

沱沱河地区多才玛铅锌矿晶屑熔结凝灰岩锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征

杨文龙, 李碧乐, 王国志, 彭勃, 支宇博

(吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要: 多才玛铅锌矿是近年来沱沱河地区发现的一处超大型铅锌矿床, 位于青藏高原东北部的东羌塘地块。恶劣的气候条件以及矿床发现时间晚, 造成该地区地质研究程度极低。笔者重点对容矿围岩之一的晶屑熔结凝灰岩进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年和岩石化学成分分析。研究表明, 晶屑熔结凝灰岩中锆石呈自形-半自形, 发育典型的岩浆锆石振荡生长环带, Th/U 值较高(0.39~0.69), 为典型的岩浆锆石。测得晶屑熔结凝灰岩 U-Pb 加权平均年龄为(254.0 ± 2.9) Ma, MSWD=1.9; 谐和年龄值为(254.0 ± 3) Ma, MSWD=1.9, 属海西末期。岩石化学成分表现为高硅过铝、贫钙和镁, 明显富集 Rb、Th、U 等大离子亲石元素, 强烈亏损 P、Ti、Nb、Ta 等高场强元素, 富集 LREE, Nb/Ta 值(7.78~8.29)等特征表现为壳源岩浆和弧火山岩特征。综合分析认为, 254 Ma 时期本区处于深俯冲消减阶段。

关键词: 晶屑熔结凝灰岩; 锆石 SHRIMP 年龄; 地球化学特征; 多才玛

中图分类号: P618.42; P618.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-6248(2016)02-0059-11

SHRIMP Zircon U-Pb Ages and Its Geological Significance of Crystallignimbrite in the Duocaima Pb-Zn Deposit, Tuotuohe Area

YANG Wenlong, LI Bile, WANG Guozhi, PENG Bo, ZHI Yubo

(College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract: The Duocaima Pb-Zn deposit, is a super-large scale Pb-Zn deposit found in Tuotuohe area recently, which is located in the East Qiangtang Block of Northeast Qinghai-Tibet Plateau. Because the adverse weather conditions in this exploration area, the researches on this deposit are very low, especially magmatic evolution and tectonic setting. In this paper, the zircon SHRIMP U-Pb age and geochemical compositions of crystal ignimbrites from this deposit have been tested. The zircons of crystal ignimbrite mainly show euhedral and hypidiomorphic texture, with clear ring and high Th/U ratios (0.39~0.69), which belong to the typical magmatic zircons. The dating results show that the $206\text{Pb}/238\text{U}$ average weighted age of these crystal ignimbrites is (254.0 ± 2.9) Ma (MSWD=1.9), and their concordant ages are (254.0 ± 2.9) Ma (MSWD=1.9). The geochemical data suggest that these crystal ignimbrites are enriched in

large ion lithophile elements (LILE) and LREE, strongly depleted in high field-strength element (HFSE). The trace elements ratios, such as Nb/Ta ratio (7.78—8.29), show that these crystal ignimbrites belong to arc volcanic rocks, which are derived from the crustal materials. Combined with regional geological information, the new geochemical and geochronology data reveal that this research area was experienced the consistent subduction stage in 254 Ma±.

Keywords: crystal ignimbrite; zircon SHRIMP dating; geochemical characteristics; Duocaima

青藏高原是在新元古代晚期以来长期活动、多期造山及新生代最后隆升的基础上形成的造山的高原(许志琴等,2007)。青藏高原的前身经历了自新元古代晚期以来由“多陆块、多岛弧”组成的基本格架和(始、古)特提斯洋盆开启和消亡的聚散历史,显示了“多洋(海)盆、多俯冲、多碰撞和多造山”长期的动力学作用过程,最后构筑了由“阿尔金-祁连-昆仑始特提斯造山系”和“松甘-羌塘-拉萨古特提斯造山系”组成的“印度-亚洲前碰撞的”巨型复合碰撞造山拼贴体(许志琴等,2007)。

沱沱河地区位于青海省南部,地处青藏高原中部,成矿地质条件优越。自2004年以来,青海省地勘部门在区内部署了大量的矿产勘查工作,相继发现了许多规模和类型不一的矿床、矿点,多才玛铅锌矿就是其中的典型矿床之一(宋玉财等,2011),显示出区域具有良好的成矿和找矿潜力。通过对矿区铅同位素的研究,得知铅的来源复杂,金属成矿物质不仅来自于上地壳和造山带,还来源于壳幔混合的俯冲带(刘长征等,2015)。然而,由于该区的自然环境恶劣,导致地质工作程度较低,对岩浆作用的时间年代、岩浆作用序列模糊不清。

笔者在野外调研基础上,选取多才玛晶屑熔结凝灰岩,采用 SHRIMP U-Pb 锆石测年法进行年龄测定和岩石地球化学研究,旨在探索岩石成因,确定岩石形成时代,为西金乌兰-金沙江洋的俯冲消减提供新的线索。

1 区域地质概况

青藏高原从北往南由如下地质单元组成:东昆仑地块、巴颜喀拉-松潘-甘孜地块、东羌塘地块、西羌塘地块、拉萨地块。其间依次被昆仑南缘-阿尼玛沁缝合带、西金乌兰-金沙江缝合带、双湖缝合带、班公湖-怒江缝合带所分隔。该区域受印度-欧亚大陆碰撞的影响,发生了大规模逆冲及走滑断裂活动,成为西藏北

部最大的新生代逆冲推覆构造(侯增谦等,2008)。

因区内构造叠加复合强烈、地质环境多变和成矿动力学机制复杂,成矿地质条件优越,形成了三江北段独具特色的沱沱河铅锌多金属矿集区,产出的多才玛超大型铅锌多金属矿床属于东羌塘地块(图1),西金乌兰-金沙江缝合带与双湖缝合带之间,在喀刺昆仑-三江成矿省具有典型性(刘长征,2011)。

区内出露地层较为单一,主要为二叠纪九十道班组(P_{2j})、古近纪沱沱河组(E_t)、雅西措组(Eny)、五道梁组($E_3 N_1 W$)和第四系(Q_4)(图2)。二叠纪九十道班组(P_{2j})主要出露于矿区中部,呈长条带状自西段孔莫陇经中段查曲怕查向东段多才玛展布,为一套浅灰白色结晶灰岩、生物碎屑灰岩夹少量长石岩屑砾岩。目前圈定的具规模的铅锌矿体大多产于该套地层之中。古近纪沱沱河组(E_t)在矿区内分布面积较大,主要出露于查曲怕查矿段,岩性主要为紫红色砾岩、复成分砾岩夹泥钙质粉砂岩。该岩段底部的砾岩中常见铅锌矿化,但矿体规模较小,铅、锌品位较低。雅西措组(Eny)主要分布于矿区东部多才玛一带,岩性为青灰色-灰绿色长石石英岩屑砂岩。五道梁组($E_3 N_1 W$)主要分布于矿区孔莫陇矿段和多才玛北部一带,岩性主要由灰白色灰黄色薄-中厚层状泥灰岩、泥晶灰岩、白云质灰岩夹浅灰色含灰质黏土岩、钙质粉砂岩、石膏层及岩屑砂岩和岩屑砾岩等组成。

区内构造运动比较发育,主要为褶皱和断裂构造。矿区东南部出露多才玛背斜,轴线在多才玛山脊一带,呈 NWW 向,核部为二叠纪九十道班组(P_{2j}),两翼为第三纪沱沱河组(E_t),最外为第三纪五道梁组($E_3 N_1 W$)。其中北翼地层倾向 NE,倾角 $16^\circ \sim 65^\circ$;南翼地层倾向 SW,倾角 $10^\circ \sim 60^\circ$;轴部及两翼断裂构造发育。区内断裂构造主要分为近 EW 向和 NE 向 2 组。其中,EW 断层为正断层,规模大,横贯 3 个矿段并向东西两侧延伸,总体走向与地层走向几近一致。近东西向断裂,局部呈 NE,倾向

N,倾角 $60^{\circ}\sim68^{\circ}$,沿断裂形成宽40~400 m不等的破碎带,呈波状弯曲,断裂性质为压-压扭性。破碎带由构造角砾岩、断层泥等组成,具明显的碳酸盐

化、石膏化、泥化及褐铁矿化。角砾成分主要为灰岩，硅化蚀变较弱，目前地表发现的铅锌矿体均产于发生蚀变的构造破碎带中。

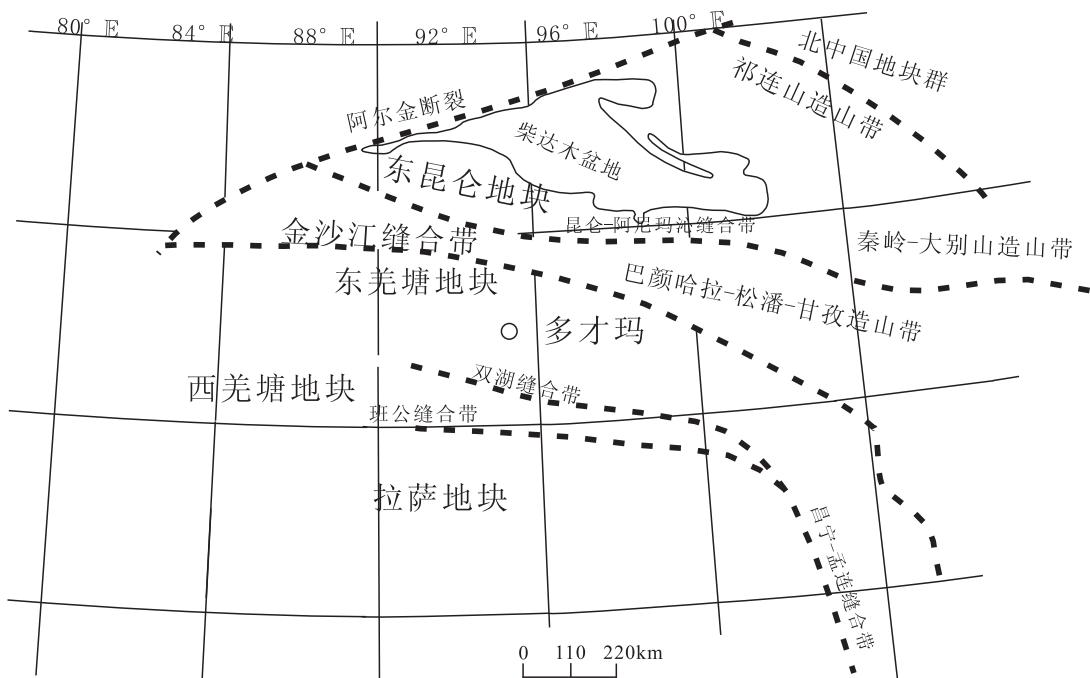
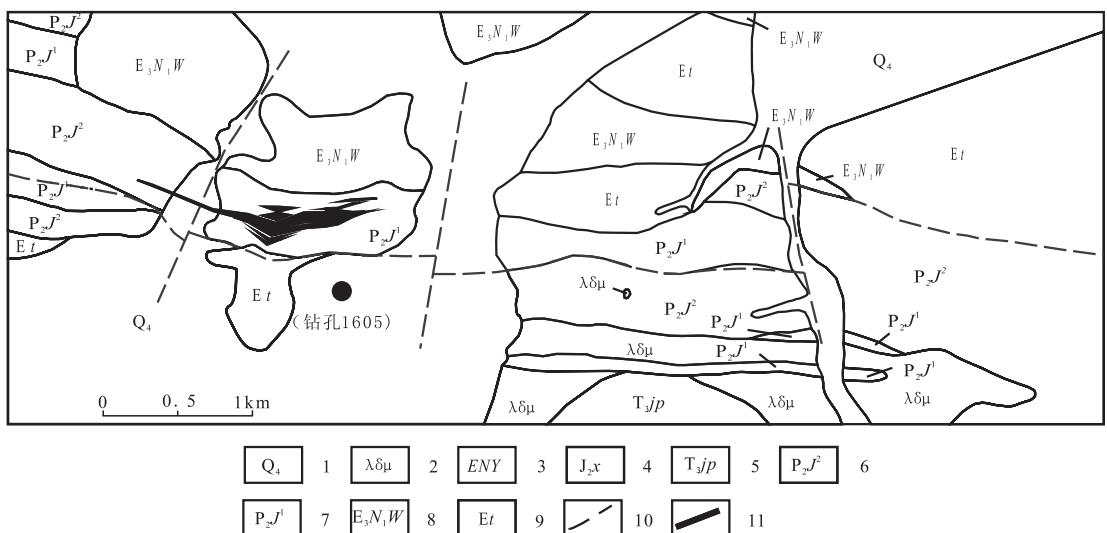


图 1 多才玛地区大地构造简图

Fig. 1 Tectonic map for Duocaima complex

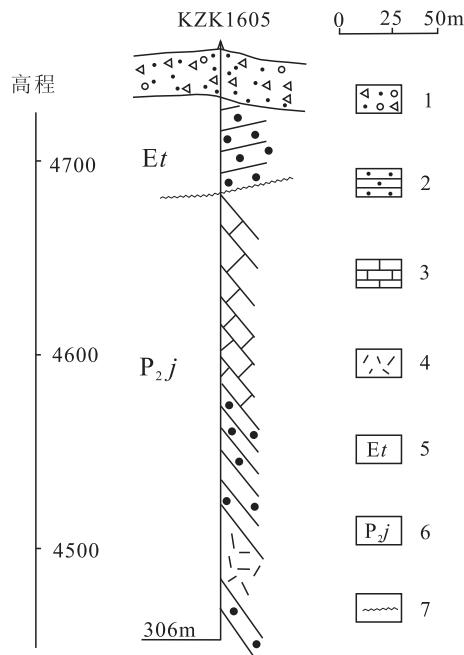


1. 第四系冲积物、洪积物；2. 浅肉红色石英闪长玢岩；3. 雅西措组：青灰色灰绿色长石岩屑砂岩；4. 夏里组：紫红色长石石英砂岩、深灰色生物碎屑灰岩；5. 甲丕拉组：青灰色安山质角砾熔岩；6. 九十道班组上岩段：浅灰白色灰岩；7. 九十道班组下岩段：青灰色结晶灰岩；8. 五道梁组：灰白色、灰黄色、青灰色泥晶灰岩；9. 沱沱河组：紫红色砾岩带复成分砾岩夹泥质钙质粉砂岩；10. 断层；11. 铅锌矿体

图 2 多才玛地区地质简图

Fig. 2 Geological map for Duocaima complex

区内岩浆岩出露较少,时间范围从晚古生代到新生代均有发现。主要为石英闪长玢岩,出露在矿区西南部,在钻孔中可见晶屑凝灰岩、辉绿岩及花岗岩等。其中,钱烨(2014)获得晶屑凝灰岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 257.5 Ma,属晚二叠世。笔者所述的晶屑熔结凝灰岩也产于二叠纪九十道班组岩层中(图 3)。



1. 第四系坡积物、洪冲积物;2. 粉砂岩;3. 灰岩;4. 晶屑熔结凝灰岩;5. 第三系沱沱河组;6. 二叠系九十道班组;7. 不整合界面

图 3 钻孔 1605 剖面图

Fig. 3 The drill core profile map of KZK1605

2 样品采集及其岩相学特征

笔者样品采自多才玛地区钻孔(KZK1605)中,岩性为晶屑熔结凝灰岩。呈浅灰白色,火山凝灰结构,块状构造。主要由晶屑(石英晶屑占 10%,长石晶屑占 10%)和火山灰填隙物(70%~80%)组成。斑晶主要为石英和正长石。正长石呈半自形板状,粒度 0.5~1 mm,多绢云母化。

石英呈他形粒状,发育典型的熔蚀结构,粒度 0.5~1 mm。基质为隐晶质结构,由长英质组成。有明显的次生变化,强烈的泥化,含有锆石、磷灰石等副矿物。该样品未遭受区域变质作用,近矿围岩蚀变较为强烈。

3 分析方法

3.1 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

锆石的挑选在河北省廊坊区域地质调查研究所实验室利用标准重矿物分离技术分选完成。锆石的制靶、显微镜照相、阴极发光(CL)图像分析和同位素测定在中国地质科学院北京离子探针中心完成。经过双目镜下仔细挑选表面平整光洁且具不同长宽比例、不同柱锥面特征、不同颜色的锆石颗粒,再将这些锆石粘在双面胶上,用无色透明环氧树脂固定,待环氧树脂固化之后对其表面抛光至锆石中心。将待测锆石和标准锆石 TEM 在玻璃板上用环氧树胶固定,抛光到暴露出锆石的中心面,用反射光和透射光照相,然后镀金,进行阴极发光照相,以检查锆石的内部结构(宋彪,2002)。根据锆石的光学图像和 CL 图像,在 SHRIMP 测试时选取合适的分析部位及测试后对相应数据进行合理解释(BLACK, et al., 2003)。在分析过程中,用标准锆石 TEM [$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (416.8 ± 1.3) Ma] 的测定值来进行 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 值的校正;用 M257 [$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (561.3 ± 0.3) Ma, w(U) 为 840×10^{-6} 进行 U 质量分数校正](NASDALAL, 2008)。具体实验原理和流程参见宋彪, 2002; COMPOSTON W, 1984。束斑直径约为 $30 \mu\text{m}$,在 SHRIMP 分析过程中,对同一测点均连续进行 5 次扫描分析,并以这 5 次分析的加权平均值作为该测点的年龄分析值。在样品测试过程中,尽量选择无包裹体及无裂纹的部位作为一次离子流斑点的目标位置。数据处理及 U-Pb 协和图绘制采用了 Squid 程序和 Isoplot 程序完成。年龄值采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄。单个点的误差为 1σ ,加权平均年龄值的误差为 95%。

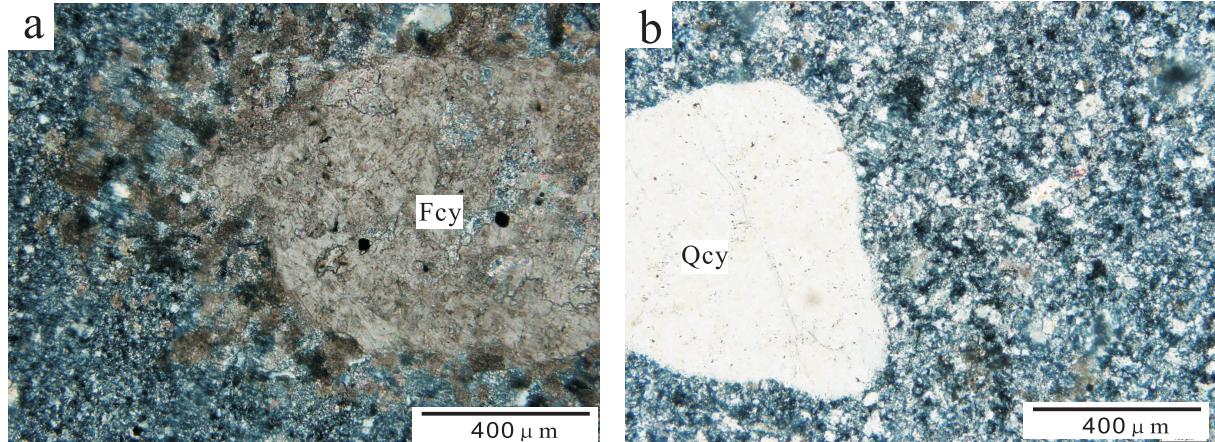
3.2 岩石地球化学测试

主量元素测定采用熔片 X 荧光光谱法(XRF),所用仪器为 AXIOS, 测试精度由于 5%。微量元素和稀土元素分析在国家地质实验测试中心等离子质谱仪(TJA-PQ-ExCell ICP-MS)和中国科学院地球化学研究所的电感耦合等离子体质谱仪(Anglient 7500 ICP-MS)上进行测定。称取全岩粉末样品放入 Teflon 瓶中,往瓶中加入 HF 和 HNO_3 混合酸且用 Teflon 封闭反应罐进行溶样,溶解后的样品在等离子体质谱仪上进行微量元素和稀土元素的分析。

测试。

用组合标准工作溶液对仪器进行标准化,以含 0.8 mol/L HNO₃ 的高纯水得到的计数率与内标计数率的比值为低点,以组合标准工作溶液中各元素

的计数率与内标计数率的比值为高点,得到各元素的两点标准化直线,然后对样品溶液进行测定。分析过程中以 GSR - 3 为标样,在 95% 的置信度范围内, RSD 优于 5%。



a. 晶屑熔结凝灰岩镜下显微照片(+);b. 晶屑熔结凝灰岩的熔蚀结构(+);Fcy. 长石岩屑;Qcy. 石英岩屑

图 4 多才玛晶屑熔结凝灰岩显微照片

Fig. 4 Micro graphs of Duocaima wafer crumbs ignimbrite

4 测试结果

4.1 晶屑熔结凝灰岩锆石 SHRIMP 年龄

研究区样品阴极发光图像显示大部分锆石形态

长宽比值不大,为短柱状,个别为粒状或长柱状。晶体具均匀的内部结构和明显的韵律环带,具有岩浆锆石的特点(图 5)。

由于成因不同,锆石有着不同的 Th、U 含量及其比值。通常岩浆锆石的 Th、U 含量较高且 Th/U

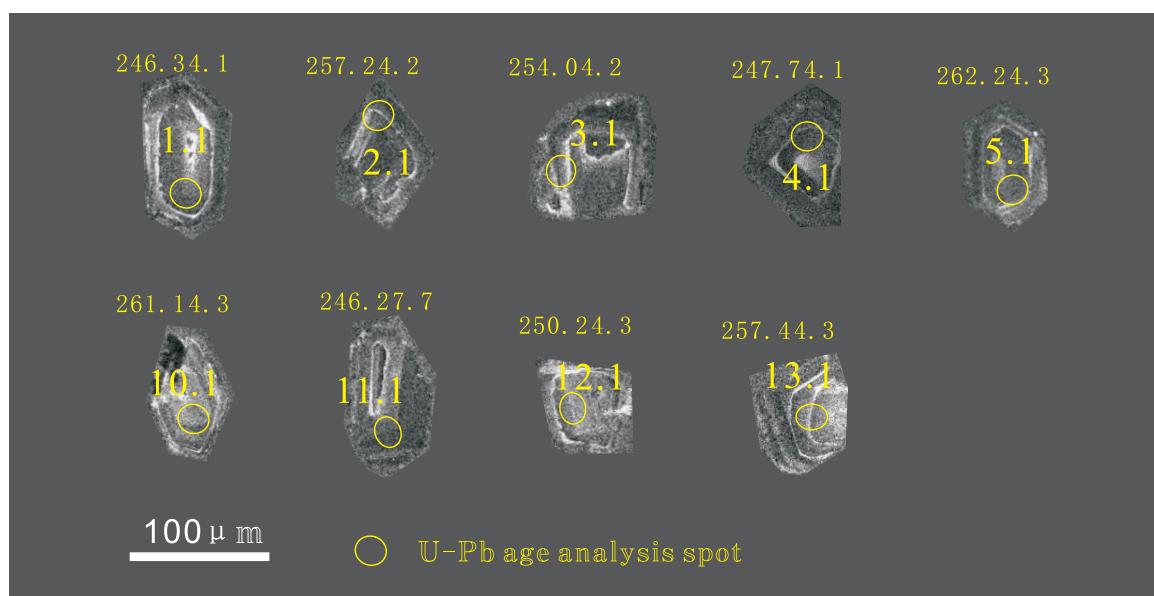


图 5 多才玛晶屑熔结凝灰岩锆石的 CL 图像

Fig. 5 Zircon CL images of sample from Duocaima wafer crumbs ignimbrite

值较大(一般大于0.4);而变质锆石的Th/U含量低且Th/U值小(通常小于0.07)(HOSKIN et al., 2000)。本次测试共分析了9个测试点,结果列于表1,显示较高的U($475.74 \times 10^{-6} \sim 1151.53 \times 10^{-6}$)和Th($295.73 \times 10^{-6} \sim 744.55 \times 10^{-6}$)含量及Th/U值(0.39~0.69),表现为岩浆锆石的特点。晶屑熔结凝灰岩 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄比较集中,为

(246.2 ± 7.7)~(262.2 ± 4.3) Ma。在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}-^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 协和年龄图上(图6),其中9个测点都分布于谐和线附近。表明锆石颗粒在形成后U-Pb同位素体系是封闭的,也证明了锆石年龄的可信度。锆石的谐和年龄值为(254.0 ± 3) Ma,与加权平均年龄(254.0 ± 2.9) Ma接近,表明晶屑熔结凝灰岩形成于晚二叠纪。

表1 多才玛晶屑熔结凝灰岩锆石SHRIMP U-Pb同位素测试结果表

Tab. 1 SHRIMP U-Pb isotopic testing results of zircons from wafer crumbs ignimbrite in Duocaima

样品编号	U(10^{-6})	Th(10^{-6})	Th/U	$^{206}\text{Pb}^*(10^{-6})$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	±%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	±%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Age(Ma)
KZK1605-1.1	824.77	493.80	0.62	27.74	0.05	1.17	0.27	3.66	0.04	1.69	246.3±4.1
KZK1605-2.1	1110.97	514.42	0.48	39.06	0.06	0.97	0.28	3.04	0.04	1.66	257.2±4.2
KZK1605-3.1	961.51	518.10	0.56	33.38	0.05	1.25	0.28	2.71	0.04	1.69	254.0±4.2
KZK1605-4.1	1342.56	744.55	0.57	45.18	0.05	1.20	0.28	2.13	0.04	1.69	247.7±4.1
KZK1605-5.1	808.96	303.89	0.39	28.88	0.05	1.20	0.30	2.19	0.04	1.68	262.2±4.3
KZK1605-10.1	784.74	523.92	0.69	27.87	0.05	1.15	0.30	2.05	0.04	1.67	261.1±4.3
KZK1605-11.1	1151.53	651.00	0.58	38.61	0.05	1.86	0.28	4.12	0.04	3.20	246.2±7.7
KZK1605-12.1	475.74	295.73	0.64	16.25	0.05	1.80	0.26	2.76	0.04	1.76	250.2±4.3
KZK1605-13.1	778.62	313.72	0.42	27.31	0.05	1.35	0.28	3.41	0.04	1.71	257.4±4.3

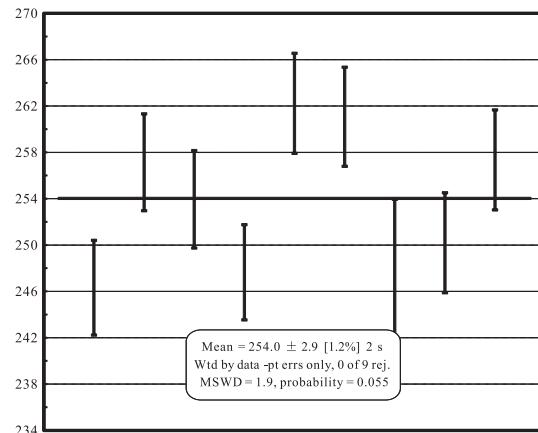
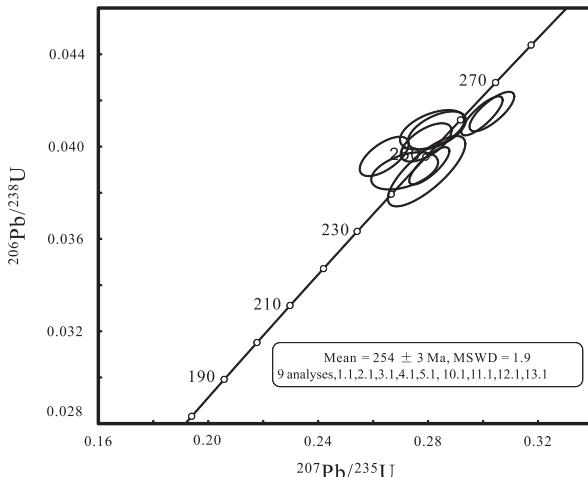


图6 多才玛晶屑熔结凝灰岩锆石SHRIMP-U-Pb谐和年龄及加权平均年龄示意图

Fig. 6 Sketch Concordia age and weighted mean age of zircons from wafer crumbs ignimbrite in Duocaima

4.2 岩石地球化学特征

4.2.1 主量元素特征

多才玛地区晶屑熔结凝灰岩主量元素地球化学分析结果见表2。由于晶屑熔结凝灰岩样品中钠含量较少,本次测试钠元素含量未取得精确结果。晶

屑熔结凝灰岩的SiO₂含量为74.63%~76.80%,属于酸性岩石。K₂O含量为2.87%~3.15%,MgO含量为0.41%~0.58%,CaO含量为2.21%~3.33%,A/CNK值为1.26~1.64,A/NK值为3.54~3.77,为过铝质。据SiO₂-K₂O岩石系列图

解(图 7)判断,均落入钙碱性区域。综上所述,主量元素特征显示多才玛晶屑熔结凝灰岩为过铝质钙碱性系列晶屑熔结凝灰岩。

4.2.2 微量元素特征

多才玛晶屑熔结凝灰岩微量元素及稀土元素分析结果见表 3。晶屑熔结凝灰岩的稀土分配曲线(图 8a)表现出轻稀土富集的稀土配分模式特点,具

有较强的负 Eu 异常(δEu 为 $0.28 \sim 0.29$),表明该岩体经历了斜长石的分离结晶过程,或者在源区存留部分斜长石。晶屑熔结凝灰岩的 ΣREE 范围为 $152.49 \times 10^{-6} \sim 225.78 \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 范围为 $6.87 \sim 7.65$,轻、重稀土分馏明显。

表 3 多才玛晶屑熔结凝灰岩微量元素分析结果表(10^{-6})

Tab. 3 Trace elements analysis results of Duocaima wafer crumbs ignimbrite(10^{-6})

样品编号	D-1	D-2	D-3	D-4
SiO ₂	75.90	74.63	76.80	75.92
Al ₂ O ₃	12.24	11.92	12.00	11.73
P ₂ O ₅	0.03	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	3.15	3.10	3.12	2.87
Na ₂ O	—	—	—	—
MgO	0.58	0.47	0.41	0.43
CaO	2.21	3.33	2.41	3.10
TiO ₂	0.14	0.13	0.14	0.14
MnO	0.08	0.07	0.06	0.07
Fe ₂ O ₃	1.23	1.09	0.97	0.97
LOI	4.48	5.20	4.22	5.00
Total	100.04	99.97	100.16	100.23
A/CNK	1.64	1.26	1.54	1.34
A/NK	3.58	3.54	3.54	3.77

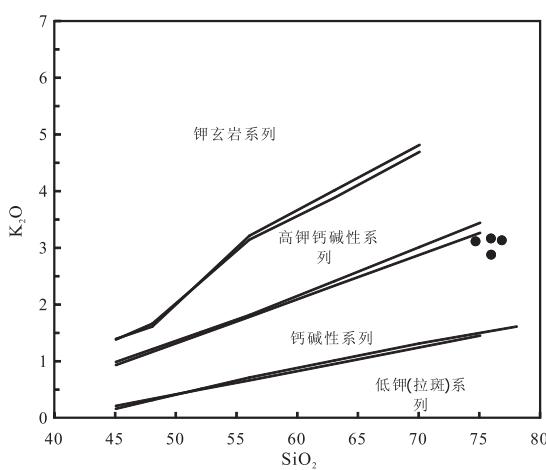


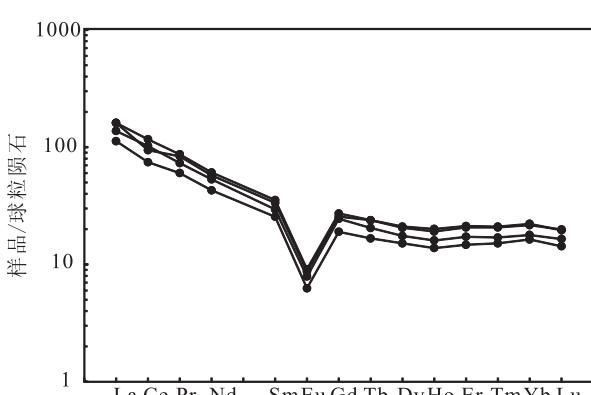
图 7 多才玛晶屑熔结凝灰岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解

Fig. 7 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diagram of wafer crumbs ignimbrite in Duocaima

样品编号	D-1	D-2	D-3	D-4
Li	29.1	21.9	23.6	39.9
Be	2.5	2.08	1.86	2.29
Sc	6.71	4.82	4.53	6.35
Ti	1 036	814	722	901
V	7.99	6.08	5.68	7.07
Cr	7.19	3.61	2.54	8.84
Mn	776	600	481	625
Co	4.23	1.81	1.91	2.99
Ni	9.23	5.67	5.18	8.54
Cu	4.6	2.36	2.12	5.12
Zn	40.7	30.2	36	28.3
Ga	20.7	17.1	16.3	18.5
Ge	1.54	1.29	1.26	1.48
As	11.6	8.49	7.61	10.7
Rb	142	116	112	125
Sr	145	106	75.6	101
Y	35.1	28.3	24.6	39.4
Zr	169	113	111	158
Nb	12.6	10.2	8.98	11.2
Mo	2.46	1.3	1.35	2.22
Cd	0.09	<0.05	0.1	0.1
In	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sn	2.78	2.93	2.21	2.63
Sb	0.35	0.17	0.12	0.34
Cs	40.7	30.4	27.1	28.7
Ba	146	92	87.2	153
La	49.9	42.6	34.9	50
Ce	76.2	82.7	60.1	94.3
Pr	10.2	8.93	7.34	10.6

续表 3

样品编号	D - 1	D - 2	D - 3	D - 4
Nd	34.5	31.9	25.7	36.5
Sm	6.53	5.74	4.97	6.91
Eu	0.64	0.58	0.46	0.67
Gd	6.62	6.35	4.92	7.05
Tb	1.13	0.97	0.79	1.13
Dy	6.61	5.64	4.87	6.77
Ho	1.37	1.15	0.99	1.44
Er	4.34	3.62	3.09	4.46
Tm	0.67	0.55	0.49	0.68
Yb	4.52	3.73	3.41	4.64
Lu	0.64	0.53	0.46	0.63
Hf	6.64	4.55	4.5	6.23
Ta	1.57	1.23	1.13	1.44
W	2.47	1.9	2	2.32
Tl	0.95	0.61	0.69	0.82
Pb	54.3	38.3	6.19	68.9
Bi	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Th	24.3	19.9	17.4	24.2
U	3.77	3.03	2.6	3.84
Ta/Hf	0.24	0.27	0.25	0.23
Th/Hf	3.66	4.37	3.87	3.88
Nb/Ta	8.03	8.29	7.95	7.78
Σ REE	203.87	194.99	152.49	225.78
LREE	177.97	172.45	133.47	198.98
HREE	25.90	22.54	19.02	26.80
LREE/HREE	6.87	7.65	7.02	7.42



样品原始地幔标准化微量元素蛛网图中显示(图 8b),晶屑熔结凝灰岩微量元素配分模式近一致,富集 Rb、Th、U 等大离子亲石元素,相对亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素。Ba、Sr 的亏损暗示可能是由于长石结晶的影响,而 P、Ti 的亏损可能是由于磷灰石和钛铁矿的分离结晶造成的。

5 讨论

5.1 岩石年龄及岩浆源区和成因

笔者获得的多才玛晶屑熔结凝灰岩年龄为 254Ma±,与区域内茶曲怕查晶屑凝灰岩年龄(257Ma±)相近。多才玛晶屑熔结凝灰岩富硅,REE 含量较高,轻重稀土分馏明显,富集 Th、U、Rb 等大离子亲石元素,明显亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素特征,为典型的弧火山岩。Nb/Ta 值为 7.78~8.29,明显低于地幔值的 17.5±2,接近地壳值的 11~12(GREEN, 1995),表现为壳源岩浆特征。P 的明显亏损,表明岩浆在运移过程中经历了磷灰石的分离结晶。轻重稀土元素分馏明显,样品中具有较强 Eu 负异常,表明岩浆可能经历了斜长石结晶分异作用,或者源区斜长石残留少。Nb-Ta-Ti 亏损通常表明与俯冲作用有成因联系(JIANG et al., 2012)。该样品中 Cr、Ni 含量较低(Cr 含量 2.54~8.84,平均 7.69, Ni 含量 2.57~6.27,平均 4.47),表明了岩浆并非来源于地幔(曹花花,2010)。Rb/Sr 值较大,明显高于地壳平均值 0.35(SUN et al., 1989),前人研究认为,岩浆在上侵的过程中

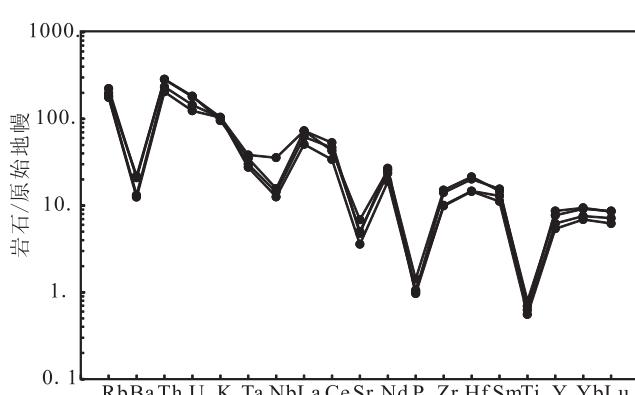


图 8 (a) 多才玛晶屑熔结凝灰岩稀土元素(标准化值据 BOYNTON, 1984)和
(b)微量元素配分曲线(标准化值据 SUN et al., 1989)

Fig. 8 (a) REE distribution graph (Standardized values are from Boynton, 1984) and (b) trace element distribution graph (Standardized values are from Sun and McDonough, 1989) of Duocaima Wafer crumbs ignimbrite

Rb/Sr 值会明显增大(徐夕生,2007)。由于岩浆在分离结晶的过程中,Rb 会优先进入液相,Sr 则随着长石的结晶在残余液相中的浓度迅速降低,因此在矿化部位该比值最高。通常认为,由地幔部分熔融直接生成酸性岩浆的可能性极小。因此,本区岩浆来源应为地壳的部分熔融。

5.2 构造环境和动力学意义

通常认为(WANG, et al., 1995; MO, et al., 1993; ZHONG, et al., 1998; PAN, et al., 2003),古特提斯洋由修沟-玛沁、龙木错-澜沧江-昌宁孟连、西金乌兰-金沙江-哀牢山、甘孜-理塘等几个在不同时期打开而近同时关闭的洋盆构成。而东羌塘地块位于青藏高原北部,位于西金乌兰-金沙江缝合带和双湖缝合带之间,地处冈瓦纳大陆与欧亚大陆的交汇部位,是研究古特提斯洋俯冲消减和两大陆碰撞造山过程的关键地区(张修政,2014)。自古生代以来,该区经历了多期岩浆-构造事件,因此具有复杂的演化历史。自华力西期本区进入到古特提斯洋演化阶段,一致持续到二叠纪末至三叠纪初(杨延乾,2013)。在晚泥盆世—早石炭世,西金乌兰-金沙

江洋处于初始裂解阶段(钱烨,2014)。在西金乌兰湖蛇绿岩套上部硅质岩中发现早石炭放射虫化石(边千韬,1991),说明在早石炭世时期洋盆已经处于扩张阶段并具有一定规模。

晚石炭世—早二叠世大洋开始消减,导致俯冲板片脱水和熔融,进入上覆地慢楔中与地慢楔相互作用,暗示大洋于早二叠世开始俯冲,与俯冲有关的岩浆活动有 287 Ma 孜笛考组岛弧火山岩(李善平,2008)、还东河地区 257 Ma 的埃达克质岩(朱迎堂,2004)。近年来,在羌塘地区发现了大量的蓝片岩和榴辉岩(李才,1987,2006a,2006b; ZHANG, et al., 2006),被认为是金沙江洋缝合带向南俯冲到羌塘地体下部引起的隆升和伸展剥离作用形成的(KAPP, et al., 2000, 2003)。从早三叠世开始,大洋由俯冲逐渐转入碰撞闭合阶段,与碰撞闭合相关的岩浆活动有飞马滩 240Ma 的同碰撞花岗岩(李勇,2003)等。中三叠世—晚三叠世区内进入碰撞后伸展阶段,晚三叠磨拉石建造不整合覆盖在缝合带内不同层位的岩石之上,标志着缝合带演化结束(汪啸风,1999; 李勇,2003)。

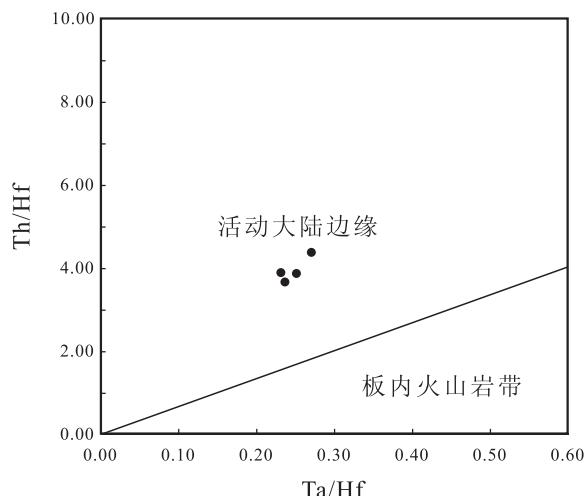


图 9 多才玛晶屑熔结凝灰岩岩石大地构造环境 Ta/Hf - Th/Hf 以及 $\text{Rb}/30$ - Hf - 3Ta 判别图解

Fig. 9 Ta/Hf - Th/Hf and $\text{Rb}/30$ - Hf - 3Ta diagrams of tectonic environment for the wafer crumbs ignimbrite in Duocaima

在 Ta/Hf - Th/Hf 以及 $\text{Rb}/30$ - Hf - 3Ta 图解上,样点落在活动大陆边缘和火山弧区域内,表明该火山岩形成于与洋壳俯冲有关的构造背景。

在 $\text{Rb}/30$ - Hf - 3Ta 图解上,样点有从火山弧向陆内区域演化的趋势,反映此时已经进入到深俯冲阶段。

通过对矿区进行的铅同位素研究可知,铅的来

源不仅来自于上地壳和造山带,还来源于壳幔混合的俯冲带(刘长征等,2015),也暗示着本区的火山岩可能为多才玛铅锌矿床提供成矿物质来源。

6 结论

(1) 多才玛晶屑熔结凝灰岩所含锆石具明显的

振荡环带, Th/U 值较高, 属典型的岩浆成因锆石。晶屑熔结凝灰岩 U-Pb 加权平均年龄(254.0 ± 2.9) Ma, MSWD=1.9; 谐和年龄值为(254.0 ± 3) Ma, MSWD=1.9, 属华力西末期。

(2) 岩石化学成分表现为高硅过铝、贫钙和镁, 明显富集 Rb、Th、U 等大离子亲石元素, 强烈亏损 P、Ti、Nb、Ta 等高场强元素, 富集 LREE, 低的 Nb/Ta 值($7.78 \sim 8.29$)等特征表现为壳源岩浆和弧火山岩特征, 254 Ma 土时本区处于西金乌兰-金沙江洋向南深俯冲消减阶段, 并且可能为多才玛铅锌矿床提供了成矿物质来源。

参考文献(References):

许志琴, 杨经绥, 李海兵. 造山的高原—青藏高原的地体拼合、碰撞造山及隆升机制 [M]. 北京: 地质出版社, 2007.

XU Zhiqin, YANG Jingsui, LI Haibing. Orogenic Plateau-Terrane Amalgamation, collision and Uplift in the Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.

宋玉财, 侯增谦, 杨天南, 等. “三江”喜马拉雅期沉积岩容矿贱金属矿床基本特征与成因类型 [J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(3): 355-380.

SONG Yucai, HOU Zengqian, YANG Tiannan, et al. Sediment-hosted Himalayan base metal deposits in Sanjian-gregion: characteristics and genetic types [J]. Acta Petrologica et Mineralogical, 2011, 30(3): 355-380.

刘长征, 李世金, 高永旺, 等. 三江多才玛超大型铅锌矿床同位素地球化学及矿源研究 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(1): 136-144.

LIU Changzheng, LI Shijin, GAO Yongwang, et al. Isotopic Geochemistry and origin of the Duocaima Lead-Zinc Deposit in the NorthternSanjiang Area. [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatse, 2015, 54(1): 136-144.

侯增谦, 宋玉财, 李政, 等. 青藏高原碰撞造山带 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床新类型: 成矿基本特征与构造控矿模型 [J]. 矿床地质, 2008, 27(2): 123-144.

HOU Zengqian, SONG Yucai, LI Zheng, et al. Thrust-controlled, sediments-hosted Pb-Zn-Ag-Cu deposits in eastern and northern margins of Tibetan orogenicbelt: Geological features and tectonic model [J]. Mineral Deposits, 2008, 27(2): 123-144.

刘长征, 陈岳龙, 许光, 等. 地球化学块体理论在青海沱沱河地区铅锌资源潜力预测中的应用 [J]. 地学前缘, 2011, 18(5): 271-282.

LIU Changzheng, CHEN Yuelong, XU Guang, et al. The ap-

plication of geochemical block theory to lead and zinc resources assessment in Tuotuohe area of Qinghai Province[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(5): 271-282.

钱烨. 青藏高原沱沱河地区成矿背景及铅锌成矿作用 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.

QIAN Ye. Metallogenetic Setting and Metallogenesis of Lead and Zinc in Tuotuo Region, Qinghai-Tibet Plateau [D]. Chang chun: Jilin University, 2014.

宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 26-30.

SONG Biao, ZHANG Yuhai, WAN Yusheng, et al. Mount Making and Procedure of the SHRIMP Dating [J]. Geological Review, 2002, 48(Supp.): 26-30.

曹花华. 辽东地区晚海西期辉长岩-闪长岩的形成时代和地球化学 [D]. 长春: 吉林大学, 2010.

CAO Huahua. Chronology and Geochemistry of Late Hercynian Gabbro and Diorite in HunchunArea [D]. Changchun: Jilin University, 2010.

边千韬, 沙金庚, 郑祥身. 西金乌兰晚二叠一早三叠世石英砂岩及其大地构造意义 [J]. 地质科学, 1993, 28(4): 327-335.

BIAN Qiantao, SHA Jingeng, ZHENG Xiangshen. The Late Permian-Early Triassic beach-subfaciesquartzose sandstone in the Xijin Ulan Area and its tectonic significance [J]. Scientia Geologica Sinica, 1993, 28(4): 327-335.

杨延乾, 李碧乐, 许庆林, 等. 东昆仑埃坑德勒斯特二长花岗岩锆石 U-Pb 定年及地质意义 [J]. 西北地质, 2013, 46(1): 56-62.

YANG Yanqian, LI Bile, XU Qinglin, et al. Zircon U-Pb Ages and Its Geological Significance of the Monzonitic Granite in the Aikengdelesite, Eastern Kunlun [J]. Northwestern Geology, 2013, 46(1): 56-62.

李善平, 马海州, 沈存祥, 等. 青藏高原北羌塘盆地结扎乡一带二叠系尕笛考组火山岩的特征及构造环境 [J]. 西北地质, 2008, 41(2): 31-40.

LI Shanping, MA Haizhou, SHEN Cunxiang, et al. Geochemical Characteristics and Tectonic of Volcanic Rocks of the Permian GadikaoFormation in the JiezhaArea, NorthernQiangtang, Qinghai-Tibet Plateau [J]. Northwestern Geology, 2008, 41(2): 31-40.

朱迎堂, 伊海生, 王强, 等. 青海西金乌兰东河中二叠世埃达克岩的发现及其意义 [J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(2): 30-34.

ZHU Yingtang, YI Haisheng, WANG Qiang, et al. The discovery and significance of the Middle Permian adakites along the Huandong River north of the Xijir Ulan Lake, Qinghai [J]. Sedimentary Geology And Tethyan Geology, 2004, 24(2): 30-34.

伍新和, 王成善, 伊海生, 等. 西藏羌塘盆地中生界烃源岩探讨 [J]. 西北地质, 2005, 38 (4): 78-85.

- WU Xinhe, WANG Chengshan, YI Haisheng, et al. Discussion on Mesozoic source rock of Qiangtang basin in Tibet [J]. *Northwestern Geology*, 2005, 38 (4) : 78-85.
- 张修政,董永胜,李才,等. 羌塘中部晚三叠世岩浆活动的构造背景及成因机制——以红脊山地区香桃湖花岗岩为例[J]. *岩石学报*,2014,30(2):547-564.
- ZHANG Xiuzheng, DONG Yongsheng, LI Cai, et al. Tectonic setting and petrogenesis mechanism of Late Triassic magmatism in Central Qiangtang, Tibetan Plateau: Take the Xiangtaohu pluton in the Hongjishan region as an example[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(2):547-564.
- 陈健,李建放,安勇胜,等. 风火山地区西金乌兰湖-金沙江蛇绿构造混杂带的物质组成及发展演化特征[J]. *西北地质*,2007,40(3):36-43.
- CHEN Jian, LI Jianfang, AN Yongsheng, et al. Xijinwulan Lake-Jinsha River Ophiolite Melange Zone and Its Evolution in the Fenghuo Mountain Area[J]. *Northwestern Geology*, 2007, 40(3):36-43.
- 李才. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. *长春地质学院学报*,1987,17(2):155-166.
- LI Cai. The Longmucuo-Shuanghu-Lancangjiang Plate Suture and the north boundary of distribution of Gongdwanafaciespermo-carboniferous system in Northern Xizang, China[J]. *Journal of Changchun College of Geology*, 1987, 17(2):155-166.
- 李才,瞿庆国,董永胜,等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩的发现及其意义[J]. *科学通报*,2006,51(1):70-74.
- LI Cai, ZHAI Qingguo, DONG Yongsheng, et al. The discovery of the eclogite in the Central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau and its significance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(1):70-74.
- 李才,黄小鹏,牟世勇,等. 藏北羌塘南部走构由茶错地区火山岩定年与康托组时代的厘定[J]. *地质通报*,2006,25(1-2):226-228.
- LI Cai, HUANG Xiaopeng, MOU Shiyong, et al. Age dating of the Zougouyouchacuo volcanic rocks and age determination of the Kangtog Formation in southern Qiangtang, northern Tibet, China. [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1-2):226-228.
- 汪啸风,陈孝红. 中国奥陶纪古生物地理与古气候[J]. 地层古生物论文集,1999,(27):1-27.
- WANG Xiaofeng, CHEN Xiaohong. Palaeobiogeography and Palaeoclimatology of Ordovician in China[J]. Professional Papers Of Stratigraphy Paleontology And Palaeontology, 1999, (27):1-27.
- 李勇,王成善,伊海生. 西藏金沙江缝合带西段晚三叠世碰撞作用与沉积响应[J]. *沉积学报*,2003,21(2):191-197.
- LI Yong, WANG Chengshan, YI Haisheng. The Late Triassic Collision and Sedimentary Responses at Western Segment of Jinshajiang Suture, Tibet. [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2):191-197.
- BLACK L P, KAMO S L, ALLEN C M, et al. TEMORA1: A New Zircon Standard for Phanerozoic U-Pb Geochronology[J]. *Chemical Geology*, 2003, 200(1-2):155-170.
- NASDALA L, HOFMEISTER W G, NORBERGN, et al. Zircon M527: A Homogeneous Natural Reference Material for the Ion Microprobe U-Pb Analysis of Zircon[J]. *Geoanalytical Research*, 2008, 32(3):247-265.
- COMPOSTON W, WILLIAMSIS, MEYER C. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe. *Chinese Journal of Geophysics*[J]. 1984, 27(suppl.):525-534.
- HOSKIN P W O, BLACK L P. Metamorphic zircon formation by solidstate recrystallization of protolith igneous zircon[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2000, 18 (4):423-439.
- WANG H, MO X. An outline of tectonic evolution of China [J]. *Episodes*, 1995, 18(1-2):6-16.
- MO Xuanxue, LU Fengxiang, SHEN Shangyue, et al. Sanjiang Tethyan volcanism and related mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.
- ZHONG Dalai. Paleo-Tethyan orogenic belt in West Sichuan and West Yunnan[M]. Beijing: Science Press, 1998.
- PAN Guitang, XU Qiang, HOU Zengqian, et al. Archipelagic orogenesis, metallogenicsystems and assessment of the mineral resources along the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajinag area in southwestern China [M]. Beijing: Geological Publishing House , 2003.
- ZHANG J X, YANG J S, MENG F C, et al. U-Pb isotopic studies of eclogites and their host gneisses in the Xitieshan area of the North Qaidam mountains, western China: New evidence for an early Paleozoic HP-UHP metamorphic belt[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28(2-3): 143-150.
- KAPP P, YIN A, GRAIGE, et al. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet[J]. *Geology*, 2000, 28(1):19-22.
- KAPP P, YINA, GRAIG E et al. Tectonic evolution of the Early Mesozoic blueschist-bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet [J]. *Tectonics*, 2003, 22 (4): 1029-1043.
- GREEN T H. Significance of Nb/Ta as An Indicator of Geochemical Processes in the Crust-mantle System [J]. *Chemical Geology*, 1995, 120(3-4):347-359.
- JIANG Y H, LIU Z, JIA R Y, et al. Miocene Potassic Granite-Syenite Association in Western Tibetan Plateau: Implications for Shoshonitic and High Ba-Sr Granite Genesis[J]. *Lithos*, 2012, 134-135: 146-162.