第43卷 第6期 岩 石 矿 物 学 杂 志 Vol. 43, No. 6: 1380~1410
2024年11月 ACTA PETROLOGICA ET MINERALOGICA Nov., 2024

Doi: 10.20086/j.cnki.yskw.2024.0603

滇西珠街萤石-锑矿区含矿岩系凝灰岩锆石U-Pb年龄与沉积时代

张 涵,王 维,薛传东
(昆明理工大学 地球科学系, 云南 昆明 650093)

摘 要: 兰坪盆地是青藏高原东南缘"三江"造山带与扬子地台西缘结合部的重要含矿沉积盆地之一,其西南部的笔架山萤石-锑矿集区的层控热液成矿特点突出,长期备受关注。前人将其含矿岩系与下伏、上覆地层皆归为上三叠统,但缺乏准确的年代学证据,影响了对区域地层格架、构造演化和矿床成因的合理认识。本文对笔架山矿集区北部的珠街萤石-锑矿区含矿岩系开展了系统的野外地质研究,发现矿体主要呈层状、似层状或层间网脉状集中赋存在三合洞组的硅质岩、硅质角砾岩夹晶屑玻屑凝灰岩构成的火山-沉积岩组合(T_3s^{3-2})中;上覆麦初箐组(T_3m)碎屑岩中夹多层凝灰岩。锆石U-Pb定年结果显示,T_3s^{3-2}赋矿凝灰岩的锆石U-Pb平均年龄为239.4 Ma,T_3m凝灰岩夹层的锆石U-Pb平均年龄为252.2 ~ 216.1 Ma,且具有相似的继承锆石年龄谱。结合区域资料分析,区内T_3s^{3-2}含矿岩系沉积时代应为中三叠世晚期,代表了一套弧火山岩的同期近源沉积;而麦初箐组是晚三叠世弧岩浆岩带隆升剥蚀的充填堆积产物。因而,区内萤石-锑矿床属同火山期的火山热液沉积型矿床,硅质岩与凝灰岩组合是本区及邻区类似矿床重要的找矿突破方向。

关键词: 凝灰岩; 锆石U-Pb定年; 中三叠世; 珠街萤石-锑矿区; 兰坪盆地
中图分类号: P534.51; P588.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6524(2024)06-1380-31

Zircon U-Pb ages and sedimentary times of the tuffs within the ore-bearing sequences at the Zhujie fluorite-antimony ore field in western Yunnan Province

ZHANG Han, WANG Wei and XUE Chuan-dong
(Department of Earth Sciences, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The Mesozoic Lanping Basin in western Yunnan Province is one of the most important ore-hosting sedimentary basins between the Sanjiang orogenic belt in southeastern Qinghai-Tibet Plateau and the western margin of the Yangtze platform, SW China. The Bijiashan ore concentration area at the southwest part of this basin contains vast stratified fluorite-antimony hydrothermal deposits and occurrences, and always was highly concerned by the academics and industry. The ore-bearing rocks, the underlying and overlying strata were classified into the Upper Triassic strata by local geologists. However, the lack of accurate chronological evidence has seriously affected our understanding of regional stratigraphic framework, tectonic evolution and ore genesis. In this contribution, we have carried out a systematic field geological investigation on the ore-bearing rocks in the Zhujie fluorite-antimony ore field at the north of the Bijiashan ore concentration area. The field geology shows that the main fluorite-antimony

收稿日期: 2024-07-28; **接受日期:** 2024-10-14; **编辑:** 郝艳丽
基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2021QZKK0301); 国家自然科学基金项目(42163007, 41373049); 云南省新一轮找矿行动暨地勘基金项目(Y202405)
作者简介: 张 涵(1998-), 女, 硕士研究生, 矿物学岩石学矿床学专业, E-mail: 1319856125@qq.com; 通讯作者: 薛传东(1971-), 男, 博士, 教授, 主要从事矿床地质与区域成矿学的教学与科研工作, E-mail: xuechuandong@kust.edu.cn。

ore-bearing horizons of the uppermost member of the Upper Triassic Sanhedong Formation (T_3s^{3-2}) is mainly composed of crystalline vitreous tuff, siliceous breccias and siliceous rocks, which is a sedimentary-volcaniclastic assemblage, and the orebodies occur in stratiform and/or lenticular shape. The clastic rocks of the overlying Maichujing Formation(T_3m) are also interbedded with multiple layers of lithocrystalline vitreous tuff. The zircon U-Pb dating results show that the weighted average zircon U-Pb age of the ore-hosting crystalline vitreous tuff from the second part of the upper member of the Upper Triassic Sanhedong Formation (T_3s^{3-2}) is 239.4 Ma, and the weighted average zircon U-Pb age of the lithocrystalline vitreous tuffs from the lower members of the T_3m Formation range from 252.2 Ma to 216.1 Ma, both of which have similar dated age spectra of the inherited zircons. Combined with the analysis data of regional geology, the ore-bearing rocks of the upper member of the Upper Triassic Sanhedong Formation (T_3s^3) in the Zhujie ore field deposited at the late Middle Triassic, which represents the proximal volcanic- sedimentary depositions coeval with the arc-volcanism. Whilst the Upper Triassic formations were originated from the filling of uplift and denudation of the arc magmatic rocks, which record multiphase transition of regional basin-range events. Therefore, the known orebodies in the Zhujie fluorite-antimony ore field is a volcanic hydrothermal sedimentary deposit associated with coeval volcanism. The association of siliceous rock and tuff is an important prospecting mark for similar fluorite-antimony deposits in this ore field and adjacent areas with great prospecting potentials.

Key words: tuffs; zircon U-Pb dating; Middle Triassic; Zhujie fluorite-antimony ore field; Lanping Basin

Fund support: The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (2021QZKK0301); National Natural Science Foundation of China (42163007, 41373049); New Round of Mineral Prospecting Action and Geological Exploration Fund Project of Yunnan Province (Y202405)

在滇西兰坪盆地中南部的漾濞-巍山-昌宁一带,自北而南分布有塔盘山、罗荷摩、羊虎头、石岩村、罗旧村后山、田坝心、肚故皮、笔架山等 10 余处中小型锑多金属矿床(范朝俊, 1991; 董方浏, 2002; 王勇等, 2006; 常开永, 2007; 杨世坤, 2008; 佟子达, 2018),长期备受关注。这些矿床主要以似层状、透镜状及少量层间(网)脉状赋存于原划分的上三叠统硅质岩(俗称“层间硅化破碎带”)中,具有突出的层控热液成矿特点。在昌宁珠街田坝心-巍山牛街笔架山一带,萤石-锑矿床(点)集中分布,被称为“笔架山矿集区”。前人尽管对这类矿床开展了矿床地质研究(董方浏, 2002; 王勇等, 2006; 常开永, 2007; 杨世坤, 2008; 丁星妤等, 2015; 佟子达等, 2016; 肖昌浩等, 2016; 佟子达, 2018),但其赋矿地层相对缺乏岩石组合序列和准确地层年代学的系统研究工作,导致对区域地层格架、含矿岩系时代和矿床成因等认识仍存分歧,进而影响矿产资源评价与找矿突破。

系统地质调查结果显示,笔架山矿集区内的珠街田坝心、肚故皮萤石-锑矿床均赋存于硅质岩、硅质角砾岩夹凝灰岩及其下伏的灰岩岩石组合中。但该岩石组合长期被划归于不同的区域地层,影响了区域构造演化认识和找矿突破。为此,本文以珠街田坝心、肚故皮萤石-锑矿区含矿岩系作为研究对象,通过对其岩性组合特征及相邻地层的系统调查研究,并对新发现的凝灰岩开展锆石 U-Pb 定年,综合对比分析区域地质资料,探讨该套赋矿岩系的形成时代和区域地层格架及萤石-锑矿床成因。本研究可为区域地层格架合理建立提供直接地质证据,同时支撑区域类似矿床的成因研究和找矿勘查。

1　地质背景

滇西兰坪盆地处在青藏高原东南缘“三江”造山带与扬子地台西缘结合部以及印度-欧亚大陆侧向碰撞汇聚部位,是“三江”复合造山带的重要组成部分(莫宣学等, 1993; 邓军等, 2010, 2020; Deng *et al.*, 2014)。该盆地呈近南北向展布,北抵维西,南达景谷,向南与思茅盆地相连,形成于晚古生代-中生代古-新特提斯洋俯冲增生和碰撞造山过程(图 1a; 梁明娟, 2016; 杨天南等, 2019 及文献);盆地内三叠系、侏罗系和白垩系多个层位均赋存多种类型的 Cu-Pb-Zn-Ag-Co-Sb 多金属矿床。

区域地质资料显示,兰坪盆地及周缘地区出露

前寒武纪-新近纪地层,其中前寒武系变质岩系、古生界碎屑岩夹碳酸盐岩及中生界火山-沉积岩主要沿盆地东、西两侧分布,盆地内主要出露侏罗系-新近系碎屑岩,且局部出露有上三叠统滨浅海和海陆过渡相碎屑岩夹碳酸盐岩组合(图 1b)。根据岩性组合,上三叠统自下而上被依次划分为歪古村组(T_3w)、三合洞组(T_3s)、挖鲁八组(T_3wl)和麦初箐组(T_3m),其间均为整合接触(云南省地质局, 1975[1];

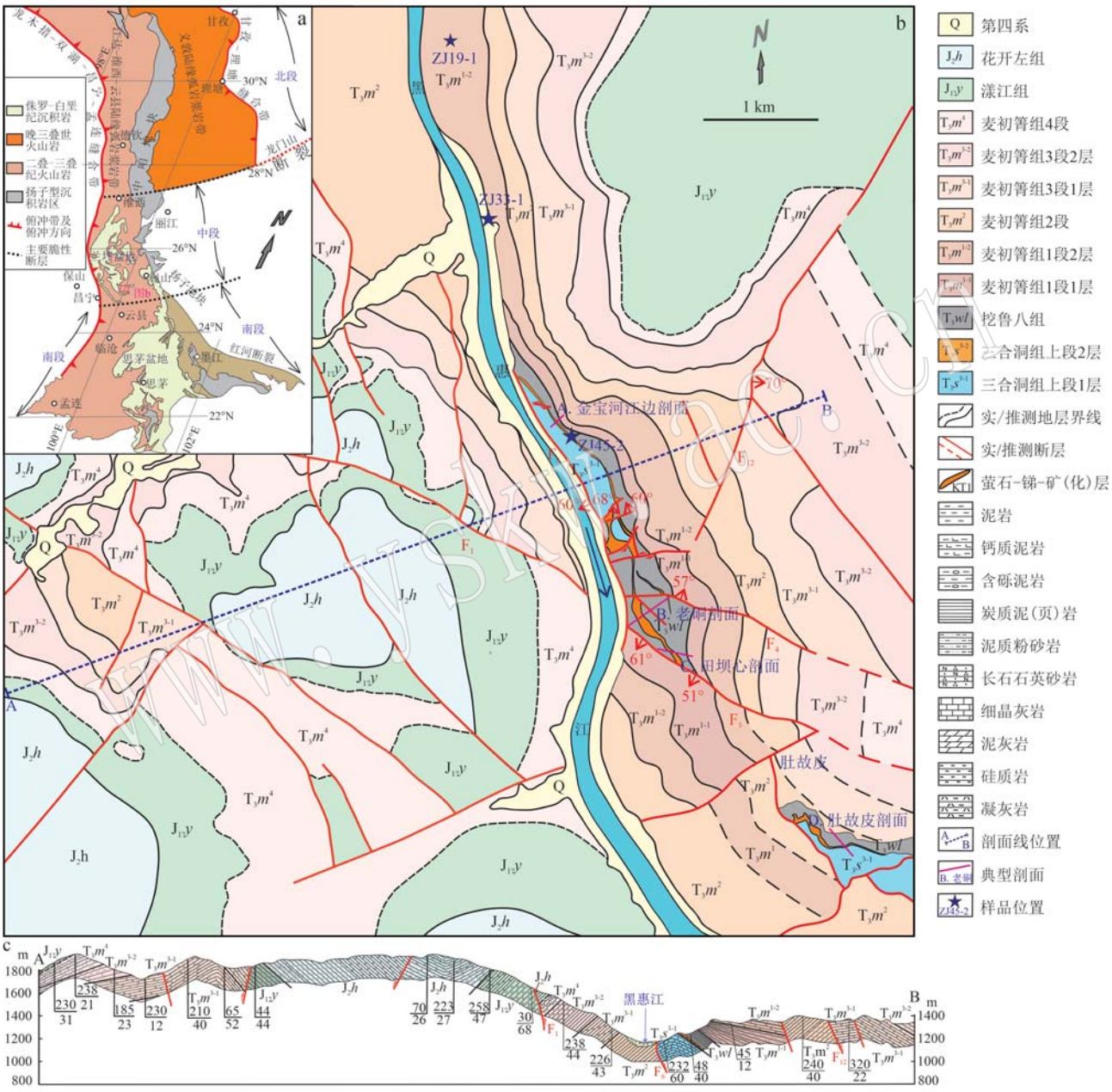

图 1 滇西珠街萤石-锑矿床区域构造略图[a, 据杨天南等(2019)修绘]、矿区地质图(b)和地质剖面图(c)[b 和 c 据昌宁金基矿业有限公司和云南南方地勘工程总公司(2021)[2]修绘]

Fig. 1 Regional geological sketch map (a, modified after Yang Tiannan *et al.*, 2019), geological map(b) and profile map(c) (b and c are modified after the Changning Jinji Mining Co. Ltd., and the Yunnan Southern Geological Exploration Engineering Corporation, 2021[2]) of the Zhujie fluorite-antimony ore field in western Yunnan Province

[1] 云南省地质局. 1975. 1:20 万巍山幅区域地质调查报告, 1~145.

[2] 昌宁金基矿业有限公司, 云南南方地勘工程总公司. 2021. 云南省昌宁县珠街地区锑矿勘探实施方案, 1~161.

云南省地质矿产局，1990，1996）。区域上，盆地北部的三合洞组灰岩夹角砾状灰岩及砂岩是金顶等铅锌矿床的主要含矿岩石（薛春纪等，2002；侯增谦等，2008；Liang *et al.*，2022；杨天南等，2022），盆地中南部的麦初箐组砂岩夹碳质泥岩是水泄等铜钴金矿床的主要容矿岩石（李峰等，1994；冯志军等，2024），而盆地西南部的三合洞组硅质岩、硅质角砾岩则是笔架山等萤石-锑矿床的主要含矿岩石（范朝俊，1991；常开永，2007；佟子达等，2016；肖昌浩等，2016；佟子达，2018）。显然，盆地内不同部位产出的上三叠统岩性组合及其含矿性有很大差异。

在兰坪盆地中南部的漾濞-巍山一带，自北而南产有塔盘山、罗荷摩、羊虎头、石岩村、罗旧村后山、田坝心、肚故皮、笔架山等 10 余处中小型锑矿床（董方浏，2002；王勇等，2006；常开永，2007；杨世坤，2008），构成一个大型成矿带。其中，由昌宁珠街田坝心、巍山牛街肚故皮、笔架山萤石-锑矿床构成盆地西南部的笔架山矿集区，萤石-锑矿体呈似层状、透镜状及少量（网）脉状多层位赋存在原划定的三合洞组中，层控热液成矿特点突出（范朝俊，1991），但不同矿床的矿化特征存在一定差异。例如，珠街田坝心矿区萤石-锑矿体主要产于三合洞组顶部的硅质岩、硅质角砾岩（俗称“层间硅化破碎带”；范朝俊，1991）中，表现出浸染状、条纹条带状、晶洞状矿化特征，三合洞组灰岩中也多见零星矿化；肚故皮、笔架山矿区萤石-锑矿体主要赋存于 T_3s 灰岩中，以网脉状、（巨）晶洞状及星点状矿化为特征（图 1b、图 2）。然而，这些赋矿地层被北西西向、北东东向、近东西向及南北向断层所肢解或破坏，区域上并被始新世（38～33 Ma）花岗（斑）岩、煌斑岩（董方浏等，2005；刘金宇等，2017；杜斌等，2018；李守奎等，2021）侵入，致使出露零星或残缺不全（图 1b），其形成时代和地层归属及矿床成因一直存在争议。

2　矿区上三叠统层序及其特征

珠街萤石-锑矿区出露地层主要有上三叠统三合洞组、挖鲁八组、麦初箐组及侏罗系（图 2）。系统的野外地质调查和区域地质资料综合分析显示，上三叠统的地层层序、岩石组合类型及相关特征如下文所述。

三合洞组在区内仅出露其上段层位（T_3s^3），未见底。该套地层可分为两个岩性层：第 1 岩性层（$T_3s^{3\text{-}1}$）为灰白、灰黑色厚层粉-细晶灰岩，含燧石结核及条带，局部富含石英颗粒及囊状、不规则状凝灰质团块（图 3a、3f、3g），并夹有紫红色凝灰质粉砂岩透镜体（图 3h）。该岩性组合中含双壳、腹足及腕足类化石，厚度大于 18.2 m，灰岩及燧石中可见网脉状及斑块状锑、萤石矿化。显微镜下观察显示，灰岩具鲕粒、生物碎屑结构，富含石英颗粒，并含有火山岩屑（图 3g）。第 2 岩性层（$T_3s^{3\text{-}2}$）为深灰-灰黑色中厚层状硅质岩、硅质角砾岩夹多层凝灰岩及硅质岩透镜体（图 3a～3c），该层厚度为 3.5～48.0 m，钻孔揭露真厚度最厚可达 87.3 m。该层是区内最主要的赋矿层位，普遍具有锑、萤石矿化，辉锑矿与萤石相伴产出，常顺层断续发育工业矿体（图 3d）。如在田坝心（图 3b）和肚故皮（图 3c）矿段，可见灰白色硅质岩夹深灰色凝灰岩透镜体或互层产出，发育石英+萤石+辉锑矿细脉，凝灰岩层厚度变化大，单层厚 0.5～1.0 m 不等（图 3b）。显微镜下观察表明，凝灰岩中普遍发育石英、长石晶屑及脱玻化玻屑，多具重结晶和溶蚀交代现象（图 3e）。

挖鲁八组（T_3wl）为深灰-灰黑色薄-中厚层状泥岩夹少量深灰色薄层泥岩、炭质泥岩及凝灰岩，碳质泥岩中普遍发育黄铁矿结合及纹层，普遍含双壳、头足类化石，厚 35.0～80.0 m。

麦初箐组（T_3m）自下而上可分为 4 段 6 个岩性层。第 1 和第 3 段分别由 2 个岩性层构成。其中，第 1 段第 1 岩性层（$T_3m^{1\text{-}1}$）为深灰-灰黑色薄层泥质粉砂岩夹深灰色薄层岩屑长石石英砂岩，局部夹炭质泥岩、凝灰岩（图 3h）及煤线，发育对称波痕，富含双壳、头足类、叶肢介及植物化石，厚 40.8m；第 2 岩性层（$T_3m^{1\text{-}2}$）为深灰色中-厚层岩屑长石石英砂岩夹灰黑色泥质粉砂岩及凝灰岩，砂岩发育大型板状交错层理，厚 137.0 m。第 2 段（T_3m^2）为灰-灰绿色薄层粉砂质泥岩、粉砂岩夹少量细砂岩，发育不对称波痕和平行层理，含双壳类、叶肢介及植物化石，厚 118.5 m。第 3 段第 1 岩性层（$T_3m^{3\text{-}1}$）为灰色厚层-块状细-中粒岩屑长石石英砂岩夹少量粉砂岩、泥岩及凝灰岩，砂岩-粉砂岩-泥岩常构成多个向上粒度变细的韵律层，厚 223.1 m。该层是次级赋矿层位，局部赋存有似层状萤石-锑矿体；第 2 岩性层（$T_3m^{3\text{-}2}$）为灰绿-黄绿色薄层粉砂岩、泥岩夹灰黄-灰色薄-中厚层泥晶灰岩及灰黑色含壳屑泥晶灰岩，下部夹灰黄色块状细-中粒岩屑长石石英砂岩透镜体，厚 131.4 m。第 4 段（T_3m^4）为灰黄、灰绿、暗紫红

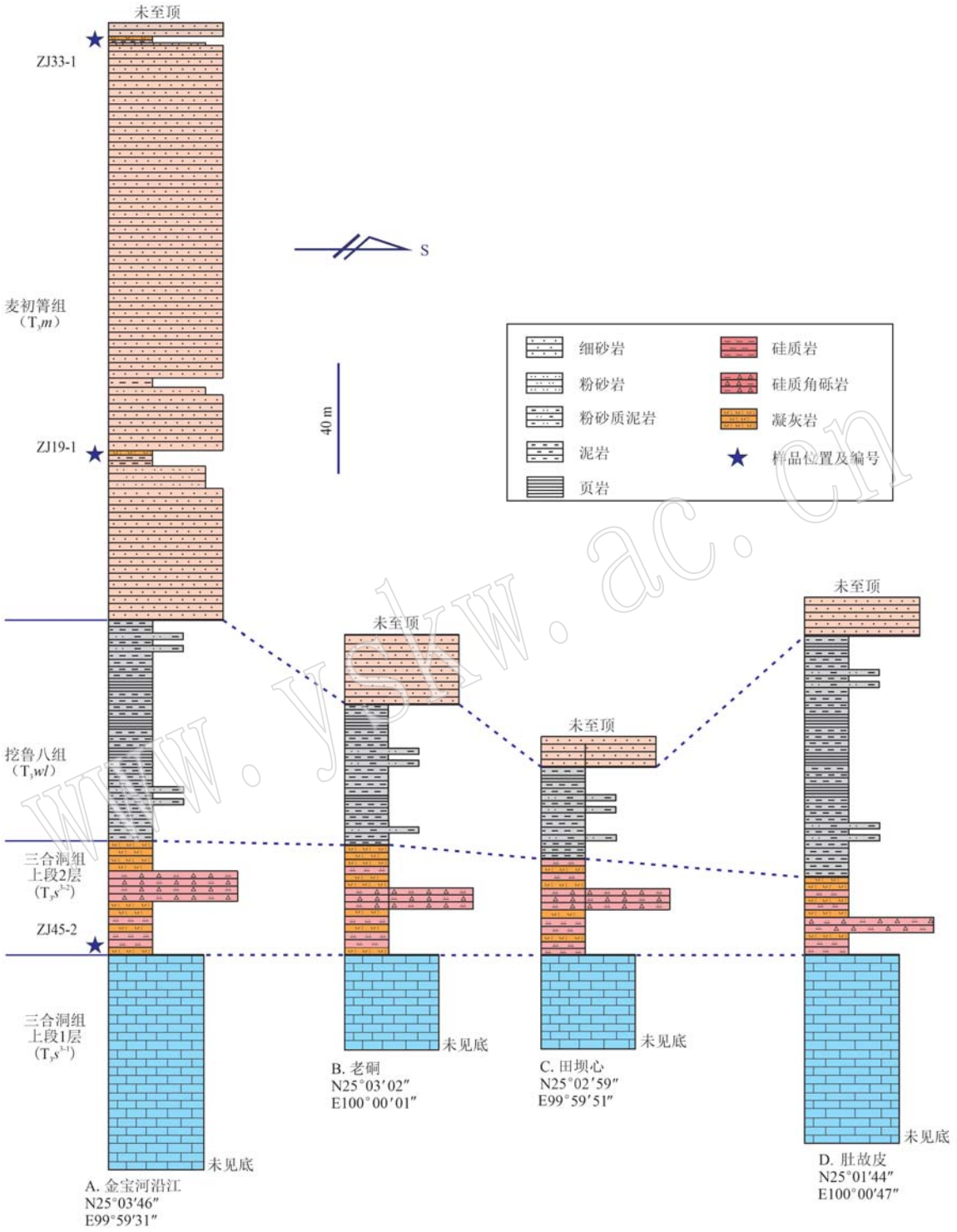

图 2 珠街萤石-锑矿区含矿岩系典型剖面柱状图(主要剖面位置见图 1)

Fig. 2 Columnar diagrams of the ore-bearing strata in the Zhujie fluorite-antimony ore field (the position of main geological sections shown in Fig. 1)

色薄层泥质粉砂岩、钙质碳质泥岩夹灰黄色中厚层泥灰岩,泥灰岩中含介形类、叶肢介化石,碳质泥岩中产双壳类化石,厚 103.3 m。该段被上覆下侏罗统漾江组($J_{1?}y$)灰紫-紫红色中-厚层细粒岩屑长石石英砂岩、粉细砂岩及泥岩所覆盖。

总体上,矿区内出露最老地层为三合洞组上部

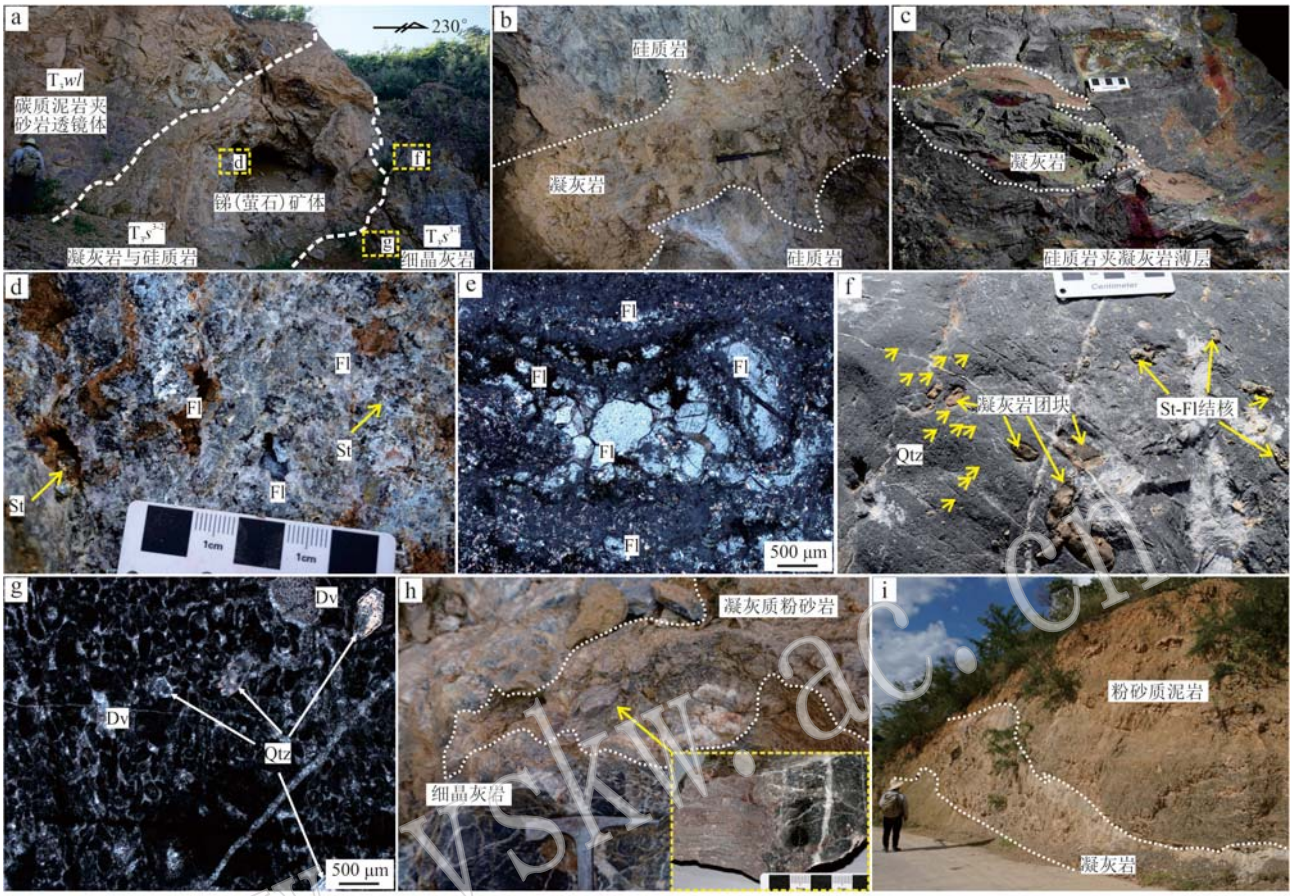

图 3　珠街萤石-锑矿区含矿岩系产出特征

Fig. 3　Photographs showing the occurrences of the ore-bearing sequences from the Zhujie fluorite-antimony ore field

a—层状、似层状萤石-锑矿体赋存于三合洞组上部第 2 岩性段(T_3s^{3-2})硅质岩和凝灰岩中；b、c—三合洞组上部第 2 岩性段(T_3s^{3-2})硅质岩中凝灰岩透镜体或薄层；d—萤石-锑矿石，具热液成矿特点；e—含萤石、辉锑矿的岩屑晶屑凝灰岩(样品 ZJ15-2，正交偏光)，萤石呈晶洞状产出，部分萤石具溶蚀交代边，具晶屑特点；f~h—三合洞组上部第 1 岩性段(T_3s^{3-1})细晶灰岩中富含燧石结核、凝灰质团块和石英晶粒(f、g，正交偏光)，并局部夹有紫红色凝灰质砂岩(h)；i—麦初箐组下部第 1 岩性层(T_3m^1)粉砂质泥岩中的凝灰岩夹层；Dv—脱玻化玻屑；Fl—萤石；Qtz—石英；St—辉锑矿

a—fluorite-antimony orebody in a stratiform and lenticular shape hosed in the tuffs and siliceous rock of the upper part of the second member of the Upper Triassic Sanhedong Formation (T_3s^{3-2})；b，c—tuff lenticle and/or lamellae interbedded within the siliceous rock of the upper part of the second member of the Upper Triassic Sanhedong Formation (T_3s^{3-2})；d—fluorite-antimony ores showing hydrothermal mineralization in nature；e—fluorite- and stibnite-bearing crystalline vitreous tuff (sample ZJ15-2，CPL)，the fluorite occurs in the geode shape，and some of the fluorite exhibits dissolved metasomatic edge，indicating a crystalline origin；f~h—fine quartz crystals and giant flint and tuffaceous concretions hosting stibnite veinlets(f，g，CPL) and local red purple tuffaceous sandstone in the fine limestone of the lower part of the first member of the Upper Triassic Sanhedong Formation (T_3s^{3-1})；i—tuff lamellae within the silty mudstone of the lower part of the first member of the Upper Triassic Maichujing Formation(T_3m^1)；Dv—devitrified vitroclastics；Fl—fluorite；Qtz—quartz；St—stibnite

层位第 1 岩性层(T_3s^{3-1})上部富火山岩屑和古生物化石的微-细晶灰岩，其顶部第 2 岩性层(T_3s^{3-2})为厚度变化显著的硅质岩夹凝灰岩与硅质岩透镜体组合。这些特征表明，三合洞组沉积时伴有同时期的区域火山喷发作用。

3　分析方法及结果

3.1　采样位置及分析样品岩石学特征

本文对采自珠街萤石-锑矿区内的3件凝灰岩

样品进行了锆石分离和 LA-ICP-MS U-Pb 定年分析。其中,样品 ZJ45-2 采自三合洞组上段第 2 岩性层(T_3s^{3-2}),样品 ZJ33-1 和 ZJ19-1 分别采自麦初箐组第 1 段第 1 岩性层(T_3m^{1-1})和第 2 岩性层(T_3m^{1-2}),其 GPS 坐标位置分别为 ZJ19-1(25°05′23.3″N, 99°59′2.5″E)、ZJ33-1(25°04′23.7″N, 99°59′14.6″E)和 ZJ45-2(25°03′34.8″N, 99°59′41.8″E)(图 1b、图 2)。

样品 ZJ19-1 为灰绿色晶屑玻屑凝灰岩,夹于麦初箐组下部第 2 岩性层(T_3m^{1-2})厚层-块状粗砂岩之间,厚 0.2~0.25 m(图 4a)。显微观察显示,主要由晶屑、玻屑及火山灰胶结物组成,明显具残余凝灰结构,晶屑具一定的成层性和定向性(图4d)。晶屑

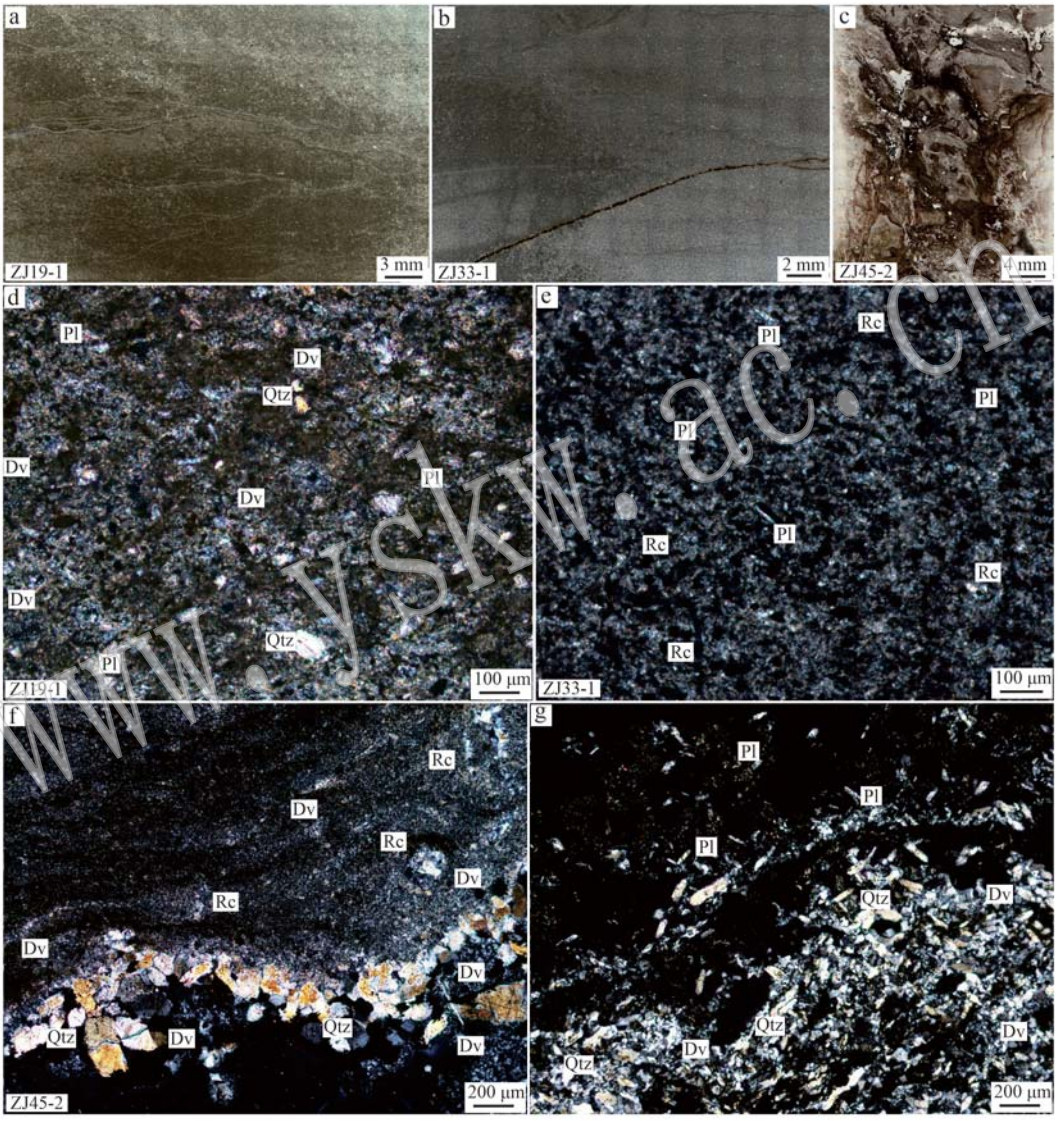

图 4 珠街萤石-锑矿区锆石 U-Pb 定年凝灰岩的显微特征

Fig. 4 Microphotographs of the zircon U-Pb dated tuffs collected from the Zhujie fluorite-antimony ore field

a、d—灰绿色岩屑晶屑玻屑凝灰岩(T_3m^{1-2}, 样品 ZJ19-1; a—单偏光, d—正交偏光); b、e—浅灰色岩屑晶屑玻屑凝灰岩(T_3m^{1-1}, 样品 ZJ33-1; b—单偏光, e—正交偏光); c、f、g—紫红-灰白色晶屑玻屑凝灰岩(T_3s^{3-2}, 样品 ZJ45-2; c—单偏光; f、g—正交偏光); Dv—脱玻化玻屑; Pl—长石; Rc—岩屑; 其他同图 3

a, d—grayish-green lithocrystalline vitreous tuff (sample ZJ19-1 collected from the T_3m^{1-2} member; a—PPL, d—CPL); b, e—light gray crystalline vitreous tuff (sample ZJ33-1 collected from the T_3m^{1-1} member; b—PPL; e—CPL); c, f, g—red purple and grey white lithocrystalline vitreous tuff (sample ZJ45-2 collected from the T_3s^{3-2} member; c—PPL, f and g—CPL); Dv—devitrified vitroclastics; Pl—feldspar; Rc—rock debris; see Fig. 3 for others

主要为石英和斜长石，含量约 10%～30%，大小较均一，20～40 μm，个别可达 50 μm，棱角-次棱角状，多具港湾状溶蚀边；玻屑含量 15%～20%，浑圆-次圆状，大小较均匀，粒径多为 30～60 μm，少量达 100 μm，具有明显的脱玻化特征，局部具显微晶洞（图 4d）；胶结物为火山灰，主要由粒径<50 μm 的长英质矿物组成，呈他形粒状分布于胶结物中。这说明可能存在成岩期流体活动。

样品 ZJ33-1 为浅灰色晶屑玻屑凝灰岩，夹于麦初箐组下部第 1 岩性层（$T_3m^{1\text{-}1}$）上部块状细砂岩和下部中层泥质粉砂岩之间（图 4b）。显微镜观察显示，该岩石样品呈现残余凝灰结构，主要由玻屑、晶屑和火山灰组成，粒径均小于 0.2 mm。其中，火山灰含量大于 70%，玻屑含量 25%～30%，粒度多为 20～60 μm，个别达 80～120 μm。可见少量板条状斜长石晶屑（2%～3%），长 40～80 μm，少数可达 100 μm，具有定向性和明显的溶蚀边（图 4e）。

样品 ZJ45-2 为紫红色局部灰白色岩屑晶屑玻屑凝灰岩，产于三合洞组上段第 2 岩性层（$T_3s^{3\text{-}2}$）下部硅质岩中，厚约 0.2 m，具凝灰结构和纹层状、包卷构造，可见辉锑矿、萤石矿化（图 3e、4c、4f、4g）。在显微镜下，该岩石样品主要由岩屑、晶屑和火山灰胶结物组成，岩屑沿纹层顺层产出，局部发育不规则石英细脉（图 4f）。

3.2　样品处理与分析测试方法

锆石的分离和挑选由河北省廊坊市地岩矿物分选有限公司完成。先通过常规粉碎和重、磁分离方法从样品中挑选出锆石颗粒，然后在双目镜下人工挑纯。将挑选出的锆石颗粒置于玻璃板上用无色透明环氧树脂固定，待环氧树脂完全固化后将靶上的锆石进行粗磨、细磨直至约颗粒一半，使锆石核部暴露，并抛光以待分析。分析测试之前，先对锆石颗粒的反射光、透射光及阴极发光（CL）图像仔细观察，据锆石颗粒形态和内部结构（核、边、包裹体结构及裂隙等）进行测点选定，力求避开内部裂隙和包裹体，并选定合适的位置以测定 U-Pb 同位素组成。锆石阴极发光（CL）图像采集利用与 TESCANMIRA3 场发射扫描电镜相连接的 TESCAN 公司阴极发光仪完成。

锆石 U-Pb 同位素定年和微量元素含量在武汉上谱分析科技有限责任公司利用 LA-ICP-MS 质谱仪同时完成，详细的仪器参数和分析流程见（Zong *et al.*，2017）。锆石定年使用仪器为 GeolasPro 激光剥蚀系统，由 COMPexPro 102 ArF 193 nm 准分子激光器和 MicroLas 光学系统组成，等离子质谱仪型号为 Agilent 7900。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度，二者进入质谱仪之前先通过一个 T 型接头混合，激光剥蚀系统配置有信号平滑装置（Hu *et al.*，2015）。激光剥蚀所用束斑和频率分别为 32 μm 和 10 Hz。锆石 U-Pb 同位素组成和微量元素含量分析分别采用 91500 国际标准锆石和 NIST610 标准玻璃物质作外标进行测定数值校正。每个时间分辨分析数据包括大约 20～30 s 空白信号和 50 s 样品信号。对分析数据的离线处理（包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Pb 同位素比值和年龄计算）采用软件 ICPMSDataCal（Liu *et al.*，2008，2010）完成。原始数据处理通过 Excel 软件中加载宏程序 Ladating@Zrn 完成，普通 Pb 校正使用 Anderson（2002）推荐的 ComPbcorr#3-18 方法完成。详细测试分析过程参见文献（Zong *et al.*，2010）。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和加权平均年龄计算采用 Isoplot/Ex_ver3（Ludwig，2003）完成。锆石年龄测定和微量元素分析的详细过程见文献（Liu *et al.*，2007；Yuan *et al.*，2008），不确定度为 1σ。对于年龄>1 000 Ma 的锆石样品采用 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄，对于年龄<1 000 Ma 的锆石样品组采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄（宋彪，2015）。

3.3　锆石 U-Pb 测定结果

样品 ZJ19-1 锆石 CL 图像（图 5a）显示，锆石多呈长柱状自形-半自形晶，显示明显的生长环带，具岩浆成因锆石特点；长多为 65～100 μm，个别可达 150 μm，长宽比在 1～3 之间。75 粒锆石的 Th 和 U 含量分别为 5×10^{-6}～$2\ 551\times10^{-6}$ 和 61.3×10^{-6}～$1\ 348\times10^{-6}$，Th/U 值为 0.01～4.16。它们的表面 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 2 506～200 Ma（表 1），主峰值年龄为 237.9 Ma 和 1 860.3 Ma，次级峰值年龄分别为 315.9、769.6 和 2 502.5 Ma（图 6b）。其中，7 个最小年龄组的加权平均年龄为 216.1± 4.5 Ma（MSWD=3.7，n=7），即晚三叠世中期。

样品 ZJ33-1 的锆石颗粒无色透明，呈浑圆状-短柱状，长 60～110μm，长宽比在 1～3 之间。CL 图像显示大部分锆石发光强度较高，多数锆石发育生长环带（图 5c），具岩浆成因锆石特点。76 粒锆石的 Th 和 U 含量分别为 16.4×10^{-6}～469×10^{-6} 和 41.4×10^{-6}～$1\ 606\times10^{-6}$，Th/U 值为 0.03～1.46（表 1）。其表面 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄分布于 3 494～250 Ma 之间，主峰

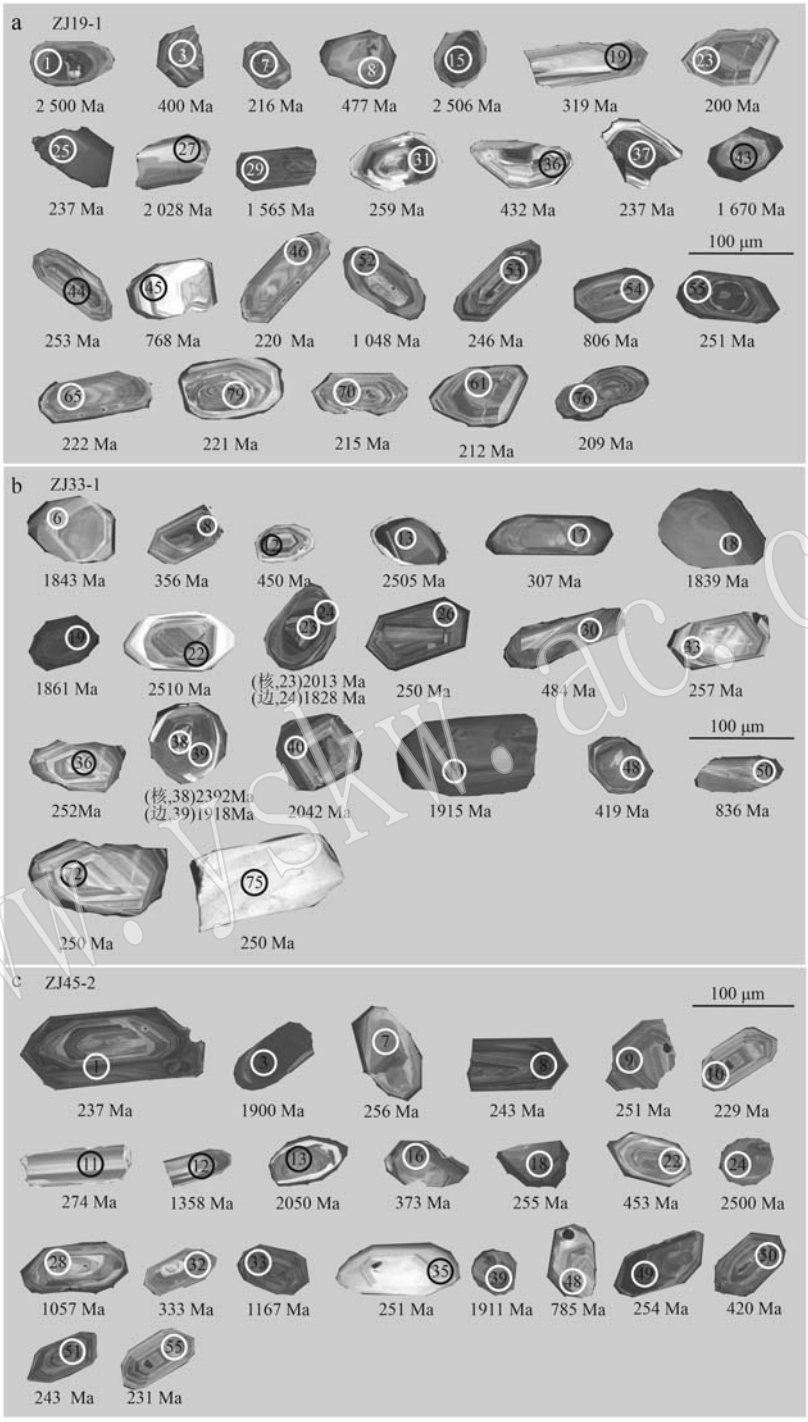

图 5 珠街萤石-锑矿区凝灰岩锆石 CL 图像

Fig. 5 Zircon CL images of the tuffs from the Zhujie fluorite-antimony ore field

值年龄为 250 Ma 和 1 868 Ma,次级峰值年龄为 430 Ma 和 2 532 Ma(图 6c、6d)。其中,5 个最年轻的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄组的加权平均年龄为 252.2 ±2.8 Ma (MSWD=1.1, n=5),即二叠纪末期—三叠纪初期。

样品 ZJ45-2 的锆石颗粒大部分呈透明自形-半自形晶,长 70~180 μm,宽 54~94 μm,CL 图像显示其具明显的生长环带(图 5e),具岩浆成因锆石特点。79 粒锆石 U 含量为 66.5×10^{-6}~$3\,261\times10^{-6}$,Th 含量为 9.55×10^{-6}~$1\,734\times10^{-6}$,Th/U 值为 0.02~2.32(表 1)。其表面$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄分布于 2 574 ~ 229 Ma

表 1　滇西珠街萤石-锑矿区凝灰岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试数据

Table 1　Zircon LA-ICP-MS U-Pb age data of the tuffs from the Zhujie fluorite-antimony ore field, western Yunnan Province

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度/%	备注
	Th	U	Pb		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ		
样品 ZJ19-1，岩屑晶屑玻屑凝灰岩																		
1	54.7	519	284.8	0.11	0.163 3	0.002 4	10.168 8	0.161 1	0.450 7	0.003 6	2 500	25.00	2 450	14.74	2 398	15.87	97	
2	166	439	152.9	0.38	0.136 0	0.004 3	5.091 7	0.195 9	0.270 8	0.005 3	2 177	55.25	1 835	32.67	1 545	26.94	82	剔除
3	251	465	36.77	0.54	0.055 0	0.001 7	0.486 8	0.015 0	0.064 1	0.000 6	413	68.51	403	10.28	400	3.82	99	
4	86.6	172	73.7	0.50	0.114 7	0.002 1	5.341 7	0.100 0	0.337 4	0.002 9	1 876	33.49	1 876	16.06	1 874	14.18	99	
5	121	203	33.05	0.60	0.067 1	0.002 0	1.189 1	0.034 0	0.128 7	0.001 2	843	56.48	796	15.78	781	7.11	98	
6	421	1 216	74.2	0.35	0.054 7	0.001 2	0.406 4	0.010 9	0.053 8	0.000 9	467	50.00	346	7.88	338	5.28	97	
7	408	818	34.24	0.50	0.052 1	0.001 6	0.244 5	0.007 5	0.034 1	0.000 3	287	74.99	222	6.14	216	1.98	97	
8	502	296	36.4	1.70	0.059 8	0.001 8	0.630 9	0.017 6	0.076 8	0.000 9	598	64.80	497	10.95	477	5.16	95	
9	162	184	31.5	0.88	0.064 1	0.001 9	1.115 1	0.031 1	0.126 8	0.001 2	746	61.11	761	14.94	769	7.13	98	
10	445	1 348	89.9	0.33	0.057 1	0.001 2	0.446 7	0.008 7	0.056 8	0.000 4	494	44.44	375	6.12	356	2.67	94	
11	116	531	204.4	0.22	0.112 1	0.001 6	5.036 0	0.079 7	0.325 4	0.002 9	1 835	27.01	1 825	13.47	1 816	13.98	99	
12	237	312	196.9	0.76	0.161 8	0.002 3	10.117 2	0.146 3	0.453 5	0.003 8	2 476	24.39	2 446	13.46	2 411	16.88	98	
13	55.5	195	77.0	0.28	0.112 6	0.002 2	5.046 1	0.091 8	0.325 4	0.002 7	1 842	34.57	1 827	15.46	1 816	13.26	99	
14	176	199	48.1	0.88	0.073 2	0.001 9	1.801 4	0.043 6	0.178 8	0.001 4	1 020	51.86	1 046	15.82	1 061	7.52	98	
15	313	428	272.4	0.73	0.164 7	0.002 2	10.685 7	0.165 7	0.470 3	0.004 7	2 506	23.30	2 496	14.50	2 485	20.52	99	
16	557	328	65.3	1.70	0.065 3	0.001 5	1.139 3	0.025 6	0.126 8	0.001 0	783	43.52	772	12.14	770	5.59	99	
17	259	406	38.7	0.64	0.055 8	0.001 5	0.572 8	0.014 7	0.074 7	0.000 7	443	59.25	460	9.46	465	3.98	98	
18	370	333	54.5	1.11	0.065 3	0.001 5	1.046 9	0.022 4	0.116 5	0.001 0	785	46.29	727	11.14	710	5.58	97	
19	154	196	13.15	0.79	0.049 7	0.002 5	0.346 3	0.017 1	0.050 7	0.000 6	189	116.65	302	12.92	319	3.69	94	
20	301	778	327.8	0.39	0.112 7	0.001 6	5.599 5	0.108 7	0.359 9	0.005 1	1 844	25.62	1 916	16.78	1 982	24.16	96	
21	129	202	30.95	0.64	0.064 9	0.001 8	1.067 3	0.029 9	0.119 3	0.001 1	772	52.77	737	14.70	727	6.43	98	
22	244	323	21.17	0.75	0.052 6	0.002 0	0.362 6	0.013 7	0.050 1	0.000 5	309	78.70	314	10.18	315	3.29	99	
23	478	1 297	48.46	0.37	0.050 9	0.001 2	0.221 1	0.005 3	0.031 6	0.000 3	235	62.03	203	4.37	200	1.57	98	
24	165	280	15.48	0.59	0.053 1	0.002 4	0.324 7	0.016 0	0.044 2	0.000 6	332	100.92	286	12.27	279	3.50	97	
25	243	760	32.72	0.32	0.053 3	0.001 8	0.274 9	0.009 8	0.037 4	0.000 4	339	75.92	247	7.81	237	2.43	95	
26	188	201	101.8	0.93	0.119 0	0.001 9	5.972 3	0.105 3	0.364 0	0.003 5	1 943	25.00	1 972	15.39	2 001	16.65	98	
27	16.6	61.3	25.61	0.27	0.124 8	0.003 3	6.225 0	0.190 1	0.361 2	0.005 3	2 028	41.66	2 008	26.75	1 988	25.18	98	
28	11.1	829	270.44	0.01	0.108 2	0.001 6	4.309 3	0.067 2	0.288 8	0.002 1	1 769	26.70	1 695	12.90	1 635	10.51	96	
29	259	663	175.5	0.39	0.096 9	0.001 5	2.899 7	0.049 8	0.217 3	0.002 1	1 565	25.00	1 382	13.01	1 267	10.97	91	
30	120	289	128.8	0.42	0.113 1	0.001 9	5.660 0	0.108 8	0.362 8	0.003 8	1 850	29.48	1 925	16.63	1 995	18.00	96	
31	2 551	747	64.2	3.42	0.051 0	0.001 6	0.286 8	0.008 4	0.041 0	0.000 5	239	70.36	256	6.67	259	2.87	98	
32	590	1 044	62.8	0.56	0.054 2	0.001 3	0.360 4	0.009 5	0.048 2	0.000 5	389	55.55	313	7.07	304	3.09	97	
33	38.3	106	48.93	0.36	0.129 4	0.002 6	6.562 8	0.136 9	0.368 5	0.004 1	2 090	35.18	2 054	18.44	2 022	19.39	98	
34	79.3	240	112.3	0.33	0.122 4	0.002 2	6.410 7	0.115 1	0.380 3	0.002 8	1 991	37.19	2 034	15.83	2 078	13.18	97	

续表 1-1

Continued Table 1-1

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度/%	备注
	Th	U	Pb		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ		
35	33.5	230	33.55	0.15	0.063 5	0.001 7	1.140 8	0.031 6	0.130 6	0.001 3	724	59.25	773	15.02	791	7.59	97	
36	165	267	23.24	0.62	0.052 8	0.002 3	0.500 6	0.020 9	0.069 3	0.000 8	320	98.14	412	14.11	432	4.80	95	
37	709	1 206	56.7	0.59	0.051 5	0.001 3	0.265 1	0.006 2	0.037 4	0.000 3	265	55.55	239	5.01	237	1.96	99	
38	71.8	484	175.6	0.15	0.112 1	0.001 9	4.810 2	0.084 2	0.311 4	0.002 7	1 835	29.63	1 787	14.76	1 748	13.55	97	
39	136	474	110.3	0.29	0.103 3	0.002 0	2.731 6	0.053 7	0.192 0	0.001 7	1 685	35.19	1 337	14.63	1 132	9.10	83	剔除
40	735	943	88.9	0.78	0.062 2	0.002 1	0.599 1	0.019 0	0.070 3	0.000 7	683	70.36	477	12.09	438	3.97	91	
41	306	414	287.7	0.74	0.162 3	0.002 7	11.168 7	0.203 4	0.499 6	0.004 9	2 479	28.09	2 537	17.06	2612	21.05	97	
42	69.6	110	49.0	0.63	0.112 3	0.002 5	5.227 5	0.113 5	0.338 9	0.003 3	1 839	39.05	1 857	18.54	1 882	16.05	98	
43	135	199	85.6	0.68	0.102 5	0.002 2	4.658 9	0.105 3	0.330 2	0.003 4	1 670	40.13	1 760	18.94	1 839	16.31	95	
44	519	600	32.0	0.87	0.053 7	0.001 6	0.296 8	0.009 7	0.040 0	0.000 5	367	66.66	264	7.56	253	2.83	95	
45	116	204	31.9	0.57	0.065 4	0.002 1	1.134 6	0.035 3	0.126 5	0.001 6	787	66.66	770	16.80	768	9.27	99	
46	179.1	389	16.4	0.46	0.054 2	0.002 1	0.258 5	0.009 9	0.034 8	0.000 4	389	82.40	233	8.02	220	2.56	94	
47	74	217	89.6	0.34	0.114 7	0.002 3	5.320 6	0.108 3	0.336 6	0.003 2	1 876	35.50	1 872	17.45	1 870	15.43	99	
48	222	295	134.0	0.75	0.115 3	0.002 1	5.350 9	0.099 9	0.336 7	0.002 9	1 885	33.64	1 877	16.02	1 871	14.04	99	
49	120	174	14.7	0.69	0.056 6	0.002 6	0.506 2	0.022 4	0.065 5	0.000 8	476	99.99	416	15.11	409	4.69	98	
50	90	379	21.3	0.24	0.041 6	0.001 8	0.284 1	0.011 9	0.049 8	0.000 5	error	error	254	9.39	313	3.24	79	剔除
51	454.4	338	67.7	1.34	0.067 0	0.001 4	1.237 5	0.025 5	0.134 1	0.001 3	839	42.59	818	11.61	811	7.45	99	
52	58	433	81.0	0.13	0.074 2	0.001 6	1.695 2	0.041 6	0.165 2	0.001 8	1 048	48.30	1 007	15.68	986	9.77	97	
53	721	964	48.1	0.75	0.055 0	0.001 8	0.294 3	0.009 7	0.038 9	0.000 4	413	72.22	262	7.63	246	2.74	93	
54	5	558	80.1	0.01	0.066 5	0.001 5	1.219 5	0.026 7	0.133 2	0.001 1	820	45.21	810	12.23	806	6.42	99	
55	1 063	1 064	57.7	1.00	0.052 9	0.001 3	0.289 7	0.007 5	0.039 7	0.000 4	324	27.78	258	5.89	251	2.59	97	
56	671	695	187.7	0.97	0.077 9	0.003	2.098 8	0.072 2	0.193 5	0.002 7	1 143.53	70.37	1 148.42	23.67	1 140.19	14.40	99	
57	445	770	43.6	0.58	0.051 7	0.002	0.322 2	0.012 1	0.044 7	0.000 6	272.29	91.65	283.59	9.26	282.03	3.56	99	
58	235	532	98.1	0.44	0.067 0	0.002	1.408 2	0.046 0	0.150 8	0.002 1	838.89	68.52	892.40	19.42	905.44	11.51	98	
59	139	659	212.0	0.21	0.111 0	0.004	4.379 6	0.139 8	0.282 8	0.004 3	1 816.67	58.65	1 708.49	26.41	1 605.40	21.71	93	
60	358	422	41.1	0.85	0.056 9	0.002	0.592 9	0.022 4	0.075 1	0.001 3	487.08	81.47	472.74	14.28	467.09	7.74	98	
61	189	628	24.92	0.30	0.051 9	0.002	0.241 0	0.009 3	0.033 5	0.000 4	279.69	88.88	219.25	7.61	212.18	2.59	96	
62	109	515	219.5	0.21	0.115 9	0.003	5.719 3	0.169 6	0.354 6	0.003 9	1 894.45	51.86	1 934.29	25.66	1 956.74	18.63	98	
63	139	656	130.0	0.21	0.076 3	0.002	1.855 7	0.058 6	0.174 9	0.002 1	1 103.39	62.19	1 065.48	20.85	1 039.19	11.49	97	
64	79.9	386	213.8	0.21	0.161 3	0.005	10.175 8	0.337 3	0.453 5	0.006 2	2 469.44	52.32	2 450.88	30.69	2 410.99	27.63	98	
65	236	380	16.78	0.62	0.053 0	0.003	0.256 9	0.012 1	0.035 1	0.000 5	327.84	107.40	232.15	9.75	222.25	3.29	95	
66	72.7	722	79.07	0.10	0.078 6	0.003	1.105 3	0.049 2	0.100 1	0.002 2	1 162.04	74.07	755.90	23.74	615.19	12.87	79	剔除
67	771	2783	358.8	0.28	0.104 5	0.004	1.615 6	0.071 5	0.112 1	0.002 9	1 705.87	73.00	976.30	27.76	685.15	16.91	64	剔除
68	253	178	33.5	1.43	0.065 4	0.003	1.126 7	0.056 0	0.124 3	0.002 0	787.04	103.70	766.18	26.75	755.44	11.44	98	
69	187	478	235.2	0.39	0.161 1	0.006	8.539 3	0.345 5	0.381 5	0.005 1	2 477.78	66.67	2 290.12	36.81	2 083.29	23.74	90	

续表 1-2

Continued Table 1-2

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度/%	备注
	Th	U	Pb		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ		
70	297	481	20.69	0.62	0.050 8	0.003	0.238 4	0.011 7	0.033 9	0.000 5	231.55	108.32	217.07	9.60	215.11	3.35	99	
71	364	430	23.85	0.85	0.051 9	0.003	0.296 7	0.013 8	0.041 5	0.000 6	279.69	109.25	263.85	10.84	262.25	3.78	99	
72	88.8	483	200.9	0.18	0.118 1	0.004	5.717 8	0.199 2	0.348 2	0.004 2	1 928.09	60.18	1 934.07	30.13	1 926.15	20.24	99	
73	116	276	24.06	0.42	0.058 4	0.002	0.581 2	0.024 5	0.072 0	0.001 1	546.33	92.58	465.26	15.75	447.93	6.45	96	
74	217	433	195.4	0.50	0.121 0	0.004	5.853 2	0.178 3	0.347 5	0.004 3	1 972.23	50.46	1 954.32	26.45	1 922.83	20.53	98	
75	1 651	397	85.6	4.16	0.061 8	0.003	0.748 6	0.036 2	0.087 7	0.001 1	664.83	107.39	567.41	21.04	541.93	6.73	95	
76	504	939	38.6	0.54	0.050 1	0.002	0.229 1	0.008 2	0.032 9	0.000 4	211.19	83.32	209.44	6.75	208.95	2.31	99	
77	73.2	259	110.2	0.28	0.113 5	0.003	5.477 9	0.153 9	0.347 2	0.003 3	1 857.41	50.46	1 897.14	24.16	1 921.33	15.98	98	
78	321	733	64.6	0.44	0.056 2	0.002	0.573 1	0.018 5	0.073 3	0.000 8	461.16	68.51	460.02	11.95	455.87	4.99	99	
79	426	601	27.28	0.71	0.051 4	0.002	0.248 6	0.009 3	0.034 8	0.000 4	257.47	85.17	225.47	7.54	220.75	2.37	97	
80	269	608	245.6	0.44	0.115 4	0.003	5.031 7	0.136 2	0.313 4	0.003 4	1 887.04	52.78	1 824.68	22.96	1 757.53	16.69	96	
样品 ZJ33-1，岩屑晶屑玻屑凝灰岩																		
1	118	211	219.0	0.56	0.304 5	0.003 9	29.965 9	0.432 6	0.713 0	0.006 6	3 494	19.44	3 486	14.38	3 470	25.05	99	
2	239	252	67.1	0.95	0.078 8	0.001 6	2.099 7	0.043 2	0.193 3	0.001 5	1 169	38.89	1 149	14.16	1 139	8.23	99	
3	194	652	251.7	0.30	0.118 9	0.001 6	5.212 8	0.073 5	0.317 8	0.002 2	1 939	25.16	1 855	12.09	1 779	10.95	95	
4	82.4	106	9.55	0.78	0.060 6	0.003 0	0.568 4	0.027 1	0.068 7	0.000 9	633	105.54	457	17.54	428	5.25	93	
5	104	449	22.62	0.23	0.050 0	0.001 8	0.309 7	0.011 3	0.044 9	0.000 5	195	81.47	274	8.73	283	3.26	96	
6	105	154	64.9	0.68	0.112 5	0.002 2	4.963 3	0.1003	0.319 8	0.002 9	1 843	35.03	1 813	17.13	1 789	14.14	98	
7	58.0	333	133.5	0.17	0.113 3	0.001 6	5.369 5	0.085 7	0.343 5	0.003 2	1 854	25.93	1 880	13.73	1 903	15.38	98	
8	439	959	65.5	0.46	0.053 7	0.001 2	0.420 4	0.009 2	0.056 7	0.000 4	367	48.14	356	6.61	356	2.68	99	
9	469	802	338.6	0.59	0.112 9	0.001 7	5.097 3	0.075 6	0.327 4	0.002 6	1 846	26.08	1 836	12.65	1 826	12.89	99	
10	107	456	22.93	0.24	0.051 3	0.001 7	0.316 1	0.010 9	0.044 5	0.000 5	257	69.43	279	8.39	281	2.88	99	
11	93.0	210	91.6	0.44	0.114 5	0.002 2	5.508 4	0.103 3	0.349 0	0.003 0	1 872	34.41	1 902	16.16	1 930	14.27	98	
12	165	225	20.94	0.74	0.056 3	0.001 9	0.559 6	0.018 1	0.072 3	0.000 7	465	74.07	451	11.78	450	4.41	99	
13	91.7	103	71.0	0.89	0.164 8	0.002 9	11.113 9	0.195 9	0.489 4	0.004 5	2 505	29.47	2 533	16.51	2 568	19.68	98	
14	184	312	131.0	0.59	0.113 2	0.002 0	5.080 2	0.090 0	0.325 1	0.002 6	1 852	31.48	1 833	15.09	1 815	12.70	99	
15	61.0	480	184.8	0.13	0.114 6	0.001 8	5.252 2	0.081 6	0.332 3	0.002 7	1 874	22.99	1 861	13.30	1 850	13.03	99	
16	76.2	268	113.7	0.28	0.112 2	0.002 0	5.499 5	0.100 6	0.355 2	0.003 2	1 836	65.28	1 901	15.77	1 959	15.13	96	
17	79.1	412	22.52	0.19	0.052 7	0.001 8	0.353 8	0.011 3	0.048 8	0.000 5	322	75.92	308	8.45	307	2.83	99	
18	54.5	97.1	41.15	0.56	0.112 3	0.002 7	5.225 6	0.123 3	0.337 9	0.003 7	1 839	42.75	1 857	20.14	1 877	18.05	98	
19	146	215	89.5	0.68	0.113 8	0.002 0	5.018 3	0.087 2	0.319 5	0.002 6	1 861	30.40	1 822	14.76	1 787	12.72	98	
20	16.4	596	217.40	0.03	0.112 1	0.001 8	5.021 1	0.081 8	0.324 6	0.002 8	1 833	27.93	1 823	13.85	1 812	13.88	99	
21	104	317	127.0	0.33	0.113 3	0.002 0	5.171 2	0.096 3	0.330 4	0.002 7	1 854	31.79	1 848	15.90	1 840	13.14	99	
22	114	179	108.3	0.64	0.165 2	0.003 0	10.227 4	0.180 6	0.448 8	0.004 0	2 510	30.25	2 456	16.41	2 390	17.86	97	
23	124	438	179.6	0.28	0.123 8	0.002 2	5.869 2	0.118 9	0.343 3	0.004 3	2 013	31.33	1 957	17.63	1 903	20.72	97	

续表 1-3

Continued Table 1-3

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度/%	备注
	Th	U	Pb		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ		
24	25.4	274	102.83	0.09	0.111 7	0.002 1	5.076 2	0.097 2	0.329 1	0.003 0	1 828	33.34	1 832	16.29	1 834	14.51	99	
25	55.4	41.4	10.20	1.34	0.122 4	0.008 7	2.528 1	0.183 1	0.149 1	0.002 8	1 992	125.77	1 280	52.71	896	15.46	64	剔除
26	236	752	34.19	0.31	0.049 9	0.001 6	0.272 6	0.009 0	0.039 6	0.000 4	191	71.29	245	7.17	250	2.53	97	
27	89.4	303	115.6	0.29	0.112 0	0.002 1	4.917 4	0.100 1	0.317 9	0.003 4	1 832	34.11	1 805	17.21	1 779	16.74	98	
28	69.5	89.6	8.04	0.78	0.066 0	0.004 1	0.621 3	0.036 0	0.068 3	0.001 0	809	130.39	491	22.53	426	6.14	85	
29	64.9	89.7	58.0	0.72	0.171 2	0.003 5	11.201 1	0.219 4	0.474 8	0.004 5	2569	33.65	2 540	18.34	2 505	19.52	98	
30	100.0	280	25.05	0.36	0.057 1	0.001 7	0.614 9	0.019 5	0.078 0	0.001 0	494	66.66	487	12.24	484	5.70	99	
31	118	194	67.3	0.61	0.098 2	0.002 0	3.715 1	0.074 7	0.273 9	0.002 2	1 591	37.19	1 575	16.13	1 561	11.41	99	
32	293	734	299.1	0.40	0.118 0	0.001 9	5.379 8	0.091 4	0.330 3	0.002 8	1 926	29.63	1 882	14.60	1 840	13.70	97	
33	370	503	26.37	0.74	0.052 7	0.001 8	0.295 8	0.010 3	0.040 7	0.000 5	322	77.77	263	8.03	257	2.81	97	
34	285	831	398.6	0.34	0.133 9	0.002 1	7.192 4	0.112 9	0.389 1	0.003 0	2 150	27.47	2 136	14.07	2 119	13.86	99	
35	106	197	29.90	0.54	0.068 2	0.002 3	1.163 5	0.038 9	0.123 9	0.001 3	876	68.98	784	18.27	753	7.67	95	
36	118	179	9.05	0.66	0.058 0	0.004 1	0.315 1	0.021 8	0.039 8	0.000 7	528	153.69	278	16.80	252	4.31	90	
37	46.7	215	94.43	0.22	0.120 6	0.002 3	6.774 2	0.175 1	0.405 2	0.006 3	1 965	34.10	2 082	22.91	2 193	28.88	94	
38	299	365	214.4	0.82	0.154 1	0.002 5	9.099 9	0.144 1	0.427 9	0.003 4	2 392	27.93	2 348	14.57	2 296	15.18	97	
39	121	380	152.3	0.32	0.117 5	0.002 0	5.380 8	0.094 3	0.331 8	0.002 7	1 918	31.48	1 882	15.06	1 847	13.20	98	
40	289	198	116.9	1.46	0.126 0	0.002 2	6.738 0	0.123 7	0.387 5	0.003 5	2 042	31.17	2 078	16.30	2 111	16.12	98	
41	158	320	136.3	0.50	0.116 5	0.002 0	5.485 0	0.091 6	0.341 9	0.003 4	1 902	30.40	1 898	14.40	1 896	16.30	99	
42	191	398	33.45	0.48	0.055 4	0.001 5	0.531 2	0.013 6	0.069 7	0.000 7	428	59.26	433	9.05	434	3.98	99	
43	159	697	284.3	0.23	0.116 0	0.001 7	5.533 9	0.080 9	0.346 0	0.003 0	1 895	−6.02	1 906	12.64	1 916	14.42	99	
44	160	592	173.3	0.27	0.122 2	0.001 9	4.348 5	0.093 1	0.257 4	0.003 9	1 991	27.47	1 703	17.71	1 476	20.01	85	剔除
45	154	223	102.9	0.69	0.117 0	0.002 1	5.683 1	0.107 1	0.352 0	0.003 5	1 911	31.48	1 929	16.32	1 944	16.91	99	
46	51.0	238	98.05	0.21	0.117 2	0.001 8	5.692 2	0.091 1	0.351 9	0.003 1	1 915	27.78	1 930	13.89	1 944	14.93	99	
47	125	301	127.4	0.42	0.118 0	0.001 8	5.603 0	0.092 3	0.343 5	0.002 7	1 928	27.01	1 917	14.25	1 903	13.11	99	
48	259	269	24.22	0.96	0.056 2	0.001 8	0.519 4	0.017 2	0.067 2	0.000 8	461	74.07	425	11.50	419	4.62	98	
49	120	182	18.95	0.66	0.062 5	0.002 1	0.702 0	0.023 7	0.081 8	0.000 9	700	72.22	540	14.16	507	5.24	93	
50	253	224	28.0	1.13	0.061 9	0.001 8	0.758 1	0.022 7	0.088 8	0.000 9	733	62.96	573	13.11	549	5.19	95	
51	189	237	42.5	0.80	0.067 8	0.001 7	1.293 0	0.032 2	0.138 5	0.001 4	861	56.48	843	14.27	836	7.70	99	
52	89.2	1 606	620.5	0.06	0.116 6	0.001 6	5.503 0	0.079 8	0.342 4	0.003 2	1 906	26.08	1 901	12.52	1 898	15.54	99	
53	113	289	16.07	0.39	0.053 1	0.002 3	0.347 0	0.014 5	0.047 7	0.000 6	332	98.14	302	10.94	300	3.45	99	
54	63.4	202	15.70	0.31	0.056 1	0.002	0.512	0.020 4	0.065 8	0.000 8	457	90.73	420	13.69	411	4.72	97	
55	163	169	13.34	0.97	0.095 4	0.006	0.708	0.049 5	0.052 0	0.000 8	1 536	122.07	544	29.40	327	4.62	50	剔除
56	137	174	10.59	0.78	0.053 6	0.003	0.343	0.016 4	0.046 1	0.000 6	354	111.10	299	12.38	290	3.91	97	
57	79.2	95.7	64.8	0.83	0.162 7	0.004	10.757	0.253 5	0.474 0	0.004 3	2 484	40.28	2 502	21.96	2 501	19.06	99	
58	68.8	683	273.9	0.10	0.113 7	0.003	5.423	0.120 6	0.341 8	0.002 9	1 861	42.13	1 889	19.11	1 895	14.00	99	

续表 1-4

Continued Table 1-4

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度/%	备注
	Th	U	Pb		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ		
59	76.7	154	67.1	0.50	0.115 3	0.003	5.431	0.146 9	0.337 5	0.003 4	1 884	54.63	1 890	23.22	1 874	16.43	99	
60	77.1	140	12.39	0.55	0.053 8	0.003	0.523	0.026 7	0.070 0	0.001 0	365	110.18	427	17.77	436	6.20	97	
61	101	121	56.2	0.83	0.138 7	0.005	6.367	0.362 1	0.313 6	0.008 2	2 211	66.52	2 028	49.93	1 758	40.25	85	剔除
62	66.6	201	94.9	0.33	0.125 8	0.003	6.610	0.164 4	0.376 5	0.003 6	2 040	44.75	2 061	21.97	2 060	16.74	99	
63	286	401	189.5	0.71	0.113 6	0.003	5.594	0.134 5	0.353 1	0.004 1	1 858	41.51	1 915	20.75	1 949	19.42	98	
64	29.7	48.0	19.29	0.62	0.104 1	0.003	4.437	0.145 3	0.306 7	0.003 9	1 698	65.28	1 719	27.16	1 724	19.47	99	
65	96.7	378	159.1	0.26	0.114 5	0.002	5.545	0.122 0	0.347 5	0.003 1	1 872	39.51	1 908	18.96	1 923	14.95	99	
66	198	347	153.4	0.57	0.114 2	0.002	5.410	0.123 8	0.339 8	0.003 2	1 933	38.89	1 886	19.64	1 886	15.24	99	
67	115	115	61.2	1.00	0.122 0	0.003	6.210	0.156 7	0.365 9	0.003 4	1 987	43.36	2 006	22.11	2 010	15.90	99	
68	36.9	271	109.4	0.14	0.114 1	0.003	5.460	0.126 4	0.344 2	0.003 2	1 866	41.05	1 894	19.90	1 907	15.53	99	
69	89.2	191	82.6	0.47	0.112 0	0.003	5.314	0.139 5	0.341 6	0.003 4	1 832	46.30	1 871	22.46	1 894	16.53	98	
70	57.5	114	45.2	0.51	0.105 1	0.003	4.554	0.135 8	0.311 7	0.003 3	1 717	52.78	1 741	24.86	1 749	16.17	99	
71	115	136	10.74	0.84	0.054 7	0.003	0.448	0.024 7	0.059 2	0.000 8	398	123.14	376	17.30	371	5.17	98	
72	150	223	11.32	0.67	0.046 5	0.003	0.254	0.016 1	0.039 6	0.000 5	33.4	138.88	230	13.00	250	3.23	91	
73	28.5	406	156.67	0.07	0.114 4	0.003	5.285	0.129 0	0.332 8	0.003 2	1 870	47.22	1 866	20.88	1 852	15.74	99	
74	49.0	383	153.2	0.13	0.114 6	0.003	5.425	0.128 4	0.340 9	0.003 2	1 873	41.66	1 889	20.33	1 891	15.54	99	
75	37.3	124	5.72	0.30	0.047 5	0.003	0.257	0.017 1	0.039 6	0.000 6	72.3	159.24	232	13.83	250	3.70	92	
76	60.1	46.1	23.2	1.30	0.113 8	0.004	5.134	0.160 2	0.325 7	0.003 7	1 861	55.40	1 842	26.55	1 818	18.20	98	
77	56.4	323	129.0	0.17	0.114 1	0.002	5.323	0.120 7	0.335 4	0.003 1	1 866	38.74	1 873	19.43	1 865	14.84	99	
78	189	303	120.5	0.62	0.111 5	0.003	4.592	0.110 5	0.296 6	0.002 4	1 824	39.97	1 748	20.09	1 675	12.03	95	
79	101	354	147.5	0.29	0.114 7	0.003	5.373	0.130 8	0.336 9	0.003 1	1 876	44.44	1 881	20.88	1 872	14.75	99	
80	115	366	175.6	0.31	0.132 8	0.003	6.992	0.177 7	0.379 1	0.003 8	2 135	39.66	2 110	22.62	2 072	17.59	98	
样品 ZJ45-2，晶屑玻屑凝灰岩																		
1	301	1 793	73.69	0.17	0.051 1	0.001 2	0.263 6	0.006 5	0.037 4	0.000 4	256	55.55	238	5.19	237	2.22	99	
2	130	146	26.22	0.89	0.064 0	0.002 1	1.198 8	0.041 0	0.135 9	0.001 4	739	37.96	800	18.92	821	7.82	97	
3	279	808	324.6	0.34	0.115 6	0.001 5	5.321 7	0.073 6	0.333 6	0.002 7	1 900	23.76	1 872	11.89	1 856	13.25	99	
4	140	251	107.6	0.56	0.116 0	0.001 9	5.390 3	0.086 8	0.336 9	0.002 7	1 895	28.70	1 883	13.85	1 872	12.98	99	
5	110	268	22.42	0.41	0.055 8	0.001 8	0.547 0	0.017 6	0.071 1	0.000 7	456	72.22	443	11.59	443	4.08	99	
6	309	355	36.7	0.87	0.059 3	0.001 6	0.634 4	0.015 7	0.077 8	0.000 7	589	57.40	499	9.74	483	4.06	96	
7	335	359	19.23	0.93	0.053 8	0.002 1	0.298 6	0.011 3	0.040 4	0.000 4	361	91.66	265	8.85	256	2.78	96	
8	1 208	3261	143.3	0.37	0.051 5	0.000 9	0.273 3	0.005 5	0.038 4	0.000 5	265	34.26	245	4.40	243	3.10	99	
9	519	941	45.5	0.55	0.052 0	0.001 6	0.283 7	0.008 3	0.039 6	0.000 4	287	68.51	254	6.58	251	2.38	98	
10	1 394	806	45.5	1.73	0.052 0	0.001 5	0.258 2	0.007 6	0.036 1	0.000 4	283	66.66	233	6.10	229	2.38	98	
11	444	191	14.4	2.32	0.050 5	0.002 7	0.302 0	0.016 4	0.043 4	0.000 6	217	128.69	268	12.82	274	3.50	97	
12	185	367	104.3	0.50	0.086 9	0.001 5	2.784 9	0.047 4	0.232 4	0.001 7	1 358	33.80	1 351	12.75	1 347	9.04	99	

续表 1-5

Continued Table 1-5

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度/%	备注
	Th	U	Pb		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ		
13	45.6	66.5	32.96	0.69	0.126 4	0.003 0	6.553 2	0.154 1	0.376 9	0.003 6	2 050	47.07	2 053	20.76	2 062	16.75	99	
14	162	144	14.85	1.13	0.063 8	0.003 9	0.636 9	0.038 1	0.072 9	0.001 0	744	123.91	500	23.67	454	5.73	90	
15	167	606	32.88	0.28	0.052 3	0.001 7	0.347 9	0.011 5	0.048 3	0.000 6	298	67.59	303	8.70	304	3.45	99	
16	188	243	18.40	0.77	0.053 2	0.002 3	0.435 3	0.018 2	0.059 6	0.000 7	345	98.14	367	12.88	373	4.54	98	
17	58.4	174	15.57	0.33	0.058 4	0.002 6	0.619 9	0.027 5	0.077 5	0.001 0	543	98.13	490	17.22	481	5.76	98	
18	360	646	31.85	0.56	0.051 6	0.002 4	0.286 2	0.013 0	0.040 3	0.000 4	333	102.76	256	10.22	255	2.24	99	
19	65.1	110	45.8	0.59	0.109 7	0.002 3	4.980 2	0.106 8	0.329 2	0.002 9	1 795	33.18	1 816	18.17	1 835	13.87	98	
20	109	248	20.83	0.44	0.056 9	0.002 4	0.548 5	0.022 0	0.070 5	0.000 7	487	92.59	444	14.42	439	4.46	98	
21	187	440	22.22	0.43	0.049 1	0.001 9	0.291 5	0.011 7	0.043 2	0.000 6	154	92.58	260	9.17	272	3.89	95	
22	122	299	25.78	0.41	0.058 5	0.001 7	0.586 3	0.016 9	0.072 8	0.000 7	550	62.95	468	10.80	453	4.24	96	
23	48.5	344	157.34	0.14	0.146 5	0.002 3	7.863 2	0.124 2	0.389 3	0.003 3	2 305	25.77	2 215	14.31	2 119	15.26	95	
24	154	88.7	68.8	1.74	0.163 2	0.003 1	11.064 3	0.244 8	0.490 7	0.005 9	2 500	31.48	2 529	20.68	2 574	25.40	98	
25	66.4	163	29.91	0.41	0.070 1	0.002 0	1.500 4	0.042 5	0.155 8	0.001 7	931	54.63	931	17.29	933	9.42	99	
26	897	1 519	92.1	0.59	0.053 3	0.001 2	0.361 8	0.008 6	0.049 2	0.000 4	343	47.22	314	6.38	310	2.64	98	
27	921	1 363	587	0.68	0.116 0	0.001 7	5.278 6	0.082 8	0.329 8	0.002 3	1 895	-6.02	1 865	13.45	1 837	11.05	98	
28	199	162	38.3	1.23	0.074 5	0.002 1	1.714 4	0.049 5	0.166 8	0.001 5	1 057	62.04	1 014	18.54	994	8.27	98	
29	90.7	126	82.6	0.72	0.166 3	0.003 1	11.070 5	0.207 6	0.483 0	0.004 0	2 521	31.48	2 529	17.55	2 540	17.47	99	
30	261	313	30.1	0.84	0.055 0	0.001 8	0.544 6	0.016 8	0.072 4	0.000 8	409	69.44	441	11.02	450	4.73	97	
31	136	323	15.94	0.42	0.051 5	0.002 4	0.295 9	0.013 1	0.042 0	0.000 5	261	107.39	263	10.27	265	3.29	99	
32	226	256	17.90	0.88	0.054 5	0.002 2	0.395 9	0.015 8	0.053 0	0.000 6	391	92.58	339	11.53	333	3.39	98	
33	316	467	121.7	0.68	0.078 4	0.001 7	2.197 0	0.044 8	0.203 7	0.001 7	1 167	37.96	1 180	14.26	1 195	9.27	98	
34	291	963	411.2	0.30	0.123 0	0.002 0	6.000 9	0.099 7	0.353 8	0.002 7	2 067	28.55	1 976	14.52	1 953	12.75	98	
35	134	141	7.56	0.95	0.053 1	0.003 5	0.289 3	0.018 1	0.039 8	0.000 6	332	151.83	258	14.22	251	3.96	97	
36	71.7	326	124.5	0.22	0.113 8	0.002 3	5.095 6	0.113 9	0.323 4	0.003 6	1 861	36.58	1 835	19.02	1 806	17.42	98	
37	71.4	255	136.1	0.28	0.153 6	0.002 8	9.312 2	0.217 1	0.436 9	0.005 8	2 387	31.17	2 369	21.44	2 337	26.08	98	
38	98.5	178	15.12	0.55	0.056 2	0.002 1	0.527 2	0.020 1	0.068 1	0.000 8	461	85.18	430	13.40	425	4.91	98	
39	95.0	411	169.7	0.23	0.117 0	0.002 1	5.539 2	0.099 5	0.342 5	0.002 7	1 911	31.64	1 907	15.50	1 899	13.19	99	
40	11.6	598	243.02	0.02	0.112 5	0.002 0	5.549 5	0.098 0	0.357 0	0.002 8	1 840	33.03	1 908	15.24	1 968	13.34	96	
41	225	453	191.4	0.50	0.114 2	0.002 0	5.280 3	0.098 3	0.334 4	0.002 9	1 933	32.10	1 866	15.94	1 859	14.01	99	
42	72.4	265	107.4	0.27	0.114 1	0.002 1	5.260 9	0.094 2	0.334 4	0.003 0	1 866	33.34	1 863	15.32	1 860	14.74	99	
43	400	465	26.50	0.86	0.050 6	0.001 6	0.299 9	0.009 7	0.043 1	0.000 5	220	75.91	266	7.60	272	2.89	97	
44	48.4	70.1	11.94	0.69	0.070 0	0.002 6	1.254 8	0.044 9	0.130 5	0.001 7	928	78.71	826	20.21	791	9.49	95	
45	505	737	54.7	0.68	0.053 6	0.001 4	0.429 6	0.011 1	0.058 0	0.000 6	354	57.40	363	7.87	364	3.41	99	
46	792	894	81.8	0.89	0.064 5	0.001 5	0.702 3	0.019 4	0.080 7	0.002 3	767	48.14	540	11.59	501	13.77	92	
47	102	400	31.92	0.26	0.055 6	0.001 4	0.537 2	0.014 8	0.069 9	0.000 8	439	52.77	437	9.75	436	5.09	99	

续表 1-6

Continued Table 1-6

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度/%	备注
	Th	U	Pb		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ		
48	96.6	128	21.83	0.75	0.064 7	0.002 5	1.148 0	0.043 6	0.129 5	0.001 8	765	81.48	776	20.60	785	10.00	98	
49	1 391	2 050	105.8	0.68	0.054 0	0.001 1	0.298 8	0.006 0	0.040 2	0.000 4	369	44.44	265	4.71	254	2.70	95	
50	476	1 273	1 01.5	0.37	0.053 8	0.001 3	0.498 9	0.011 3	0.067 4	0.000 7	361	53.70	411	7.67	420	4.08	97	
51	344	802	38.01	0.43	0.054 1	0.002	0.290 3	0.010 5	0.038 4	0.000 4	376	79.62	259	8.29	243	2.30	93	
52	93.5	91.2	58.2	1.03	0.147 2	0.005	8.781 3	0.278 4	0.429 5	0.005 4	2 314	54.79	2 316	28.94	2 304	24.40	99	
53	1 734	3 301	57.5	0.53	0.049 0	0.002	0.094 6	0.003 0	0.013 9	0.000 1	146	71.29	91.8	2.82	89.1	0.84	96	
54	110	391	31.77	0.28	0.055 1	0.002	0.521 4	0.018 8	0.068 1	0.000 7	417	74.99	426	12.58	425	4.03	99	
55	1 414	694	43.5	2.04	0.052 6	0.002	0.266 6	0.009 6	0.036 5	0.000 4	309	81.47	240	7.73	231	2.46	96	
56	1 321	1 007	112.2	1.31	0.057 0	0.001	0.576 6	0.014 5	0.072 9	0.000 6	500	55.55	462	9.35	453	3.62	98	
57	425	715	36.50	0.59	0.052 9	0.002	0.296 3	0.010 2	0.040 5	0.000 4	324	77.77	264	7.97	256	2.56	96	
58	338	390	23.22	0.87	0.065 4	0.003	0.388 2	0.017 5	0.042 8	0.000 6	787	90.74	333	12.78	270	3.48	79	剔除
59	94.8	181	73.3	0.52	0.114 6	0.003	4.901 4	0.152 1	0.308 3	0.004 0	1 876	53.71	1 802	26.20	1 732	19.77	96	
60	193	105	20.6	1.84	0.065 8	0.003	1.051 7	0.044 0	0.116 4	0.001 5	800	97.22	730	21.79	710	8.83	97	
61	69.0	537	220.1	0.13	0.117 9	0.003	5.638 0	0.138 9	0.345 0	0.003 1	1 924	44.44	1 922	21.29	1 911	15.05	99	
62	585	395	97.8	1.48	0.072 6	0.002	1.586 4	0.043 3	0.157 6	0.001 4	1 003	55.56	965	17.02	943	7.75	97	
63	344	525	230.7	0.65	0.115 7	0.003	5.224 5	0.128 5	0.325 5	0.002 6	1 890	44.44	1 857	21.00	1 817	12.89	97	
64	136	172	14.42	0.79	0.052 6	0.003	0.454 2	0.023 0	0.062 2	0.000 8	322	112.95	380	16.04	389	4.77	97	
65	290	349	159.9	0.83	0.114 8	0.003	5.308 6	0.157 9	0.333 1	0.003 1	1 877	48.00	1 870	25.45	1 854	14.97	99	
66	270	1 195	96.1	0.23	0.055 0	0.002	0.530 9	0.017 6	0.069 6	0.000 7	413	69.44	432	11.65	434	3.93	99	
67	332	465	294.5	0.71	0.165 1	0.005	10.404 6	0.342 5	0.454 4	0.004 4	2 509	55.56	2 471	30.54	2 415	19.46	97	
68	570	2 043	637	0.28	0.121 6	0.004	4.206 0	0.150 7	0.250 4	0.003 9	1 989	61.88	1 675	29.42	1 440	20.10	84	剔除
69	134	201	135.2	0.67	0.168 7	0.006	11.459 5	0.439 8	0.489 8	0.005 9	2 546	63.89	2 561	35.89	2 570	25.58	99	
70	169	773	89.5	0.22	0.066 2	0.003	0.925 1	0.039 7	0.100 6	0.001 1	813	89.66	665	20.92	618	6.73	92	
71	134	124	8.17	1.08	0.057 2	0.004	0.357 2	0.023 5	0.045 7	0.000 8	498	149.98	310	17.55	288	4.76	92	
72	96.0	189	153.0	0.51	0.216 5	0.009	17.669 6	0.723 9	0.587 7	0.006 8	2 955	66.36	2 972	39.42	2 980	27.85	99	
73	66.0	99.4	76.8	0.66	0.200 5	0.008	15.234 1	0.601 0	0.547 5	0.006 3	2 831	65.28	2 830	37.64	2 815	26.42	99	
74	167	221	80.8	0.75	0.097 8	0.004	3.699 2	0.143 2	0.272 3	0.002 8	1 583	72.38	1 571	30.95	1 552	14.35	98	
75	94.6	227	97.5	0.42	0.114 7	0.004	5.411 4	0.196 4	0.339 5	0.003 5	1 876	64.97	1 887	31.12	1 884	16.72	99	
76	455	405	23.7	1.12	0.053 5	0.003	0.299 3	0.014 2	0.040 3	0.000 5	350	105.55	266	11.11	254	2.92	95	
77	287	472	27.63	0.61	0.051 4	0.002	0.334 2	0.013 3	0.046 9	0.000 7	261	92.58	293	10.11	296	4.24	98	
78	72.2	219	92.8	0.33	0.114 0	0.003	5.435 5	0.155 1	0.342 8	0.003 4	1 865	50.77	1 890	24.51	1 900	16.55	99	
79	340	360	22.60	0.94	0.051 5	0.002	0.325 4	0.013 7	0.045 7	0.000 5	265	97.21	286	10.50	288	3.31	99	
80	83.3	341	143.8	0.24	0.113 3	0.003	5.533 7	0.153 7	0.350 6	0.004 0	1 854	48.15	1 906	23.92	1 937	18.98	98	
81	73.7	166	11.21	0.44	0.061 6	0.003	0.468 7	0.022 1	0.055 0	0.000 8	659	105.54	390	15.27	345	5.08	87	剔除
82	9.55	107	76.03	0.09	0.165 9	0.004	13.600 5	0.383 7	0.588 8	0.008 5	2 516	44.60	2722	26.75	2 985	34.36	90	

之间,主峰值年龄为 253.4 Ma 和 450.8 Ma,存在 791 Ma 和 1 913.8 Ma 多个次级年龄峰值(图 6e、6f)。其中,7 个最年轻的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 239.4± 7.9 Ma(MSWD=11.4, n=7),即中三叠世晚期。

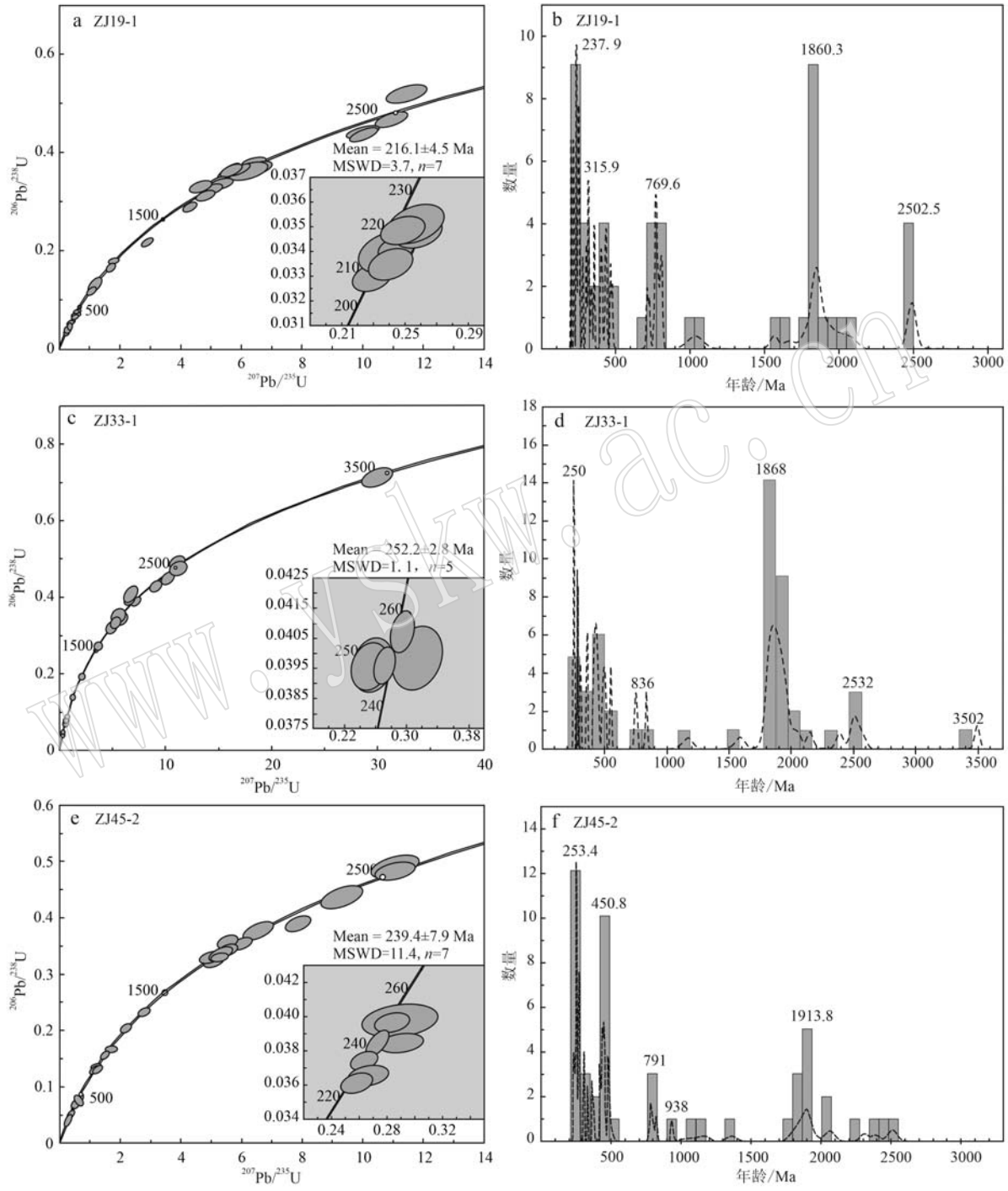

图 6 珠街萤石-锑矿区凝灰岩中锆石 U-Pb 年龄谐和图(a、c、e)及表面年龄频率直方图(b、d、f)

Fig. 6 U-Pb age concordant diagrams(a, c, e) and surface age frequency histograms (b, d, f) of the tuffaceous zircons from the Zhujie fluorite-antimony ore field

4　讨论

4.1　含矿岩系的沉积时代

根据区域地质资料，兰坪盆地内及周缘区域的三叠纪地层相变较大，已建立了多个岩组，且认为全区缺失下三叠统（云南省地质局，1975）❶。而区域性构造破坏又使得这些地层发生肢解或者构造移位或者出露不全，致使其在包括笔架山矿集区在内的地段的层序不清，有关萤石-锑矿床含矿岩系的沉积时代及归属尚存疑问。已有资料还显示，南涧-云县-凤庆一带原划定上三叠统内断续分布有火山岩，在弥渡德苴大板桥剖面的上三叠统中存在厚度大于 807.1 m 的灰绿-暗绿色厚层状中基性火山角砾岩、安山-玄武质晶屑岩屑凝灰岩、凝灰角砾岩夹细砂岩及泥岩，这也表明区域上同期沉积地层内普遍产有厚薄不一的火山岩组合。云南省地质局（1975）❶据化石确定其沉积时代确定为晚三叠世早期。

本次在 T_3s^3 顶部含矿硅质岩中凝灰岩（样品 ZJ45-2）新测得的最年轻锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄组的加权平均年龄为 239.4 Ma（图 6c），而且除极个别古老年龄锆石具有一定的磨圆特点（图 5c 的 24、39 测点）外，最年轻组锆石均晶形完整，或呈棱角-次棱角状，显示其未经历长距离的搬运；同时，凝灰岩显微特征呈现出以晶屑为主、未见沉积岩岩屑的特点（图 4f、4g）。而晶屑一般是由早期结晶的斑晶碎裂或火山通道围岩破碎后形成的，可以推测，区内凝灰岩的母质熔浆是在上升过程中沿途捕获中下地壳岩石的残留锆石，并随火山喷发物就近堆积而形成的。结合其产出特点、特征的凝灰结构、流体蚀变及其下伏细晶灰岩富含火山晶屑分析，指示了这套硅质岩-凝灰岩组合是近源火山喷发的同期沉积物，最年轻的锆石 U-Pb 年龄可以代表该凝灰岩层的沉积年代。因而，这套与硅质岩互层产出的凝灰岩沉积时代限定为中三叠世晚期。这一时代也能得到珠街矿区外围地区古生物地层学研究结果（云南省地质局，1975）❶的支持。

区域对比和古生物化石分析表明，巍山一带 T_3wl、T_3m 的沉积时代归入晚三叠世早至中期（云南省地质局，1975❶；云南省地质矿产局，1990，1996），且为海侵后期的浅海相或海陆交互相沉积（肖雄，2014；赵亚男，2015）。本次报道的 T_3m 下部碎屑岩中上、下两层凝灰岩锆石最年轻 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄组的加权平均年龄分别为 216.1± 4.5 Ma 和 252.2± 2.8 Ma，并具有相似的继承锆石年龄谱（图 6a、6b），绝大部分锆石均呈棱角-次棱角状，部分最年轻锆石边部还具熔蚀现象（图 5a 的 55 测点），显示其物源未经历长距离的搬运，代表了源区岩浆岩剥蚀堆积的产物，限定其源区岩浆岩活动时期几乎贯穿了整个三叠纪。区域地质资料显示，上三叠统底界为一角度不整合（Burchfiel and Chen，2013），其上覆岩层发育开阔褶皱，而下伏地层变形表现为紧闭、倒转褶皱，发育密集轴面劈理，具有明显不同的构造变形样式（Yang *et al.*，2014）。这指示，区域内的晚三叠世沉积岩与前晚三叠世火山-沉积岩形成于不同的构造背景，其间存在一定的构造转换事件，T_3m 可能来自盆地边缘早期弧岩浆岩源区的隆升剥蚀，也可能存在晚三叠世同期火山喷发活动的物源补给。因而，珠街矿区一带下伏于挖鲁八组之下的三合洞组顶部硅质岩-凝灰岩含矿岩系，应划归中三叠世晚期而非晚三叠世沉积；挖鲁八组和麦初箐组则归属晚三叠世沉积。当然，不排除区内存在晚三叠世时期的火山活动。

4.2　凝灰岩可能的形成环境

在维西至云县之间的兰坪盆地区域，总体被晚中生代-新生代沉积岩所覆盖（图 1a），古特提斯阶段火山岩主要出露于兰坪盆地两侧基底岩系中。近年来，大量锆石测年数据（简平等，2003；Wang *et al.*，2010；王保弟等，2011；Yang *et al.*，2012b，2014；Zi *et al.*，2012；范金伟等，2014；梁明娟等，2015；唐靓等，2016；Xin *et al.*，2018；杨天南等，2019；李守奎等，2022）表明，这套火山岩形成于 254~240 Ma 之间短暂时间内，形成了一个完整的火山岩带。我们前期开展的区域地质调查结果（梁明娟等，2015；唐靓等，2016；Xin *et al.*，2018；杨天南等，2019）表明，这套火山岩断续出露于维西雪龙山（Xin *et al.*，2018）、兰坪通甸-剑川马登（梁明娟等，2015；唐靓等，2016）及剑川弥沙-洱源牛街（梁明娟等，2015）一线，以流纹岩、英安岩为主夹少量玄武岩，厚度大于 1 500 m，并不整合覆盖在一套强烈变形的晚二叠世碎屑岩、碳酸盐岩组合上（Yang *et al.*，2014；唐靓等，2016；Xin *et al.*，2018）。同

❶ 云南省地质局. 1975. 1∶20 万巍山幅区域地质调查报告，1~145.

时,还发育大量与火山岩近同期的花岗岩侵入体,锆石测年结果揭示其侵位时间集中于248~244 Ma之间(Yang *et al.*, 2014; Xin *et al.*, 2018)。这表明,该岩浆岩带是发育于扬子地块西缘的陆缘弧岩浆岩带的组成部分,火山活动之初地壳处于挤压缩短环境,是长时期幕次式火山喷发的产物,而花岗岩侵位前夕挤压应力消失(Xin *et al.*, 2018)。进一步综合研究表明,上述岩浆岩共同构成了广泛分布于"三江"造山带内的江达-维西-云县弧岩浆岩带的一部分(图1a),并表现出从北往南岩浆活动历史逐渐变长(70~30 Ma; 杨天南等, 2019),穿时性特点突出。而以往认为,兰坪盆地东缘火山岩带形成于晚三叠世,不能与江达-维西弧岩浆岩带建立关联。梁明娟(2016)经系统调查分析,提出兰坪盆地发育上二叠统-中三叠统陆缘弧火山-沉积岩,构成江达-维西-云县弧岩浆岩带的一部分,而上三叠统主要由海陆交互相碎屑岩-碳酸盐岩组成,分别代表了古特提斯构造演化的不同阶段沉积。本文报道的T_3s^3顶部含矿凝灰岩年龄与已发表火山岩测年数据基本一致,3件凝灰岩样品锆石U-Pb定年的最年轻年龄峰值为253.4~237.9 Ma(图6)。

岩浆锆石中微量元素(如Y、Th、U、Nb、Ta)能很好地反映其岩石类型和结晶环境,常被用于判别其载体岩石形成的区域构造背景(Belousova *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2012a; Drabon *et al.*, 2024)。通过统计大量的岩浆岩锆石微量元素特征,利用Y-Yb/Sm与Y-U图解可区分出不同类型锆石微量元素特征组合(Belousova *et al.*, 2002)。本文测试的3件凝灰岩样品锆石微量元素分析与U-Pb定年同步完成(表2),其中测试样品最年轻年龄组锆石均落入花岗岩类区,并与镁铁质岩区重叠(图7a、7b)。其次,锆石稀土元素总量(ΣREE)都较高(22ZJ19-1为536.7 $\times10^{-6}$~2 417.0 $\times10^{-6}$, 22ZJ33-1为620.9 $\times10^{-6}$~946.7 $\times10^{-6}$, 22ZJ45-2为792.3 $\times10^{-6}$~1 451.5$\times10^{-6}$),与Belousova等(2002)报道的花岗岩类锆石微量元素特征相当。同时,在锆石U、Th、Nb、Hf构造背景判别图解(Yang *et al.*, 2012a)中,样品投点虽略有分散,但大部分落入岩浆弧区域(图7c)。因而,珠街一带T_3s^3上部凝灰岩的物源区推测为古特提斯洋俯冲增生有关弧岩浆岩带的同源火山物质,代表了火山喷发同期的近源沉积物。

我们在兰坪盆地东北缘的通甸菜籽地-老君山-剑川麻栗箐一带的调查也发现,原划定上三叠统石钟山组(T_3sh)灰岩夹少量泥灰岩整合覆盖于中三叠统攀天阁组(T_2p)火山岩之上,其下部层位与T_2p流纹岩薄层互层产出。同时,T_3sh中流纹岩夹层及下伏巨厚的多旋回火山岩(流纹岩为主)的锆石U-Pb测年结果(杨天南等, 2019)显示,其沉积时代不早于235 Ma。根据珠街矿区一带火山喷发于252.2~216.1 Ma(图5、图6),与区域上江达-维西-云县弧岩浆年龄(年龄范围为270~230 Ma,有明显的258、247和234 Ma这3个峰期年龄)相仿,且与其弧岩浆岩具有基本相同的继承锆石年龄谱,因而两者可能处于同一构造带内。兰坪盆地在中三叠世-晚三叠世时期整体处于洋壳俯冲增生的构造背景,并在岩浆活动间隙期沉积了陆缘碎屑岩(富含植物碎片)及碳酸盐岩夹层。

综上,可以认为珠街一带的中晚三叠世陆缘碎屑岩夹同时代火山凝灰岩及灰岩(含大量植物碎片)构成了一套分布广泛的陆缘弧盆地沉积建造,其形成于古特提斯洋俯冲增生背景。本文的锆石测年数据也表明,珠街萤石-锑矿床赋矿围岩的形成时代与弧火山岩同步。这进一步佐证,古特提斯洋俯冲沿垂向上存在差异性的闭合过程,俯冲上盘盆地基底发生差异性沉陷和古地貌格局变化,从而导致陆缘弧盆地充填物的明显变化。显然,区内三叠纪盆地的沉降充填、地层发育与"三江"造山带的古特提斯洋盆的构造演化过程之间必然存在成因关联,并记录了多阶段的盆山转换事件。三叠纪地层厘定和盆地原型恢复,可为探讨该时期区域地质演化和成矿作用等提供新依据。

4.3 成矿时代与找矿意义

在兰坪盆地西南部,已勘查发现10余个锑多金属矿床,尤以笔架山矿集区的笔架山萤石-锑矿床最具代表性。前人已从矿床地质和同位素地球化学角度对该矿床进行了较为深入研究,大多认为成矿与喜马拉雅期花岗岩期后热液有关,并将其归入浅成低温热液矿床(董方浏, 2002; 王勇等, 2006; 丁星妤等, 2015)或沉积-改造型层控矿床(范朝俊, 1991; 常开永, 2007; 佟子达等, 2016; 佟子达, 2018),其成矿流体来源也存在岩浆热液与大气降水混合(范朝俊, 1991; 肖昌浩, 2013; 肖昌浩等, 2016)和盆地热卤水(常开永, 2007)两类观点。这些分歧大大制约了区域矿产资源评价与找矿勘查工作的推进。

本次对珠街田坝心-肚故皮矿区含矿岩系中凝

表 2　滇西珠街萤石-锑矿区凝灰岩中锆石微量元素分析结果　　$w_B/10^{-6}$

Table 2　Analysis results of the zircon trace elemental contents of tuffs from the Zhujie fluorite-antimony ore field, western Yunnan Province

测点	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	δEu	δCe	ΣREE	LREE/HREE
样品 ZJ19-1, 岩屑晶屑玻屑凝灰岩																								
1	178	5.63	353	1.09	0.00	2.05	0.01	0.20	0.60	0.05	5.99	2.31	27.9	10.6	49.8	10.8	102	22.8	12 718	1.98	0.05	71.55	235.3	0.01
2	1 860	35.6	3 837	1.43	0.39	7.09	1.20	14.6	33.9	14.24	178	49.6	443	127	468	87.2	690	130	11 091	0.56	0.45	1.62	2 245.2	0.03
3	331	7.52	1 407	5.22	0.02	27.0	0.11	2.72	5.00	1.46	32.6	10.9	130	46.4	196	38.5	330	64.0	9 067	1.58	0.26	69.32	885.6	0.04
4	6 342	5.69	376	0.70	144.08	286	27.67	101	13.3	1.81	13.9	3.33	31.1	11.6	57.7	13.2	130	30.0	10 057	0.24	0.40	1.04	864.6	1.97
5	186	5.44	682	5.47	0.00	12.4	0.04	1.07	2.96	0.09	15.3	5.17	62.1	23.6	106	21.2	190	37.9	10 232	2.11	0.03	101.90	478.0	0.04
6	638	2.01	1 768	3.10	0.00	4.74	0.04	1.10	3.68	0.83	28.6	12.1	156	62.7	285	61.1	531	108	12 514	2.78	0.17	34.16	1 255.6	0.01
7	345	3.34	1 085	5.74	0.04	36.8	0.06	1.46	3.19	1.01	20.1	7.34	87.3	34.2	160	36.8	349	76.3	10 530	2.73	0.30	150.09	813.3	0.06
8	237	15.6	371	0.91	0.02	8.90	0.16	2.14	4.07	0.14	13.5	3.86	41.5	12.9	53.4	10.5	85.6	16.5	11 790	0.43	0.05	16.74	253.1	0.06
9	236	2.92	785	1.65	0.01	20.7	0.12	2.06	3.33	0.29	17.2	5.94	71.7	27.5	123	25.8	232	47.6	8 981	0.63	0.09	50.09	576.3	0.05
10	566	3.61	1 407	5.16	0.78	11.1	0.47	4.62	12.2	6.14	54.7	15.5	149	48.8	199	39.9	338	67.3	12 255	3.54	0.61	4.37	947.1	0.04
11	698	8.15	1 415	0.61	0.00	1.35	0.04	0.94	3.47	0.05	24.9	9.40	119	48.1	216	45.6	398	78.0	12 022	0.64	0.01	11.00	945.1	0.01
12	200	4.60	1 055	0.83	0.02	17.9	0.34	5.80	6.19	2.22	28.7	8.41	94.8	35.3	162	35.0	335	75.0	9 034	0.55	0.42	15.88	806.6	0.04
13	540	11.0	1 004	0.56	0.00	1.29	0.10	1.35	2.82	0.07	19.7	6.95	88.8	33.8	151	31.3	269	55.3	11 555	0.39	0.02	3.96	661.7	0.01
14	314	6.23	3 219	4.21	0.06	6.94	0.52	10.4	20.7	3.52	101	29.8	328	114	463	87.9	713	140	7 960	1.60	0.19	3.95	2 018.7	0.02
15	241	4.14	817	1.44	0.04	50.8	0.17	3.77	6.59	2.96	27.1	6.99	71.6	24.2	105	22.4	211	44.5	9 474	0.36	0.58	84.69	576.5	0.13
16	281	5.43	1 317	3.48	0.11	57.4	0.17	2.55	6.20	2.52	30.6	10.1	113	42.8	191	41.5	394	84.9	9 851	0.96	0.46	84.67	978.2	0.08
17	258	8.55	1 024	2.23	0.01	17.0	0.12	2.00	4.16	0.73	19.8	6.78	83.2	33.7	163	35.3	341	75.8	9 769	0.88	0.20	42.37	782.5	0.03
18	315	5.56	1 790	34.4	0.00	16.9	0.12	2.36	5.79	0.11	37.4	14.0	164	63.3	272	53.7	445	83.6	11 048	9.88	0.02	44.02	1 159.4	0.02
19	279	4.79	991	4.49	0.00	41.8	0.04	0.92	1.97	0.62	14.9	5.69	77.5	32.7	158	36.6	345	73.8	10 322	1.98	0.25	325.76	789.3	0.06
20	585	9.87	1 162	1.43	0.02	3.88	0.08	2.45	5.24	0.16	30.2	10.1	109	40.2	170	33.7	293	57.8	10 378	0.99	0.03	13.96	755.7	0.02
21	307	7.45	1 189	4.25	0.02	14.9	0.14	2.22	4.01	0.54	25.3	8.25	101	40.2	190	39.9	371	81.1	8 293	1.33	0.12	31.41	879.6	0.03
22	254	5.02	926	2.60	0.02	31.8	0.06	1.58	3.40	0.40	19.1	6.80	80.4	30.9	143	29.9	266	56.1	11 119	1.10	0.12	153.95	669.0	0.06
23	247	3.09	956	5.40	0.00	5.95	0.06	1.33	5.71	0.67	36.5	10.9	108	32.6	117	20.9	165	31.7	11 873	2.24	0.11	30.49	536.8	0.03
24	171	2.81	435	0.73	0.15	9.30	0.04	0.82	1.48	0.42	7.84	2.47	32.4	13.3	66.4	15.6	163	39.5	10 507	0.38	0.30	28.32	353.1	0.04
25	363	8.36	912	3.65	0.02	22.2	0.05	0.75	3.05	0.35	16.6	6.23	75.8	30.0	143	32.0	299	62.8	12 476	2.90	0.12	123.92	691.8	0.04
26	407	2.63	739	3.78	10.57	48.8	3.44	17.3	6.90	0.46	22.7	6.57	69.7	25.0	114	23.7	210	43.3	9 999	1.22	0.10	1.97	601.5	0.17
27	269	16.3	630	0.82	0.00	2.88	0.12	1.70	3.26	1.44	16.9	5.43	61.6	22.7	98.0	19.5	173	36.8	8 913	0.48	0.48	7.54	443.2	0.02
28	310	14.4	379	1.20	0.01	0.59	0.00	0.35	2.21	0.40	19.6	7.94	63.8	11.8	26.1	3.30	22.2	3.56	12 898	1.05	0.12	51.81	161.9	0.02
29	1 380	11.1	3 218	2.07	1.54	10.8	1.48	14.2	34.5	22.20	131	34.2	327	106	425	82.1	691	135	10 530	0.99	0.89	1.60	2 016.0	0.04
30	468	7.08	1 148	0.90	0.01	2.45	0.21	2.82	4.75	0.35	28.2	8.71	104	39.6	182	37.0	336	71.5	9 246	0.58	0.07	3.49	816.7	0.01
31	429	14.9	3 447	19.7	0.06	282	1.21	20.0	33.0	10.11	123	34.5	355	116	468	89.0	743	142	7 874	2.94	0.43	70.71	2 417.0	0.17
32	218	4.90	1 146	4.75	0.00	52.5	0.08	1.54	4.06	1.09	24.0	7.91	94.6	36.8	166	37.5	347	75.2	10 078	2.66	0.26	201.21	847.9	0.08
33	147	5.94	305	0.50	0.00	3.53	0.02	0.55	1.57	0.20	6.80	2.42	26.5	10.5	46.5	9.63	86.8	18.9	8 237	0.27	0.16	70.19	213.9	0.03
34	813	7.65	1 808	1.05	0.00	1.71	0.18	3.76	6.75	0.27	41.2	15.0	177	63.8	269	51.3	442	86.6	10 487	0.47	0.04	2.87	1 158.0	0.01
35	842	3.78	1 703	2.42	0.02	5.38	0.01	0.23	1.39	0.20	13.1	6.70	109	53.4	307	78.4	801	170	12 492	2.47	0.10	107.98	1 546.7	0.00

续表 2-1

Continued Table 2-1

测点	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	δEu	δCe	ΣREE	LREE/HREE
36	341	5.76	1 141	2.09	0.00	17.8	0.07	1.27	2.80	1.05	19.2	7.05	90.8	36.2	175	38.8	383	86.2	9 128	0.81	0.32	78.58	859.0	0.03
37	263	4.71	1 441	7.33	0.09	45.5	0.13	2.42	3.64	1.31	22.4	7.44	99.6	42.3	226	55.3	584	142	11 239	2.10	0.34	84.09	1 231.3	0.05
38	719	10.9	1 509	0.66	0.01	1.07	0.09	1.45	5.84	0.12	35.8	13.1	149	50.6	211	41.5	349	67.5	11 831	0.56	0.02	3.66	926.0	0.01
39	588	16.8	1 245	1.01	0.12	2.02	0.12	1.69	4.78	0.83	28.6	9.82	117	41.2	177	36.8	318	62.7	11 952	0.68	0.17	3.78	800.5	0.01
40	556	2.63	1 734	5.37	1.00	48.6	0.34	2.57	5.50	1.82	32.6	11.4	143	57.5	263	59.8	567	124	10 104	2.24	0.32	20.36	1 318.6	0.05
41	235	7.55	671	3.16	0.00	24.5	0.06	1.23	2.63	0.22	14.0	4.83	58.5	22.4	104	22.0	192	39.7	10 536	1.63	0.09	115.11	485.9	0.06
42	139	12.5	192	0.63	0.01	9.02	0.03	0.50	1.06	0.08	5.06	1.51	17.0	6.27	26.4	5.54	51.8	10.5	10 607	0.31	0.09	97.87	134.8	0.09
43	278	11.6	811	2.49	0.05	16.5	0.04	1.38	2.59	0.57	15.2	5.31	67.8	26.4	127	27.8	261	56.6	9 718	1.18	0.22	84.54	608.1	0.04
44	330	25.4	2 186	3.49	0.10	42.5	0.33	6.16	10.9	3.31	50.8	16.6	189	69.7	318	68.9	653	139	10 622	1.60	0.36	35.90	1 567.9	0.04
45	414	2.4	1 185	6.96	0.00	37.20	0.06	1.62	3.15	0.38	22.4	8.29	100	40.0	187	39.8	384	79.0	10 608	2.37	0.10	180.08	902.9	0.05
46	768	6.30	726	1.68	3.98	25.3	1.22	6.10	3.71	0.53	15.2	5.3	61	23.3	109	23.3	219	46	11 148	1.06	0.19	2.79	543.9	0.08
47	1 226	10.49	2 154	0.71	0.00	1.5	0.05	1.78	5.12	0.12	38.1	14.36	185.5	73.3	334	68.9	600	121.1	12 259	0.51	0.02	9.31	1 443.8	0.01
48	1 758	8.5	3 949	0.96	0.05	3.32	0.45	6.78	11.83	0.32	67.0	24.92	325	134.0	597	119.3	1018	192.4	10 502	0.69	0.03	2.22	2 499.4	0.01
49	361	13.15	696	2.49	0.01	13.9	0.18	2.04	4.30	0.72	17.8	5.7	64	23.6	105	21.8	201	42	10 027	1.19	0.22	23.71	501.5	0.04
50	1 276	8.16	2 220	1.23	0.00	1.0	0.04	0.72	3.46	0.09	28.4	12.79	178.8	74.7	354	76.0	685	133.5	12 749	0.88	0.02	7.38	1 548.1	0.00
51	735	9.2	1 763	2.46	14.09	41.01	0.34	2.33	4.50	1.39	30.6	10.69	143	60.4	283	62.8	613	133.7	10 785	0.73	0.27	2.13	1 401.1	0.05
52	352	4.53	409	0.89	0.01	2.8	0.02	0.30	1.48	0.14	10.7	4.2	44	13.0	48	9.3	83	17	13 449	0.72	0.08	45.22	232.8	0.02
53	620	8.97	1 633	4.93	0.03	30.9	0.16	2.75	7.92	4.65	56.1	17.57	177.6	55.4	219	43.1	385	73.7	11 440	1.72	0.49	57.23	1 074.3	0.05
54	1 679	4.1	1 493	3.56	0.01	1.31	0.02	0.44	1.16	0.84	9.6	5.36	97	49.7	293	84.7	979	221.7	13 034	4.14	0.53	14.39	1 743.9	0.00
55	159	3.72	590	2.60	0.05	54.0	0.11	1.97	3.31	1.59	15.6	4.5	49	17.5	79	17.7	171	38	10 462	0.84	0.56	127.40	451.9	0.16
56	915	1.98	2 328	3.30	1.23	20.0	0.83	8.46	10.6	1.83	56.8	19.6	229	84.9	359	70.6	611	119	8 904	1.29	0.18	4.70	1 593.0	0.03
57	608	2.18	1 704	12.3	0.88	36.2	0.36	3.07	5.28	0.11	36.2	12.7	152	58.2	256	53.9	496	101	11 079	3.81	0.02	15.83	1 212.1	0.04
58	549	5.65	2 132	9.81	0.16	9.67	0.16	3.73	7.80	0.26	45.8	16.1	202	76.8	332	65.0	552	103	9 596	3.95	0.03	13.21	1 415.0	0.02
59	1 236	291	3 557	2.30	0.35	8.64	0.82	9.69	26.2	13.2	155	45.4	416	120	423	75.1	592	107	11 494	0.53	0.49	2.79	1 992.4	0.03
60	527	8.66	677	2.69	0.006	24.2	0.080	1.73	3.19	0.85	15.4	5.27	60.3	22.2	101	21.7	205	43.9	8 397	1.04	0.30	90.75	504.3	0.06
61	562	41.7	874	2.15	0.12	4.30	0.14	2.43	5.19	0.67	29.0	8.83	90.1	28.9	112	20.5	174	34.3	10 529	0.77	0.13	7.10	510.4	0.03
62	909	9.04	1 707	0.99	0.00	1.63	0.092	1.09	4.49	0.20	31.2	11.9	155	58.5	258	51.8	453	87.7	11 339	0.74	0.04	5.53	1 114.0	0.01
63	688	6.33	874	0.89	0.14	1.75	0.21	1.82	4.31	0.64	31.9	11.4	108	28.3	94.3	16.1	128	22.4	12 257	0.51	0.12	2.05	449.3	0.02
64	1 124	2.84	213	0.62	10.7	35.5	2.63	11.1	2.36	0.51	6.01	1.54	18.3	6.59	31.7	7.28	77.9	17.6	10 819	0.47	0.40	1.59	229.8	0.38
65	520	8.48	1 090	1.86	0.18	18.4	0.20	2.96	6.34	1.16	27.6	8.75	100	36.6	160	32.8	298	60.7	9 028	0.81	0.23	20.93	754.0	0.04
66	925	8.57	1 648	1.31	0.039	1.74	0.072	1.02	2.71	0.19	20.7	9.55	131	55.5	273	62.3	606	127	11 469	1.36	0.05	6.20	1 291.2	0.00
67	3 829	164	1 303	11.0	7.46	66.7	15.1	143	255	228	824	206	1675	429	1465	260	2033	338	12 041	3.67	1.39	1.14	7 945.9	0.10
68	529	3.56	2 128	1.96	0.42	22.1	0.72	11.3	16.0	3.51	67.8	19.8	218	78.7	327	63.1	541	107	8 496	0.54	0.28	7.68	1 476.0	0.04
69	449	4.59	412	1.52	0.10	17.3	0.31	2.41	2.38	0.68	8.24	2.83	33.7	12.6	61.9	14.3	150	33.3	10 539	0.71	0.42	15.13	339.7	0.07
70	464	6.80	977	3.31	0.025	32.9	0.066	1.47	2.88	1.09	18.9	6.44	78.0	30.6	147	32.9	320	68.1	10 337	2.05	0.34	134.69	740.0	0.05
71	523	10.7	1 480	0.99	0.016	9.71	0.18	2.74	6.10	0.76	36.0	11.9	140	52.0	222	43.2	370	70.2	7 844	0.46	0.12	16.17	965.0	0.02

续表 2-2

Continued Table 2-2

测点	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	δEu	δCe	ΣREE	LREE/HREE
72	672	6.34	1 214	0.90	0.026	12.0	0.18	2.98	5.92	1.29	30.5	10.3	115	40.1	173	35.5	322	65.5	11 084	0.64	0.24	19.32	814.3	0.03
73	562	2.95	599	1.99	1.90	14.0	0.65	3.53	2.01	0.20	10.1	3.62	47.6	19.3	95.7	21.1	214	46.6	10 097	1.24	0.11	3.07	479.9	0.05
74	616	3.98	1 452	2.32	1.94	17.3	0.91	8.95	9.83	0.57	44.9	13.2	147	52.2	220	43.3	390	76.9	8 778	0.96	0.07	3.17	1 026.3	0.04
75	529	7.84	1 053	10.2	7.21	141	1.84	9.28	11.5	3.59	48.3	12.9	121	37.2	136	24.6	202	37.8	9 049	2.10	0.40	9.24	793.8	0.28
76	466	4.14	1 038	8.54	0.27	50.3	0.12	1.55	3.30	1.02	18.3	6.69	82.8	32.6	154	34.8	359	78.6	9 903	3.22	0.32	68.98	823.4	0.07
77	612	4.99	773	1.18	0.004	3.31	0.031	0.42	1.88	0.039	11.5	4.75	62.5	26.3	123	26.9	256	52.1	11 238	0.70	0.02	31.17	569.8	0.01
78	636	3.57	1 390	2.56	0.022	14.5	0.21	4.05	8.29	2.25	40.3	12.6	132	45.7	195	39.4	361	72.5	9 242	1.09	0.31	20.31	928.4	0.03
79	464	2.41	605	2.57	0.011	26.5	0.057	0.99	1.80	0.77	10.9	3.56	44.0	18.5	90.7	21.8	224	50.6	9 907	1.43	0.41	134.85	494.0	0.06
80	531	7.97	1450	0.98	0.022	5.90	0.13	2.38	6.65	0.46	40.9	12.7	144	51.9	211	40.3	343	65.0	10 350	0.68	0.07	12.88	923.7	0.02
样品 ZJ33-1，岩屑晶屑玻屑凝灰岩																								
1	237	4.70	693	2.23	0.00	11.7	0.02	0.39	0.97	0.19	8.03	3.51	48.6	21.6	114	27.2	280	63.0	13 150	1.85	0.15	201.29	580.0	0.02
2	276	13.2	583	3.65	0.02	17.1	0.07	1.35	2.30	0.16	12.8	4.60	55.3	20.3	94.7	19.5	178	36.3	11 649	1.87	0.07	65.60	442.3	0.05
3	388	39.7	816	1.77	0.01	5.77	0.03	0.95	2.50	0.23	15.7	5.58	68.9	28.0	132	29.0	268	57.0	12 112	1.05	0.09	57.58	613.8	0.02
4	314	4.93	629	1.11	0.51	17.7	0.18	1.57	2.84	0.59	14.3	4.63	56.0	21.0	96.1	19.6	184	37.8	11 042	0.60	0.23	14.38	457.0	0.05
5	91.6	1.75	319	0.68	0.00	7.61	0.03	0.19	0.38	0.30	3.39	1.32	17.4	9.27	55.6	15.3	198	61.8	11 239	0.21	0.55	85.79	370.3	0.02
6	239	15.2	560	1.01	0.01	5.83	0.09	1.18	2.04	0.05	12.0	4.36	52.4	19.4	88.8	16.9	151	29.8	12 502	0.64	0.02	18.50	383.8	0.02
7	958	6.19	1 812	1.51	0.00	0.92	0.05	1.23	4.75	0.07	36.7	15.1	176	61.1	252	46.7	381	72.0	12 349	0.52	0.01	5.16	1 046.9	0.01
8	558	5.21	1 715	4.89	0.00	9.94	0.07	2.22	4.75	0.52	33.5	12.3	151	58.9	276	58.1	536	108	11 255	2.60	0.09	41.37	1 251.3	0.01
9	208	5.82	632	3.24	0.02	8.43	0.05	1.01	2.53	0.14	13.4	4.76	55.8	22.6	103	21.7	202	43.2	13 859	2.21	0.06	48.15	478.8	0.03
10	242	3.30	2 812	14.6	0.00	24.9	0.00	0.72	2.62	2.05	33.9	14.1	201	86.8	434	98.4	971	216	13 164	2.46	0.39	2 399.13	2 086.4	0.01
11	452	10.2	1 207	0.67	0.01	2.37	0.11	1.91	5.12	0.41	28.2	9.54	114	42.8	194	38.3	334	70.1	10 166	0.38	0.08	6.72	841.2	0.01
12	301	4.97	796	2.31	0.00	22.2	0.07	1.03	2.55	0.68	14.4	5.03	61.5	25.6	128	29.3	291	66.5	9 294	1.11	0.27	104.30	648.2	0.04
13	264	8.55	623	1.08	0.02	20.2	0.03	1.51	3.39	0.71	16.8	5.13	57.8	20.2	89.0	17.9	157	33.2	10 912	0.69	0.23	148.13	422.8	0.07
14	683	12.9	1 640	0.71	0.01	3.03	0.15	3.22	6.66	0.15	40.9	13.8	159	56.4	241	46.6	392	75.2	11 705	0.50	0.02	5.94	1 037.5	0.01
15	691	5.14	1 336	0.64	0.00	0.82	0.04	1.04	4.14	0.04	31.2	11.9	135	44.4	174	32.5	276	52.2	12 990	0.54	0.01	6.92	762.1	0.01
16	1035	9.64	2 098	0.58	0.01	1.25	0.09	1.80	6.03	0.08	39.5	15.9	185	71.3	311	61.2	515	102	12 074	0.50	0.01	4.03	1 310.1	0.01
17	1108	6.89	2 368	1.40	0.00	0.77	0.04	0.69	2.72	0.01	26.1	12.5	182	78.6	392	83.6	778	157	13 099	1.24	0.00	6.14	1 713.6	0.00
18	191	12.3	240	0.86	0.00	10.9	0.09	1.10	2.34	0.13	8.41	2.46	25.5	8.29	34.5	6.85	57.1	11.7	10 450	0.37	0.08	35.92	169.4	0.09
19	780	14.9	1 836	0.71	0.01	2.87	0.14	3.21	7.51	0.16	47.3	15.5	176	64.1	273	51.8	434	83.9	12 018	0.44	0.02	6.02	1 159.0	0.01
20	649	10.5	896	0.83	0.01	0.34	0.00	0.15	0.93	0.20	10.8	5.11	73.9	29.0	134	28.5	266	54.1	13 982	1.02	0.12	12.92	602.9	0.00
21	455	15.7	822	0.98	0.01	3.99	0.11	1.52	3.40	0.10	17.0	6.17	71.5	27.8	128	25.5	232	45.7	11 284	0.92	0.03	10.86	562.1	0.02
22	200	16.8	523	1.08	0.02	18.0	0.06	1.08	2.21	0.69	13.3	3.70	42.5	16.6	78.4	17.1	167	37.3	10 118	0.68	0.30	83.10	397.6	0.06
23	226	18.5	521	0.96	0.01	18.0	0.04	0.70	1.77	0.96	9.93	3.48	41.6	16.1	78.4	18.7	193	45.8	11 442	0.65	0.55	112.10	428.4	0.05
24	272	15.9	216	0.61	0.00	0.80	0.02	0.36	1.22	0.11	9.80	2.92	25.4	6.89	26.5	4.84	43.0	9.19	12 938	0.37	0.07	9.65	131.0	0.02
25	178	35.7	564	1.53	0.33	20.1	0.17	1.56	3.08	1.16	13.5	4.43	48.8	18.7	90.6	19.7	201	44.3	6 088	0.34	0.46	20.55	467.4	0.06
26	132	2.50	873	3.24	0.35	15.3	0.12	1.35	3.18	0.97	19.0	6.05	71.3	27.1	126	26.9	264	59.0	11 505	1.05	0.30	18.34	620.9	0.04

续表 2-3

Continued Table 2-3

测点	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	δEu	δCe	ΣREE	LREE/HREE
27	376	7.99	732	0.79	0.04	2.65	0.04	0.94	2.49	0.27	14.5	5.42	62.7	24.6	114	23.3	220	45.0	11 858	0.69	0.11	15.51	515.2	0.01
28	348	9.40	644	0.88	0.01	2.16	0.05	1.28	2.26	0.48	16.4	5.56	60.5	23.3	98.0	19.1	172	35.5	9 341	0.25	0.17	11.87	436.5	0.01
29	233	2.01	1 113	1.19	0.04	9.35	0.13	2.91	4.65	0.97	24.8	8.13	98.7	39.4	176	36.3	340	75.3	9 402	0.66	0.22	19.74	816.7	0.02
30	447	3.18	1 604	3.03	0.05	4.00	0.20	3.70	7.90	0.78	51.2	15.7	172	59.1	234	43.3	360	70.3	11 951	1.40	0.09	5.60	1 022.5	0.02
31	839	20.9	1 500	0.79	0.09	1.74	0.27	3.90	7.28	0.18	42.6	13.0	141	51.6	224	44.2	398	82.8	11 253	0.40	0.02	1.80	1 011.4	0.01
32	2 876	3.61	1 340	15.4	254.58	666	93.96	464	108	4.93	124	21.3	163	49.1	197	38.2	333	65.6	13 465	7.63	0.13	1.06	2 581.9	1.61
33	242	3.64	1 225	4.41	0.02	25.7	0.07	1.36	3.81	1.40	23.6	8.24	98.9	39.6	188	41.4	418	96.4	11 314	1.20	0.34	101.09	946.7	0.04
34	300	8.11	779	1.66	0.01	16.5	0.04	0.87	2.18	0.32	13.9	4.82	59.4	25.1	120	28.2	279	61.5	10 864	1.60	0.13	115.22	611.3	0.03
35	504	8.40	518	1.58	1.87	19.3	1.22	7.14	4.08	0.34	13.9	4.40	47.4	18.0	79.1	16.1	137	28.3	10 892	0.82	0.13	3.05	378.3	0.10
36	603	6.87	1 120	1.62	0.01	17.1	0.09	1.53	3.30	1.68	21.9	7.69	94.0	37.3	175	38.6	364	79.3	8 705	0.68	0.45	60.26	841.8	0.03
37	316	7.20	764	0.84	0.03	1.76	0.14	2.25	5.26	0.54	24.5	7.14	74.3	26.6	117	23.9	221	48.0	10 208	0.62	0.12	3.48	552.0	0.02
38	203	15.8	497	0.96	0.00	36.0	0.06	0.81	2.04	0.96	11.1	3.41	39.7	15.0	71.9	16.6	169	39.3	10 216	0.43	0.49	201.68	405.4	0.11
39	296	13.2	358	0.78	0.02	3.51	0.10	2.39	4.94	0.10	21.4	5.78	47.8	11.2	31.5	4.33	26.2	3.97	11 606	0.48	0.03	10.24	163.3	0.07
40	255	6.74	1 246	1.98	0.02	34.2	0.22	4.17	7.98	1.33	39.8	11.6	125	43.2	180	35.3	311	60.9	10 845	0.90	0.19	47.53	854.7	0.06
41	644	13.1	1 079	0.78	0.03	2.54	0.27	6.89	16.7	0.13	75.4	18.3	140	37.9	126	20.6	159	29.6	12 539	0.55	0.01	2.77	633.1	0.04
42	269	3.10	861	2.12	0.00	7.50	0.02	0.68	2.16	0.09	14.7	5.80	74.1	30.1	139	29.2	260	54.3	12 206	1.14	0.04	103.09	617.0	0.02
43	870	8.92	1 671	1.62	0.01	2.71	0.08	1.84	4.22	0.00	29.6	11.6	145	57.8	262	54.4	486	95.3	12 978	1.70	0.00	9.51	1 151.1	0.01
44	1 753	106	5 388	4.55	12.99	55.9	8.61	65.7	57.6	26.07	148	49.2	505	156	582	110	881	152	13 876	0.51	0.82	1.26	2 810.3	0.09
45	385	11.9	760	1.20	0.02	4.09	0.09	1.50	3.18	0.06	18.1	5.97	70.8	26.3	113	21.8	199	39.3	11 467	0.79	0.02	12.50	503.5	0.02
46	758	9.71	1 291	0.42	0.01	1.06	0.06	1.70	4.61	0.08	30.4	10.8	122	43.2	183	35.0	302	59.9	12 127	0.39	0.01	5.04	794.2	0.01
47	99.2	2.80	278	1.60	0.00	22.2	0.05	0.62	1.05	0.33	5.60	1.73	20.7	8.35	40.6	9.42	94.1	20.8	9 382	0.45	0.33	128.44	225.6	0.12
48	269	5.57	715	1.75	0.00	17.8	0.08	1.36	2.56	0.44	13.9	4.16	52.1	22.5	113	25.7	265	59.7	9 312	0.84	0.18	68.64	578.4	0.04
49	267	9.81	525	1.58	0.01	4.85	0.09	1.41	3.44	0.18	14.6	4.57	51.1	18.5	82.5	16.1	151	30.2	9 704	0.70	0.07	15.77	378.8	0.03
50	194	12.0	482	1.90	0.03	32.3	0.11	1.84	3.63	0.52	14.9	4.59	46.4	16.1	71.5	14.4	131	26.3	10 300	0.98	0.18	84.58	364.0	0.12
51	259	4.07	489	3.40	1.88	30.2	0.32	2.26	2.25	0.70	10.5	3.68	40.3	16.0	73.2	16.5	153	32.5	10 744	1.71	0.37	8.69	383.8	0.11
52	761	1.41	1 477	1.83	0.00	1.29	0.05	0.81	3.32	0.16	26.4	11.4	135	49.4	211	42.4	394	79.6	12 479	2.24	0.04	8.48	955.0	0.01
53	226	1.09	829	2.15	0.00	7.68	0.01	0.49	1.32	0.18	11.8	4.21	59.4	26.8	134	32.5	336	77.3	11 182	1.30	0.09	290.74	691.2	0.01
54	504	3.57	842	1.39	0.00	1.89	0.030	0.53	1.94	0.42	12.6	4.98	68.3	28.0	133	30.2	295	64.6	8 651	0.34	0.20	19.31	641.80	0.01
55	1 331	6.50	967	2.58	48.2	141	16.3	76.0	17.6	0.38	35.3	9.53	98.8	35.0	148	29.2	251	48.8	10 005	0.95	0.05	1.23	955.45	0.46
56	511	6.41	934	0.78	0.030	9.37	0.18	2.10	3.75	1.48	17.6	6.02	75.9	29.6	148	33.7	351	84.4	9 135	0.37	0.46	15.13	763.24	0.02
57	486	17.5	373	1.14	0.015	20.3	0.10	1.57	2.83	0.77	13.2	3.72	36.5	11.9	50.4	10.4	93.8	19.9	8 927	0.42	0.32	58.10	265.34	0.11
58	947	4.95	1 704	0.99	0.000	0.63	0.039	0.65	2.36	0.005	23.2	10.1	140	56.5	265	56.0	488	97.1	11 806	0.73	0.00	4.82	1 139.4	0.00
59	660	10.6	944	1.66	0.012	3.26	0.063	1.42	3.50	0.14	21.1	7.49	89.0	33.7	146	29.2	263	53.0	10 809	0.74	0.04	14.83	650.67	0.01
60	509	12.9	492	1.94	0.012	11.9	0.032	0.52	1.34	0.39	9.53	3.17	39.9	16.0	78.4	16.2	158	34.9	9 712	0.81	0.25	100.47	370.54	0.04
61	481	9.35	246	0.79	0.11	11.1	0.076	0.98	2.07	0.46	8.41	2.38	23.7	8.27	34.3	7.36	66.8	13.7	9 128	0.38	0.29	28.91	179.67	0.09
62	721	9.84	1 132	1.45	0.015	2.99	0.049	1.14	3.30	0.058	21.4	8.10	102	40.1	182	37.8	332	68.2	10 838	0.72	0.02	16.85	799.17	0.01

续表 2-4

Continued Table 2-4

测点	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	δEu	δCe	ΣREE	LREE/HREE
63	700	12.0	1 799	2.74	0.44	6.05	0.39	5.89	9.22	0.18	48.5	16.5	190	65.1	256	49.0	397	72.4	9 289	1.16	0.02	3.30	1 116.9	0.02
64	489	11.1	612	4.44	0.009	9.10	0.083	1.73	2.95	0.13	16.1	5.16	61.1	21.7	95.6	18.9	167	33.6	10 097	1.46	0.05	32.46	433.47	0.03
65	913	6.46	1 699	0.79	0.021	1.78	0.12	2.61	5.68	0.23	33.7	12.8	154	58.9	263	53.0	474	94.5	10 340	0.57	0.04	4.37	1 154.9	0.01
66	473	11.6	1 047	1.18	0.009	5.90	0.12	2.19	5.06	0.15	29.3	9.12	102	36.4	152	28.9	246	48.3	10 130	0.70	0.03	15.06	665.77	0.02
67	493	7.66	442	1.23	0.017	14.2	0.13	1.41	2.95	0.80	10.1	3.49	39.3	15.0	69.4	15.4	149	33.2	10 588	0.49	0.41	32.73	354.42	0.06
68	535	5.95	498	0.53	0.003	0.74	0.045	0.39	2.38	0.032	17.4	6.23	61.1	16.8	50.1	7.68	54.4	8.79	11 841	0.33	0.01	4.99	225.96	0.02
69	529	13.2	523	1.22	0.006	3.59	0.058	1.19	2.26	0.055	12.0	4.01	48.0	18.0	78.5	16.0	145	28.4	10 314	0.69	0.03	18.36	356.94	0.02
70	459	5.27	1 783	4.64	0.009	15.9	0.17	3.37	8.22	0.22	41.9	13.9	164	62.9	281	57.0	502	96.3	10 881	1.78	0.03	28.96	1 246.9	0.02
71	527	9.85	796	1.17	0.019	11.9	0.13	3.24	4.49	0.99	18.9	6.45	71.3	27.1	121	24.7	227	46.8	8 888	0.67	0.28	27.15	564.32	0.04
72	636	10.1	1 367	3.41	0.018	24.4	0.14	1.76	3.61	1.77	25.5	9.42	118	46.8	219	46.7	434	94.0	8 151	1.15	0.41	51.38	1 024.8	0.03
73	570	9.74	448	0.56	0.000	0.46	0.026	0.60	3.23	0.019	20.0	6.13	55.3	14.9	54.2	9.53	82.1	16.0	12 466	0.33	0.01	5.52	262.58	0.02
74	780	4.68	1 380	0.84	0.000	0.47	0.029	0.93	2.57	0.030	24.3	10.3	128	45.9	195	38.0	321	61.8	11 662	0.54	0.01	5.13	828.32	0.00
75	417	1.82	103	0.41	0.000	3.20	0.005	0.16	0.21	0.11	1.89	0.49	7.60	3.21	16.6	3.72	40.3	10.2	10 714	0.19	0.36	184.45	87.68	0.04
76	531	24.1	563	1.73	0.028	33.6	0.27	4.09	5.26	1.23	19.8	5.39	55.9	19.4	81.3	16.9	149	31.1	8 611	0.54	0.33	36.78	423.73	0.12
77	838	6.66	1 542	0.68	0.000	0.32	0.42	1.45	4.41	0.12	32.1	12.0	143	53.3	229	46.0	393	78.8	11 008	0.37	0.02	0.24	994.71	0.01
78	601	12.7	983	1.45	0.020	3.66	0.11	1.81	3.84	0.095	23.0	7.75	92.1	34.1	148	28.7	252	50.0	10 565	0.75	0.02	9.84	645.38	0.01
79	483	4.53	272	1.53	0.000	1.49	0.056	0.82	2.58	0.000	14.5	3.74	33.1	8.78	29.1	4.55	33.9	5.95	12 487	1.07	0.00	8.32	138.66	0.04
80	549	2.99	598	0.84	0.002	2.44	0.11	2.00	4.78	0.41	22.6	6.46	63.9	20.6	75.4	14.0	120	23.0	11 935	0.35	0.10	7.11	355.34	0.03
样品 ZJ45-2，晶屑玻屑凝灰岩																								
1	606	4.26	1 326	3.94	0.01	4.01	0.07	0.96	3.58	0.34	22.4	8.57	111	44.5	217	46.9	435	89.6	13 048	4.08	0.09	16.74	983.0	0.01
2	279	4.76	1 592	3.63	0.01	15.8	0.19	3.77	7.61	0.41	43.2	13.7	159	59.9	252	48.2	413	82.6	10 483	1.37	0.05	25.63	1 099.2	0.03
3	172	6.61	905	11.6	0.01	18.4	0.11	2.35	5.11	0.07	23.3	7.93	88.2	32.7	139	27.1	237	46.3	11 532	5.18	0.02	48.52	627.7	0.04
4	623	15.3	1 289	0.76	0.00	3.01	0.15	3.20	6.53	0.16	36.2	11.5	129	45.7	196	36.9	324	64.5	11 303	0.44	0.03	6.35	856.8	0.02
5	407	9.28	736	1.57	0.01	3.98	0.07	1.73	3.64	0.32	19.4	5.82	67.2	25.4	117	24.1	225	46.9	10 344	0.74	0.09	17.25	540.3	0.02
6	295	7.52	836	1.55	0.04	23.5	0.10	1.68	2.09	0.67	12.6	4.51	61.6	26.3	133	30.7	322	74.4	9 010	0.56	0.31	62.66	693.0	0.04
7	249	1.57	1 124	11.4	0.00	42.8	0.06	0.85	2.44	0.23	18.0	7.07	88.9	36.3	171	36.1	323	66.6	13 774	3.91	0.08	227.41	792.3	0.06
8	224	2.72	1 979	9.75	0.01	24.0	0.46	7.53	11.4	2.18	47.2	15.7	175	64.7	294	62.9	583	121	11 698	4.69	0.25	16.21	1 409.6	0.03
9	170	2.90	750	4.41	0.00	38.7	0.04	0.98	2.00	0.83	11.8	4.19	54.2	23.0	119	28.6	311	74.1	11 474	2.03	0.41	303.85	668.0	0.07
10	385	4.21	682	2.31	4.45	93.6	0.74	4.88	7.15	2.81	26.1	6.72	62.8	21.6	88.4	18.4	180	41.0	10 267	0.48	0.56	11.52	558.7	0.26
11	346	6.77	1 894	2.09	0.04	23.1	0.45	5.44	9.71	3.38	50.0	15.7	173	65.2	280	56.0	496	102	10 510	1.09	0.38	15.21	1 280.0	0.03
12	1 045	6.89	2 575	1.14	0.02	2.91	0.32	4.50	9.47	0.24	55.5	19.3	231	88.1	395	80.3	699	139	10 842	0.63	0.02	2.74	1 723.9	0.01
13	527	20.4	1 312	1.67	0.02	12.0	0.21	3.34	5.95	2.04	33.7	10.8	127	47.2	205	41.2	364	74.4	8 664	0.77	0.35	16.89	926.1	0.03
14	405	4.97	1 257	1.50	0.30	31.6	0.27	4.78	6.06	2.11	32.0	9.56	113	43.8	194	40.5	378	79.1	9 150	0.54	0.37	24.85	935.7	0.05
15	1 024	7.12	2 237	2.01	0.00	1.82	0.07	1.14	4.23	0.00	29.7	13.1	174	75.3	359	75.4	685	139	13 403	1.27	0.00	7.84	1 556.7	0.00
16	356	7.85	944	1.49	0.05	4.34	0.08	1.40	3.03	0.16	19.5	6.87	82.4	32.6	140	27.6	244	47.7	10 205	0.80	0.05	14.01	609.7	0.02

续表 2-5

Continued Table 2-5

测点	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	δEu	δCe	ΣREE	LREE/HREE
17	232	3.52	562	0.49	0.00	5.98	0.02	0.41	1.22	0.37	8.48	3.33	41.4	17.6	91.5	20.7	212	48.6	10 472	0.35	0.26	85.80	452.1	0.02
18	423	3.14	1 679	6.67	0.00	18.8	0.07	1.83	4.80	0.23	31.6	11.9	147	59.3	275	54.2	476	94.1	12 193	3.20	0.04	83.60	1 174.5	0.02
19	121	2.83	246	0.79	0.03	36.9	0.30	4.50	4.76	1.81	14.6	3.18	26.5	8.35	32.1	5.84	51.1	10.1	9 368	0.19	0.61	36.30	200.1	0.32
20	289	7.53	732	1.34	0.00	2.63	0.04	1.08	2.63	0.19	15.8	5.47	65.5	25.6	111	23.2	205	43.4	9 483	0.72	0.07	18.60	501.6	0.01
21	162	5.87	682	0.57	0.04	4.42	0.23	3.14	5.27	1.50	24.0	6.32	63.3	21.1	89.3	19.1	190	43.4	7 991	0.30	0.34	5.67	470.8	0.03
22	466	3.97	917	1.83	0.10	6.47	0.08	1.76	4.42	0.70	26.8	8.80	93.7	31.9	126	24.3	215	43.8	11 272	0.86	0.15	17.43	584.1	0.02
23	410	6.99	605	0.75	0.13	1.68	0.13	1.34	4.76	0.94	23.7	7.52	68.6	21.0	78.2	14.4	128	23.9	12 749	0.55	0.22	2.83	374.3	0.02
24	184	5.86	341	0.76	0.00	27.6	0.06	0.85	1.88	0.29	7.75	2.52	28.7	10.9	52.1	10.9	108	23.3	10 665	0.29	0.20	146.89	275.0	0.13
25	787	9.71	1 453	0.86	0.01	1.78	0.06	1.09	3.73	0.18	24.6	9.87	126	50.9	235	48.6	443	90.8	11 876	0.53	0.04	8.64	1 036.5	0.01
26	256	4.88	919	3.03	0.17	67.0	0.63	7.29	10.9	5.18	37.0	10.2	94.7	29.5	115	22.9	202	41.9	11 213	1.18	0.71	29.87	644.6	0.16
27	556	7.37	2 291	5.97	0.06	54.7	0.40	5.27	10.1	2.50	51.8	16.6	200	76.7	347	72.6	682	142	9 643	2.67	0.27	40.02	1 661.5	0.05
28	614	17.6	1 506	1.70	0.04	5.50	0.30	4.43	7.95	0.33	42.8	13.1	150	53.2	223	42.1	362	69.1	10 415	1.02	0.04	5.45	973.7	0.02
29	245	4.86	440	0.96	0.00	22.4	0.07	1.37	2.53	0.69	12.8	3.52	39.2	14.3	62.7	12.8	122	26.0	9 539	0.48	0.30	100.42	320.0	0.09
30	257	5.31	621	1.63	0.00	29.9	0.08	1.52	2.31	0.89	13.6	4.29	47.5	19.3	95.4	21.3	222	50.8	10 551	0.77	0.38	114.43	509.2	0.07
31	382	2.95	1 049	1.62	0.00	3.63	0.05	0.84	2.89	0.18	16.8	6.60	85.9	35.5	173	37.9	365	77.3	11 160	0.95	0.06	23.47	805.5	0.01
32	420	8.02	1 348	3.85	0.00	34.1	0.04	1.21	2.97	1.17	20.8	7.82	104	44.4	218	47.9	463	101	9 660	1.35	0.33	298.69	1 046.6	0.04
33	331	4.88	1 004	1.96	0.00	13.2	0.15	2.24	4.11	1.16	24.5	8.41	91.9	34.8	156	30.8	272	56.4	9 111	1.06	0.27	27.13	695.7	0.03
34	900	3.91	2 263	3.12	0.00	10.4	0.10	1.95	5.88	0.19	37.9	14.2	195	78.4	362	75.1	668	132	13 493	2.22	0.03	32.72	1 579.7	0.01
35	220	5.08	352	1.03	0.00	20.6	0.04	1.19	1.95	0.58	7.90	2.43	27.4	11.4	53.3	12.4	127	29.3	10 043	0.43	0.39	140.14	295.8	0.09
36	681	11.1	1 247	0.58	0.04	2.03	0.08	1.82	3.88	0.61	24.9	9.07	111	41.8	186	38.2	341	68.2	11 854	0.44	0.14	6.30	828.3	0.01
37	315	4.74	1 203	1.78	0.01	6.15	0.14	2.30	3.87	1.23	24.0	8.05	101	39.0	180	39.1	367	77.7	10 839	1.34	0.30	13.26	850.1	0.02
38	254	5.27	720	1.37	0.00	6.99	0.04	0.99	2.24	0.27	16.0	5.19	64.5	25.1	112	23.2	211	44.6	9 783	0.71	0.10	57.69	512.6	0.02
39	928	8.31	1 909	0.78	0.01	1.19	0.09	1.93	4.93	0.28	35.3	13.7	171	66.5	293	60.5	516	104	11 786	0.47	0.05	4.08	1 268.4	0.01
40	514	8.26	547	0.36	0.10	0.93	0.07	0.19	1.66	0.13	9.89	4.72	54.6	16.9	65.4	14.2	131	26.1	12 660	0.49	0.07	2.77	326.4	0.01
41	251	9.83	750	1.63	0.01	6.39	0.08	1.32	3.50	0.05	19.1	5.80	72.9	26.4	111	22.4	194	38.5	11 099	1.27	0.01	23.80	501.7	0.02
42	735	9.75	1 498	1.05	0.01	1.72	0.05	1.55	3.92	0.08	25.9	10.1	127	50.8	235	50.6	444	90.3	12 062	0.72	0.02	9.43	1 040.8	0.01
43	280	2.67	2 231	12.6	0.01	30.6	0.14	2.84	8.34	0.07	56.6	18.4	222	81.8	344	67.6	589	117	9 195	3.44	0.01	67.65	1 538.5	0.03
44	218	10.4	530	0.61	0.01	10.4	0.03	0.93	2.04	0.68	10.2	3.37	40.6	16.6	81.5	19.3	189	44.8	8 672	0.34	0.37	86.04	420.1	0.03
45	498	7.06	2 286	3.10	0.17	7.59	0.32	5.11	11.0	0.40	55.8	19.1	221	79.9	341	67.7	573	112	9 993	1.38	0.04	6.06	1 493.3	0.02
46	1 168	65.4	4 710	7.15	2.12	85.6	10.35	88.0	98.2	45.81	262	72.4	613	157	532	97.4	773	136	11 603	1.34	0.82	2.37	2 972.8	0.12
47	952	9.22	1 941	1.42	0.27	2.15	0.14	1.65	3.71	0.11	28.0	11.8	163	67.7	307	66.6	582	114	11 199	0.87	0.02	2.69	1 348.9	0.01
48	360	5.65	1 842	2.60	0.00	16.7	0.09	1.80	3.89	1.26	27.5	10.6	146	61.5	303	68.4	640	142	9 385	0.62	0.27	59.69	1 423.3	0.02
49	627	5.53	2 101	11.6	2.59	36.4	0.99	6.78	9.98	1.67	55.4	18.0	206	73.7	311	62.6	557	110	10 130	3.75	0.17	5.56	1 451.5	0.04
50	358	4.59	1 554	5.94	0.01	17.8	0.14	2.61	9.59	1.73	53.2	15.3	157	50.2	216	43.4	376	73.7	10 916	2.03	0.19	36.98	1 017.0	0.03
51	512	3.03	880	3.63	0.00	22.4	0.052	0.90	2.27	1.02	15.2	5.09	66.5	26.7	137	32.2	337	81.5	10 967	1.50	0.40	134.61	727.41	0.04
52	5 046	7.52	513	0.92	88.0	205	21.1	85.5	14.8	2.38	20.2	4.67	49.6	17.0	76.3	15.9	143	29.9	8 959	0.41	0.42	1.13	772.73	1.17

续表 2-6

Continued Table 2-6

测点	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	δEu	δCe	ΣREE	LREE/HREE
53	679	3.95	2 118	31.3	0.013	68.6	0.25	4.62	8.72	1.41	47.1	16.8	197	72.6	327	71.4	646	130	10 541	12.8	0.17	84.45	1 590.9	0.06
54	648	3.61	965	3.23	0.000	5.95	0.034	0.48	1.77	0.20	13.9	5.89	79.2	32.0	157	34.9	328	67.4	11 586	2.65	0.08	53.90	725.99	0.01
55	692	3.24	967	3.64	4.54	123	0.82	6.29	8.81	3.59	35.6	9.35	93.3	30.8	128	26.0	242	54.4	10 020	0.47	0.54	14.42	765.68	0.24
56	473	8.18	3 051	6.61	0.093	102	0.94	15.6	23.1	11.2	91.2	27.4	291	105	458	97.5	903	182	7 635	1.51	0.65	32.40	2 307.4	0.07
57	962	2.95	2 954	2.77	0.020	6.03	0.15	4.18	18.2	4.59	117	32.5	312	106	427	82.4	719	138	11 670	1.15	0.23	11.64	1 967.5	0.02
58	587	9.81	2 875	1.95	0.014	23.0	0.26	4.28	10.4	2.44	63.6	22.0	268	101	440	87.0	777	157	9 018	0.75	0.22	27.11	1 956.2	0.02
59	525	8.75	82.2	0.52	0.000	6.60	0.026	0.38	0.90	0.40	3.57	0.83	7.86	2.67	11.2	2.28	22.8	4.68	8 952	0.22	0.59	78.39	64.15	0.15
60	759	5.70	2 808	5.07	1.58	122	0.84	6.88	10.8	4.14	62.8	21.8	265	103	435	84.0	713	136	6 973	1.09	0.38	25.67	1 966.6	0.08
61	1 060	4.82	2 124	0.82	0.003	0.89	0.098	1.75	6.68	0.18	45.2	17.8	210	72.2	285	54.3	438	82.3	11 815	0.56	0.02	2.78	1 214.2	0.01
62	607	5.92	1 361	5.89	0.29	14.2	0.49	5.91	10.4	0.16	42.3	13.4	148	50.7	207	38.4	326	61.2	11 410	2.65	0.02	7.26	918.57	0.04
63	614	12.3	971	2.36	0.010	8.44	0.15	2.26	4.89	0.052	25.3	8.31	97.2	35.1	146	28.8	245	48.2	10 186	1.24	0.01	17.57	649.77	0.02
64	451	3.17	408	1.31	0.040	25.4	0.064	1.00	1.01	0.46	7.11	2.32	27.0	11.8	63.2	16.1	181	46.1	9 127	0.25	0.39	99.21	382.59	0.08
65	631	10.8	1 987	1.40	0.13	8.69	0.71	9.86	13.0	0.81	60.4	18.1	200	70.6	286	52.7	427	81.0	87 29	0.96	0.07	3.55	1 228.7	0.03
66	497	2.33	912	3.62	0.51	7.78	0.25	1.89	2.97	0.37	17.6	6.76	81.1	31.0	143	30.0	277	55.6	11 026	2.30	0.12	5.36	655.51	0.02
67	874	3.95	1 134	3.45	1.54	26.0	0.79	6.60	6.69	0.77	28.4	9.18	108	40.8	177	35.1	309	63.4	8 554	1.03	0.15	5.75	813.07	0.05
68	625	12.7	1 498	4.73	0.11	30.2	0.27	4.06	10.8	5.74	54.5	19.5	195	60.4	254	53.7	493	99.5	11 026	2.61	0.59	29.68	1 280.7	0.04
69	457	1.67	324	0.46	0.006	9.45	0.026	0.43	1.22	0.34	6.69	2.33	25.9	10.6	51.3	11.4	111	26.4	9 143	0.17	0.29	102.86	257.25	0.05
70	1 377	10.9	3 702	2.57	0.11	4.12	0.39	5.75	13.3	2.32	70.0	26.1	332	130	604	130	1 179	231	10 772	1.16	0.19	2.91	2 728.9	0.01
71	554	12.5	1 179	2.90	0.001	36.8	0.18	2.67	4.57	1.19	25.0	8.17	97.8	39.5	184	40.3	377	83.1	8 003	0.63	0.27	64.06	900.26	0.05
72	621	7.37	1 522	1.95	0.012	18.7	0.11	2.72	5.44	2.60	32.1	10.9	128	49.8	228	50.5	494	108	9 525	0.76	0.47	48.80	1 130.2	0.03
73	567	13.8	975	3.66	0.007	10.7	0.11	1.78	3.65	0.31	20.6	7.08	86.3	34.3	152	31.1	278	55.6	8 598	1.41	0.09	29.91	681.77	0.02
74	567	4.81	2 115	3.11	0.015	10.5	0.24	4.65	9.52	1.77	52.1	17.0	207	77.0	331	62.8	541	107	82 90	1.26	0.19	13.29	1 421.9	0.02
75	633	12.1	932	1.06	0.15	2.80	0.092	1.20	2.68	0.070	18.2	6.46	83.4	32.2	145	29.1	255	51.3	10 505	0.62	0.02	5.79	627.41	0.01
76	701	9.09	1 998	4.10	0.003	30.8	0.094	1.94	4.68	1.64	34.4	12.9	171	69.2	323	67.7	628	132	8 520	1.25	0.29	100.42	1 476.9	0.03
77	521	3.07	1 083	1.84	0.007	11.9	0.099	1.46	3.00	0.78	17.5	6.30	80.9	34.4	172	39.6	413	95.8	9 050	0.90	0.26	36.10	876.26	0.02
78	628	7.02	775	1.36	0.021	3.58	0.069	1.01	1.82	0.11	13.2	5.12	66.2	26.4	125	26.3	246	50.6	10 917	0.75	0.05	14.35	564.75	0.01
79	968	3.88	1 999	18.5	24.7	184	7.68	34.8	11.0	1.06	35.8	12.2	157	63.4	300	65.4	598	126	9 227	3.63	0.15	3.25	1 621.1	0.19
80	1 053	11.6	2 315	0.93	0.046	1.52	0.24	3.89	9.87	0.18	62.3	21.3	234	80.0	324	61.7	523	97.5	10 858	0.51	0.02	1.86	1 419.5	0.01
81	497	3.30	546	0.98	0.036	7.78	0.043	0.50	1.52	0.31	7.70	3.01	39.2	17.2	88.7	21.5	222	52.9	9 605	0.49	0.22	42.09	462.42	0.02
82	490	6.40	106	1.08	0.005	1.20	0.000	0.15	0.27	0.12	1.50	0.53	7.09	2.90	17.9	5.29	70.7	19.9	11 828	0.38	0.44	198.58	127.48	0.01

注：$\delta Eu = 2(Eu_{岩}/Eu_{球})/(Sm_{岩}/Sm_{球}+Gd_{岩}/Gd_{球})$；$\delta Ce = 2(Ce_{岩}/Ce_{球})/(La_{岩}/La_{球}+Pr_{岩}/Pr_{球})$。

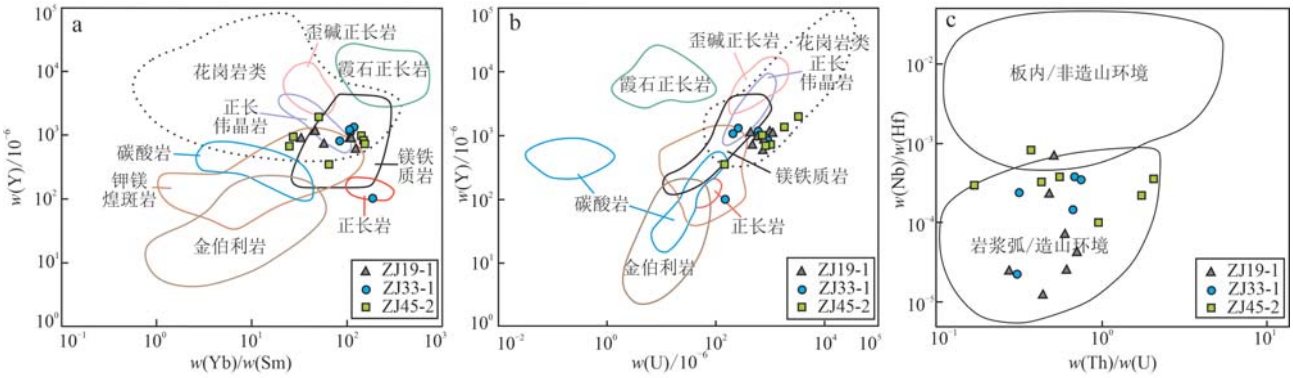

图 7 珠街萤石-锑矿区凝灰岩锆石微量元素特征判别图(底图 a、b 据 Belousova *et al.*, 2002; c 据 Yang *et al.*, 2012a)

Fig. 7 Zircon trace element diagrams of the tuffs from the Zhujie fluorite-antimony ore field (a, b are after Belousova *et al.*, 2002; and c is after Yang *et al.*, 2012a)

灰岩的年代学研究表明,萤石-锑矿(化)体在 T_3s^{3-2} 硅质岩、硅质角砾岩、凝灰岩及 T_3s^{3-1} 细晶灰岩中均有赋存,以前者为主。其中,除灰岩中显示细脉状和局部晶洞状矿化外,其他层位中的矿(化)体均呈似层状、透镜状、层间(网)脉状,顺层产出和热液充填(交代)成矿特点突出,并缺乏后生热液叠加成矿特征。如前所述,区内赋存于硅质岩及凝灰岩中的萤石-锑矿床(体)与同沉积期伴生的火山活动有密切的成因关联,其成矿时代为中三叠世晚期。由此,其矿床成因应归属火山热液沉积型矿床,并非岩浆期后热液有关的浅成低温热液型或后生热液矿床。显见,珠街萤石-锑矿床的形成与产出应主要受同期火山机构和火山岩相分带性的控制,火山通道、凝灰岩-硅质岩组合及其空间分带性是最重要的找矿标志。

地质调查资料还显示,区域出露的原划定上三叠统的锑背景值高出地壳丰度值几十至上百倍,特别是 T_3s^3 及近矿围岩中锑含量高于地壳丰度值近千倍,也佐证锑成矿与同沉积期火山热液活动密切有关。由此,三合洞组上段第 2 岩性层(T_3s^{3-2})硅质岩与凝灰岩岩层是区域上类似矿床找矿突破的重要方向,而关于火山盆地原型恢复及火山热液沉积成矿作用等尚需进一步探究。这就大大拓展了本区及邻区类似矿床的找矿勘查空间,资源增储潜力大。

5 结论

(1) 珠街萤石-锑矿床含矿岩系主要由硅质岩、硅质角砾岩和晶屑玻屑凝灰岩组成,矿体主要赋存于硅质岩及凝灰岩中,下伏细晶灰岩也有赋存。

(2) 三合洞组顶部硅质岩-凝灰岩和下伏细晶灰岩是中三叠世晚期沉积,代表了同期近源火山沉积,而其上覆的上三叠统挖鲁八组和麦初箐组代表了陆缘弧盆地沉积,记录了多阶段的盆山转换事件。

(3) 珠街萤石-锑矿床属于火山热液沉积型矿床,三合洞组上段第 2 岩性层(T_3s^{3-2})硅质岩与凝灰岩岩层是本区及邻区类似矿床找矿突破的重要方向。

致谢 野外工作时期得到昌宁金基矿业有限公司同现治高工和相关领导的大力支持,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心感谢。

References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb[J]. Chemical Geology, 192(1~2): 59~79.

Belousova E, Griffin W, O'Reilly S Y, *et al.* 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143(5): 602~622.

Burchfiel B C and Chen Z L. 2013. CHAPTERS 1-15 introduction and individual units[C]//Tectonics of the Southeastern Tibetan Plateau and Its Adjacent Foreland. Geological Society of America, 210: 1~231.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1990. Regional Geology of Yunnan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1996. Lithostratigraphy of Yunnan Province[M]. Wuhan: China University

of Geosciences Press, 1~366 (in Chinese).

Chang Kaiyong. 2007. On the genesis of Bijiashan Sb deposit in Weishan, Yunnan[J]. Yunnan Geology, 26(2): 197~206 (in Chinese with English abstract).

Deng Jun, Hou Zengqian, Mo Xuanxue, *et al*. 2010. Superimposed orogenesis and metallogenesis in Sanjiang Tethys[J]. Mineral Deposits, 29(1): 37~42 (in Chinese with English abstract).

Deng Jun, Wang Qingfei, Chen Fuchuan, *et al*. 2020. Further discussion on the Sanjiang Tethyan composite metallogenic system[J]. Earth Science Frontiers, 27(2): 106~136 (in Chinese with English abstract).

Deng J, Wang Q F, Li G J, *et al*. 2014. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China[J]. Gondwana Research, 26(2): 419~437.

Ding Xingyu, Yang Guangquan, Pu Zhikun, *et al*. 2015. The study on metallogenic system and prospecting directions in Zhacun Au property, Weishan county, Yunnan Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 30(1): 60~67 (in Chinese with English abstract).

Dong Fangliu. 2002. Study on Metallogenic Conditions and Potential of Cu-Au Polymetallic Deposits in Weishan-Yongping Mineralization Concentrated Area, Yunnan Province[D]. Wuhan: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).

Dong Fangliu, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, *et al*. 2005. $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages of Himalayan alkaline rocks in Lanping basin, Yunnan Province, and their geological implications[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(2): 103~109 (in Chinese with English abstract).

Drabon N, Kirkpatrick H M, Byerly G R, *et al*. 2024. Trace elements in zircon record changing magmatic processes and the multi-stage build-up of Archean proto-continental crust[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 373: 136~150.

Du Bin, Wang Changming, Yang Lifei, *et al*. 2018. Magma source and formation mechanism of the Zhuopan alkaline complex in Yongping, Southwest China: Constraints from geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica, 34(5): 1 376~1 396 (in Chinese with English abstract).

Fan Chaojun. 1991. A study on the origin of ore-forming materials in the antimony and mercury multiple-metal ore zone at Weishan, Yunnan Province, China[J]. Geochimica, 20(4): 399~405 (in Chinese with English abstract).

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).

Feng Zhijun, Xue Chuandong, Wei Aiying, *et al*. 2024. Discovery of gold deposit in the Shuixie Zhifanghe copper-cobalt district in Yongping County, western Yunnan Province, SW China[J]. Geology in China, 51(2): 707~709 (in Chinese with English abstract).

Hou Zengqian, Wang Erqi, Mo Xuanxue, *et al*. 2008. Collision Orogeny and Mineralization in Qinghai-Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~980(in Chinese).

Hu Z C, Zhang W, Liu Y S, *et al*. 2015. "Wave" signal-smoothing and mercury-removing device for laser ablation quadrupole and multiple collector ICPMS analysis: Application to lead isotope analysis[J]. Analytical Chemistry, 87(2): 1 152~1 157.

Jian Ping, Liu Dunyi and Sun Xiaomeng. 2003. SHRIMP dating of baimaxueshan and Ludian granitoid batholiths, northwestern Yunnan Province, and its geological implications[J]. Acta Geosicientia Sinica, 24(4): 337~342 (in Chinese with English abstract).

Li Feng, Huang Dunyi and Fu Weimin. 1994. On the geological characteristics and genesis of Shuixie copper deposit in Yongping[J]. Yunnan Geology, 13(4): 341~349 (in Chinese).

Li Shoukui, Liu Xuelong, Liu Sihan, *et al*. 2022. Discovery and significance of Early Triassic VMS type Pb-Zn depositin Yueliangping, Weixi continental margin, northwestern Yunnan[J]. Acta Geologica Sinica, 96(4): 1 239~1 264 (in Chinese with English abstract).

Li Shoukui, Zhang Shitao, Zhao Qinghong, *et al*. 2021. Zircon U-Pb chronology and petrogeochemistry of Cenozoic alkali-rich porphyry in Zaojiaochang, Lanping, western Yunnan[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 51(1): 169~184 (in Chinese with English abstract).

Liang Mingjuan. 2016. Filling history of Lanping Basin: Sedimentary Record of NeoTethyan Tectonic Evolution in Sanjiang Orogenic Belt [D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).

Liang Mingjuan, Yang Tiannan, Shi Pengliang, *et al*. 2015. U-Pb geochronology, Hf isotopes of zircons 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).

Liang M J, Yang T N, Xue C D, *et al*. 2022. Complete deformation history of the transition zone between oblique and orthogonal collision

belts of the SE Tibetan Plateau: Crustal shortening and rotation caused by the indentation of India into Eurasia[J]. Journal of Structural Geology, 156: 104545.

Liu Jinyu, Deng Jun, Li Gongjian, *et al*. 2017. Petrogenesis and tectonic significance of the Lianhuashan intrusion in the Lanping Basin, western Yunnan: Constraints from bulk element composition, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions[J]. Acta Petrologica Sinica, 33(7): 2 115~2 128 (in Chinese with English abstract).

Liu X M, Gao S, Diwu C R, *et al*. 2007. Simultaneous in situ determination of U-Pb age and trace elements in zircon by LA-ICP-MS in 20 μm spot size[J]. Chinese Science Bulletin, 52(9): 1 257~1 264.

Liu Y S, Gao S, Hu Z C, *et al*. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 51(1~2): 537~571.

Liu Y S, Hu Z C, Gao S, *et al*. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 257(1~2): 34~43.

Ludwig KR. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center, California, Berkeley, 1~39.

Mo Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, *et al*. 1993. Sanjiang Tethyan Volcanism and Related Mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~267 (in Chinese with English abstract).

Song Biao. 2015. SHRIMP zircon U-Pb age measurement: Sample preparation, measurement, data processing and explanation[J]. Geological Bulletin of China, 34(10): 1 777~1 788 (in Chinese with English abstract).

Tang Jing, Xue Chuandong, Yang Tiannan, *et al*. 2016. Late 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).

Tong Zida. 2018. Study on Mineralization of Bijiashan Antimony Ore Field in Weishan, Western Yunnan[D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).

Tong Zida, Zhang Jing and Li Tengjian. 2016. Geology and fluid inclusion of the Bijiashan Sb deposit in western Yunnan Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 32(8): 2 379~2 391 (in Chinese with English abstract).

Wang Baodi, Wang Liquan, Qiang Bazhaxi, *et al*. 2011. Early Triassic collision of northern Lancangjiang suture: Geochronological, geochemical and Hf isotope evidences from the granitic gneiss in Leiwuqi area, east Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(9): 2 752~2 762 (in Chinese with English abstract).

Wang Yong, Hou Zengqian, Mo Xuanxue, *et al*. 2006. Stable isotope characteristics and origin of ore-forming fluids in copper-gold polymetallic deposits within strike-slip pull-apart basin of Weishan-Yongping continental collision orogenic belt, Yunnan Province, China [J]. Mineral Deposits, 25(1): 60~70 (in Chinese with English abstract).

Wang Y J, Zhang A M, Fan W M, *et al*. 2010. Petrogenesis of Late Triassic post-collisional basaltic rocks of the Lancangjiang tectonic zone, Southwest China, and tectonic implications for the evolution of the eastern paleotethys: Geochronological and geochemical constraints [J]. Lithos, 120(3~4): 529~546.

Xiao Changhao. 2013. Study on Metallogenic Series of Low-Temperature Hydrothermal Deposits in the Middle and South Section of Sanjiang River[D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).

Xiao Changhao, Li Gongjian, Liu Huan, *et al*. 2016. Characteristics of rare earth and trace elements of stibnite from the bijiashan antimony deposit, southwest Yunnan: Implications for ore genesis[J]. Journal of Geomechanics, 22(2): 310~324 (in Chinese with English abstract).

Xiao Xiong. 2014. Characteristics of Triassic Sedimentary Basins and Basin-Mountain Coupling in Lanping-Simao Basin, Southern Yunnan [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).

Xin D, Yang T N, Liang M J, *et al*. 2018. Syn-subduction crustal shortening produced a magmatic flare-up in middle Sanjiang Orogenic Belt, southeastern Tibet Plateau: Evidence from geochronology, geochemistry, and structural geology[J]. Gondwana Research, 62: 93~111.

Xue Chunji, Chen Yuchuan, Yang Jianmin, *et al*. 2002. Analysis of ore-forming background and tectonic system of Lanping basin, western Yunnan Province[J]. Mineral Deposits, 21(1): 36~44 (in Chinese with English abstract).

Yang J H, Cawood P A, Du Y S, *et al*. 2012a. Large Igneous Province and magmatic arc sourced Permian-Triassic volcanogenic sediments in China[J]. Sedimentary Geology, 261: 120~131.

Yang Shikun. 2008. The Tapanshan Sb-Au deposit of Yangbi, Dali[J].

Yunnan Geology, 27(1): 53~58 (in Chinese with English abstract).

Yang T N, Ding Y, Zhang H R, *et al*. 2014. 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, Hou Z Q, Wang Y, *et al*. 2012b. Late Paleozoic to Early Mesozoic tectonic evolution of Northeast Tibet: Evidence from the Triassic composite western Jinsha-Garzê-Litang suture[J]. Tectonics, 31(4): TC4004.

Yang Tiannan and Xue Chuandong. 2022. Structural analysis, the geological way of knowing, and development of geosciences: The Cenozoic tectonics of the oblique collision belt, SE Tibet[J]. Acta Geologica Sinica, 96(5): 1 680~1 696 (in Chinese with English abstract).

Yang Tiannan, Xue Chuandong, Xin Di, *et al*. 2019. Paleotethyan tectonic evolution of the Sanjiang Orogenic Belt, SW China: Temporal and spatial distribution pattern of arc-like igneous rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 35(5): 1 324~1 340 (in Chinese with English abstract).

Yuan H L, Gao S, Dai M N, *et al*. 2008. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS[J]. Chemical Geology, 247(1~2): 100~118.

Zhao Yanan. 2015. Sedimentary Characteristics and Metallogenic Prospect of the Upper Triassic Maichuqing Formation in Nanjian, Yunnan Province[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).

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: 166~182.

Zong K Q, Klemd R, Yuan Y, *et al*. 2017. The assembly of Rodinia: The correlation of early Neoproterozoic (ca. 900 Ma) high-grade metamorphism and continental arc formation in the southern Beishan Orogen, southern Central Asian Orogenic Belt (CAOB)[J]. Precambrian Research, 290: 32~48.

Zong K Q, Liu Y S, Gao C G, *et al*. 2010. In situ U-Pb dating and trace element analysis of zircons in thin sections of eclogite: Refining constraints on the ultra high-pressure metamorphism of the Sulu terrane, China[J]. Chemical Geology, 269(3~4): 237~251.

附中文参考文献

常开永. 2007. 云南巍山笔架山锑矿床成因[J]. 云南地质, 26(2): 197~206.

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.

邓　军, 王庆飞, 陈福川, 等. 2020. 再论三江特提斯复合成矿系统[J]. 地学前缘, 27(2): 106~136.

丁星妤, 杨广全, 普志坤, 等. 2015. 云南省巍山县扎村金矿区成矿系统及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 30(1): 60~67.

董方浏. 2002. 云南巍山-永平矿化集中区铜金多金属矿床成矿条件及成矿潜力研究[D]. 武汉: 中国地质大学.

董方浏, 莫宣学, 侯增谦, 等. 2005. 云南兰坪盆地喜马拉雅期碱性岩$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 24(2): 103~109.

杜　斌, 王长明, 杨立飞, 等. 2018. 西南三江永平卓潘碱性杂岩体源区与形成机制: 全岩元素、锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素联合约束[J]. 岩石学报, 34(5): 1 376~1 396.

范朝俊. 1991. 云南巍山锑、汞多金属矿带成矿物质来源初探[J]. 地球化学, 20(4): 399~405.

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.

冯志军, 薛传东, 魏爱英, 等. 2024. 滇西永平水泄纸房河 Cu-Co 矿区发现金矿[J]. 中国地质, 51(2): 707~709.

侯增谦, 王二七, 莫宣学, 等. 2008. 青藏高原碰撞造山与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1~980.

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　峰, 黄敦义, 甫为民. 1994. 永平水泄铜矿床地质特征及其成因[J]. 云南地质, 13(4): 341~349.

李守奎, 刘学龙, 刘思晗, 等. 2022. 滇西北维西陆缘弧月亮坪早三叠世 VMS 型铅锌矿床的发现及地质意义[J]. 地质学报, 96(4): 1 239~1 264.

李守奎, 张世涛, 赵庆红, 等. 2021. 滇西兰坪皂角场新生代富碱斑岩体锆石 U-Pb 年代学及岩石地球化学特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 51(1): 169~184.

梁明娟. 2016. 兰坪盆地充填历史: 三江造山带新特提斯构造演化的沉积记录[D]. 北京: 中国地质大学(北京).

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.

刘金宇, 邓 军, 李龚健, 等. 2017. 滇西兰坪盆地莲花山岩体成因与构造意义: 岩石地球化学、锆石U-Pb年代学及Hf同位素约束[J]. 岩石学报, 33(7): 2 115~2 128.

莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1~267.

宋 彪. 2015. 用SHRIMP测定锆石U-Pb年龄的工作方法[J]. 地质通报, 34(10): 1 777~1 788.

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.

佟子达. 2018. 滇西巍山笔架山锑矿田成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京).

佟子达, 张 静, 李腾建. 2016. 滇西笔架山锑矿床地质特征与流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 32(8): 2 379~2 391.

王保弟, 王立全, 强巴扎西, 等. 2011. 早三叠世北澜沧江结合带碰撞作用: 类乌齐花岗质片麻岩年代学、地球化学及Hf同位素证据[J]. 岩石学报, 27(9): 2 752~2 762.

王 勇, 侯增谦, 莫宣学, 等. 2006. 云南巍山-永平碰撞造山带走滑拉分盆地铜金多金属矿成矿流体系统: 稳定同位素特征及热液来源[J]. 矿床地质, 25(1): 60~70.

肖昌浩. 2013. 三江中南段低温热液矿床成矿系列研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京).

肖昌浩, 李龚健, 刘 欢, 等. 2016. 云南巍山笔架山锑矿床辉锑矿稀土微量元素特征及其矿床成因意义[J]. 地质力学学报, 22(2): 310~324.

肖 雄. 2014. 滇南兰坪-思茅盆地三叠纪沉积盆地特征及盆山耦合探讨[D]. 成都: 成都理工大学.

薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 等. 2002. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析[J]. 矿床地质, 21(1): 36~44.

杨世坤. 2008. 大理州漾濞塔盘山锑-金矿床[J]. 云南地质, 27(1): 53~58.

杨天南, 薛传东. 2022. 构造解析、地质学研究范式与理论创新——藏东南侧向碰撞带构造演化研究实践[J]. 地质学报, 96(5): 1 680~1 696.

杨天南, 薛传东, 信 迪, 等. 2019. 西南三江造山带古特提斯弧岩浆岩的时空分布及构造演化新模型[J]. 岩石学报, 35(5): 1 324~1 340.

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, 1990.

云南省地质矿产局. 1996. 云南省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.

赵亚男. 2015. 云南南涧上三叠统麦初箐组沉积特征及成矿远景[D]. 成都: 成都理工大学.