

·专题研究·

兰坪盆地西缘大宗铜矿区容矿火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及地质意义

徐墨寒¹, 薛传东¹, 杨天南², 吴 静¹, 廖 程¹, 唐 靓¹, 梁明娟², 信 迪²

(1. 昆明理工大学 地球科学系, 云南 昆明 650093; 2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘 要: 西南“三江”复合造山成矿带中段的兰坪盆地东、西缘均出露大片火山岩,但仅在西缘发育脉状铜矿床,并构成一条近南北向长约 150 km 的铜矿带。大多数矿床产于火山岩内及其与紧邻地层接触部位的断层裂隙带中。目前尚未确定赋矿围岩的年代,制约了对成矿过程的认识。在对位于该矿带中北段的大宗脉状铜矿区的详细路线地质调查的基础上,分别对代表安山质火山喷发-沉积旋回第 1、2 韵律层的 2 件玻屑晶屑凝灰岩和含火山角砾凝灰岩样品进行了锆石 U-Pb 定年,以期揭示赋矿围岩的时代。结果表明,容矿火山岩出露厚度约 1 904 m,可划分为 3 个喷发-沉积韵律;第 1 韵律层凝灰岩的岩浆锆石加权平均²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 247.2 ± 4.4 Ma ($n=21$, MSWD=2.7),第 2 韵律层凝灰岩的岩浆锆石加权平均²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 243.8 ± 6.4 Ma ($n=9$, MSWD=1.5),指示火山活动时代为 244~247 Ma,属早中三叠世;区内强劈理化的砂泥岩夹灰岩位于火山岩之下,应属于晚二叠世地层。结合前人资料分析,认为大宗铜矿区容矿沉积-火山岩组合形成于晚古生代—早中生代,是古特提斯阶段造山运动的产物。从容矿围岩看,大宗矿区内早中三叠世火山岩容矿脉状铜矿床只是兰坪盆地西缘铜矿带诸多脉状铜矿床的一种类型,没有明显的地层或岩性专属性,应属强构造变形带控矿的后生充填热液矿床。

关键词: 火山岩; 锆石 U-Pb 定年; 脉状铜矿床; 大宗铜矿区; 古特提斯; 兰坪盆地西缘

中图分类号: P588.14; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)05-0735-16

LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of the ore-bearing volcanic rocks in the Dazong copper orefield on the western margin of Lanping basin, western Yunnan, and its geological implications

XU Mo-han¹, XUE Chuan-dong¹, YANG Tian-nan², WU Jing¹, LIAO Cheng¹, TANG Jing¹,
LIANG Ming-juan² and XIN Di²

(1. Department of Earth Sciences, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Numerous volcanic rocks crop out along eastern and western marginal areas of the Lanping basin in the middle segment of the Sanjiang multiple orogenic and metallogenic belt in western Yunnan Province. However, copper deposits are developed exclusively on the western margin of the basin, which form a vein-type copper metallogenic belt about 150 km in length. Most vein-like copper orebodies are hosted in volcanic and strongly deformed sedimentary rocks. However, the age of the ore-hosting rocks remains unclear. Detailed field study and

收稿日期: 2016-04-17; 接受日期: 2016-07-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41373049, 41273050, 40772067); 中国地质调查局地质调查项目(12120114064301, 12120114064302, 1212011020000150011); 教育部博士点基金项目(20125314110006)

作者简介: 徐墨寒(1987-), 女, 硕士在读, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: 179907198@qq.com; 通讯作者: 薛传东(1971-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事地质流体动力学与成矿的教学与研究, E-mail: cdxue001@aliyun.com, xuechuandong@kmust.edu.cn; 杨天南(1966-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事造山带变质、变形与成矿研究, E-mail: yangtn@cags.ac.cn

zircon U/Pb analysis of andesitic pyroclastic rocks were conducted in the Dazong copper ore deposit located in north-central segment of the western Lanping copper metallogenic belt. The lithology of two zircon U-Pb dating samples is crystal and vitric tuff, volcanic breccia-bearing tuff respectively, which represented the first and second rhythm of the volcano-eruptive sedimentary cycle. Some conclusions have been reached: ① the ore-hosting volcanic rocks have a thickness of 1 904 meters consisting of three volcanic sequences; ② the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average age of magmatic zircons of the first rhythm tuff layer is 247.2 ± 4.4 Ma ($n = 21$, MSWD = 2.7), and the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average age of magmatic zircons of the second rhythm tuff layer is 243.8 ± 6.4 Ma ($n = 9$, MSWD = 1.5), suggesting that the volcanism took place in 244 ~ 247 Ma, which belongs to Early to Middle Triassic; and ③ the strongly deformed sedimentary rocks were overlain by the Early Triassic volcanic rocks, and thus should belong to the Upper Permian. Therefore, the ore-hosting volcanic-sedimentary assemblage in the Dazong copper orefield formed during the Late Paleozoic to Early Mesozoic, and might have resulted from the Paleo-Tethyan orogenic movement. According to the difference of the ore-hosting rocks, the Dazong Early to Middle Triassic volcanic rocks-hosted copper sulfide mineralization is only one type of many vein-type copper deposits in the western margin vein-type copper metallogenic belt of the Lanping basin. These vein-type copper deposits or ore occurrences all have no obvious strata or lithologic specificity, and should be classified as a strong tectonic deformation controlled and post-filling hydrothermal deposit.

Key words: volcanic rocks; zircon U-Pb dating; vein-type copper mineralization; Dazong copper orefield; paleo-Tethyan; western margin of Lanping basin

Fund support: National Natural Science Foundation of China (41373049, 41273050, 40772067); Program of the Geological Survey of China (12120114064301, 12120114064302, 1212011020000150011); Doctoral Scientific Fund Program of the Education Ministry of China (20125314110006)

兰坪盆地位于西南“三江”造山带(Mo *et al.*, 1994; Metcalfe, 1996, 2013; Hou and Cook, 2009; Deng *et al.*, 2014a, 2014b)中段,盆地内部发育大量的铜、铅、锌、银等多金属矿床。其中,在盆地西缘发育一系列受构造控制的脉状铜矿床,构成一条近南北向展布、长逾 150 km 的铜成矿带,属青藏高原东北缘新生代“造山型”Cu-Pb-Zn-Ag 多金属巨型成矿带(侯增谦等, 2008; Hou and Cook, 2009; 宋玉财等, 2011)的重要组成部分。前人已对这些脉状铜矿床开展了较为详细的矿床地质、矿床地球化学研究(如李峰等, 1995, 2000; Yan *et al.*, 1995; 刘家军等, 2000; 吴南平等, 2003; 徐启东等, 2003; 徐仕海等, 2005; Li and Song, 2006; He *et al.*, 2009; 王光辉等, 2009; 邓军, 2010; 程杨等, 2015a, 2015b; 张锦让等, 2015; Zhang *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2016; Song *et al.*, 2016),并在矿床学方面取得了一些共识。目前普遍认为兰坪

盆地西缘的铜矿床赋存于侏罗纪地层中,矿带的形成与兰坪盆地演化有关,铜成矿受构造控制。然而,最近基础地质研究方面的诸多进展对兰坪盆地演化的现有认识提出了质疑,以往建立的铜成矿过程与兰坪盆地演化过程的关联需要重新考虑。

前人对兰坪盆地地层序列与沉积格架的认识主要基于 1:20 万和 1:5 万的区域地质调查资料。以往认为,兰坪盆地基底岩石由元古宙(?)变质岩(主要分布在盆地东侧的点苍山以及西侧的碧罗雪山一带)和晚古生代-早中生代火山-沉积岩组成(云南省地矿局区调队, 1974^①, 1984^②; 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 2013^③)。但近年来大量锆石 U-Pb 年代学数据表明,这些变质岩中的一部分原岩实际为三叠纪火山岩(李宝龙等, 2008; 戚学祥等, 2009; Lin *et al.*, 2012)。兰坪盆地的沉积盖层时代也有争议,但目前普遍认为侏罗系当属沉积盖层无疑。然而,最近发表的数据显示兰坪盆地的侏罗纪

① 云南省地矿局区调队. 1974. 兰坪幅 1:20 万区域地质调查报告及地质图.

② 云南省地矿局区调队. 1984. 维西幅 1:20 万区域地质调查报告及地质图.

③ 中国地质调查局成都地质矿产研究所. 2013. 1:1 500 000 万青藏高原及邻区地质图及说明书.

地层也是问题较多。如,出露于兰坪盆地西缘营盘地区原划归中侏罗统花开佐组的紫红色泥岩与灰绿色泥岩互层夹少量灰岩、砂岩地层中的火山岩夹层,锆石 U-Pb 年龄为 240~235 Ma(范金伟等, 2014; Yang *et al.*, 2014a);出露于兰坪盆地东缘弥沙地区原划归上侏罗统坝注路组的一套碎屑岩夹火山岩地层,其火山岩锆石 U-Pb 年龄在 250~240 Ma 之间(梁明娟等, 2015)。由此可见,兰坪盆地的基底与盖层并没有明确界定。准确确定兰坪盆地西缘铜矿赋矿围岩的时代,不单是理解铜成矿过程的必要条件,也是了解兰坪盆地地质演化的迫切需要。

兰坪大宗铜矿区位于兰坪县城北西 65 km 处的澜沧江西岸,与白秧坪铜银多金属矿区隔江(澜沧江)相望(图 1)。该区总体露头较差,野外工作难度很大。通过勘查工程揭露,目前已发现、并控制 3 条脉状铜矿体和十数个矿(化)点(图 2)。矿体均呈脉状、透镜状产于火山岩及其与泥岩或灰岩接触部位的强变形带内。虽然已有诸多研究工作,但赋矿围岩地层归属依然不明;更兼变形强烈,不同地层间的原始接触关系、沉积序次及其与成矿关系难于辨识。最近,当地正在修筑一条简易公路,较连续、完整地揭露了矿区地层,笔者完成了沿该简易公路及相邻区域的路线地质调查,并采集了相关岩石样品,进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法测年,本文即报道此次考察结果及分析测试数据。本研究可为深入理解“三江”造山带兰坪盆地广泛产出的火山岩提供新的年代学数据,同时也为矿区及区域地质找矿工作提供有用信息。

1 地层层序

大宗矿区位于碧罗雪山变形变质带东侧、兰坪盆地西缘。此次考察路线近东西走向,东起中排乡、澜沧江西岸,横穿大宗铜矿区南侧,长约 20 km(图 2、图 3)。经地层剖面实测,综合分析沿途岩性组合、地层产状、变形特点、地层叠置关系及年代学数据(见下文),识别出如下 3 个岩性单元,自上而下其岩性特征及真厚度(图 4)依次为:

(1) 渐新统宝相寺组($E_3b?$) (总厚度>129.4 m)

灰紫色砾岩,砾石成分主要为泥岩、凝灰岩

灰紫色含砾粗砂岩,砾石成分主要为泥岩、凝灰岩

—————不整合接触—————

(2) 下中三叠统(T_{1-2}) (总厚度2 079.8 m)

下中三叠统二段(T_{1-2}^2):

灰紫色、灰绿色火山集块岩,集块成分多为辉石安

山岩

厚度 600.5 m

灰紫色含火山角砾凝灰岩夹薄层暗灰色灰岩

厚度 223.5 m

灰紫色、灰绿色沉凝灰岩

厚度 138.8 m

灰紫色、灰绿色玻屑晶屑凝灰岩

厚度 116.2 m

灰紫色、灰绿色凝灰岩

厚度 313.9 m

灰紫色、灰绿色玻屑晶屑凝灰岩

厚度 50.5 m

灰紫色、灰绿色安山质凝灰熔岩

厚度 96.5 m

灰绿色安山岩、蚀变安山岩

厚度 99.2 m

灰紫色火山角砾岩

厚度 88.5 m

灰紫色、灰绿色含火山角砾凝灰岩

厚度 176.1 m

下中三叠统一段(T_{1-2}^1):

灰紫色砂质胶结复成分砾岩,砾石成分为泥质板岩、细砂岩、石英岩及火山岩,砾径大小不等,棱角一次磨圆好,分选中等,局部有一定定向性

厚度 132.2 m

—————不整合/断层接触—————

(3) 上二叠统(P_3)

(总厚度 1 474.7 m)

上二叠统三段(P_3^3):

紫红色泥质板岩,多强片理化

厚度 390.6 m

上二叠统二段(P_3^2):

浅灰紫色、浅灰绿色细砂岩夹粉砂岩及泥质板

岩,强片理化

厚度 172.6 m

上二叠统一段(P_3^1):

厚度 911.5 m

灰紫色、灰绿色泥质板岩夹暗灰色灰岩,灰岩多

强烈揉皱,多呈大小不一的透镜体产出

未见底

上述下中三叠统二段(T_{1-2}^2)出露的火山岩可划分为 3 个喷发韵律(图 4),由顶至底依次为:

T_{1-2}^3 : 灰紫色、灰绿色火山集块岩,总厚度约 600.5 m;

T_{1-2}^2 : 灰紫色、灰绿色玻屑晶屑凝灰岩,灰紫色、灰绿色凝灰岩,灰紫色、灰绿色晶屑玻屑凝灰岩,灰紫色、灰绿色沉凝灰岩,灰紫色含火山角砾凝灰岩夹暗灰色灰岩,总厚度约 842.9 m;

T_{1-2}^1 : 灰紫色、灰绿色含火山角砾凝灰岩,灰紫色火山角砾岩,灰绿色安山岩、蚀变安山岩,灰紫色、灰绿色安山质凝灰熔岩,总厚度约 460.3 m。

从岩性分布看(图 3a),该路线可分为 3 段:东、西段出露强烈褶皱、劈理化(图 5)的上二叠统细碎屑岩、生物碎屑灰岩;中段出露中下三叠统火山岩。中

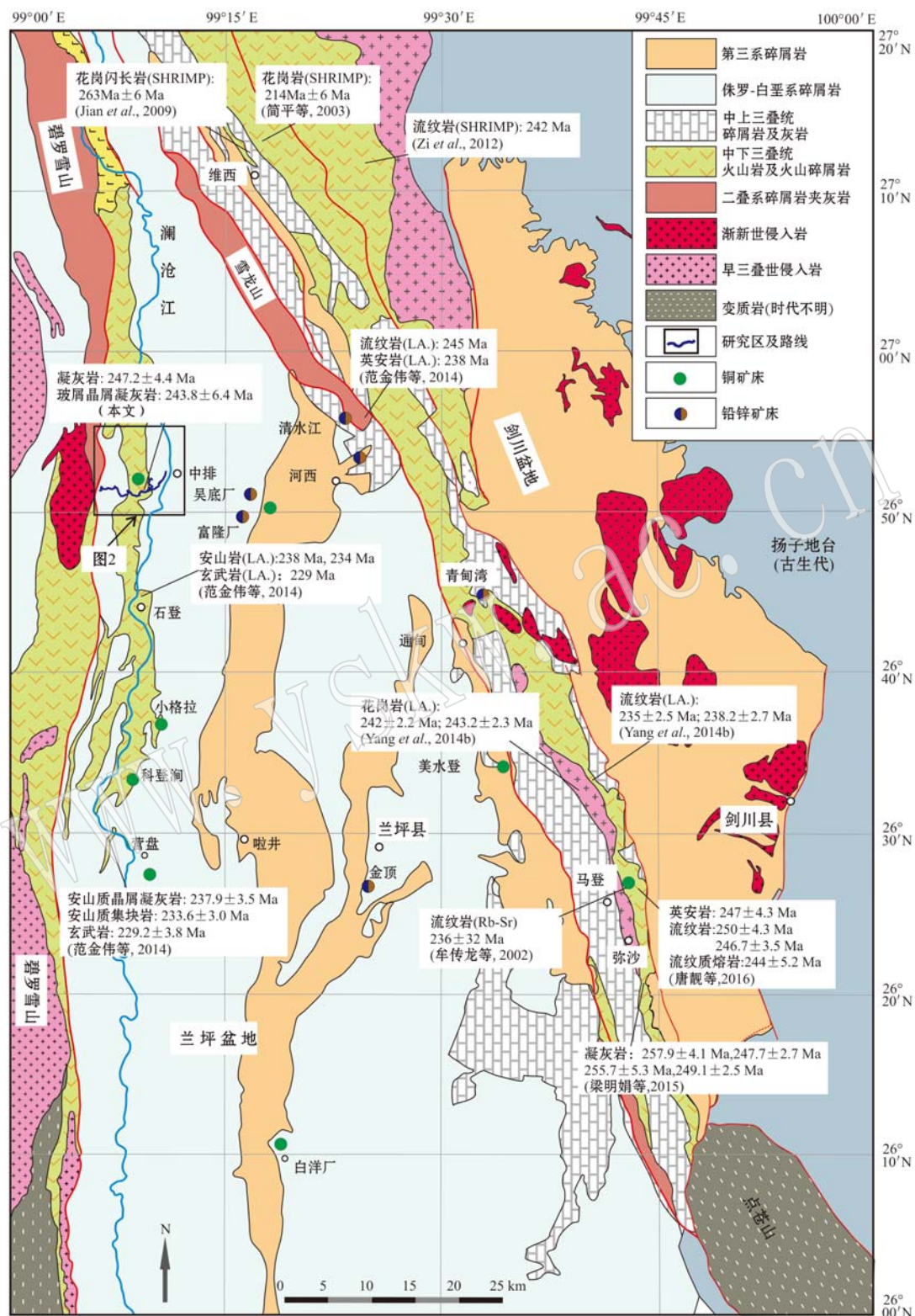


图1 兰坪盆地地质与主要矿床分布简图(据云南省地矿局区调队, 1974^①, 1984^②; Yang *et al.*, 2014a, 2014b)
Fig. 1 Simplified geological map showing distribution of some ore deposits in Lanping basin (modified after Regional Geological Survey Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province, 1974^①, 1984^②; Yang *et al.*, 2014a, 2014b)

① 云南省地矿局区调队. 1974. 兰坪幅 1:20 万区域地质调查报告及地质图.

② 云南省地矿局区调队. 1984. 维西幅 1:20 万区域地质调查报告及地质图.

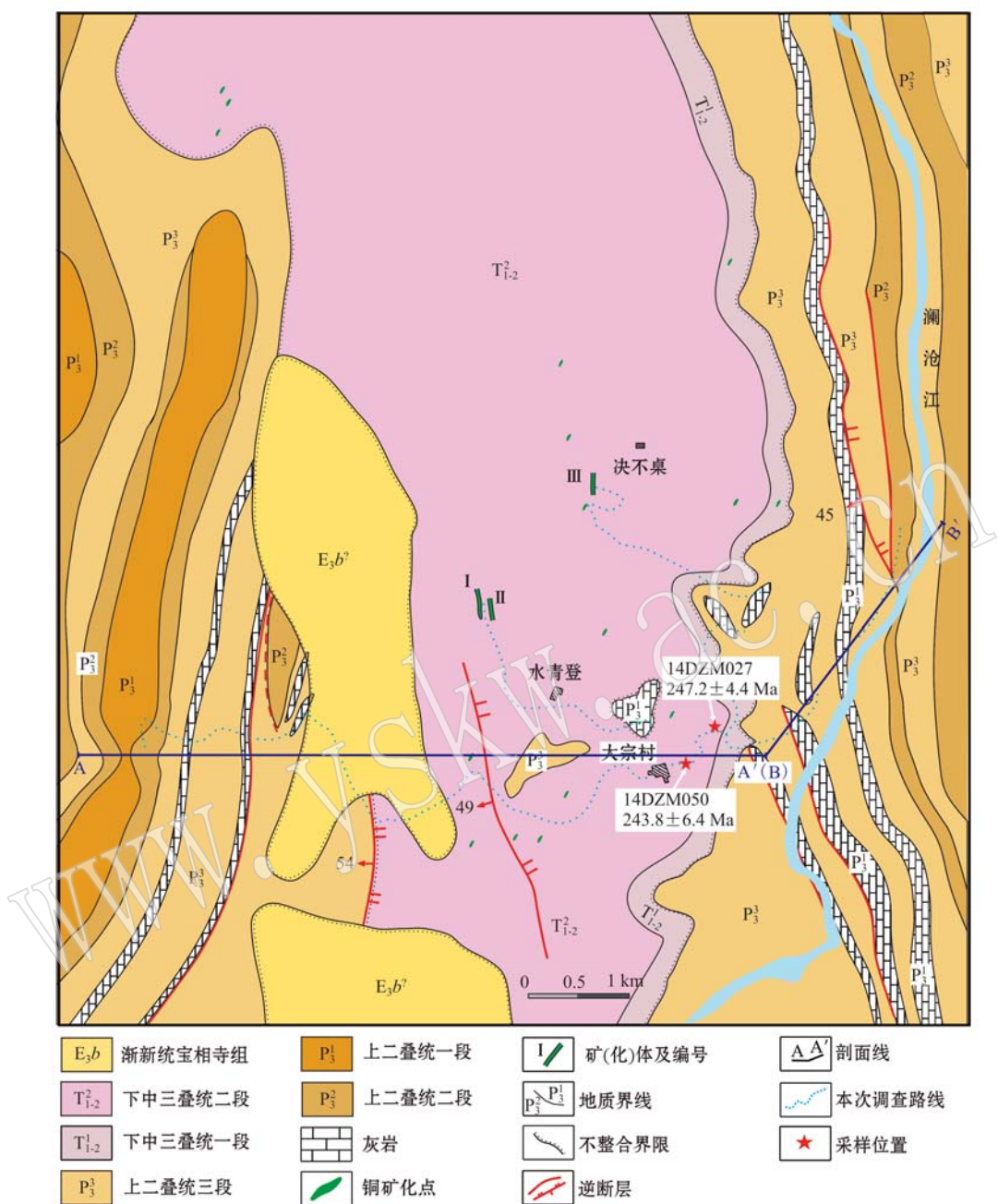


图 2 大宗铜矿区地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of the Dazong copper orefield

段岩石呈厚层、块状,没有记录明显的褶皱构造;而东、西两段出露发育清晰中、薄层理的地层,其岩层产状变化、层劈关系显示若干百米级别的紧闭-倒转(东段)或紧闭-开阔褶皱(西段)(图 3b)。东段与中段地层之间为正常沉积接触,而西段沉积岩则逆冲于中段火山岩之上。显而易见,区内火山岩覆盖在沉积岩之上,火山岩时代可以制约沉积地层时代的上限。

2 样品采集及分析方法

2.1 采样位置及样品特征

共采集了6件样品进行锆石挑选和U-Pb定年分析。由于研究区火山岩以中、基性岩石为主,锆石含量较低,仅在2件凝灰岩样品中获得了足够的可供测试或结果可信的锆石颗粒(图4)。这2件样品的

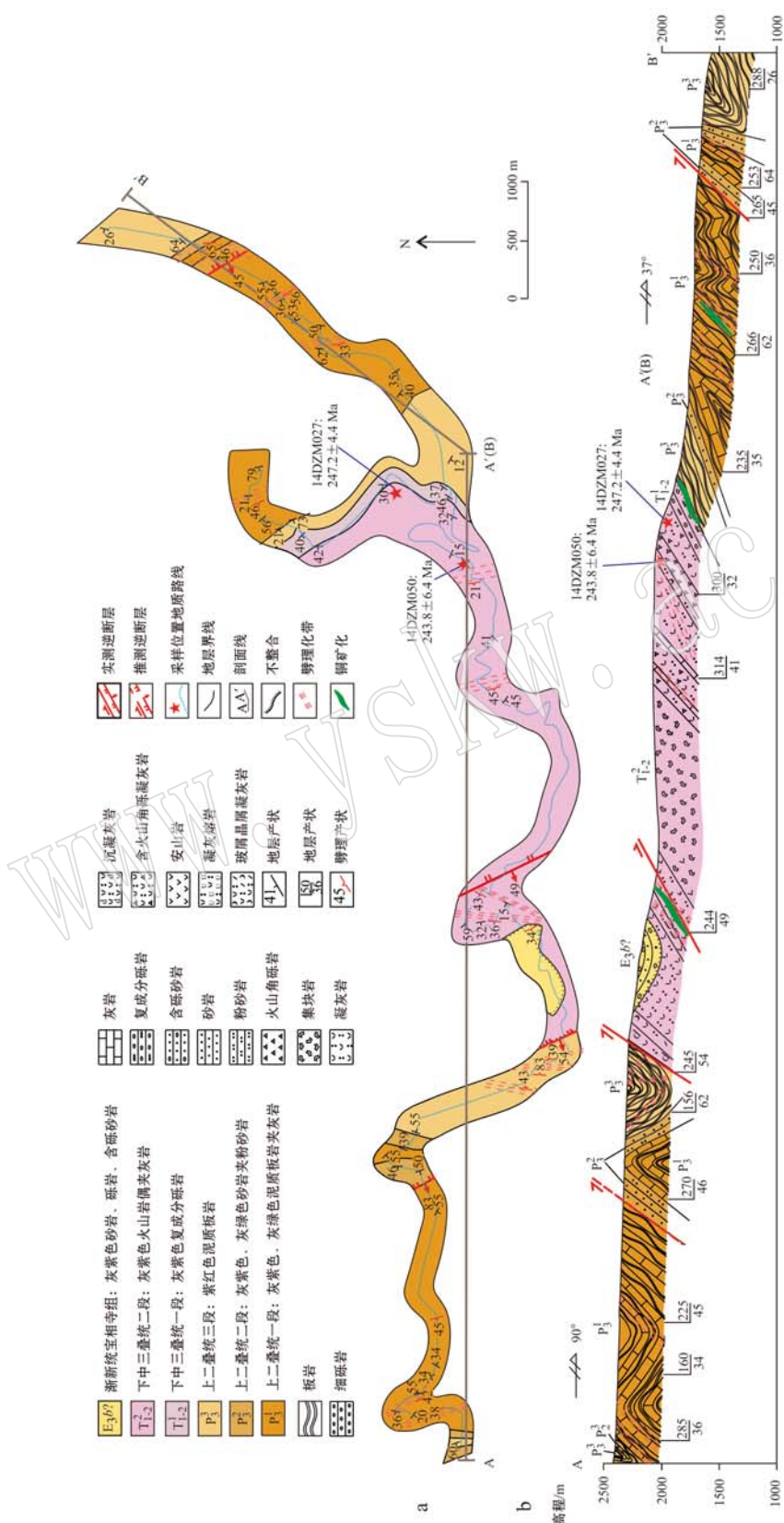
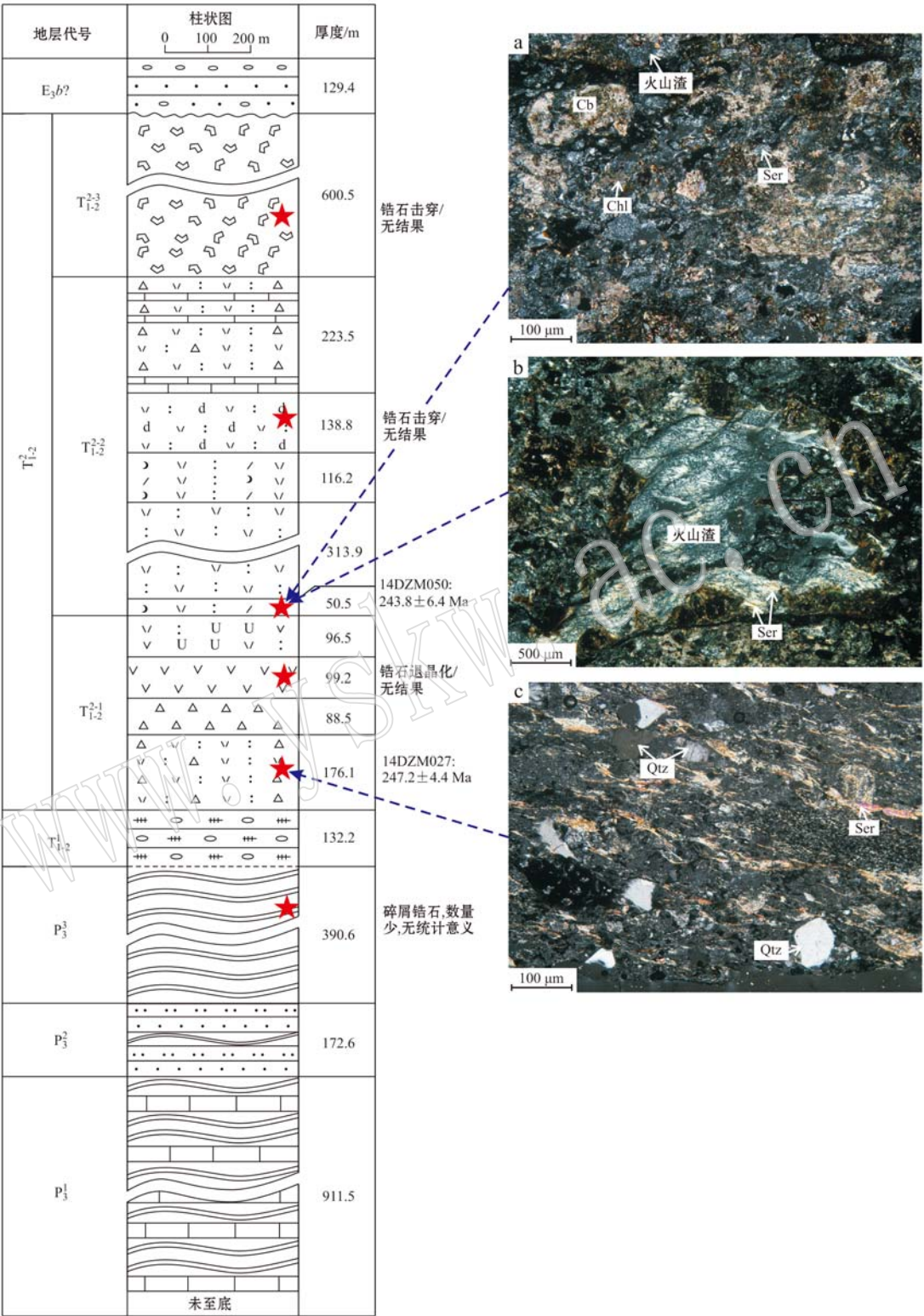


图 3 大宗铜矿区路线地质图(a)及剖面图(b)

Fig. 3 Geological map (a) and associated profile (b) of the Dazong copper orefield



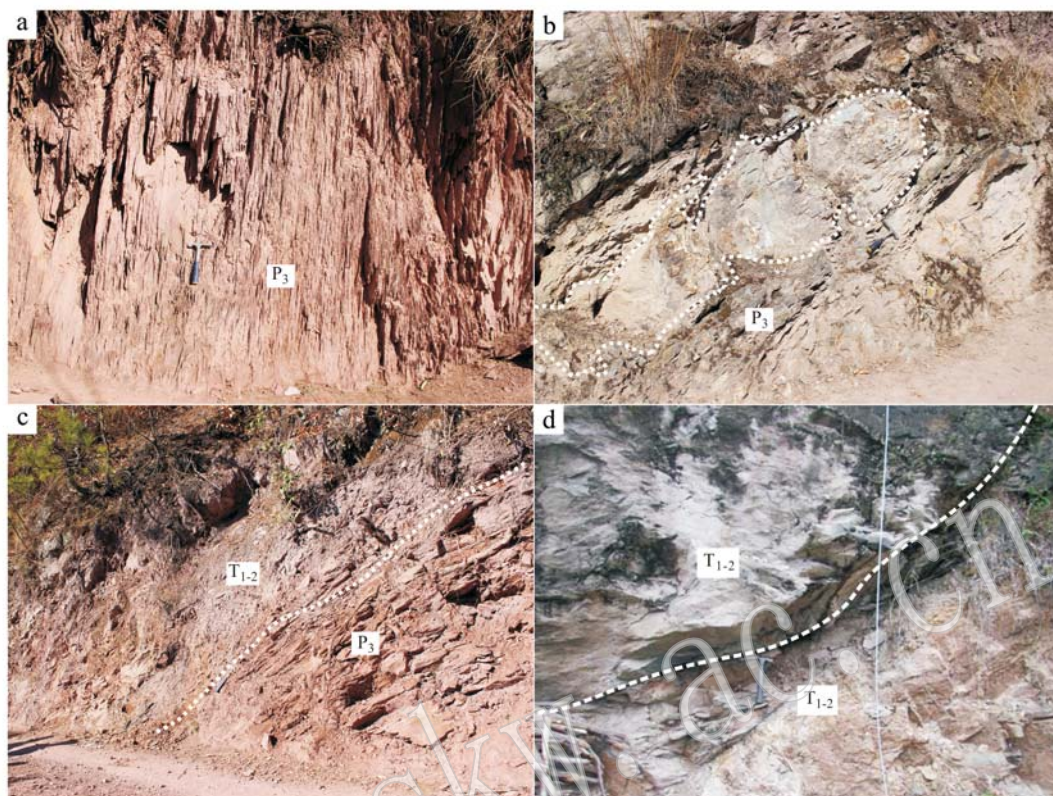


图 5 大宗铜矿区地层露头照片

Fig. 5 Photographs showing the stratigraphic outcrops from the Dazong copper orefield

a—强劈理化泥质板岩(P_3); b—灰岩呈透镜体产出(P_3); c— T_{1-2} 与 P_3 地层分界线; d—火山岩(T_{1-2})内层间断层
a—argillaceous slate with dense cleavage of Upper Permian (P_3); b—limestone lenses of Upper Permian (P_3); c—boundary between Upper Permian (P_3) and Lower-Middle Triassic (T_{1-2}); d—interlayer fault within volcanic rocks of Lower-Middle Triassic (T_{1-2})

采样坐标分别为:样品 14DZM050($X=99^{\circ}9'50.35''$, $Y=26^{\circ}51'22.19''$)位于火山岩第 2 个韵律层,样品 14DZM027($X=99^{\circ}10'7.84''$, $Y=26^{\circ}51'21.98''$)位于火山岩第 1 个韵律层(图 4),其岩石类型及岩相特征如下:

样品 14DZM050:含火山渣玻屑晶屑凝灰岩(图 4a、4b)。岩石主要由凝灰质和火山渣组成。凝灰质以晶屑、玻屑为主。晶屑主要由斜长石、辉石组成,斜长石呈柱状、棱角状、阶梯状,已全部被绢云母取代,辉石被绿泥石取代而呈假像;玻屑为无色、褐黑色,呈浮岩状、弧面多角形及少量条带状;火山渣主要由玻璃质及少量斜长石、辉石微晶或圆形气孔组成,气孔中充填有绢云母、绿泥石和碳酸盐等矿物。

样品 14DZM027:含火山角砾凝灰岩(图 4c)。岩石具变余玻屑、晶屑凝灰结构和板状构造,主要由凝灰质、晶屑、玻屑和角砾组成。凝灰质以晶屑为主,次为玻屑及少量岩屑组成,粒间被富铁火山尘充

填;角砾主要为凝灰岩,多呈次棱角、次圆形,大小为 2~8 mm;晶屑以长石为主,次为石英,少量云母,多呈尖棱角、棱角状、溶蚀状透镜体和次圆形等,大小 0.05~1.2 mm;玻屑呈无色、褐黑色,均被拉长呈条带、条纹状透镜体;含少量岩屑,主要由石英岩和玄武岩屑构成。岩石受应力作用的影响,组成矿物均呈定向排列。

2.2 样品处理及分析测试方法

锆石分离和挑选在河北省廊坊市地岩矿物分选有限公司完成。样品经过常规粉碎、重液分馏后,通过磁选方法从样品中分离出锆石颗粒;在双目镜下精选,之后将选出的待测锆石放置在玻璃板上,用无色环氧树脂固定、抛光,在放射光、透射光下拍照和阴极发光(CL)图像采集;对比观察锆石颗粒内部结构(核、边、裂隙及包裹体结构等)和晶体形态,选定晶形和内部环带结构发育良好且无包裹体及裂隙的锆石进行 U-Pb 分析测试。CL 图像采集在北京离子

探针中心利用 HITHCH S-3000N 型扫描电镜相连接的 GEOL Gatan Chroma 阴极发光仪完成。

锆石 U-Pb 定年分析在中国科学技术大学(合肥)LA-ICP-MS 实验室进行,使用四极杆等离子质谱仪(型号:PerkinElmer Elan DRCII),193 nm 波长 ArF 准分子激光剥蚀系统(型号:GeoLas Pro)用于样品的剥蚀进样。本次实验采用高纯 He(99.999%)作为剥蚀物质的载气,所用束斑直径分别为 32 μm 和 44 μm ,激发频率为 10 Hz,激光束能量为 10 J/ cm^2 ,剥蚀时间为 40 s。锆石 U-Pb 同位素组成分析采用锆石标准样品 91500 进行分馏校正,详细测试分析过程参见 Yuan 等(2008)。样品原始数据通过 Excel 软件加载 LaDating@Zrn 宏程序完成,采用 ComPb Corr # 3-18 进行普通 Pb 校正(Anderson, 2002)。考虑到锆石中放射性成因 ^{207}Pb 对岩体年龄的影响(Compston *et al.*, 1992),对于所测年轻锆石(年龄小于 1.0 Ga 时)均采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄。单个数据误差为 1σ , $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 及 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄误差为 2σ 。锆石 U-Pb 测年分析结果见表 1。

3 分析结果

样品分析数据见表 1,阴极发光(CL)图像及对应的 U-Pb 谐和图、表面年龄频率直方图见图 6。

样品 14DZM027 采自火山岩第 1 韵律层。锆石无色透明,晶形以自形-半自形柱状为主,部分为浑圆状,不规则状,长约 60~155 μm ,长宽比在 1~3 之间。CL 图像显示为灰-暗灰色,大部分锆石发育明显的振荡韵律环带,较少部分锆石颗粒见核-幔结构,核部未见环带,而幔部环带结构发育良好,推测其核部为变质锆石,幔部为岩浆期增生产物。该样品共分析了 44 颗锆石颗粒,所有分析点位均位于环带发育完好位置, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 208~1 471 Ma 之间,主要集中在 234~270 Ma 之间。44 颗锆石中 1 颗(11 号)Pb 信号较差,7、40 号锆石 CL 图像呈暗灰色,给出了较大年龄值(376 Ma、1 471 Ma),谐和度偏低,11、16 号锆石发育核-幔结构,给出了较小的年龄值(208 Ma、224 Ma),谐和度偏低,其它 17 个点锆石不发育环带或发育不完整环带,部分锆石发育微裂隙和包体,谐和度偏低;剩余 23 颗锆石可见清晰震荡环带,谐和度较高,且除 34 号点的 Th/U 值为 0.08 外,其余锆石均 >0.1 (0.26~0.89),属岩浆成因锆石(Hoskin and Schaltegger, 2003),其中有

21 颗锆石年龄集中于 234~260 Ma 之间, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 247.2 ± 4.4 Ma($n=21$, MSWD=2.7),另有 2 颗锆石(12 和 43 号)年龄分别为 268 和 270 Ma。

样品 14DZM050 采自火山岩第 2 韵律层。锆石无色透明,晶形多为浑圆状和短柱状,见少量自形-半自形柱状,不规则状,长约 60~155 μm ,长宽比在 1~3 之间。CL 图像显示为灰-暗灰色,大部分锆石不发育环带或发育不完整环带,少数锆石发育较为清晰的振荡韵律环带。该样品共分析了 24 颗锆石,所有分析点位均位于环带发育完好位置, Th/U >0.1 (0.15~1.39),属岩浆成因锆石(Hoskin and Schaltegger, 2003), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 221~2 471 Ma 之间。在这 24 个分析数据中,除 12 和 21 号的 Pb 信号较差、谐和度偏低外,其余 22 个分析结果谐和度均较高,其中有 9 个测试点(3、8、9、10、11、13、14、16、17 号)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄集中分布于 230~258 Ma 之间,加权平均年龄为 243.8 ± 6.4 Ma($n=9$, MSWD=1.5);另外 13 个点高谐和分析结果的表面年龄分布于古元古代至晚古生代宽广的年龄范围内。从图 6 可以看出,分析结果显示以下几个年龄群:早中二叠世(1、2、4、15、18 号锆石年龄分别为 264、295、269、282、269 Ma)、石炭纪(7、24 号锆石年龄值分别为 334 和 305 Ma)、中元古代(5、6、22、23 号锆石年龄分别为 1 595、1 591、1 148 和 1 589 Ma)及古元古代(19、20 号锆石年龄值分别为 2 471 和 1 665 Ma)。

4 讨论

4.1 火山活动时代及地层归属

根据火山岩锆石的内部结构(图 6)及 Th/U 值(表 1)可知,具有早中三叠世年龄的锆石为岩浆锆石,该年龄能代表岩浆结晶年龄,其加权平均年龄可以大致指示火山喷发时间。本文报道的两个岩浆锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果显示,位于火山岩层序底部韵律层样品(14DZM027)和火山岩层序上部韵律层样品(14DZM050)岩浆锆石的加权平均年龄集中在 244~247 Ma 之间,较好地限定了火山活动时间。

而采自火山岩第 1 韵律层样品中 2 颗锆石(12、43 号)的年龄值(分别为 268 和 270 Ma),与采自火山岩第 2 韵律层样品中 3 颗锆石(1、4、18 号)的年龄值(分别为 264、269、269 Ma)在误差范围内基本一

表 1 大宗铜矿区火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年数据
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of volcanic rocks from the Dazong copper orefield

测试点	$w_{\text{Pb}}/10^{-6}$			Th/U	同位素比值			年龄/Ma						
	Th	U	Pb		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
样品 14DZM027 含火山角砾凝灰岩														
14DZM027-1	158.65	311.42	14.57	0.51	0.066 01	0.004 17	0.344 11	0.023 60	0.037 81	0.001 01	300	18	239	6
14DZM027-2	85.59	182.93	8.83	0.47	0.055 65	0.004 52	0.315 37	0.027 21	0.041 10	0.001 19	278	21	260	7
14DZM027-3	48.94	119.35	5.58	0.41	0.066 57	0.006 67	0.350 58	0.036 94	0.038 20	0.001 25	305	28	242	8
14DZM027-4	154.05	272.37	12.97	0.57	0.062 46	0.004 99	0.322 25	0.027 44	0.037 42	0.001 10	284	21	237	7
14DZM027-5	368.34	517.92	24.94	0.71	0.053 13	0.003 04	0.275 78	0.017 01	0.037 64	0.000 87	247	14	238	5
14DZM027-6	142.26	305.17	14.75	0.47	0.055 67	0.004 43	0.314 20	0.026 72	0.040 93	0.001 23	277	21	259	8
14DZM027-7	175.09	726.11	49.02	0.24	0.053 20	0.002 57	0.440 26	0.023 48	0.060 02	0.001 35	370	17	376	8
14DZM027-8	381.07	604.76	26.89	0.63	0.052 89	0.003 62	0.258 92	0.018 98	0.035 51	0.000 93	234	15	225	6
14DZM027-9	205.12	488.85	23.16	0.42	0.053 25	0.003 55	0.291 69	0.020 73	0.039 73	0.000 97	260	16	251	6
14DZM027-10	497.43	1 114.17	51.09	0.45	0.052 61	0.002 65	0.278 05	0.015 23	0.038 33	0.000 83	249	12	242	5
14DZM027-11	223.35	709.15	26.95	0.31	0.056 68	0.003 58	0.256 54	0.017 45	0.032 83	0.000 82	232	14	208	5
14DZM027-12	114.30	202.62	10.76	0.56	0.059 56	0.004 14	0.348 98	0.025 96	0.042 50	0.001 13	304	20	268	7
14DZM027-13	102.68	197.35	9.30	0.52	0.050 77	0.004 35	0.270 92	0.024 44	0.038 70	0.001 10	243	20	245	7
14DZM027-14	196.20	313.10	16.16	0.63	0.063 48	0.003 87	0.360 61	0.023 84	0.041 20	0.001 06	313	18	260	7
14DZM027-15	132.68	358.94	19.30	0.37	0.053 35	0.003 22	0.342 48	0.022 18	0.046 56	0.001 10	299	17	293	7
14DZM027-16	68.72	193.24	8.14	0.36	0.066 84	0.004 74	0.325 38	0.025 18	0.035 31	0.001 09	286	19	224	7
14DZM027-17	470.65	279.50	18.07	1.68	0.072 31	0.004 91	0.392 45	0.028 57	0.039 36	0.001 04	336	21	249	6
14DZM027-18	87.05	176.22	9.77	0.49	0.053 29	0.004 25	0.350 67	0.029 95	0.047 73	0.001 45	305	23	301	9
14DZM027-19	276.29	573.78	28.04	0.48	0.075 54	0.004 59	0.406 85	0.026 92	0.039 06	0.001 02	347	19	247	6
14DZM027-20	255.39	304.79	17.47	0.84	0.057 79	0.003 72	0.343 94	0.023 90	0.043 16	0.001 13	300	18	272	7
14DZM027-21	259.31	753.24	34.43	0.34	0.051 13	0.002 77	0.282 19	0.016 61	0.040 03	0.000 91	252	13	253	6
14DZM027-22	683.19	1 078.98	49.99	0.63	0.052 97	0.002 68	0.269 70	0.014 93	0.036 93	0.000 82	242	12	234	5
14DZM027-23	104.38	176.23	8.99	0.59	0.058 02	0.004 61	0.325 07	0.027 37	0.040 64	0.001 14	286	21	257	7
14DZM027-24	157.40	394.07	44.37	0.40	0.060 20	0.002 94	0.796 66	0.042 95	0.095 98	0.002 18	595	24	591	13
14DZM027-25	196.60	363.18	15.95	0.54	0.048 26	0.002 88	0.242 60	0.015 69	0.036 46	0.000 91	221	13	231	6
14DZM027-26	296.94	489.33	23.87	0.61	0.049 06	0.002 87	0.268 34	0.017 00	0.039 67	0.000 96	241	14	251	6
14DZM027-27	209.10	573.98	35.49	0.36	0.050 46	0.003 42	0.365 56	0.026 37	0.052 54	0.001 29	316	20	330	8
14DZM027-28	400.39	1 094.98	51.82	0.37	0.053 04	0.002 66	0.298 42	0.016 43	0.040 81	0.000 93	265	13	258	6
14DZM027-29	267.66	537.82	24.47	0.50	0.050 94	0.002 89	0.266 28	0.016 29	0.037 91	0.000 87	240	13	240	5
14DZM027-30	290.43	757.57	33.49	0.38	0.053 12	0.002 79	0.277 36	0.015 85	0.037 87	0.000 85	249	13	240	5
14DZM027-31	154.61	276.06	11.86	0.56	0.057 38	0.003 75	0.273 09	0.019 32	0.034 52	0.000 93	245	15	219	6
14DZM027-32	213.56	302.77	17.47	0.71	0.056 25	0.003 32	0.354 33	0.022 63	0.045 69	0.001 12	308	17	288	7
14DZM027-33	178.89	365.11	18.37	0.49	0.046 79	0.003 08	0.277 06	0.019 43	0.042 95	0.001 04	248	15	271	6
14DZM027-34	61.310	760.03	33.15	0.08	0.060 74	0.003 27	0.335 88	0.019 68	0.040 11	0.000 93	294	15	254	6
14DZM027-35	132.51	291.45	14.64	0.45	0.053 37	0.003 84	0.336 51	0.026 15	0.045 73	0.001 35	295	20	288	8
14DZM027-36	374.48	1 445.03	61.19	0.26	0.056 46	0.002 71	0.289 18	0.015 23	0.037 15	0.000 81	258	12	235	5

续表 1
Continued Table 1

测试点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值			年龄/Ma		
	Th	U	Pb		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
14DZM027-37	126.10	341.89	14.91	0.37	0.051 23	0.003 22	0.265 86	0.017 88	0.037 64	0.000 89
14DZM027-38	208.34	243.47	14.38	0.86	0.110 00	0.007 04	0.617 46	0.042 84	0.040 71	0.001 09
14DZM027-39	122.26	164.52	8.33	0.74	0.052 41	0.004 00	0.287 02	0.023 35	0.039 72	0.001 11
14DZM027-40	134.48	457.20	137.45	0.29	0.091 08	0.003 83	3.218 94	0.152 15	0.256 31	0.005 52
14DZM027-41	241.56	881.06	39.38	0.27	0.058 45	0.002 96	0.312 12	0.017 26	0.038 73	0.000 85
14DZM027-42	184.57	206.26	11.23	0.89	0.056 28	0.003 91	0.316 76	0.023 68	0.040 82	0.001 12
14DZM027-43	116.75	160.25	8.94	0.73	0.062 05	0.004 79	0.366 08	0.029 99	0.042 79	0.001 18
14DZM027-44	257.55	461.51	23.46	0.56	0.060 05	0.003 30	0.341 25	0.020 36	0.041 22	0.000 95
样品 14DZM050 含火山渣玻屑晶屑凝灰岩										
14DZM050-1	75.61	103.51	5.33	0.73	0.050 16	0.005 19	0.289 59	0.031 40	0.041 87	0.001 36
14DZM050-2	43.83	110.87	6.10	0.40	0.070 33	0.007 67	0.454 86	0.052 22	0.046 90	0.001 69
14DZM050-3	22.15	36.69	1.77	0.60	0.068 22	0.014 14	0.373 19	0.080 72	0.039 68	0.002 44
14DZM050-4	95.07	143.33	7.47	0.66	0.058 40	0.005 11	0.343 09	0.031 86	0.042 61	0.001 32
14DZM050-5	87.21	144.96	51.44	0.60	0.096 80	0.004 95	3.747 15	0.209 32	0.280 76	0.006 32
14DZM050-6	37.57	150.67	48.76	0.25	0.094 98	0.004 71	3.667 23	0.199 41	0.280 02	0.006 27
14DZM050-7	68.12	75.11	4.35	0.91	0.056 47	0.006 52	0.348 66	0.042 27	0.044 78	0.001 66
14DZM050-8	129.93	191.59	9.29	0.68	0.051 23	0.003 77	0.271 83	0.021 37	0.038 48	0.001 06
14DZM050-9	444.05	408.08	22.14	1.09	0.049 05	0.003 18	0.265 72	0.018 39	0.039 29	0.000 95
14DZM050-10	410.15	2 782.17	113.67	0.15	0.051 80	0.002 59	0.268 20	0.014 61	0.037 55	0.000 82
14DZM050-11	86.18	130.67	5.98	0.66	0.053 27	0.004 61	0.266 59	0.024 62	0.036 30	0.001 16
14DZM050-12	57.99	141.89	5.84	0.41	0.044 98	0.005 53	0.215 84	0.027 88	0.034 81	0.001 39
14DZM050-13	109.96	141.54	6.93	0.78	0.051 82	0.004 43	0.269 80	0.024 46	0.037 76	0.001 13
14DZM050-14	34.36	59.20	2.89	0.58	0.079 43	0.011 37	0.438 85	0.065 60	0.040 07	0.001 73
14DZM050-15	63.97	146.43	8.91	0.44	0.044 44	0.003 64	0.326 14	0.028 49	0.053 23	0.001 62
14DZM050-16	164.94	206.82	10.46	0.80	0.045 40	0.003 74	0.255 44	0.022 38	0.040 81	0.001 21
14DZM050-17	167.26	273.72	13.44	0.61	0.055 71	0.003 99	0.301 04	0.022 93	0.039 19	0.001 01
14DZM050-18	23.01	49.55	2.50	0.46	0.047 88	0.007 84	0.281 66	0.047 70	0.042 66	0.001 86
14DZM050-19	42.05	30.29	21.75	1.39	0.166 97	0.010 07	10.756 29	0.718 39	0.467 23	0.013 41
14DZM050-20	180.30	195.53	78.78	0.92	0.106 79	0.005 12	4.308 55	0.227 85	0.292 61	0.006 52
14DZM050-21	144.65	160.96	7.81	0.90	0.060 33	0.008 69	0.301 32	0.045 15	0.036 22	0.001 51
14DZM050-22	180.23	432.43	101.15	0.42	0.077 54	0.003 65	2.082 94	0.107 84	0.194 84	0.004 20
14DZM050-23	56.51	76.90	27.29	0.73	0.098 73	0.005 38	3.804 50	0.230 19	0.279 48	0.007 37
14DZM050-24	67.15	271.17	15.06	0.25	0.059 18	0.003 87	0.395 99	0.027 91	0.048 53	0.001 28

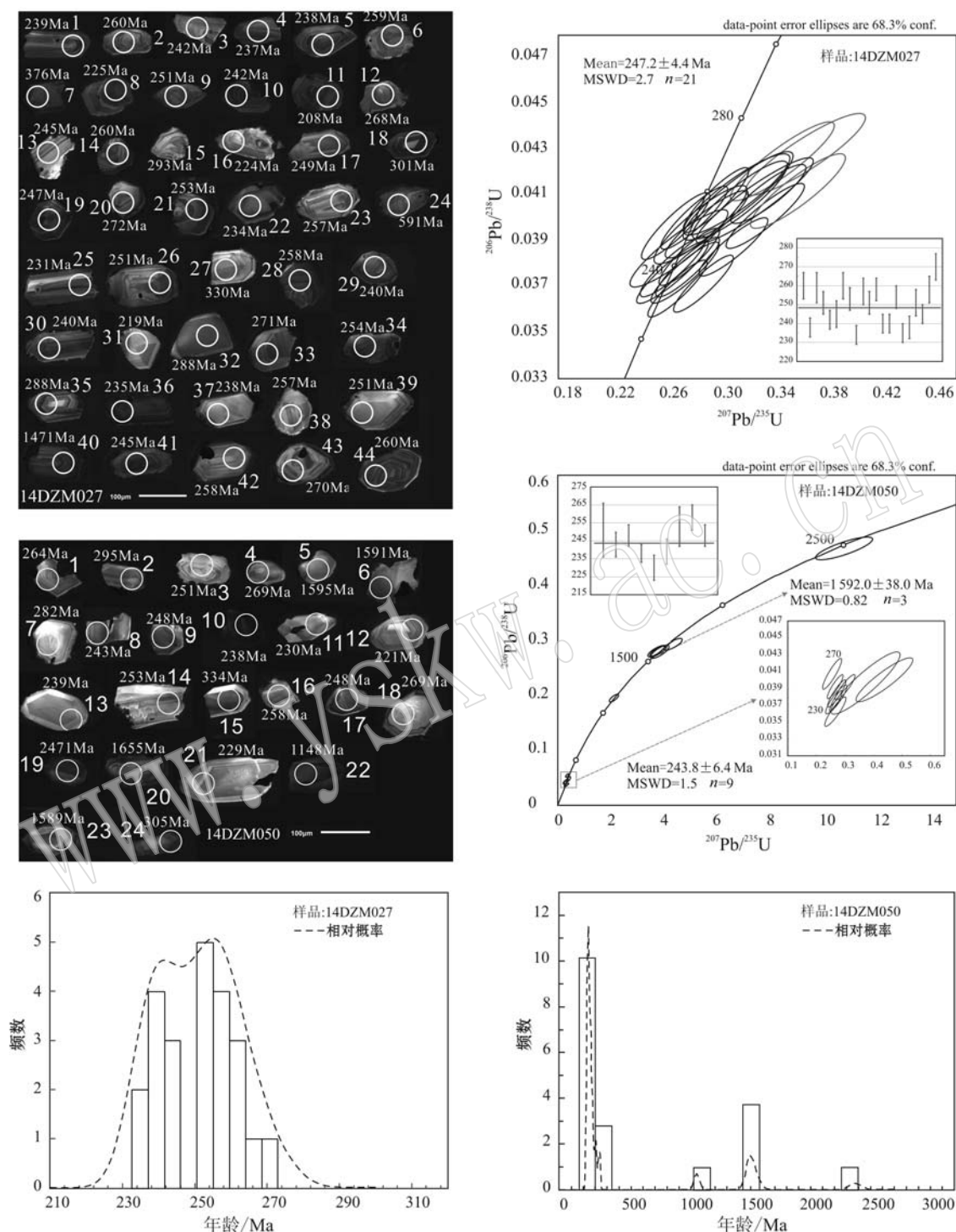


图 6 大宗铜矿区火山岩锆石阴极发光(CL)图像及对应的 U-Pb 谐和图、表面年龄频率直方图

Fig. 6 Cathodoluminescence (CL) images of the analyzed zircon grains and associated U-Pb concordia diagrams, and relative probability of U-Pb age for detrital zircons from the Dazong copper ore field

致,似乎形成紧密的一群。但这些锆石均具核-幔结构,由于锆石颗粒较小,在激光剥蚀过程中难免穿过具有较老年龄的幔部。因而,我们推测这些晚古生

代年龄可能是混合的结果,没有明确的地质意义。另外,火山岩第 2 韵律层锆石测年结果还显示,区内基底岩中尚可能存在早二叠世(282~295 Ma)、石炭

纪(305~334 Ma)及古-中元古代(有 1 148 Ma、1 589~1 595 Ma、1 665 Ma、2 471 Ma 等 4 个年龄群)等变质-岩浆活动事件,其地质含义值得深入研究。

矿区内出露的强烈褶皱的泥岩-灰岩组合与兰坪盆地周边地区局部发育的晚古生代-早中生代海相沉积岩(含大量灰岩夹层)具有相似的岩性组合特征。详细的野外地质调查和剖面观测(图 2、图 3、图 5)表明,该套地层下伏于下中三叠统/ T_{1-2} 火山岩之下,呈整合接触关系,局部呈断层接触,明显沉积于火山活动之前。因此,把该套地层归属为上二叠统,应属吉东龙组(潘桂棠等, 2002; 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 2013^①),并非前人认为的中侏罗统花开佐组(J_2h)或上侏罗统坝注路组(J_3b)地层组合。

4.2 区域构造意义

本文报道的路线地质考察及锆石测年结果揭示了一套典型的晚古生代-早中生代沉积岩-火山岩组合:下部为浅海相细碎屑岩-生物碎屑岩,被早中三叠世火山岩覆盖。这套岩石组合、特别是沉积-火山岩接触关系在“三江”造山带中部十分常见,具有重要的区域意义。Yang 等(2014a)报道了兰坪盆地以北竹巴龙-芒康路线地质调查结果,其沉积-火山岩组合关系与本地区类似;梁明娟等(2015)报道的兰坪盆地东缘弥沙-象图路线、唐靓等(2016)报道的马登地区路线地质调查结果等,均揭示了相同的沉积-火山岩组合;兰坪盆地东南忙怀河流域的沉积-火山岩组合特点也是如此(Yang *et al.*, 2014b)。上述沉积-火山岩组合样式的普遍发育表明:① 早中三叠世火山岩及其下伏地层是兰坪盆地的基底岩石,兰坪盆地的演化一定是晚三叠世以后的地质事件;② 早中三叠世火山活动是造山带规模的地质事件,其形成应与古特提斯大洋的俯冲、消减有关(Yang *et al.*, 2014a)。

虽然兰坪盆地周缘具有相似的晚古生代-早中生代沉积-火山岩组合样式,但不同地区存在明显差异。竹巴龙-芒康地区的火山活动始于 265 Ma,以中酸性岩为主,包含基性岩(Yang *et al.*, 2014a)。兰坪盆地东缘火山活动从 250 Ma 开始,持续时间很短,以酸性岩为主,基本不含基性岩(梁明娟等, 2015; 唐靓等, 2016);而兰坪盆地西缘(范金伟等, 2014; 本文)火山活动时间则晚至 240 Ma,而且仅发

育基性-中性岩,绝少见酸性岩(部分地区发育晚三叠世酸性火山岩,其不整合覆盖在上述沉积-火山岩组合之上)。上述火山活动的时、空变化规律具有重要的大地构造意义,很可能反映古特提斯阶段洋-陆演化的具体过程,非常值得进一步的深入研究。

4.3 成矿作用与容矿火山岩的关系

上述晚古生代-早中生代沉积-火山岩组合是兰坪盆地西缘多个脉状铜多金属矿床的赋矿围岩。如金满-连城大型铜矿床,其赋矿围岩为原中侏罗统花开佐组强变形浅变质沉积岩(王光辉等, 2009)、茅草坪大型铜多金属矿床也发育于强变形浅变质沉积岩中(程杨等, 2015a, 2015b; 黄世强等, 2016; Huang *et al.*, 2016),其岩石组合、变形特点与大宗矿区下伏于火山岩之下的沉积地层具有极高的可比性。而大宗矿区的脉状铜矿体除了赋存于强变形沉积岩内之外,早中三叠世火山岩中也发育脉状铜矿(化)体。如水青登北西即产有 3 处工业矿体(图 2),主要呈脉状、似层状、透镜状沿断裂破碎带展布,容矿火山岩系主要为安山质凝灰熔岩、蚀变辉石安山岩和玻屑晶屑凝灰岩。这种产出特点表明,兰坪盆地西缘的脉状铜矿床并没有明显的地层或岩性专属性,很可能主要受强烈的变形作用控制。我们未发表的大宗矿床流体包裹体的 H、O、S 同位素数据显示,成矿流体主要来自大气降水,矿石具有典型的热液充填矿床的结晶、交代、固溶体分离结构及脉状、浸染状和斑杂状构造等,该矿床应属强构造变形带控矿的后生充填热液矿床。然而,针对这些铜矿床的矿质来源目前还没有明确。早中三叠世火山岩的确认以及沉积-火山岩组合的发现,为研究成矿物质来源、探讨金属富集机制奠定了基础。针对兰坪盆地西缘铜多金属矿床矿石矿物的 Sr-B 同位素分析(Huang *et al.*, 2016; Song *et al.*, 2016)也显示,成矿元素可能主要源自盆地周缘的古特提斯阶段火山岩。

5 结论

(1) 兰坪盆地西缘大宗铜矿区出露地层可划分为 3 个岩性单元,自上至下依次为渐新统宝相寺组(E_3b ?)、下中三叠统火山岩、上二叠统强变形砂泥岩-灰岩。

① 中国地质调查局成都地质矿产研究所. 2013. 1:1 500 000 万青藏高原及邻区地质图及说明书.

(2) 本区出露的容矿火山岩形成于早中三叠世,由底至顶至少可分为 3 个喷发韵律,火山活动时间集中在 244~247 Ma 之间。而强劈理化的砂泥岩夹灰岩沉积为火山岩下伏地层,应归属于上二叠统吉东龙组,并非前人认为的中晚侏罗世地层组合。

(3) 大宗矿区早中三叠世火山岩容矿脉状铜矿床只是兰坪盆地西缘铜矿带诸多围岩类型容矿脉状铜矿床的一种,没有明显的地层或岩性专属性,应属强构造变形带控矿的后生充填热液矿床。

致谢 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法定年测试是在中国科学技术大学地空学院 LA-ICP-MS 实验室由侯振辉老师指导完成的;野外工作得到四川东能投资集团公司领导的大力支持和帮助,硕士生万良春、樊江锋、胡廷银、余静、杨欣鹏、来瑞娟、韩雪等参加了野外调查工作;同时审稿专家和编辑对本文进行了认真审查,并提出宝贵的修改意见,在此一并深表感谢!

References

- Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192(1~2): 59~79.
- Cheng Yang, Song Yucai, Hou Zengqian, *et al.* 2015a. Fluid inclusions and stable isotopes study of Maocaoping vein Cu deposit in Lanping basin, western Yunnan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(11): 3363~3379(in Chinese with English abstract).
- Cheng Yang, Song Yucai, Xue Chuandong, *et al.* 2015b. A synthetic study of veins structure and mineralogenetic epoch of Maocaoping vein-type Cu deposit, western Yunnan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(3): 583~598(in Chinese with English abstract).
- Compston W, Williams I S and Kirschvink J L. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale[J]. *Journal of Geological Society*, 149: 171~184.
- Deng Jun, Hou Zengqian, Mo Xuanxue, *et al.* 2010. Superimposed orogenesis and metallogenesis in Sangjiang Tethys[J]. *Mineral Deposits*, 29(1): 37~42(in China with English abstract).
- Deng J, Wang Q F, Li G J, *et al.* 2014a. Tethys evolution and spatial temporal distribution of ore deposits in the Sanjiang region, southwestern China[J]. *Gondwana Research*, 26: 419~437.
- Deng J, Wang Q F, Li G J, *et al.* 2014b. Cenozoic tectono-magmatic and metallogenic processes in the Sanjiang region, southwestern China[J]. *Earth-Science Review*, 138: 268~299.
- Fan Jinwei, Yang Tiannan, Liang Mingjuan, *et al.* 2014. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology and geochemistry of Volcanic rocks on the western margin of Lanping basin in western Yunnan and their tectonic implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(3): 471~490(in Chinese with English abstract).
- He L Q, Song Y C, Chen K X, *et al.* 2009. Thrust-controlled, sedimented, Himalayan Zn-Pb-Cu-Ag deposits in the Lanping foreland fold belt, eastern margin of Tibetan plateau[J]. *Ore Geology Reviews*, 36(1~3): 106~132.
- Hoskin P W O and Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 27~62.
- Hou Z Q and Cook N J. 2009. Metallogenesis of the Tibetan collisional orogeny: A review and introduction to the special issue[J]. *Ore Geology Reviews*, 36(1~3): 2~24.
- Hou Zengqian, Song Yucai, Li Zheng, *et al.* 2008. Thrust-controlled, sediments-hosted Pb-Zn-Ag-Cu deposits in eastern and northern margins of Tibetan orogenic belt: Geological features and tectonic model[J]. *Mineral Deposits*, 27(2): 123~144(in Chinese with English abstract).
- Huang Shiqiang, Song Yucai, Cheng Yang, *et al.* 2016. Tourmaline in the Maocaoping vein Cu deposit, western Yunnan: Characteristics, chemical composition, and its significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 35(1): 124~138(in Chinese with English abstract).
- Huang S Q, Song Y C, Hou Z Q, *et al.* 2016. Chemical and stable isotopic (B, H, and O) compositions of tourmaline in the Maocaoping vein-type Cu deposit, western Yunnan, China: Constraints on fluid source and evolution[J]. *Chemical Geology*, 439: 173~188.
- Jian Ping, Liu Danyi and Sun Xiaomeng. 2003. SHRIMP dating of Baimaxueshan and Ludian granitoid batholiths, northwestern Yunnan Province, and its geological implications[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(4): 337~342(in Chinese with English abstract).
- Jian P, Liu D Y, Kröner A, *et al.* 2009. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the Paleo-Tethys orogen in southwest China (II): Insights from zircon ages of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks and generation of the Emeishan CFB province[J]. *Lithos*, 113(3~4): 767~784.
- Li Baolong, Ji Jianqing, Fu Xiaoyue, *et al.* 2008. Zircon SHRIMP dating and its geological implications of the metamorphic rocks in Ailaoshan-Diancangshan Mountains Ranges, west Yunnan[J]. *Acta Petrologica Sinica*

- ca, 24(10): 2 322~2 330(in Chinese with English abstract).
- Li Feng and Fu Weimin. 2000. The Red Layer Copper Deposit[M]. Kunming: Yunnan University Press, 322~335(in Chinese with English abstract).
- Li Feng, Huang Dunyi and Pu Weimin. 1995. Metallogenic law of red-bed copper deposits of the Lanping-Simao basin, Yunnan, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 19(4): 322~335(in Chinese with English abstract).
- Li X M and Song Y G. 2006. Cenozoic evolution of tectono-fluid and metallogenic process in Lanping basin, western Yunnan province, southwest China: Constraints from apatite fission track data[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 25(4): 398~400.
- Liang Mingjuan, Yang Tiannan, Shi Pengliang, *et al.* 2015. U-Pb geochronology, Hf isotopes of zircon from the volcanic rocks along the eastern margin of Lanping basin, Sanjiang orogenic belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(11): 3 247~3 268 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jiajun and Li Zhaoyang. 2000. Isotopic geochemistry of copper deposits in sandstone and shale of Lanping-Simao basin, western Yunnan[J]. *Mineral Deposits*, 19(3): 223~234(in Chinese with English abstract).
- Lin T H, Chung S L, Chiu H Y, *et al.* 2012. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints from the Ailao Shan-Red River shear zone on the tectonic and crustal evolution of southwestern China[J]. *Chemical Geology*, 291: 23~37.
- Metcalfe I. 1996. Gondwana dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43: 605~623.
- Metcalfe I. 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 1~33.
- Mo X X, Deng J F and Lu F X. 1994. Volcanism and the evolution of Tethys in Sanjiang area, southwestern China[J]. *Journal of South-east Asian Earth Sciences*, 9(4): 325~333.
- Mou Chuanlong and Yu Qian. 2002. The age of volcanic rock of the Pantiange Formation in the Lanping basin, Yunnan province[J]. *Journal of Stratigraphy*, 26(4): 289~292(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, *et al.* 2002. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions[J]. *Geologica Bulletin of China*, 21(11): 702~704(in Chinese with English abstract).
- Qi Xuexiang, Zhu Luhua, Li Huaqi, *et al.* 2009. LA-ICP-MS U-Pb dating for mylonitized granite from the Ailaoshan- Jinshajiang tectonic zone in the eastern Qinghai-Tibet Plateau and its tectonic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(3): 357~369(in Chinese with English abstract).
- Song Yucai, Hou Zengqian, Yang Tiannan, *et al.* 2011. Sediment-hosted Himalayan base metal deposits in Sanjiang region: Characteristics and genetic types[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(3): 355~380(in Chinese with English abstract).
- Song Yucai, Hou Zengqian, Cheng Yang, *et al.* 2016. Fluid inclusion and isotopic constraints on the origin of ore-forming fluid of the Jinman-Liancheng vein Cu deposit in the Lanping basin, western, Yunnan, China[J]. *Geofluids*, 16(1): 56~77.
- Tang Jing, Xue Chuandong, Yang Tiannan, *et al.* 2016. Upper Permian to Early Triassic tectonostratigraphy of Madeng area, northwestern Yunnan, S. W. China: volcanics zircon U-Pb dating[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(8): 2 535~2 554(in Chinese with English abstract).
- Wang Guanghui, Song Yucai, Hou Zengqian, *et al.* 2009. Re-Os dating of molybdenite from Liancheng vein copper deposit in Lanping basin and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 28(4): 413~424(in Chinese with English abstract).
- Wu Nanping, Jiang Shaoyong, Liao Qilin, *et al.* 2003. Lead and sulfur isotope geochemistry and the ore sources of the vein-type copper deposits in Lanping-Simao Basin, Yunnan province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 799~807(in Chinese with English abstract).
- Xu Qidong and Li Jianwei. 2003. Migration of ore-forming fluids and its relation to zoning of mineralization in northern Lanping Cu-poly-metallic metallogenic area, Yunnan province: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes[J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 365~376(in Chinese with English abstract).
- Xu Shihai, Gu Xuexiang, Tang Juxing, *et al.* 2005. Stable isotopic geochemistry of three major types of Cu-Ag polymetallic deposits in the Lanping basin, Yunnan[J]. *Bulletin of Mineral Geochemistry*, 24(4): 309~316(in Chinese with English abstract).
- Yan W, Li C Y, Fu W M, *et al.* 1995. The material source of a new type of copper deposits—Evidence from stable isotopes[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 14(2): 168~178.
- Yang T N, Ding Y, Zhang H R, *et al.* 2014a. Two-phase subduction and subsequent collision defines the Paleotethyan tectonics of the southeastern Tibetan Plateau: Evidence from zircon U-Pb dating, geochemistry, and structural geology of the Sanjiang orogenic belt,

- southwest China[J]. Geological Society of America Bulletin, 126 (11~12): 1 654~1 682.
- Yang T N, Liang M J, Fan J W, *et al.* 2014b. Paleogene sedimentation, volcanism, and deformation in eastern Tibet-Evidence from structures, geochemistry, and zircon U-Pb dating in the Jianchuan basin, SW China[J]. Gondwana Research, 26: 521~535.
- Yuan H L, Gao S, Dai M N, *et al.* 2008. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace elements compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS [J]. Chemical Geology, 247(1~2): 100~118.
- Zhang Jinrang, Wen Hanjie, Qiu Yuzhuo, *et al.* 2015. Characteristics of ore-forming fluids of Cu-Ag (\pm Pb-Zn) polymetallic deposits in western Lanping basin, Yunnan province[J]. Mineral Deposits, 34 (3): 497~520 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J R, Wen H J, Qiu Y Z, *et al.* 2015. Spatial-temporal evolution of ore-forming fluids and related mineralization in the western Lanping basin, Yunnan province, China[J]. Ore Geology Reviews, 67: 90~108.
- Zi J W, Cawood P A, Fan W M, *et al.* 2012. Generation of early Indosinian enriched mantle-derived granitoid pluton in the Sanjiang orogen (SW China) in response to closure of the Paleo-Tethys[J]. Lithos, 140~141: 166~182.
- ### 附中文参考文献
- 程 杨, 宋玉财, 侯增谦, 等. 2015a. 滇西兰坪盆地茅草坪脉状 Cu 矿床流体包裹体和稳定同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 31 (11): 3 363~3 379.
- 程 杨, 宋玉财, 薛传东, 等. 2015b. 滇西茅草坪脉状铜矿床脉体构造与成矿时代研究[J]. 地质学报, 89(3): 583~598.
- 邓 军, 侯增谦, 莫宣学, 等. 2010. 三江特提斯复合造山与成矿作用[J]. 矿床地质, 29(1): 37~42.
- 范金伟, 杨天南, 梁明娟, 等. 2014. 滇西兰坪盆地西缘火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其大地构造意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 33(3): 471~490.
- 侯增谦, 宋玉财, 李 政, 等. 2008. 青藏高原碰撞造山带 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床新类型: 成矿基本特征与构造控矿模型[J]. 矿床地质, 27(2): 123~144.
- 黄世强, 宋玉财, 程 杨, 等. 2016. 滇西茅草坪脉状铜矿床电气石的发育特征、成分及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 35(1): 124~138.
- 简 平, 刘敦一, 孙晓猛. 2003. 滇西北白马雪山和鲁甸花岗岩基 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地球学报, 24(4): 337~342.
- 李宝龙, 李建清, 付孝悦, 等. 2008. 滇西点苍山哀牢山变质岩系锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 24(10): 2 322~2 330.
- 李 峰, 甫为民. 2000. 滇西红层铜矿地质[M]. 昆明: 云南大学出版社, 322~335.
- 李 峰, 黄敦义, 甫为民. 1995. 兰坪-思茅盆地红层铜矿成矿规律 [J]. 大地构造与成矿学, 19(4): 322~335.
- 梁明娟, 杨天南, 史鹏亮, 等. 2015. 三江造山带兰坪盆地东缘火山岩锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 31(11): 3 247~3 268.
- 刘家军, 李朝阳. 2000. 兰坪-思茅盆地砂页岩中铜矿床同位素地球化学[J]. 矿床地质, 19(3): 223~234.
- 牟传龙, 余 谦. 2002. 云南兰坪盆地攀天阁组火山岩的 Rb-Sr 年龄 [J]. 地层学杂志, 26(4): 289~292.
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 21(11): 702~704.
- 戚学祥, 朱路华, 李化启, 等. 2009. 青藏高原东缘哀牢山金沙江构造带糜棱状花岗岩的 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其构造意义[J]. 地质学报, 84(3): 357~369.
- 宋玉财, 侯增谦, 杨天南, 等. 2011. “三江”喜马拉雅期沉积岩容矿贱金属矿床基本特征与成因类型[J]. 岩石矿物学杂志, 30(3): 355~380.
- 唐 靓, 薛传东, 杨天南, 等. 2016. 滇西马登地区晚二叠世-早三叠世地层组合及年代学: 火山岩锆石 U-Pb 定年证据[J]. 岩石学报, 32(8): 2 535~2 554.
- 王光辉, 宋玉财, 侯增谦, 等. 2009. 兰坪盆地连城脉状铜矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(4): 413~424.
- 吴南平, 蒋少涌, 廖启林, 等. 2003. 云南兰坪-思茅盆地脉状铜矿床铅、硫同位素地球化学与成矿物质来源研究[J]. 岩石学报, 19 (4): 799~807.
- 徐启东, 李建威. 2003. 云南兰坪北部铜多金属矿化区成矿流体流动与矿化分带——流体包裹体和稳定同位素证据[J]. 矿床地质, 22(4): 365~376.
- 徐仕海, 顾雪祥, 唐菊兴, 等. 2005. 兰坪盆地三类主要铜银多金属矿床的稳定同位素地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 24 (4): 309~316.
- 张锦让, 温汉捷, 裘愉卓, 等. 2015. 兰坪盆地西缘沉积岩容矿脉状 Cu-Ag(\pm Pb-Zn)多金属矿床成矿流体特征[J]. 矿床地质, 34 (3): 497~520.