	0.0843	0.0040	0.0128	0.0002	0.0041	0.0000

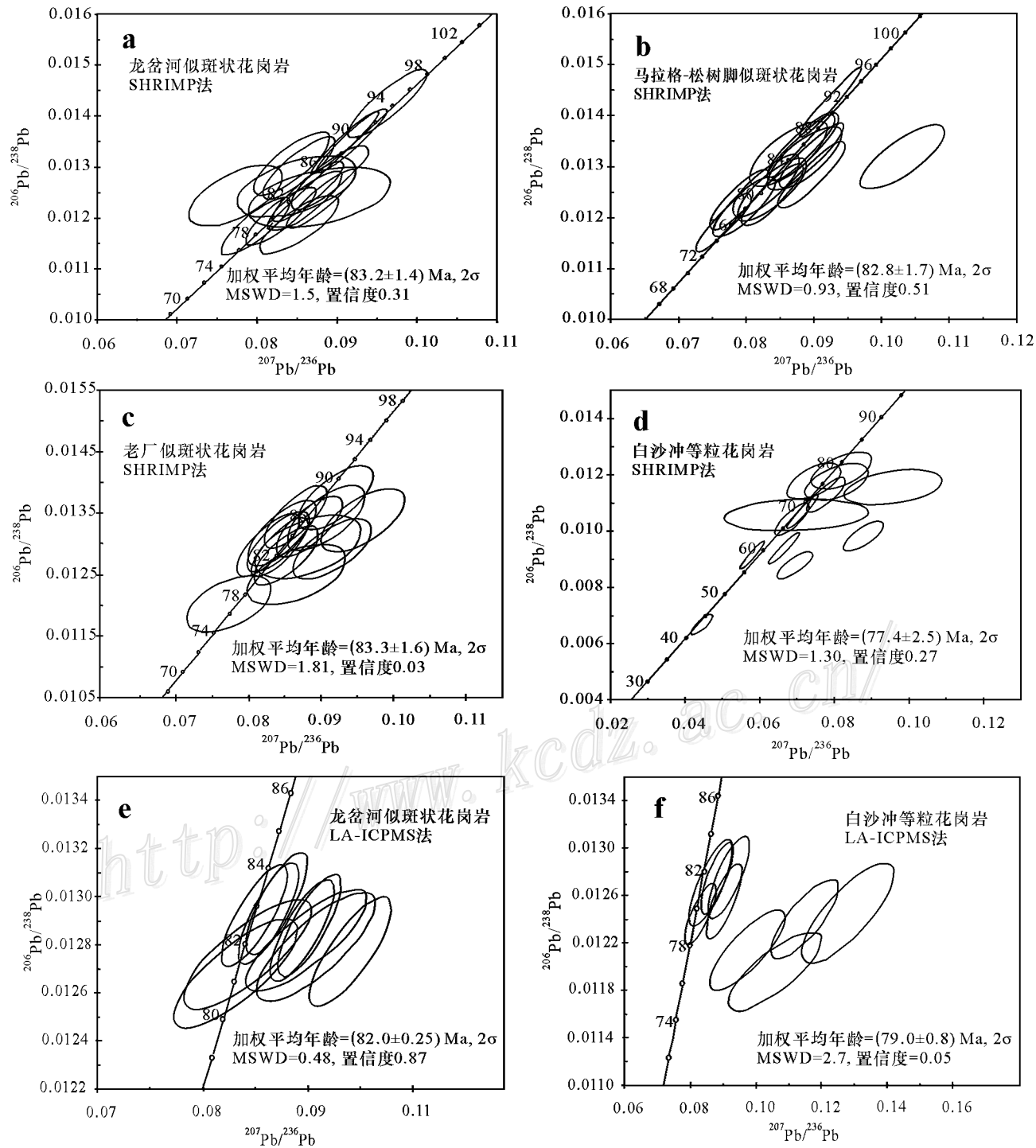


图 3 个旧花岗岩的锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia diagram of Gejiu granite

运用 SHRIMP U-Pb 方法对老厂似斑状花岗岩分析了 14 个锆石颗粒,14 个颗粒的分析结果无异常出现,均位于谐和曲线上(图 3c)。锆石 Th/U 比值变化范围为 0.18~0.47,平均值为 0.32, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (83.3±1.6) Ma,MSWD 值为

1.81 这一年龄可解释为老厂似斑状花岗岩的结晶年龄。

3.2.4 白沙冲等粒花岗岩

运用 SHRIMP U-Pb 方法对白沙冲等粒花岗岩样品中具有明显振荡环带的岩浆锆石进行了 11 个

颗粒的 11 个点测定,其中 7 个颗粒的分析结果在谐和图上组成密集的一簇(图 3d),锆石²⁰⁶Pb/²³⁸Pb 年龄的加权平均值为(77.4 ± 2.5)Ma,MSWD 值为 1.30,Th/U 比值变化范围为 0.16~0.33,平均值为 0.23。分析点 1.1、5.1、9.1 和 10.1 与其他分析点相比,明显具有较高的 U 含量(表 2),得出的年龄偏差较大,因此这几个颗粒未参加年龄计算。白沙冲等粒花岗岩的形成年龄为(77.4 ± 2.5)Ma。

4 讨论

4.1 个旧超大型锡矿田花岗岩的形成时代

前人对个旧地区岩体和成矿的年龄进行了广泛的年代学研究,包括 K-Ar 法和 Rb-Sr 法,所得年龄不尽相同。308 队(1984)报道的似斑状花岗岩的年龄值为 83.5~115 Ma,粒状花岗岩的年龄值为 62~80 Ma(K-Ar 法),年龄相差 53 Ma。伍勤生等(1984)报道的龙岔河岩体的黑云母 K-Ar 年龄为 100~115 Ma,Rb-Sr 法年龄为(147 ± 3)Ma;马拉格似斑状花岗岩的 K-Ar 年龄为 91.5~116 Ma,Rb-Sr 法年龄为(90.4 ± 6.3)Ma,松树脚黑云母花岗岩的黑云母 K-Ar 年龄为 84.5~89.5 Ma,神仙水岩体的 K-Ar 年龄为 72~87 Ma,Rb-Sr 法年龄为(84.4 ± 1.1)Ma,老厂粒状花岗岩的黑云母 K-Ar 年龄为 64~80 Ma,Rb-Sr 法年龄为(81.0 ± 4.9)Ma,年龄相差达 83 Ma。伍勤生等(1986)报道的白沙冲岩体的 K-Ar 年龄为 53 Ma,Rb-Sr 法年龄为(81.0 ± 2.4)Ma;同一岩体的 2 个数据相差 28 Ma 左右。虽然运用 K-Ar 法和 Rb-Sr 法对年龄进行限定可能会带来较大的误差,但是从上述数据也可大致判断,个旧地区

的花岗质岩石形成于燕山晚期。

似斑状花岗岩和等粒花岗岩在东区与西区均有分布,两种岩相之间或者相距较远,或者为隐伏岩体,在个旧地区仅仅在老厂矿田的竹叶山矿坑内可见两类岩石之间为直接接触关系,在其他地区两者的接触关系尚待进一步查明(图 1)。本文获得的龙岔河似斑状花岗岩形成于(82.0 ± 0.3)~(83.2 ± 1.4)Ma,马拉格-松树脚似斑状花岗岩形成于(82.8 ± 1.7)Ma,老厂似斑状花岗岩形成于(83.3 ± 1.6)Ma,白沙冲等粒花岗岩形成于(77.4 ± 2.5)Ma(图 3),均集中出现于 80 Ma 前后,年龄相差不足 5 Ma。结合本区其他数据,个旧东区老卡等粒花岗岩体的 LA-ICP-MS 年龄为(85.0 ± 0.9)Ma(程彦博等,2008a),个旧东区南段的卡房矿田中的辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为(83.0 ± 2.1)Ma(杨宗喜等,2008),以及新获得的大斗山矿区脉状矿的云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄为(82.7 ± 0.7)Ma(杨宗喜,2009),反映成岩与成矿时代吻合程度较好,均同时形成或近于同时形成,暗示花岗岩对矿床形成的成因联系。同时,结合个旧锡矿区最后一期岩浆作用,白云山碱性岩的形成时代约为(76.6 ± 3.6)Ma,煌斑岩的形成时代约为(77.2 ± 2.4)Ma(程彦博等,2008b),推测个旧地区与成矿有关的花岗质岩浆活动在 80~85 Ma 期间达到高峰。

4.2 晚白垩世(80~100 Ma)的区域岩浆活动与形成环境对比

位于华南西部的滇东南—桂西地区分布着一批世界级的超大型锡多金属矿床,包括个旧、大厂、都龙及白牛厂等,该区还分布有丹池—大明山矿集区的大明山钨矿、王社铜钨矿床等。最新的研究表明,

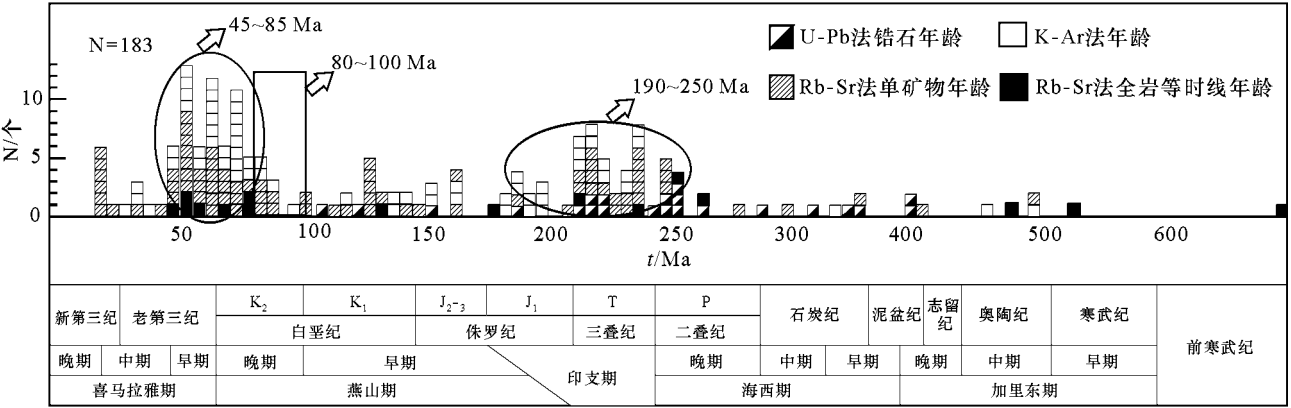


图 4 滇西花岗岩类同位素年龄分布图(据施琳等,1989 修编)

Fig. 4 The distribution of granite isotope data in west Yunnan Province(modified after Shi et al., 1989)

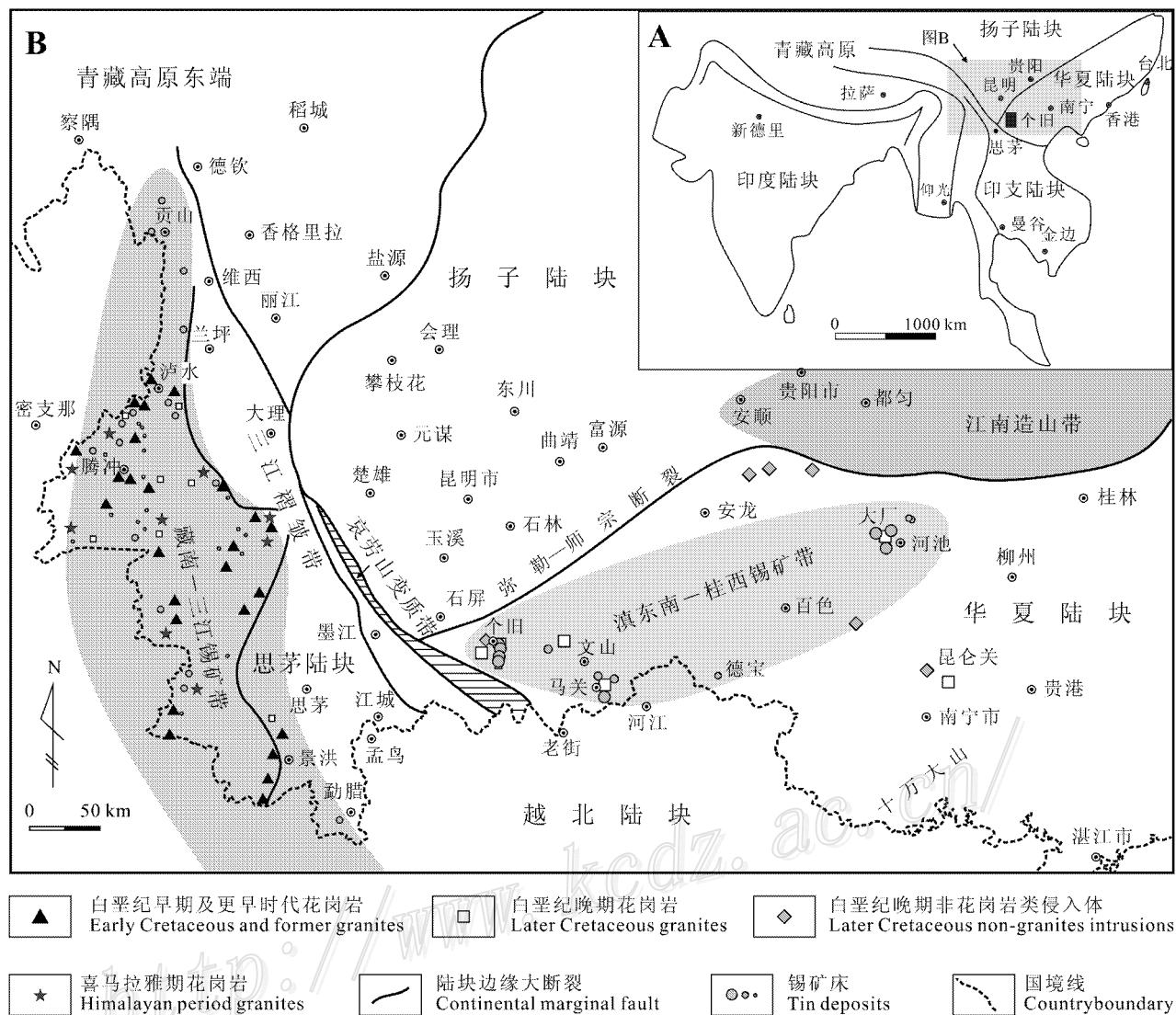


图 5 藏南-三江与华南西部地区锡矿成岩成矿事件的空间分布及形成时代示意图(据郑永飞等,2007;施琳等,1989;吕伯西等,1993 修编)

Fig. 5 Sketch map showing the distribution and data of tin deposits and related granite stocks in southern Tibet-Three River fold belt and west Cathaysia block(modified from Zheng et al., 2007; Shi et al., 1989; Lu et al., 1993)

该区成岩成矿事件集中在一个很短的时间内出现,均形成于岩石圈伸展的动力学背景中(毛景文等,2008a;2008b;陈懋弘等,2008;程彦博等,2008a;2008b;刘玉平等,2007;蔺志永等,2008;杨宗喜等,2008)。

近年来同位素精确测年表明,滇东南—桂西地区燕山期花岗质岩浆作用主要集中在一个很窄的时限范围内(图4),如:广西大厂的龙箱盖复式花岗岩体形成于 $(91 \pm 1) \sim (93 \pm 1)$ Ma 之间(蔡明海等,2006),广西昆仑关花岗岩的形成时代为 119 Ma (Gilder et al., 1996),滇东南薄竹山花岗岩的 K-Ar

及 Rb-Sr 年龄为 73.8~99.9 Ma(罗君烈,1995),老君山花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(86.9 \pm 1.4) \sim (92.9 \pm 1.9)$ Ma(刘玉平等,2007),个旧东区的老厂-卡房等粒花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄为 (85.5 ± 0.85) Ma(程彦博等,2008a)。同时在该区也存在一起同期的非花岗质岩浆活动,包括:贵州白层地区基性-超基性岩墙 SHRIMP U-Pb 年龄为 (84 ± 1) Ma(陈懋弘等,待刊);毛景文等(2004)引用胡瑞忠对罗甸辉绿岩墙的全岩 Rb-Sr 年龄为 (97 ± 2) Ma;都安煌斑岩墙群的黑云母 K-Ar 法年龄为 104 Ma(广西壮族自治区地质矿产局,1985);大明山中酸性

岩墙群的白云母 K-Ar 法年龄为 $89 \sim 90$ Ma (广西壮族自治区地质矿产局, 1985)。本次测年结果与上述事实完全一致, 表明在华南西部地区存在一期晚白垩世岩浆-热事件(图 4), 这次事件的时限范围为 $73.9 \sim 119$ Ma, 在 $80 \sim 100$ Ma 前后集中出现。

结合最新的成果和本次对滇东南-桂西地区与三江地区成岩成矿年代学和地球动力学的对比研究, 发现华南西部地区成岩成矿的高峰在 $80 \sim 100$ Ma 的白垩纪晚期, 主要形成于岩石圈拉张伸展的动力学环境, 这种长期稳定的以拉张为主体的构造环境为区内超大型矿床的形成提供了有利条件(毛景文等, 2008a; 2008b; 陈懋弘等, 2008; 程彦博等, 2008a; 2008b; 杨宗喜等, 2008; 蔺智永等, 2008; 刘玉平等, 2007)。而与之毗邻的三江花岗岩带的白垩纪花岗岩可以划分为 2 期: $99 \sim 132$ Ma 和 $69 \sim 85$ Ma; 岩石类型也存在较大的差异, 主要有二长花岗岩、钾长花岗岩、钠长花岗岩和电气石花岗岩(施琳等, 1989; 吕伯西等, 1993; 莫宣学等, 1993; 罗君烈等, 1994; 李兴振等, 1999)。在滇东南-桂西地区广泛出现的、时限集中于 $80 \sim 100$ Ma 期间的花岗质岩石侵位事件在三江地区并不明显(图 5)。

岩石类型及成岩时代的差异启示我们, 这 2 个锡矿带的花岗岩具有不同的形成背景和形成过程。由于构造环境、岩石特征、成矿作用均极为相似(施琳等, 1989), 藏南-三江地区的锡矿床与分布在泰国、马来西亚及印度尼西亚等地的锡矿一致, 是东南亚锡矿带的组成部分, 藏南-三江锡矿带是东南亚锡矿带的北延部分, 受到特提斯构造体制的控制(Mitchell, 1977; Cobbing, 1990; Schwartz et al., 1995)。而滇东南-桂西地区控矿构造的基本特点比较一致地表明, 该时期成岩成矿作用与岩石圈伸展的关系密切(毛景文等, 2008b; 陈懋弘等, 2008; 蔡明海等, 2006; 程彦博等, 2008b; 刘玉平等, 2007), 且均属于板内环境(Xie et al., 2006), 该区成岩成矿作用与南岭地区存在较多的可比性, 推测更多地受到太平洋构造域的影响。两者以哀牢山变质带—红河断裂一线为界(图 5)。

5 结 论

云南个旧锡多金属矿田的龙岔河似斑状花岗岩形成于 $(81.2 \pm 1.4) \sim (83.2 \pm 1.4)$ Ma, 马拉格-松树脚似斑状花岗岩形成于 (82.8 ± 1.7) Ma, 老厂似斑

状花岗岩形成于 (83.3 ± 1.6) Ma, 白沙冲等粒花岗岩形成于 (77.4 ± 2.5) Ma, 均为晚白垩世的产物。

包括个旧地区在内的整个滇东南-桂西地区晚白垩世有一次岩浆热液事件, 主要体现在花岗岩侵入与花岗岩溶解的形成, 该区成岩成矿受控于同一区域应力场体系; 而此时红河断裂以西的藏南-三江锡矿带表现出与之不同的特征。两地区侵入岩岩石类型和形成时代明显的差异性表明它们的形成环境和形成机制的不同, 表明它们形成于不同的地球动力学背景。

志 谢 笔者在个旧的野外工作期间, 得到云锡公司童祥高级工程师和武俊德高级工程师以及老厂、卡房、松树脚、马拉格等矿山工作人员的大力协助; 在北京离子探针中心和西北大学大陆动力学实验室完成相关测试时, 两个实验室的工作人员在测试和数据处理过程中给予了有益的指导和帮助; 在此向他们深表感谢。

References

- Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analysis that do not report ^{204}Pb [J]. *Chem. Geol.*, 192: 59-79.
- Bian Q T. 1998. The two low velocity plume and super large ore deposits in southwest Yangtze craton [J]. *Science in China (Ser. D)*, 28 (Supp): 92-98 (in Chinese).
- Cai M H, He L Q, Liu G Q, Wu D C and Huang H M. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating of the intrusive rocks in the Dachang tin-polymetallic ore field, Guangxi and their geological significance [J]. *Geol. Rev.*, 52 (3): 409-414 (in Chinese with English abstract).
- Chen J C. 1983. Preliminary study on the comparison of S and I type granite in Yunnan Province [J]. *Yunnan Geol.*, 2 (1): 28-37 (in Chinese).
- Chen M H, Cheng Y B, Zhang W, Yang Z X and Lu G. 2008. A preliminary study on the magmatism and mineralization during Yanshanian epoch in Youjiang fold belt [A]. The proceeding of the 9th national conference of mineral deposits, China [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 241-242 (in Chinese).
- Chen Y C and Zhu Y S. 1993. Mineral deposits of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House, 209-211 (in Chinese).
- Cheng Y B, Mao J W and Xie G Q. 2008a. Preliminary study of the petrogenesis of Laochang-Kafang granite in the Gejiu area, Yunnan Province: Constraints from geochemistry and zircon U-Pb dating [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81 (11): 1478-1493 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Y B, Mao J W and Chen M H. 2008b. LA-ICPMS zircon dating

- of the alkaline rocks and lamprophyres in Gejiu area and its implications [J]. *Geol. in China* 35(6):1082-1093 (in Chinese with English abstract).
- Cobbing E J. 1990. A comparison of granites and their tectonic settings from the South American Andes and the southeast Asian tin belt (in Plutonism from Antarctica to Alaska) [J]. *Geological Society of America*, 241:193-204.
- Compston W, Williams I S and Meyer C E. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe [J]. *J. Geophys. Res.*, B89 (Supp): 525-534.
- Compston W, Williams I S and Kirschvink J L. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian timescale [J]. *J. Geol. Soc. London*, 149(2):171-184.
- Dai F S. 1996. Characteristics and evolution of rock series, lithogenesis, metallogenesis of crust-derived anatectic magma in Gejiu ore field [J]. *Yunnan Geol.*, 15(4):330-344 (in Chinese with English abstract).
- Deng Y S. 1951. The relationship between tin deposit and structure in Yunnan [J]. *Geol. Rev.*, 16(2):57-66 (in Chinese).
- Geological Mineral Resources Bureau of Guangxi Zhuang Nationality Autonomous Region. 1985. Regional geological characteristics of Guangxi Zhuang Nationality Autonomous Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 350p (in Chinese).
- Gilder S A, Gill J and Coe R S. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China [J]. *J. Geophys. Res.*, 101:16137-16154.
- Geological Mineral Resources Bureau of Yunnan Province. 1985. Regional geological characteristics of Yunnan Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 102-393 (in Chinese).
- Li J H. 1985. Characteristic and original study on granites in Gejiu area [J]. *Yunnan Geol.*, 4(4):327-352 (in Chinese with English abstract).
- Li X Z, Liu W J, Wang Y Z, Du D S, Shen G F, Liu C J, Jue M Y, Yang S H, Li D M and Feng Q L. 1999. Revolution of Tethys in Three River area and its relationship with metallogeny [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 249p (in Chinese).
- Lin Z Y, Wang D H and Li S R. 2008. Re-Os isotopic ages of molybdenite from the Wangshe copper-tungsten deposit in Guangxi Province and their implications [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(11):1565-1571 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y P, Li Z X, Li H M, Guo L G, Xu W, Ye L, Li C Y and Pi D H. 2007. U-Pb geochronology of cassiterite and zircon from the Dulong Sn-Zn deposit: Evidence for Cretaceous large-scale granitic magmatism and mineralization events in southeastern Yunnan Province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(05):967-976 (in Chinese with English abstract).
- Lu B X, Wang Z, Zhang D N, Duan J Z, Gao Z Y, Shen G F, Pan C Y and Yao P. 1993. Granitoids in the Sanjiang region and their metallogenic specialization [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 299p (in Chinese).
- Luo J L, Yang Y H, Zhao Z, Chen J C and Yang J Z. 1994. Evolution of the Tethys in western Yunnan and mineralization for main metal deposits [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 308p (in Chinese).
- Luo J L. 1995. The model of Sn, W, Zn, Pb, Ag deposit in southeast Yunnan Province [J]. *Yunnan Geol.*, 14(4):319-332 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in south China [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1):45-55 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L and Chen Y C. 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic process [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10):2329-2338 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Cheng Y B and Guo C L. 2008a. Gejiu tin polymetallic ore-field: Deposit model and discussion [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(11):1456-1468 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L, Yuan S D, Cheng Y B and Chen Y C. 2008b. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposit in South China and their metallogenic settings [J]. *Geological Journal of China Universities*, 14(4):510-526 (in Chinese with English abstract).
- Mitchell A H G. 1977. Tectonic settings for emplacement of Southeast Asian tin granites (in the relations between granitoids and associated ore deposits of the Circum-Pacific region) [J]. *Buletin Persatuan Geologi Malaysia*, (9):123-140.
- Mo X X, Lu F X, Shen S Y, Zhu Q W and Hou Z Q. 1993. Sanjiang Tethyan volcanism and related mineralization [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 237p (in Chinese).
- Peng C D. 1985. A discussion on the condition, types and model of Gejiu tin deposit [J]. *Yunnan Geol.*, 4(1):17-32 (in Chinese with English abstract).
- Qin D X, Li Y S and Tan S C. 2006. Metallogenic ages of Gejiu tin deposit in Yunnan Province [J]. *Chinese Journal of Geology*, 41(1):122-132 (in Chinese with English abstract).
- Research Department of Regional Geology and Map Compilation of CAGS. 2007. Atlas of noble metals and rare earth metal deposits in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 157p (in Chinese).
- Schwartz M O, Rajah S S, Askury A K, Putthapiban P and Djaswadi S. 1995. The Southeast Asian tin belt [J]. *Earth-Science Reviews*, 38(2-4):95-293.
- Shi L, Chen J C, Wu S L, Peng X J and Tang S C. 1988. Metallogenic regularity of the tin deposits in western Yunnan Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 284p (in Chinese).
- Song B, Zhang Y H, Wan Y S and Jian P. 2002. The SHRIMP sample manufacture, test and explanation of some phenomena for the zircon [J]. *Geol. Rev.*, 48(Supp):26-30 (in Chinese).
- SW Metallurgical Geological and Exploration Company of Ministry of Metallurgical Industry. 1984. Geology of tin deposit in Gejiu area [M]. Beijing: Metallurgical Industry Publishing House. 50-90 (in Chinese).

- Chinese).
- Wang X G , Zhu J C and Shen W Z. 1992. Contrast study on two main ore-forming granites in Gejiu tin deposit and their geological and prospecting significance[J]. J. Nanjing University (Earth Science Edition), 4 : 66-75 (in Chinese).
- Wang Y L , Pei R F , Li J W , Wu J D , Li L and Wang H L. 2007. Geochemical characteristics and tectonic setting of Laochang granite in Gejiu[J]. Acta Geologica Sinica , 81(7) : 979-985 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z F. 1983. Discussion on some problems in mineralization of Gejiu tin deposit[J]. Acta Geologica Sinica , 57(2) : 154-163 (in Chinese).
- Williams I S and Claesson S. 1987. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes , Scandinavia Caledonides : Zircon microprobe zircon U-Th-Pb[J]. Contr. Mineral. Petrol. , 97(2) : 205-217.
- Williams I S. 1992. Some observations on the use of zircon U-Pb geochronology on the study of granitic rocks[J]. Trans. Royal Soc. Edinburgh : Earth Sci. , 83 : 447-458.
- Williams I S , Buick S and Cartwright I. 1996. An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynolds Range , central Australia[J]. J. Yunnan Metamorph. Geol. , 14 (1) : 29-47.
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[J]. Rev. Econ. Geol. , 7 : 1-35.
- Wu Y B and Zheng Y F. 2004. Genetic mineralogy of zircon and constraints on the explanation of U-Pb ages[J]. Chinese Science Bulletin , 49(16) : 1589-1604 (in Chinese).
- Wu Q S , Xu J Z and Yang Z. 1984. Study on Sr isotope character and prospecting criteria of tin-bearing granite of Gejiu area[J]. Geochemica , (4) : 293-302 (in Chinese with English abstract).
- Wu Q S and Liu Q L. 1986. Genesis evolution and mineralization of a complex formed from Sn-bearing granites in Gejiu , Yunnan[J]. J. Metallurgy Geological College of Guilin , 6(3) : 229-238 (in Chinese with English abstract).
- Xie G Q , Hu R Z , Mao J W and Li R L. 2006. K-Ar dating , geochemical , and Sr-Nd-Pb isotopic systematics of late Mesozoic mafic dykes , southern Jiangxi Province , southeastern China : Petrogenesis and tectonic implication[J]. International Geological Reviews , 48 : 1023-1051.
- Yang Z X , Mao J W , Chen M H , Tong X , Wu J D , Cheng Y B and Zhao H J. 2008. Re-Os dating of molybdenite from the Kafang skarn copper (tin) deposit in the Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica , 24(8) : 1937-1944 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z X , Mao J W , Chen M H , Tong X , Wu J D , Cheng Y B and Zhao H J. 2009. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of muscovite from the Laochang veinlet-like Sn deposit in the Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance[J]. Mineral Deposits , 28(3) : 336-344 (in Chinese with English abstract).
- Yu C W , Tang Y J , Shi P F and Deng B L. 1988. The denamic system of endogenic ore formation in Gejiu tin-polymetallic ore region , Yunnan Province[M]. Wuhan : China University of Geosciences Press. 42-251 (in Chinese).
- Yuan H L , Wu F Y , Gao S , Liu X M , Xu P and Sun D Y. 2003. LA-ICPMS dating and rare earth elements analysis of the zircons from the Cenozoic intrusions in northeast China[J]. Chinese Science Bulletin , 48 : 1511-1520 (in Chinese).
- Zhang H , Gao Z M , Ma D Y and Tao Y. 2003. The genesis of the Gejiu tin deposit : A review[J]. Geology-geochemistry , 31(3) : 70-75 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M , Lin W W and Bi C S. 1990. Skarn deposits in China[M]. Beijing : Geol. Pub. House. 232-256 (in Chinese).
- Zheng Y F and Zhang S B. 2007. Origin and evolution of Precambrian continental crust in Southern China[J]. Chinese Science Bulletin , 52(1) : 1-4 (in Chinese).
- Zhou H Y. 1998. Metallogenic condition and geological character of the Gejiu-Dachang sedex-granite related cassiterite sulphide ore deposit [Dissertation for doctor degree] D]. Supervisor : Chen J. Nanjing : Nanjing University. 67 (in Chinese).
- Zhou J P , Xu K Q , Hua R M and Zhao Y Y. 1997. A discussion on genesis of tin polymetallic sulfide deposits of Southeastern Yunnan [J]. Yunnan Geol. , 16(4) : 309-349 (in Chinese).
- Zhuang Y Q , Wang R Z and Yang S P. 1996. Tin-copper polymetallic deposit[M]. Beijing : Seismological Press. 38-101 (in Chinese).

附中文参考文献

- 边千韬. 1998. 扬子克拉通西南缘低速柱与超大型矿床[J]. 中国科学(D 辑), 28(增刊) : 92-98
- 蔡明海, 何龙清, 刘国庆, 吴德成, 黄惠明. 2006. 广西大厂锡矿田侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其意义[J]. 地质论评, 52 (3) : 409-414.
- 陈吉琛. 1983. 云南 S 型和 I 型两类花岗岩划分对比的初步探讨[J]. 云南地质, 2(1) : 28-37.
- 陈懋弘, 程彦博, 章伟, 杨宗喜, 陆刚. 2008. 右江褶皱带燕山期岩浆作用与成矿作用初步研究[A]. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京 : 地质出版社. 241-242.
- 陈毓川, 朱裕生. 1993. 中国矿床成矿模式[M]. 北京 : 地质出版社. 209-211.
- 程彦博, 毛景文, 谢桂青, 陈懋弘, 赵财胜, 杨宗喜, 赵海杰, 李向前. 2008a. 云南个旧老厂-卡房花岗岩体成因初探 : 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学约束[J]. 地质学报, 81(11) : 1478-1493.
- 程彦博, 毛景文, 陈懋弘, 杨宗喜, 冯佳睿, 赵海杰. 2008b. 云南个旧锡矿田碱性岩和煌斑岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J]. 中国地质, 35(6) : 1082-1093.
- 邓玉书. 1951. 云南个旧锡矿和构造的关系[J]. 地质论评, 16(2) : 57-66.
- 戴福盛. 1996. 个旧矿区亮源重熔岩浆岩石系列特征、演化及成矿成矿作用[J]. 云南地质, 15(4) : 330-344.

- 广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志 [M]. 北京:地质出版社. 1350 页.
- 李家和. 1985. 个旧花岗岩特征及成因研究[J]. 云南地质, 4(4): 327-352.
- 李兴振, 刘文均, 王义昭, 朱勤文, 杜德勋, 沈敢富, 刘朝基, 阙梅英, 杨时惠, 李定谋, 冯庆来. 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿关系(总论) [M]. 北京:地质出版社. 249 页.
- 蔺志永, 王登红, 李水如. 2008. 广西王社铜矿矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 82(11): 1565-1571.
- 刘玉平, 李正祥, 李惠民, 郭立果, 徐伟, 叶霖, 李朝阳, 皮道会. 2007. 都龙锡锌矿床锡石和锆石 U-Pb 年代学: 滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩成矿事件[J]. 岩石学报, 23(5): 967-976.
- 吕伯西, 王增, 张能德, 段建中, 高子英, 沈敢富, 潘长云, 姚鹏. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性 [M]. 北京:地质出版社. 299 页.
- 罗君烈, 杨友华, 赵准, 陈吉琛, 杨荆舟. 1994. 滇西特提斯的演化及主要金属矿床成矿作用 [M]. 北京:地质出版社. 308 页.
- 罗君烈. 1995. 滇东南锡、钨、铅、银矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 14(4): 319-332.
- 毛景文, 谢桂清, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004. 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, 11(1): 45-55.
- 毛景文, 谢桂清, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 23(10): 2329-2338.
- 毛景文, 程彦博, 郭春丽, 杨宗喜, 冯佳睿. 2008a. 云南个旧锡矿田: 矿床模型及若干问题讨论[J]. 地质学报, 81(11): 1456-1468.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008b. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报, 14(4): 510-526.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 朱勤文, 侯增谦. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿 [M]. 北京:地质出版社. 1-237.
- 彭程电. 1985. 试论个旧锡矿成矿条件及矿床类型、模式[J]. 云南地质, 4(1): 17-32.
- 秦德先, 黎应书, 谈树成. 2006. 云南个旧锡矿的成矿时代[J]. 地质科学, 41(1): 122-132.
- 施琳, 陈吉琛, 吴上龙, 彭兴阶, 唐尚鹤. 1989. 滇西锡矿带成矿规律 [M]. 北京:地质出版社. 1-284.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26-30.
- 王新光, 朱金初, 沈渭洲. 1992. 个旧锡矿田两个主要成矿花岗岩的对比研究及其地质和找矿意义[J]. 南京大学学报(地球科学版), 4: 66-75.
- 王永磊, 裴荣富, 李进文, 武俊德, 李莉, 王浩琳. 2007. 个旧老厂矿田花岗岩地球化学特征及其形成构造背景[J]. 地质学报, 81(7): 979-985.
- 汪自芬. 1983. 关于个旧锡矿成矿作用的几个问题的探讨[J]. 地质学报, 57(2): 154-163.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589-1604.
- 伍勤生, 许俊珍, 杨志. 1984. 个旧含锡花岗岩的 Sr 同位素特征及找矿标志的研究[J]. 地球化学, (4): 293-302.
- 伍勤生, 刘青莲. 1986. 个旧含锡花岗岩浆杂岩体的成因及演化及成矿[J]. 桂林冶金地质学院学报, 6(3): 229-238.
- 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘. 2008. 云南个旧卡方夕卡岩型铜(锡)矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 24(8): 1937-1944.
- 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 董祥, 武俊德, 程彦博, 赵海杰. 2009. 云南个旧老厂细脉带型锡矿白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(3): 336-344.
- 冶金工业部西南冶金地质勘探公司. 1984. 个旧锡矿地质 [M]. 北京:冶金工业出版社. 50-90.
- 於崇文, 唐元骏, 石平方, 邓保林. 1988. 云南个旧锡-多金属成矿区内生成矿作用的动力学体系 [M]. 武汉:中国地质大学出版社. 42-251.
- 袁鸿林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德友. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48: 1511-1520.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社. 102-395.
- 张欢, 高振敏, 马德云, 陶琰. 2003. 云南个旧锡矿床成因研究综述[J]. 地质地球化学, 31(3): 70-75.
- 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思. 1990. 中国夕卡岩矿床 [M]. 北京:地质出版社. 232-256.
- 郑永飞, 张少兵. 2007. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化[J]. 科学通报, 52(1): 1-14.
- 中国地质科学院地质研究所区域地质与编图研究室. 2007. 中国贵金属稀有稀土金属矿产图集 [M]. 北京:地质出版社. 157 页.
- 周怀阳. 1988. 论个旧-大厂地区火山喷气火山沉积-花岗岩热液叠加改造锡石硫化物矿床的地区特征及其成矿条件 [博士学位论文]. 导师:陈骏. 南京大学. 67 页.
- 周建平, 徐克勤, 华仁民, 赵懿英. 1997. 滇东南锡多金属矿床成因商榷[J]. 云南地质, 16(4): 309-349.
- 庄永秋, 王任重, 杨树培. 1996. 云南个旧锡铜多金属矿床 [M]. 北京:地震出版社. 38-101.