新疆东天山旱草湖环状岩体锆石 U-Pb 年龄、 地球化学特征及成因

王 伟^{1,2},孟 勇²,王 凯²,宿晓虹²,余吉远²,吕 舜²,郭周平²,全守村² WANG Wei^{1,2}, MENG Yong², WANG Kai², SU Xiaohong², YU Jiyuan², LÜ Shun², GUO Zhouping², QUAN Shoucun²

1.自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室/中国地质调查局西安地质调查中心,陕西西安710054;
 2.长安大学,陕西西安710064

1. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant ore Deposits, MNR/Xi' an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China

摘要:以新疆东天山旱草湖地区中酸性环状岩体为研究对象,进行LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄和全岩地球化学研究,探讨其成因和地质意义。结果表明,侵入英云闪长岩的最老年龄为275.0±2.9Ma(MSWD=4.8),侵位时代为二叠纪。岩体Al₂O₃含量为14.46%~17.05%,A/CNK为0.93~1.09,属准铝质和弱过铝质系列,较富集K₂O,MgO含量较低,为0.71%~2.84%,Mg*值为33.3~48.6。微量元素高Sr、低Y,Sr含量为217×10⁻⁶~740×10⁻⁶,Y含量为4.26×10⁻⁶~21.4×10⁻⁶,Sr/Y值为16.87~145.07,富集大离子亲石元素Rb、Sr、Ba,亏损高场强元素Nb、Ta、Ti。稀土元素配分模式图呈现平坦右倾的轻稀土元素富集、重稀土元素亏损,表明岩体来源于石榴子石和金红石较稳定而斜长石不稳定的区域,属于角闪岩相向榴辉岩相过渡阶段,可能是同时期底侵的产物。地球化学特征表明岩体不是一期岩浆事件结晶分离演化的结果,不同岩性的岩体之间没有发生结晶分离。部分熔融程度和新生幔源组分的不同导致了旱草湖环状花岗质岩体的形成,二叠纪旱草湖地区存在较强烈的中酸性岩浆活动,是东天山二叠纪构造-岩浆演化的响应。

关键词:新疆;东天山;旱草湖;中酸性环状岩体;锆石U-Pb年龄;地球化学
中图分类号:P597⁺.3;P588.12
文献标志码:A
文章编号:1671-2552(2019)05-0777-13

Wang W, Meng Y, Wang K, Su X H, Yu J Y, Lü S, Guo Z P, Quan S C. Zircon U–Pb ages, geochemical characteristics and petrogenesis of ringed pluton in the Hancaohu area, eastern Tianshan Mountains of Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(5):777–789

Abstract: Choosing the Hancaohu intermediate–acid annular pluton distributed in East Tianshan Mountains of Xinjiang as the study object, the authors used LA–ICP–MS zircon U–Pb isotope chronology and geochemical characteristics to study the petrogenesis and geological significance of the pluton. The results indicate that the age of the earliest intrusive tonalite pluton is 275.0 ± 2.9 Ma (MSWD=4.8), suggesting that its emplacement epoch is Permian. The Al₂O₃ of the ringed pluton is 14.46%~17.05%, and A/CNK is 0.93~1.09, suggesting metaluminous and weak peraluminous series. The rocks are enriched in K₂O, and their MgO content is 0.71%~ 2.84% and Mg[#] value is 33.3~48.6. Their trace elements are high in Sr and low in Y, the content of Sr is $217 \times 10^{-6} \sim 740 \times 10^{-6}$, that of Y is $4.26 \times 10^{-6} \sim 21.4 \times 10^{-6}$, and Sr/Y ratio is $16.87 \sim 145.07$. They are enriched in LILEs (Rb, Sr, Ba) and depleted in HFSEs (Nb, Ta,

收稿日期:2017-06-05;修订日期:2017-07-18

资助项目:中国地质调查局项目《中国大地构造演化和国际亚洲大地构造图编制》(编号:DD20190364)和《新疆东天山1:25万沁城幅区调 (修测)》(编号:1212011120473)

作者简介:王伟(1979-),男,博士,高级工程师,从事地质调查与区域成矿研究。E-mail:26064166@qq.com

通讯作者:孟勇(1979-),男,硕士,高级工程师,从事区域地质调查工作。E-mail:16392800@qq.com

Ti). They are characterized by LREE enrichment and HREE depletion, implying that they were formed in an area with stable garnet, rutile and unstable plagioclase, belonging to the transitional stage from amphibolite facies to eclogite facies; they were probably formed by underplating in the same period. The variation of main elements and race elements content and discontinuous LREE/ HREE show that the pluton was not formed by crystallization evolution of one magmatic event, and the plutons of different lithologies are not separately crystallized from each other. Comprehensive analyses show that the lithospheric extension after Permian collision in Huangshan–Jingerquan area caused asthenosphere mantle upwelling and lithosphere delamination. The lithosphere vertical accretion at the boundary of the underplating crust and mantle induced the partial melting and produced high K calc–alkaline magma. With the instant intrusion of the magma, the difference of partial melting and newly formed mantle source components led to the formation of Hancaohu granitic pluton. It is shown that there was violent intermediate–acid magmatism in the Hancaohu area in Permian, and it was the response to tectonic–magmatism evolution in Permian in East Tianshan Mountains.

Key words: Xinjiang; East Tianshan Mountains; Hancaohu; intermediate-acid annular pluton; zircon U-Pb ages; geochemistry

新疆东天山造山带处于塔里木陆壳板块与准 噶尔洋壳板块聚合部位,东西延长约560km,南北宽 约110km^[1-4],其上发育大规模石炭纪一二叠纪花岗 岩类及少量泥盆纪与三叠纪花岗岩类[5-10]。花岗岩 是大陆地壳的主要组成部分,是板块俯冲碰撞及陆 壳垂向增生的重要产物,对于研究壳幔演化过程, 探讨板块相互作用及形成构造背景具有重要的意 义四。众多研究者对东天山广泛发育的晚古生代岩 浆作用开展了年代学、岩石学、地球化学等方面的研 究^[12-14],并取得了重要进展。但对旱草湖地区特殊形 态(环状中酸性岩体)侵入体的研究较少。而这种特 殊形态的岩体,其岩石地球化学特征、形成机制及构 造背景可能具有特殊的构造意义。因此,笔者在参与 "新疆东天山1:25万沁城幅区调(修测)"项目过程 中,对旱草湖环状中酸性岩体进行了详细的野外地质 调查,采集了大量样品开展分析测试,通过对锆石U-Pb年龄、岩石地球化学数据处理,研究环状中酸性岩 体的成因、形成的构造环境等,为完善东天山古生代 岩浆格架、构造-岩浆演化与成矿作用关系提供新的 依据。

1 地质背景与样品特征

1.1 区域地质背景

新疆天山构造带传统上被划分为北天山、中天山和南天山三部分^[15]。研究区位于北天山构造带,康古尔塔格-红石山韧性剪切带以南地区(图1)。 北天山地区广泛发育石炭纪—二叠纪中酸性侵入 岩体,以康古尔塔格断裂为界分为南、北两带,石炭 纪中酸性侵入岩(334~319Ma)以南带西段岩浆活动 最强烈,花岗岩体数量多、规模大。二叠纪中酸性 侵入岩(293~236Ma)以北带中西段岩浆活动较强, 南带西段与东段次之^[16]。 旱草湖中酸性岩体侵入下石炭统干墩组灰色-深灰色长石石英砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩中(图1), 长轴方向呈 NE—SW 向展布,与区域构造线方向近 于一致,其北部、西部出露同时代的黄山、黄山东等大 型超基性岩体。旱草湖中酸性岩体与干墩组是旱草 湖穹窿背斜的组成部分。该岩体呈环形出露,由中心 至边部岩性依次为二长花岗岩、花岗闪长岩、正长花 岗岩、石英闪长岩和英云闪长岩。从野外侵入关系判 断,侵入顺序为英云闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗 岩-正长花岗岩-石英闪长岩。

1.2 岩体地质特征

英云闪长岩分布在环状岩体的最外围,西部与 花岗闪长岩相间出露,东部与二长花岗岩相间分 布,它们之间呈侵入接触,其与外围早石炭世地层 干墩组大多为侵入接触。岩体中心被花岗闪长岩 和二长花岗岩侵入。岩体呈灰色-浅灰色,粒径主 要为细粒,块状构造,花岗结构,镜下为半自形-他 形结构,粒径0.4~2mm,岩石主要由斜长石(65%)、 石英(25%)、黑云母(10%)及金红石、锆石、磷灰石等 组成。斜长石呈他形-半自形粒状,常见增生环 带。石英为他形粒状,单晶或聚晶呈现。黑云母呈叶 片状半自形,具红褐色-浅褐多色性(图版 I -a、b)。

花岗闪长岩主要分布在环状岩体中部和西部, 出露零散,面积较大的岩体位于环状岩体核部地 区,西部侵入英云闪长岩中,而岩体中部被二长花 岗岩侵入。岩体呈浅褐灰色,粒径主要为中粒,块 状构造,花岗结构,镜下为不等粒半自形-他形结 构,粒径0.2~5mm,主要成分为斜长石(55%)、石英 (20%)、微斜长石(10%)、黑云母(10%)、角闪石 (5%)、榍石、磁铁矿、磷灰石、锆石等。斜长石多呈 半自形,少量他形,粒径中-大(1~5mm)。内部常具 环带构造,残留少量帘石化、绢云母化。而石英、黑



图 1 东天山旱草湖地区地质简图 Fig. 1 Geological sketch map of Hancaohu area in East Tianshan Mountains

云母、角闪石、钾长石及少量他形斜长石呈细粒变 晶集合体分布在斜长石粒间。黑云母和角闪石大 致定向分布,多为他形粒状,粒径1~0.2mm。钾长 石常交代斜长石,可见交代文象结构(图版I-c、d)。

二长花岗岩分布在环状岩体中心部位,呈面状 出露,中部被正长花岗岩侵入,东部侵入英云闪长 岩中。二长花岗岩岩体为椭球体,长轴方向与环状 花岗岩长轴方向一致。岩体呈浅肉红色,粒径为 中-粗粒,块状构造,花岗结构,镜下为半自形-他形 结构,粒径0.6~4mm,主要成分为石英(30%)、微斜 长石(35%)、斜长石(30%)、黑云母(5%)、白云母、锆 石、磁铁矿、磷灰石、帘石等。石英为他形粒状,常 呈聚晶团块出现。粒径小-大,常见塑变遗迹。斜 长石呈半自形,少量他形,粒径小-中,或呈团块出 现或被微斜长石包裹交代,可见环带结构,残留帘 石化、绢云母化。微斜长石呈他形粒状,粒径中-大,其内常有斜长石,黑云母包裹并交代之。黑云 母呈叶片状,粒径较小。微斜长石交代斜长石,显 交代蠕虫结构或文象结构(图版 I -e,f)。

正长花岗岩分布在环状花岗岩体中部和东南

部,出露较少,呈岩枝、岩脉状产出。岩体延伸方向 大致与旱草湖穹窿构造长轴方向一致。岩体侵入 英云闪长岩和二长花岗岩中,呈肉红色,粒径为粗 粒,块状构造,花岗结构,镜下为不等粒半自形-他 形结构,粒径0.6~6mm,主要成分为石英(30%)、碱 性长石(45%)、斜长石(20%)、黑云母(5%),以及锆 石、磁铁矿、磷灰石、榍石、帘石等。石英为他形粒 状,常呈聚晶团块出现。斜长石呈半自形、他形,粒 径中等,或呈团块出现或被碱长石包裹交代,可见 环带结构。碱性长石呈他形粒状,粒径较大,其内 包含斜长石,被黑云母包裹并交代。黑云母呈叶片 状,个别绿泥石化,粒径偏小。斜长石被碱长石交 代,显交代蠕虫结构或文象结构(图版 II -a、b)。

石英闪长岩分布在旱草湖穹窿构造南部,只整体出露一块,形状不规则,侵入正长花岗岩中。岩体呈浅灰色,粒径为细粒,块状构造、片麻状构造, 花岗结构,镜下为半自形结构,弱片麻状构造。粒径0.2~2mm,主要成分为斜长石(70%)、石英(10%)、 角闪石(15%)、黑云母(5%)、磁铁矿、榍石、帘石等。 斜长石大致定向分布,半自形斜长石常具净边环带



a.英云闪长岩与闪长质包体;b.英云闪长岩镜下特征; c.花岗闪长岩;d.花岗闪长岩镜下特征;e.二长闪长岩;f.二长花岗岩镜下特征。PI—斜长石; Mic—微斜长石;Q—石英;Ms—白云母;Bt—黑云母

结构,内核局部绢云母化、帘石化,黑云母和角闪石 分布在长石粒间,大致定向,黑云母交代角闪石。 石英呈他形粒状,粒度最小,似有塑变特征,与角闪 石、黑云母一样分布于斜长石粒间(图版 II -c、d)。

2 旱草湖岩体锆石U-Pb测年

为确定环状中酸性岩体的形成年代,选择最早期侵入外围早石炭世干墩组的英云闪长岩进行锆石U-Pb年龄测定。

锆石U-Pb年龄样品碎样及挑选由河北省区域 地质矿产调查研究所完成。在显微镜下挑选晶形 完好的锆石,将其制备成样品靶。在西北大学扫描 电镜实验室对所选取的锆石进行透射光、反射 (BSE)和阴极发光(CL)显微照相。依据尽量避开 裂隙、包裹体及不同时代混合区域的原则,选取锆 石测点位置。最后,在西北大学大陆动力学国家重 点实验室进行锆石LA-ICP-MS测年。使用仪器为 Agilient 7500a ICPMS和GeoLas 200M(波长193nm)



a. 正长闪长岩; b. 正长花岗岩镜下特征; c. 花岗闪长岩; d. 花岗闪长岩镜下特征。 Pl一斜长石; Q一石英; Mic一微斜长石; Hb一角闪石; Bt一黑云母

ArF 准分子激光器系统。激光剥蚀斑束直径为 30μm,剥蚀样品深度为20~40μm。以氦气为激光 剥蚀物质的载气,并用美国国家标准技术研究院研 制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610实现仪器最佳化调试。采样方式为单点剥 蚀,数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式,每 测定4~5个样品点,插入测1次标准样,每测定15~ 20个点前后各测2次 NIST SRM610。锆石年龄的 计算采用标准锆石91500为外部标准物质,成分标 样用 NIST SRM610,其中²⁹Si 为内标元素。样品的 同位素比值及元素含量计算采用 Glitter_ver4.0 (Macquarie University)程序,用 Anderson¹¹⁷¹软件对测 试数据进行普通铅校正后,用 Isoplot(ver3.0)程序制 作锆石 U-Pb谐和图¹¹⁸¹。测定结果见表1。

本次在英云闪长岩的18个测点中选取了13个 有效测点,测试所选锆石主要呈粒状或短柱状,半 透明-透明,只有少部分形态不是非常完整,裂隙及 包裹体少见。锆石阴极发光图像(图2)显示,绝大 部分锆石具有典型的岩浆振荡环带结构,且Th/U 值为0.16~0.41,进一步指示岩浆锆石的特点^[19-21]。 在²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/²³⁸U谐和图(图3-a)上,所有测点 都位于谐和线上或其附近,具有很好的一致 性。²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为275.0±2.9Ma (MSWD=4.8)(图3-b)。年龄真实可靠,可以作为 英云闪长岩的结晶年龄。前已述及,本样品采于环 状岩体最外环,因此认为早二叠世为旱草湖环状岩 体的最早侵位时代,并在随后发生了数次侵位。

3 岩石地球化学特征

样品在西北大学碎样室粉碎。主量、微量与稀 土元素的测试分析均在自然资源部岩浆作用成矿与 找矿重点实验室完成。主量元素采用Xios4.0kwX-荧光光谱仪测试分析,分析偏差优于1%。微量和稀 土元素利用酸溶法制备样品后采用等离子体质谱仪 ICP-MS测试分析,分析偏差优于5%~10%。主量、 微量和稀土元素分析测试结果列于表2。





3.1 主量元素

旱草湖环状岩体自外而内的SiO₂含量变化较 大(60.03%~71.92%),最先侵位的英云闪长岩酸性程 度较高,花岗闪长岩居中,二长花岗岩和正长花岗 岩酸性程度最高,最后侵位的石英闪长岩酸性程度 最低。所有岩性Al₂O₃和Na₂O含量都较高,Al₂O₃为 14.46%~17.05%,Na₂O为3.52%~4.60%。而K₂O和 CaO含量差别较大,K₂O含量在1.07%~4.28%之间, 英云闪长岩和石英闪长岩K₂O含量较低,分别为 1.07%~1.38%、1.30%~1.76%;二长花岗岩和正长花岗 岩 K₂O含量较高,分别为3.07%~3.30%、4.04%~ 4.28%; CaO含量变化于1.95%~4.73%之间, 二长花 岗岩和正长花岗岩 CaO含量较低, 分别为2.09%~ 2.17%、1.95%~2.09%, 而石英闪长岩和花岗闪长岩 CaO含量较高, 分别为4.61%~4.73%、4.33%~ 4.53%。K₂O/Na₂O值变化同样较大, 正长花岗岩 K₂O/Na₂O>1, 而其他岩类的K₂O/Na₂O<1。所有岩 性的里特曼指数σ均小于3.3, 属于钙碱性系列。 SiO₂-K₂O图解(图4)显示, 所有岩体都属于高钾钙 碱性-钙碱性系列。

不同岩性岩体的 AI 饱和指数 A/CNK 也有变 化,英云闪长岩、二长花岗岩和正长花岗岩: 1<A/CNK<1.1;花岗闪长岩和石英闪长岩:A/ CNK<1。在 A/NK-A/CNK 图解(图5)上,英云闪 长岩属于过铝质系列,且 A/NK 含量较高,与其标 准刚玉分子(C)>1%相符。二长花岗岩和正长花 岗岩同样属于过铝质系列,但其 A/NK 含量较 低。花岗闪长岩和石英闪长岩则属于准铝质 系列。

在 Na₂O-K₂O 成因图解(图 6)上,正长花岗岩 位于 I 型与 S 型交汇处,其他不同岩性的岩体位于 I 型花岗岩内部。

主量元素特征表明,旱草湖环状岩体并非一次 岩浆事件结晶分离演化的结果。

3.2 微量元素

旱草湖环状中酸性岩体中,不同岩性的岩体Sr 含量都较高,为217.00×10⁻⁶~740.00×10⁻⁶,但英云闪 长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和石英闪长岩的Rb 含量不高,为44.60×10⁻⁶~95.4×10⁻⁶,仅正长花岗岩



图 3 英云闪长岩锆石 U-Pb 谐和图(a)与²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值(b) Fig. 3 U-Pb concordia diagram(a)and weighted average ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages(b)of the zircons from the tonalite

含量	/10-6				同位	素比值						同位	素年	龄/Ma			2	32 TL /2381 1
Pb	Th	207Pb/206Pt	ο 1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	206Pb/238U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ P	blσ	207Pb/235	Uls²	⁰⁶ Pb/ ²³⁸	U1σ ²⁰	⁰⁸ Pb/ ²³² T	hlσ	In/ O
28.19	7.51	0.05337	0.00132	0.3260	0.0075	5 0.04432	0.00035	0.01451	0.00025	345	38	287	6	280	2	291	5	0.31
25.62	335.37	0.05027	0.00129	0.2983	0.0072	2 0.04306	0.00034	0.01447	0.00024	207	41	265	6	272	2	290	5	0.37
54.73	242.8	0.05589	0.00228	0.3497	0.0137	0.04542	0.00052	0.0162	0.00043	448	67	305	10	286	3	325	9	0.36
21.01	149.6	0.05273	0.00127	0.3199	0.0071	0.04405	0.00034	0.01428	0.00027	317	36	282	5	278	2	287	5	0.16
24.64	215.82	0.0497	0.00135	0.2980	0.0076	0.04355	0.00036	0.01399	0.00024	181	44	265	6	275	2	281	5	0.33
21.98	107.43	0.05332	0.00123	0.3146	0.0067	0.04285	0.00032	0.01342	0.00016	342	34	278	5	270	2	269	3	0.29
21.12	141.68	0.05457	0.00163	0.3253	0.0091	0.0433	0.00039	0.01403	0.00028	395	47	286	7	273	2	282	6	0.41
14.38	90.15	0.05455	0.00131	0.3248	0.0072	2 0.04324	0.00034	0.01233	0.00019	394	36	286	6	273	2	248	4	0.38
409.11	451.27	0.05504	0.00174	0.3361	0.0102	2 0.04428	0.00037	0.01382	0.00009	414	72	294	8	279	2	277	2	0.35
15.33	25.29	0.05326	0.00282	0.3118	0.0161	0.04246	0.00052	0.0133	0.00012	. 340	123	276	12	268	3	267	2	0.24
28.29	7.76	0.05339	0.00198	0.3335	0.0120	0.04531	0.00041	0.01419	0.0001	345	86	292	9	286	3	285	2	0.39
14.75	103.07	0.05595	0.00217	0.3303	0.0124	0.04281	0.00041	0.01333	0.0001	451	88	290	9	270	3	268	2	0.35
20.19	149.86	0.05866	0.00174	0.3520	0.0098	8 0.04357	0.00039	0.00795	0.00024	555	45	306	7	275	2	160	5	0.20
	含量 Pb 28.19 25.62 54.73 21.01 24.64 21.98 21.12 14.38 409.11 15.33 28.29 14.75 20.19	含量/10* Pb Th 28.19 7.51 25.62 335.37 54.73 242.8 21.01 149.6 24.64 215.82 21.98 107.43 21.12 141.68 14.38 90.15 409.11 451.27 15.33 25.29 28.29 7.76 14.75 103.07 20.19 149.86	含量/10°PbTh207Pb/206Pl28.197.510.0533725.62335.370.0502754.73242.80.0558921.01149.60.0527324.64215.820.049721.98107.430.0533221.12141.680.0545714.3890.150.0550415.3325.290.0532628.297.760.0533914.75103.070.0559520.19149.860.05866	含量/10* Pb Th ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 1σ 28.19 7.51 0.05337 0.00132 25.62 335.37 0.05027 0.00129 54.73 242.8 0.05589 0.00228 21.01 149.6 0.05273 0.00127 24.64 215.82 0.0497 0.00135 21.98 107.43 0.05332 0.00123 21.12 141.68 0.05457 0.00163 14.38 90.15 0.05455 0.00131 409.11 451.27 0.05504 0.00174 15.33 25.29 0.05326 0.00282 28.29 7.76 0.05399 0.00198 14.75 103.07 0.05595 0.00217 20.19 149.86 0.05866 0.00174	含量/10 ⁻⁶ Pb Th ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 1σ ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U 28.19 7.51 0.05337 0.00132 0.3260 25.62 335.37 0.05027 0.00129 0.2983 54.73 242.8 0.05589 0.00228 0.3497 21.01 149.6 0.05273 0.00127 0.3199 24.64 215.82 0.0497 0.00135 0.2980 21.98 107.43 0.05332 0.00123 0.3146 21.12 141.68 0.05457 0.00163 0.3253 14.38 90.15 0.05455 0.00131 0.3248 409.11 451.27 0.05504 0.00174 0.3361 15.33 25.29 0.05326 0.00282 0.3118 28.29 7.76 0.05399 0.00198 0.3355 14.75 103.07 0.05595 0.00217 0.3303 20.19 149.86 0.05866 0.00174 0.3520	含量/10 ⁻⁶ 同位 Pb Th ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 1σ ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U 1σ 28.19 7.51 0.05337 0.00132 0.3260 0.0072 25.62 335.37 0.05027 0.00129 0.2983 0.072 54.73 242.8 0.05589 0.00228 0.3497 0.0137 21.01 149.6 0.05273 0.00127 0.3199 0.0074 24.64 215.82 0.0497 0.0135 0.2980 0.0067 21.98 107.43 0.05332 0.00123 0.3146 0.0067 21.12 141.68 0.05455 0.001163 0.3253 0.00174 21.38 90.15 0.05504 0.00174 0.3361 0.0102 14.38 90.15 0.05504 0.00174 0.3361 0.0102 15.33 25.29 0.05326 0.00282 0.3118 0.0161 28.29 7.76 0.05395 0.00217 0.3303 0.0124 <	含量/10*同位素比値PbTh207Pb/206Pb1σ207Pb/235U1σ206Pb/238U28.197.510.053370.001320.32600.00750.0443225.6235.370.050270.01290.29830.0720.04432242.80.055890.002280.34970.01370.0454221.01149.60.052730.011270.31990.00710.0440524.64215.820.04970.011350.29800.00760.0435521.98107.430.053320.001230.31460.00670.0428521.12141.680.054570.011630.32530.00120.043314.3890.150.055040.001740.33610.01020.0442815.3325.290.053260.002820.31180.01610.0426628.297.760.053950.002170.33030.01240.0428114.75103.070.055950.002170.33030.01240.0428120.19149.860.058660.001740.35200.00980.04357	含量/10 ⁶ 同位素比值 Pb Th ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 1σ ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U 1σ ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 1σ 28.19 7.51 0.05337 0.00132 0.3260 0.0075 0.04432 0.00034 54.73 242.8 0.05589 0.00228 0.3497 0.0137 0.04542 0.00034 24.64 215.82 0.0573 0.00127 0.3199 0.0076 0.04435 0.00034 24.64 215.82 0.0497 0.00135 0.2980 0.0076 0.04355 0.00034 21.98 107.43 0.05332 0.00127 0.3199 0.0076 0.04355 0.00034 21.98 107.43 0.05332 0.00123 0.3146 0.0067 0.04285 0.00032 21.12 141.68 0.05457 0.00163 0.3253 0.0091 0.0433 0.00039 14.38 90.15 0.05504 0.00174 0.3361 0.0102 0.04428 0.00037 15.33 25.29 <td>含量/10⁻⁶ 同位素比值 Pb Th ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 1σ ²⁰⁷Pb/²³⁵U 1σ ²⁰⁶Pb/²³⁸U 1σ ²⁰⁸Pb/²³²Th 28.19 7.51 0.05337 0.00132 0.3260 0.0075 0.04432 0.00035 0.01451 25.62 335.37 0.05027 0.00129 0.2983 0.0072 0.04306 0.00034 0.01447 54.73 242.8 0.05589 0.00228 0.3497 0.0137 0.04542 0.00034 0.01428 24.64 215.82 0.0497 0.0135 0.2980 0.0076 0.04355 0.00034 0.01428 21.98 107.43 0.05332 0.00123 0.3146 0.0067 0.04335 0.00034 0.01342 21.12 141.68 0.05457 0.00163 0.3253 0.0091 0.04333 0.00034 0.01333 409.11 451.27 0.05504 0.00174 0.3361 0.0102 0.04428 0.00037 0.01382 15.33 25.29</td> <td>含量/10* 同位素比值 Pb Th 207Pb/206Pb 1σ 207Pb/235U 1σ 206Pb/238U 1σ 208Pb/232Th 1σ 28.19 7.51 0.05337 0.00132 0.3260 0.0075 0.04432 0.00035 0.01451 0.00025 25.62 335.37 0.05027 0.00129 0.2983 0.0072 0.04432 0.00035 0.01451 0.00024 54.73 242.8 0.05589 0.00228 0.3497 0.0137 0.04542 0.00034 0.01428 0.00024 21.01 149.6 0.05273 0.00127 0.3199 0.0071 0.04542 0.00034 0.01428 0.00027 24.64 215.82 0.0497 0.01135 0.2980 0.0076 0.04355 0.00034 0.01428 0.00024 21.98 107.43 0.05332 0.00123 0.3146 0.0067 0.04285 0.0032 0.01342 0.00016 21.12 141.68 0.05455 0.00131 0.3248 0.0</td> <td>含量/10*同位素比值PbTh$^{207}Pb/^{206}Pb$1σ$^{207}Pb/^{235}U$1σ$^{206}Pb/^{238}U$1σ$^{206}Pb/^{232}Th$1σ$^{207}Pb/^{206}Pb$28.197.510.053370.001320.32600.00750.044320.000350.014510.0002534525.62335.370.050270.001290.29830.00720.043060.000340.014470.0002420754.73242.80.055890.002280.34970.01370.045420.000520.01620.0004344821.01149.60.052730.001270.31990.00710.044050.000340.014280.0002731724.64215.820.04970.001350.29800.00760.043550.000320.013420.0002418121.98107.430.053320.001230.31460.00670.042850.000320.013420.0001634221.12141.680.054570.001330.32530.00710.04330.000340.014330.0002839514.3890.150.054550.001310.32480.00720.042850.000370.013820.0001934415.3325.290.053260.002820.31180.01610.042460.000570.01330.0001234028.297.760.053390.001740.33030.01200.045310.000410.013330.000134514.75103.070</td> <td>含量/10*同位素比值PbTh207Pb/206Pb1σ207Pb/235U1σ206Pb/38U1σ208Pb/232Th1σ207Pb/206Pb1σ28.197.510.053370.001320.32600.00750.044320.000350.014510.000253453825.62335.370.050270.001290.29830.00720.043060.000340.014470.000242074154.73242.80.055890.002280.34970.01370.045420.000340.014280.000273173624.64215.820.04970.001350.29800.00760.043550.000340.014280.000273173624.64215.820.04970.01350.29800.00760.043250.000320.013420.000163423421.98107.430.053320.001230.31460.00670.042850.00320.014330.000283954714.3890.150.055040.001740.33610.01020.044280.000370.013820.0001934436409.11451.270.055040.002820.31180.01610.042460.000520.01330.0001934412328.297.760.053390.002170.33030.01240.043310.00410.013330.0013458614.75103.070.055950.002170.33030.01240.043510.00410.01333<t< td=""><td>含量/10* 同位素比值 同位素比值 同位 Pb Th 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/235U 1 σ 206Pb/232U 1 σ 206Pb/232Th 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/235U 1 σ 206Pb/232U 1 σ 206Pb/232Th 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/205Pb 207Pb/205Pb 207Pb/205Pb</td><td>\widehat{Pb} Th $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{238}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{232}Th$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{238}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{208}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}Th$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$</td><td>\widehat{Pb} \widehat{Pb} <</td><td>$\exists \equiv 1/10^{\circ}$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Pb/^{200}Pb$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Pb/^{235}U$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Fb/^{235}U$ $d\sigma = 10^{\circ} Fb/^{235}U$<</td><td>$\widehat{A} \equiv 10^{\circ}$ $\overline{B} (\Delta x)^{1/2}$ $\overline{B} (\Delta$</td><td>$\exists \blacksquare 10^{\circ}$ $\exists 0^{\circ} T = 10^{\circ} T =$</td></t<></td>	含量/10 ⁻⁶ 同位素比值 Pb Th ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 1σ ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U 1σ ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 1σ ²⁰⁸ Pb/ ²³² Th 28.19 7.51 0.05337 0.00132 0.3260 0.0075 0.04432 0.00035 0.01451 25.62 335.37 0.05027 0.00129 0.2983 0.0072 0.04306 0.00034 0.01447 54.73 242.8 0.05589 0.00228 0.3497 0.0137 0.04542 0.00034 0.01428 24.64 215.82 0.0497 0.0135 0.2980 0.0076 0.04355 0.00034 0.01428 21.98 107.43 0.05332 0.00123 0.3146 0.0067 0.04335 0.00034 0.01342 21.12 141.68 0.05457 0.00163 0.3253 0.0091 0.04333 0.00034 0.01333 409.11 451.27 0.05504 0.00174 0.3361 0.0102 0.04428 0.00037 0.01382 15.33 25.29	含量/10* 同位素比值 Pb Th 207Pb/206Pb 1σ 207Pb/235U 1σ 206Pb/238U 1σ 208Pb/232Th 1σ 28.19 7.51 0.05337 0.00132 0.3260 0.0075 0.04432 0.00035 0.01451 0.00025 25.62 335.37 0.05027 0.00129 0.2983 0.0072 0.04432 0.00035 0.01451 0.00024 54.73 242.8 0.05589 0.00228 0.3497 0.0137 0.04542 0.00034 0.01428 0.00024 21.01 149.6 0.05273 0.00127 0.3199 0.0071 0.04542 0.00034 0.01428 0.00027 24.64 215.82 0.0497 0.01135 0.2980 0.0076 0.04355 0.00034 0.01428 0.00024 21.98 107.43 0.05332 0.00123 0.3146 0.0067 0.04285 0.0032 0.01342 0.00016 21.12 141.68 0.05455 0.00131 0.3248 0.0	含量/10*同位素比值PbTh $^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $^{207}Pb/^{235}U$ 1σ $^{206}Pb/^{238}U$ 1σ $^{206}Pb/^{232}Th$ 1σ $^{207}Pb/^{206}Pb$ 28.197.510.053370.001320.32600.00750.044320.000350.014510.0002534525.62335.370.050270.001290.29830.00720.043060.000340.014470.0002420754.73242.80.055890.002280.34970.01370.045420.000520.01620.0004344821.01149.60.052730.001270.31990.00710.044050.000340.014280.0002731724.64215.820.04970.001350.29800.00760.043550.000320.013420.0002418121.98107.430.053320.001230.31460.00670.042850.000320.013420.0001634221.12141.680.054570.001330.32530.00710.04330.000340.014330.0002839514.3890.150.054550.001310.32480.00720.042850.000370.013820.0001934415.3325.290.053260.002820.31180.01610.042460.000570.01330.0001234028.297.760.053390.001740.33030.01200.045310.000410.013330.000134514.75103.070	含量/10*同位素比值PbTh207Pb/206Pb1σ207Pb/235U1σ206Pb/38U1σ208Pb/232Th1σ207Pb/206Pb1σ28.197.510.053370.001320.32600.00750.044320.000350.014510.000253453825.62335.370.050270.001290.29830.00720.043060.000340.014470.000242074154.73242.80.055890.002280.34970.01370.045420.000340.014280.000273173624.64215.820.04970.001350.29800.00760.043550.000340.014280.000273173624.64215.820.04970.01350.29800.00760.043250.000320.013420.000163423421.98107.430.053320.001230.31460.00670.042850.00320.014330.000283954714.3890.150.055040.001740.33610.01020.044280.000370.013820.0001934436409.11451.270.055040.002820.31180.01610.042460.000520.01330.0001934412328.297.760.053390.002170.33030.01240.043310.00410.013330.0013458614.75103.070.055950.002170.33030.01240.043510.00410.01333 <t< td=""><td>含量/10* 同位素比值 同位素比值 同位 Pb Th 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/235U 1 σ 206Pb/232U 1 σ 206Pb/232Th 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/235U 1 σ 206Pb/232U 1 σ 206Pb/232Th 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/205Pb 207Pb/205Pb 207Pb/205Pb</td><td>\widehat{Pb} Th $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{238}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{232}Th$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{238}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{208}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}Th$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$</td><td>\widehat{Pb} \widehat{Pb} <</td><td>$\exists \equiv 1/10^{\circ}$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Pb/^{200}Pb$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Pb/^{235}U$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Fb/^{235}U$ $d\sigma = 10^{\circ} Fb/^{235}U$<</td><td>$\widehat{A} \equiv 10^{\circ}$ $\overline{B} (\Delta x)^{1/2}$ $\overline{B} (\Delta$</td><td>$\exists \blacksquare 10^{\circ}$ $\exists 0^{\circ} T = 10^{\circ} T =$</td></t<>	含量/10* 同位素比值 同位素比值 同位 Pb Th 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/235U 1 σ 206Pb/232U 1 σ 206Pb/232Th 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/235U 1 σ 206Pb/232U 1 σ 206Pb/232Th 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/206Pb 1 σ 207Pb/205Pb 207Pb/205Pb 207Pb/205Pb	\widehat{Pb} Th $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{238}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{232}Th$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{238}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}U$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{208}U$ 1σ $2^{208}Pb/^{332}Th$ 1σ $2^{207}Pb/^{206}Pb$ 1σ $2^{207}Pb/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$ $1\sigma^{2}Db/^{208}D$	\widehat{Pb} <	$\exists \equiv 1/10^{\circ}$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Pb/^{200}Pb$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Pb/^{235}U$ $\exists \sigma = 10^{\circ} Fb/^{235}U$ $d\sigma = 10^{\circ} Fb/^{235}U$ <	$\widehat{A} \equiv 10^{\circ}$ $\overline{B} (\Delta x)^{1/2}$ $\overline{B} (\Delta $	$\exists \blacksquare 10^{\circ}$ $\exists 0^{\circ} T = 10^{\circ} T =$

表1 旱草湖环状岩体英云闪长岩锆石 U-Th-Pb 定年分析数据 Table 1 Zireon U-Th-Pb analytic results of topolite in Hancoobu ringed pluton

Rb含量较高(174.00×10⁻⁶~184.00×10⁻⁶), Rb/Sr值 都很低(0.06~0.6)。由表2所示, 二长花岗岩和正长 花岗岩Ba的含量均大于花岗闪长岩, 二长花岗岩Sr 的含量大于花岗闪长岩, Rb/Sr值小于花岗闪长 岩。前人研究提出, 若一个侵入体能按照由基性到 酸性演化, 则会产生斜长石的分离结晶^[24], 而斜长石 的分离结晶会导致 Al₂O₃、CaO、Sr和 Ba含量降低, Rb/Sr值升高。环状岩体所有岩体的 Ba含量都很 高(191.00×10⁻⁶~912.00×10⁻⁶), Rb/Sr值都很低, 这 与斜长石的分离结晶不符。因此, 根据微量元素特

征判断,花岗闪长岩与二长花岗岩、正长花岗岩不 是同一个岩浆事件结晶分离的结果。在微量元素 原始地幔标准化蛛网图(图7)上,岩体整体富集大 离子亲石元素(LILE),如Rb、Sr、Ba等,不同岩性岩 体有一定的变化范围,其中二长花岗岩和石英闪长 岩 Sr 富集较明显,岩体整体亏损高场强元素 (HFSE)Nb、Ta和Ti,亏损程度略有不同,但Zr、Th 相对富集,显示可能有幔源组分的代入,环状中酸 性岩体形成过程中以壳源物质占主导,同时可能有 一定的幔源组分参与。Y含量较低,为4.26×10⁻⁶~







图 5 早草湖环状岩体 A/CNK-A/NK 图解^[23] Fig. 5 A/CNK-A/NK diagram of Hancaohu ringed pluton

表2	旱草湖环状岩体主量、微量和稀土元素分析结果

Table 2 Major, trace elements and REE analytic data of Hancaohu ringed pluton

217 θx 3 13 6 13 6 13 6 13 14	样号	YY-01	YY-02	YY-03	HG-01	HG-02	HG-03	EC-01	EC-02	EC-03	ZC-01	ZC-02	ZC-03	SY-01	SY-02	SY-03
Sh0 0.128 1.146 1.139 6.1.09 1.148 1.149 1.142 1.146 1.688 1.697 1.716 FeCO 0.31 0.38 0.33 1.66 1.46 1.47 0.78 0.81 0.74 0.82 0.85 0.86 0.20 2.10 2.11 2.21 CO 0.64 2.79 2.84 3.43 2.40 0.74 0.71 0.73 0.72 0.77 7.30 2.84 CO 0.64 0.37 0.76 2.47 1.30 2.21 0.71 0.71 0.73 0.72 0.77 2.8 2.84 1.44 1.42 1.46 1.43 4.28 4.51 4.44 1.76 1.39 3.03 3.03 1.33 1.48 1.44 3.42 3.44 3.42 3.44 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0.48 0	岩性		云闪长	岩	花	词闪长;	岩		长花岗:	岩	止	:长花岗:	岩	(0.02	1英闪长着	<u> 중</u>
ALAD, (1.5.9) <		70.58	/1.36	71.59	63.07	64.32	64.06	71.54	70.95	71.80	71.19	71.92	71.54	60.03	60.24	60.17
	AI_2O_3	15.59	15.30	15.28	16.45	10.5/	16.48	14.98	15.55	14.8/	14.79	14.55	14.46	16.88	16.97	17.05
FEO 1.08 3.39 2.38 2.36 1.00 0.94 0.97 1.03 0.92 1.03 3.91 3.91 MOD 0.88 3.07 0.76 0.56 4.57 4.10 4.14 0.72 2.10 0.71 1.03 3.91 3	Fe_2O_3	2.60	0.58	0.55	2.00	1.40	1.47	0.78	0.01	0.74	0.82	0.85	0.80	2.50	2.17	2.20
Cab 3.08 3.07 3.09 4.39 4.30 4.30 4.20 4.11 1.12 2.10 4.30 4.12 4.14 1.40 1.42 4.12 4.14 1.41 1.20 2.14 3.31 3.31 3.07 4.28 4.12 4.14 1.76 1.39 1.30 NaO 3.71 3.7	FeO	2.60	2.30	2.34	3.00	2.52	2.54	2.00	0.98	0.92	1.00	0.92	2.00	3.34	5.45	3.37
	CaO MgO	5.08	5.78 0.75	5.00	4.35	4.55	4.50	2.09	2.14	2.17	1.93	2.01	2.09	4.01	4.75	4.72
Kiko 1.37 1.37 1.39 1.34 1.30 1.39 1.39 1.39 1.39 1.39 TiO, 0.00 0.377 0.36 4.07 0.32 0.31 0.32 0.33 0.33 0.35 0.38 0.37 0.44 0.45 0.38 0.37 0.37 0.37 0.37 0.37 0.37 0.37 0.37 0.37 0.37 0.37 0.38 0.38 0.38 0.37 0.37 0.38 0.38 0.38 0.39 0.30 0.31 0.33 0.31 0.33 0.31 0.33 0.35 0.31 0.31 0	NigO K O	1.29	1.07	0.70	2.47	2.10	2.14	2 20	2 21	2.07	1 28	0.72	4.04	2.77	1.20	2.04
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	K_2O	3 71	3 70	1.15	2.20	2.40 4.16	2.47 113	1 28	5.21 4.51	131	4.20	4.12	3.62	1.70	1.59	1.50
bbc 0.010 0.010 0.024 0.026 0.026 0.026 0.027 0.028 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.021 0		0.40	0.37	0.36	4.21	4.10	4.15	0.20	0.28	0.27	0.26	0.26	0.27	4.50	4.00	0.03
Mail 0.06 0.06 0.07 0.067 0.087 0.087 0.084 0.080 0.080 0.081 0.082 0.084 0.084 0.084 0.085 0.084 0.084 0.084 0.084 0.085 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.081 0.091 0.081 0.084 0.0	P.O.	0.40	0.37	0.30	0.73	0.01	0.02	0.29	0.28	0.27	0.20	0.20	0.27	0.31	0.92	0.95
B B C	MnO	0.06	0.10	0.06	0.077	0.20	0.067	0.037	0.037	0.037	0.03	0.004	0.088	0.082	0.084	0.084
$ \begin{array}{c} \begin{array}{c} \hline matrix \\ matrix$	悠 朱景	0.00	0.60	0.65	1 22	1 12	1 33	0.057	0.057	0.007	0.042	0.042	1 11	2 24	2 20	2 20
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	总计	100.00	100.01	100.01	99 877	99.856	99 877	99 953	99 915	99 922	99.622	99 896	99 913	99.862	99 904	99 884
KeO'NaO 0.37 0.28 0.34 0.54 0.58 0.77 0.71 0.71 1.21 1.16 1.12 0.31 0.23 1.90 A/CNK 1.09 1.07 1.08 0.93 0.95 0.94 1.03 1.03 1.03 1.03 1.04 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.79 1.87 1.90 3.80 9.50 6.60 6.41 1.640 1.78 1.90 4.810 1.40 4.40 1.63 9.20 9.70 9.80 9.70 9.80 9.70 9.80 9.20 9.70 9.80 9.20 9.70 9.80 9.20 9.70 9.80 9.20 9.70 9.80 9.20 9.70 9.80 9.20 9.70 9.80 9.20 9.70 9.80 9.20 9.70 9.80 9.20 9.70	σ	0.93	0.83	0.82	2.08	2.01	2.06	2.01	2.13	1.90	2.15	2.02	2.05	2.34	2.08	2.02
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	K ₂ O/ Na ₂ O	0.37	0.28	0.30	0.54	0.58	0.59	0.77	0.71	0.71	1.21	1.16	1.12	0.39	0.31	0.28
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	TFeO/MgO	3.27	3.52	3.46	1.80	1.82	1.80	2.36	2.40	2.23	2.38	2.34	2.32	1.95	1.92	1.90
ANK 2.05 2.07 2.07 1.75 1.74 1.41 1.40 1.42 1.41 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.40 1.42 1.41 1.40 <th1< td=""><td>A/CNK</td><td>1.09</td><td>1.07</td><td>1.08</td><td>0.93</td><td>0.95</td><td>0.94</td><td>1.03</td><td>1.03</td><td>1.03</td><td>1.05</td><td>1.04</td><td>1.02</td><td>0.94</td><td>0.96</td><td>0.97</td></th1<>	A/CNK	1.09	1.07	1.08	0.93	0.95	0.94	1.03	1.03	1.03	1.05	1.04	1.02	0.94	0.96	0.97
Cu 3.57 3.42 5.44 25.10 21.8 21.70 7.87 7.62 7.51 8.72 9.98 8.88 9.70 7.70 33.80 Cn 52.10 47.30 46.70 73.40 69.60 63.60 50.40 49.20 47.80 40.50 40.60 60.00 50.00 58.80 56.40 62.00 Ci 1.65 2.58 1.63 47.90 38.80 40.80 8.53 9.48 7.99 32.50 12.80 10.40 26.30 26.10 28.00 21.40 16.40 Li 45.40 37.20 39.90 32.20 26.20 29.90 48.60 48.50 48.40 48.00 17.00 38.60 66.06 68.02 28.10 95.70 57.50 57.40 73.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00 74.00	A/NK	2.05	2.07	2.07	1.75	1.75	1.74	1.41	1.40	1.42	1.41	1.410	1.40	1.79	1.87	1.90
Pb 8.59 6.96 6.41 16.40 17.80 19.50 44.10 28.30 25.20 17.00 63.00 93.40 16.70 92.90 98.00 Cr 1.65 2.58 1.63 47.90 38.80 40.80 8.53 9.48 7.49 23.50 12.80 10.70 58.80 56.40 60.60 Ni 0.76 1.19 0.89 28.70 24.20 25.70 3.38 3.82 3.34 6.90 6.09 4.40 26.00 21.40 16.40 Li 45.40 37.20 39.90 32.20 25.00 25.00 43.60 45.00 45.80 44.20 3.40 3.60 3.60 3.50 29.00 37.00 25.00 27.00 27.00 27.00 25.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 27.00 <t< td=""><td>Cu</td><td>3.57</td><td>3.42</td><td>5.34</td><td>25.10</td><td>21.8</td><td>21.70</td><td>7.87</td><td>7.62</td><td>7.51</td><td>8.72</td><td>9.59</td><td>8.88</td><td>39.70</td><td>37.70</td><td>33.80</td></t<>	Cu	3.57	3.42	5.34	25.10	21.8	21.70	7.87	7.62	7.51	8.72	9.59	8.88	39.70	37.70	33.80
Za 52.10 47.30 67.00 73.40 69.60 63.60 50.40 49.20 47.80 48.10 42.60 99.20 98.70 98.00 Ni 0.76 1.19 0.89 28.70 24.20 25.70 3.38 3.82 3.34 6.90 6.90 4.40 26.30 26.10 28.20 Co 4.73 4.01 1.12 14.00 13.70 3.48 3.41 3.96 3.60 4.81.0 4.10 26.30 26.10 28.20 Co 4.73 4.01 5.10 3.90 90.60 87.20 90.70 95.40 79.40 48.00 45.00 17.00 17.00 17.00 12.0 42.0 94.00 99.00 28.90 73.00 35.60 282.00 28.00 73.00 35.60 282.00 28.00 73.00 35.60 28.20 92.00 28.90 73.00 35.60 28.20 92.00 28.90 73.00 35.60 28.20	Pb	8.59	6.96	6.41	16.40	17.80	19.50	44.10	28.30	25.20	117.00	36.00	93.40	16.70	9.29	13.10
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Zn	52.10	47.30	46.70	73.40	69.60	63.60	50.40	49.20	47.80	40.50	48.10	42.60	99.20	98.70	98.00
Ni 0.76 1.19 0.89 28.70 24.20 25.70 3.38 3.32 3.34 6.90 6.09 4.40 26.30 26.10 28.20 Co 47.3 4.01 41.51 41.40 14.00 14.15 14.40 16.40 15.00 14.00 15.00 14.00 15.00 14.00 3.60 3.81 3.41 3.67 3.56 3.80 14.00 15.00 14.20 44.60 Cs 2.96 2.15 2.17 4.31 3.67 3.44 3.79 3.57 3.36 3.80 3.90 3.90 3.50 3.90 3.90 3.90 3.90 3.60 3.90 3.90 3.50 2.50 1.60 1.60 1.60 1.60 1.60 1.60	Cr	1.65	2.58	1.63	47.90	38.80	40.80	8.53	9.48	7.49	23.50	12.80	10.70	58.80	56.40	60.60
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Ni	0.76	1.19	0.89	28.70	24.20	25.70	3.38	3.82	3.34	6.90	6.09	4.40	26.30	26.10	28.20
Li 45.40 37.20 39.90 32.20 22.62.0 25.90 48.60 43.00 43.60 44.70 54.80 44.20 34.00 36.60 38.90 Rb 70.70 69.50 69.30 90.60 87.20 90.70 95.40 79.40 84.80 18.400 15.00 17.00 22.00 27.00 17.00 14.00 0.00 0.00 0.00 0.00 14.00 0.00 28.00 17.00 18.00 17.00 18.00 17.00 18.00 17.00 18.00 17.00 18.00 17.00 18.00 17.00 18.00 17.00 18.00 17.00 18.00 17.00 18.00	Со	4.73	4.01	4.15	14.20	14.00	13.70	3.48	3.41	3.96	3.60	4.18	3.41	16.90	21.40	16.40
Rb 70.70 69.50 69.30 90.60 87.20 91.70 95.40 79.40 84.80 175.00 174.00 55.00 41.20 41.60 Cs 296 21.5 21.70 42.20 468.00 453.00 619.00 615.00 81.80 305.00 290.00 289.00 73.00 72.00 74.00 740.00 Ba 260.00 191.00 194.00 482.00 141.00 425.10 28.50 25.30 27.50 27.50 57.60 164.00 10.0 78.4 447 22.64 3.36 3.42 11.00 9.70 10.60 Nb 4.49 3.96 3.96 1.01 7.84 7.86 4.84 4.47 2.64 3.36 3.42 11.00 1.60 18.00 16.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.00 13.0	Li	45.40	37.20	39.90	32.20	26.20	25.90	48.60	45.90	43.60	45.70	45.80	44.20	34.00	36.60	38.90
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Rb	70.70	69.50	69.30	90.60	87.20	90.70	95.40	79.40	84.80	184.00	175.00	174.00	55.00	47.20	44.60
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Cs	2.96	2.15	2.17	4.31	3.67	3.44	3.79	3.57	3.36	3.86	3.91	4.02	3.19	2.70	2.59
Ba 260.00 191.00 194.00 348.00 414.00 425.00 912.00 825.00 597.00 575.00 576.00 976.00 286.00 282.00 285.00 275.00 275.00 356.00 282.00 96.00 97.00 104.00 97.00 104.00 97.00 104.00 97.00 104.00 84.8 91.6 3.80 3.17 3.07 3.64 3.36 3.42 11.00 97.00 10.60 Nb 4.49 3.96 3.96 10.10 7.84 7.86 4.48 4.47 4.22 8.49 7.61 7.82 8.07 8.01 8.05 8.57 Zr 20.00 193.00 128.00 126.00 115.00 126.00 13.00 13.90 118.00 19.00 18.00 17.00 12.00 17.01 15.0 16.60 20.00 2.51 1.30 2.52 2.59 1.48 1.52 1.48 Be 1.51 1.68 1.61 1.63	Sr	226.00	223.00	217.00	422.00	468.00	453.00	619.00	615.00	618.00	305.00	290.00	289.00	737.00	724.00	740.00
V 31.20 27.40 26.30 81.00 66.60 68.20 28.10 28.50 25.30 27.50 27.00 26.30 96.60 97.60 104.00 Nb 5 4.49 3.96 3.96 10.10 7.84 7.86 4.88 9.16 3.80 3.17 3.07 3.64 3.36 3.42 11.00 9.70 10.60 Nb 4.49 3.96 3.96 10.10 7.84 7.86 4.48 4.47 4.22 8.49 7.61 7.82 8.07 8.01 8.66 Ta 0.60 0.40 0.42 1.14 0.86 0.87 0.46 0.48 0.43 1.16 0.98 1.04 0.61 0.55 0.59 Zr 220.00 15.00 220.00 19.20 01 128.00 126.00 15.00 15.00 13.90 139.00 118.00 195.00 181.00 Hf 4.72 4.06 4.46 5.41 4.73 4.28 3.56 3.56 3.13 3.92 3.82 4.34 3.35 4.72 4.46 Be 1.51 1.30 1.25 2.20 2.06 2.10 1.51 1.68 1.61 2.63 2.52 2.59 1.48 1.52 1.48 Ga 16.40 15.60 15.70 19.50 19.30 18.00 195.00 120.00 1	Ba	260.00	191.00	194.00	348.00	414.00	425.00	912.00	865.00	823.00	597.00	575.00	573.00	356.00	282.00	294.00
Sc 7.56 7.73 5.76 10.00 8.48 9.16 3.80 3.17 3.07 3.64 3.36 3.42 11.00 9.70 10.60 Nb 4.49 3.66 0.40 0.42 1.14 0.86 0.87 0.46 0.48 0.43 1.16 0.98 1.04 0.61 0.55 0.59 Zr 220.00 193.00 208.00 22.00 173.00 128.00 126.00 11.00 150.00 150.00 150.00 150.00 150.00 150.00 150.00 166.00 20.00 0.710 0.76 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70	V	31.20	27.40	26.30	81.00	66.60	68.20	28.10	28.50	25.30	27.50	27.00	26.30	96.60	97.60	104.00
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Sc	7.56	7.53	5.76	10.00	8.48	9.16	3.80	3.17	3.07	3.64	3.36	3.42	11.00	9.70	10.60
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Nb	4.49	3.96	3.96	10.10	7.84	7.86	4.48	4.47	4.22	8.49	7.61	7.82	8.07	8.01	8.66
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	la	0.60	0.40	0.42	1.14	0.86	0.8/	0.46	0.48	0.43	1.16	0.98	1.04	0.61	0.55	0.59
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Zr	220.00	193.00	208.00	220.00	192.00	1/3.00	128.00	126.00	115.00	126.00	131.00	139.00	118.00	195.00	181.00
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	HI Po	4.72	4.00	4.40	2.41	4.75	4.28	3.30	3.30	3.13	3.92	3.82 2.52	4.54	5.55	4.72	4.40
U 0.98 1.26 1.21 1.86 1.40 17.0 17.30 17.30 17.30 17.40 17.40 17.40 17.40 10.30 17.40 10.30 10.00 20.10 20.10 20.10 17.40 10.30 17.40 10.30 17.40 10.30 17.40 10.30 17.40 10.30 17.40 10.30 17.40 17.	Ga	16.40	1.50	1.23	2.20	2.00	2.10	17.00	1.00	17.60	2.05	2.52	2.39	20.60	20.10	20.80
Th 5.30 4.65 4.79 7.68 4.91 5.53 5.06 5.06 4.00 12.00 9.87 12.20 1.83 1.74 1.93 Rb/Sr 0.31 0.31 0.32 0.21 0.19 0.20 0.15 0.13 0.14 0.60 0.60 0.60 0.07 0.07 0.06 Nb/Ta 7.48 9.90 9.43 8.86 9.12 9.03 9.74 9.31 9.81 7.32 7.77 7.52 13.23 14.56 14.68 Sr/Y 16.87 22.97 19.91 19.72 28.54 27.62 138.48 142.36 145.07 28.77 31.45 31.24 49.80 49.25 47.44 La 19.60 18.60 18.60 12.00 28.60 20.20 22.30 18.20 16.20 14.00 16.60 19.00 17.20 18.30 17.50 18.30 Ce 39.00 37.50 38.00 61.40 45.80 48.10 36.20 31.90 27.70 35.90 39.20 36.90 44.60 43.60 44.90 Pr 4.60 4.34 4.47 7.30 5.46 5.56 3.90 3.48 3.03 4.36 4.60 4.32 5.89 5.69 5.90 Nd 17.60 16.10 17.10 27.60 21.80 21.30 13.40 12.10 11.00 16.20 16.80 16.10 24.70 23.70 24.20 Sm 2.92 2.72 2.88 5.06 4.04 3.93 1.98 1.84 1.80 3.17 2.90 2.86 4.73 4.67 4.67 Eu 0.87 0.84 0.83 1.24 1.08 1.06 0.62 0.61 0.62 0.70 0.66 0.67 1.34.00 1.37.00 1.40 Gd 2.53 2.20 2.53 4.68 3.62 3.73 1.39 1.41 1.22 2.65 2.29 2.29 4.30 4.02 4.17 Tb 0.37 0.32 0.34 0.69 0.53 0.56 0.17 0.18 0.15 0.36 0.31 0.32 0.57 0.55 0.57 Dy 2.26 1.70 1.94 3.75 2.96 2.91 0.85 0.84 0.8 1.89 1.62 1.61 2.91 2.77 3.06 Ho 0.47 0.34 0.40 0.78 0.62 0.6 0.17 0.16 0.16 0.40 0.34 0.33 0.54 0.55 0.58 Er 1.52 1.03 1.18 2.21 1.74 1.74 0.48 0.44 0.42 1.12 0.96 0.97 1.52 1.51 1.57 Tm 0.23 0.14 0.17 0.34 0.26 0.26 0.072 0.068 0.065 0.17 0.15 0.15 0.21 0.22 0.23 Yb 1.78 1.07 1.30 2.18 1.70 1.68 0.48 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.07 0.064 0.17 0.15 0.15 0.21 0.22 0.23 Yb 1.78 1.07 1.30 2.18 1.70 1.68 0.48 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.07 0.064 0.17 0.15 0.16 0.18 0.20 0.22 Y 1.3.40 9.71 1.0.90 2.1.40 16.40 14.40 4.47 4.32 4.26 10.60 9.22 9.25 14.80 14.70 15.60 EVEH 94.02 87.06 90.35 146.16 110.07 113.97 77.99 69.748 61.459 84.79 89.96 84.88 111.12 107.76 111.24 LREE/HREE 8.97 11.51 10.20 8.76 8.42 8.73 20.13 18.26 17.58 9.78 12.24 11.43 8.62 8.59 8.37 δEu 0.98 1.05 0.94 0.78 0.86 0.85 1.14 1.16 1.28 0.74	Ua U	0.08	1 26	1 21	19.50	19.50	1 / 1 / 2	1 / 1	1 / 0	1 / 0	2 56	2 40	2 55	20.00	20.10	20.80
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Th	5 30	1.20	1.21	7.68	1.40	5 53	5.06	5.60	1.49	12.00	0.87	12.33	1.83	1.74	1.03
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Rb/Sr	0.31	0.31	0.32	0.21	0.19	0.20	0.15	0.13	0.14	0.60	0.60	0.60	0.07	0.07	0.06
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Nb/Ta	7 48	9.90	9.43	8 86	9.12	9.03	9 74	931	9.81	7 32	7 77	7.52	13.23	14 56	14 68
La 19.60 18.60 19.00 28.60 20.20 22.30 18.20 16.20 14.00 16.60 19.00 17.20 18.30 17.50 18.30 Ce 39.00 37.50 38.00 61.40 45.80 48.10 36.20 31.90 27.70 35.90 39.20 36.90 44.60 43.60 44.90 Pr 4.60 4.34 4.47 7.30 5.46 5.56 3.90 3.48 3.03 4.36 4.60 4.32 5.89 5.69 5.90 Nd 17.60 16.10 17.10 27.60 21.80 21.30 13.40 12.10 11.00 16.20 16.80 16.10 24.70 23.70 24.20 Sm 2.92 2.72 2.88 5.06 4.04 3.93 1.98 1.84 1.80 3.17 2.90 2.86 4.73 4.67 4.67 Eu 0.87 0.84 0.83 1.24 1.08 1.06 0.62 0.61 0.62 0.70 0.66 0.67 1.34.00 1.37.00 1.40 Gd 2.53 2.20 2.53 4.68 3.62 3.73 1.39 1.41 1.22 2.65 2.29 2.29 4.30 4.02 4.17 Tb 0.37 0.32 0.34 0.69 0.53 0.56 0.17 0.18 0.15 0.36 0.31 0.32 0.57 0.55 0.57 Dy 2.26 1.70 1.94 3.75 2.96 2.91 0.85 0.84 0.8 1.89 1.62 1.61 2.91 2.77 3.06 Ho 0.47 0.34 0.40 0.78 0.62 0.6 0.17 0.16 0.16 0.40 0.34 0.33 0.54 0.55 0.58 Er 1.52 1.03 1.18 2.21 1.74 1.74 0.48 0.44 0.42 1.12 0.96 0.97 1.52 1.51 1.57 Tm 0.23 0.14 0.17 0.34 0.26 0.26 0.072 0.068 0.065 0.17 0.15 0.15 0.21 0.22 0.23 Yb 1.78 1.07 1.30 2.18 1.70 1.68 0.48 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.45 0.43 1.10 0.98 8.080 0.91 0.97 0.97 Eu/Eu/W 0.98 1.05 0.94 0.78 0.86 0.85 1.14 1.16 1.28 0.74 0.78 0.80 0.91 0.97 0.97 E	Sr/Y	16.87	22.97	19.91	19.72	28 54	27.62	138 48	142.36	145.07	28 77	31.45	31.24	49.80	49.25	47 44
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	La	19.60	18.60	19.00	28.60	20.20	22.30	18.20	16.20	14.00	16.60	19.00	17.20	18.30	17.50	18.30
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Ce	39.00	37.50	38.00	61.40	45.80	48.10	36.20	31.90	27.70	35.90	39.20	36.90	44.60	43.60	44.90
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Pr	4.60	4.34	4.47	7.30	5.46	5.56	3.90	3.48	3.03	4.36	4.60	4.32	5.89	5.69	5.90
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Nd	17.60	16.10	17.10	27.60	21.80	21.30	13.40	12.10	11.00	16.20	16.80	16.10	24.70	23.70	24.20
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Sm	2.92	2.72	2.88	5.06	4.04	3.93	1.98	1.84	1.80	3.17	2.90	2.86	4.73	4.67	4.67
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Eu	0.87	0.84	0.83	1.24	1.08	1.06	0.62	0.61	0.62	0.70	0.66	0.67	1.34.00	1.37.00	1.40
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Gd	2.53	2.20	2.53	4.68	3.62	3.73	1.39	1.41	1.22	2.65	2.29	2.29	4.30	4.02	4.17
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Tb	0.37	0.32	0.34	0.69	0.53	0.56	0.17	0.18	0.15	0.36	0.31	0.32	0.57	0.55	0.57
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Dy	2.26	1.70	1.94	3.75	2.96	2.91	0.85	0.84	0.8	1.89	1.62	1.61	2.91	2.77	3.06
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Но	0.47	0.34	0.40	0.78	0.62	0.6	0.17	0.16	0.16	0.40	0.34	0.33	0.54	0.55	0.58
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Er	1.52	1.03	1.18	2.21	1.74	1.74	0.48	0.44	0.42	1.12	0.96	0.97	1.52	1.51	1.57
Yb 1.78 1.07 1.30 2.18 1.70 1.68 0.48 0.45 0.43 1.10 0.98 1.00 1.33 1.41 1.47 Lu 0.27 0.16 0.21 0.33 0.26 0.24 0.078 0.07 0.064 0.17 0.15 0.16 0.18 0.20 0.22 Y 13.40 9.71 10.90 21.40 16.40 16.40 4.47 4.32 4.26 10.60 9.22 9.25 14.80 14.70 15.60 ∑ REE 94.02 87.06 90.35 146.16 110.07 113.97 77.99 69.748 61.459 84.79 89.96 84.88 11.12 107.76 111.24 LREE/HREE 8.97 11.51 10.20 8.76 8.42 8.73 20.13 18.26 17.58 9.78 12.24 11.43 8.62 8.59 8.37 δEu 0.98 1.05 0.94 0.78 0.86 0.83 1.14 1.16 1.28 0.74 0.78 0.80 0.91 0	Tm	0.23	0.14	0.17	0.34	0.26	0.26	0.072	0.068	0.065	0.17	0.15	0.15	0.21	0.22	0.23
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Yb	1.78	1.07	1.30	2.18	1.70	1.68	0.48	0.45	0.43	1.10	0.98	1.00	1.33	1.41	1.47
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Lu	0.27	0.16	0.21	0.33	0.26	0.24	0.078	0.07	0.064	0.17	0.15	0.16	0.18	0.20	0.22
Σ REE 94.02 87.06 90.35 146.16 110.07 113.97 77.99 69.748 61.459 84.79 89.96 84.88 111.12 107.76 111.24 LREE/HREE 8.97 11.51 10.20 8.76 8.42 8.73 20.13 18.26 17.58 9.78 12.24 11.43 8.62 8.59 8.37 δEu 0.98 1.05 0.94 0.78 0.86 0.85 1.14 1.16 1.28 0.74 0.78 0.80 0.91 0.97 0.97 Eu/Eu* 0.96 1.02 0.92 0.77 0.85 0.83 1.09 1.12 1.21 0.72 0.76 0.78 0.89 0.94 0.95 U/2Vb) 7.42 11.72 9.85 8.84 8.01 8.95 25.56 24.27 21.95 10.17 13.07 11.60 0.28 37 32.0	Y	13.40	9.71	10.90	21.40	16.40	16.40	4.47	4.32	4.26	10.60	9.22	9.25	14.80	14.70	15.60
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	∑ REE	94.02	87.06	90.35	146.16	110.07	113.97	77.99	69.748	61.459	84.79	89.96	84.88	111.12	107.76	111.24
oEu 0.98 1.05 0.94 0.78 0.86 0.85 1.14 1.16 1.28 0.74 0.78 0.80 0.91 0.97 0.97 Eu/Eu* 0.96 1.02 0.92 0.77 0.85 0.83 1.09 1.12 1.21 0.72 0.76 0.78 0.89 0.94 0.95 (La/Vb) 7.42 11.72 9.85 8.84 8.01 8.95 25.56 24.27 21.95 10.17 13.07 11.60 2.28 2.29 2.20 2.21	LKEE/HKEE	8.97	11.51	10.20	8.76	8.42	8.73	20.13	18.26	1/.58	9.78	12.24	11.43	8.62	8.59	8.37
EWEU: $0.90 - 1.02 - 0.92 - 0.77 - 0.85 - 0.85 - 1.09 - 1.12 - 1.21 - 0.72 - 0.78 - 0.89 - 0.94 - 0.95 - (1_{2}/Vb), 7.72 - 11.72 - 0.85 - 8.87 - 8.01 - 8.05 - 25.56 - 27.27 - 21.05 - 10.17 - 13.07 - 11.60 - 0.29 - 9.27 - 9.20$	oEu Eu/E*	0.98	1.05	0.94	0.78	0.80	0.85	1.14	1.10	1.28	0.74	0.76	0.80	0.91	0.97	0.97
	Eu/Eu^{*}	0.90	1.02	0.92	0.//	0.85	0.83	1.09	1.12 24 27	1.21 21.05	0.72	0.70	0.78	0.89	0.94 8 37	0.95

注:主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量单位为10~





21.4×10⁻⁶, Sr/Y值为16.87~145.07, 其曲线总体呈右 倾多峰谱型, 亏损 Nb、Ta和Ti, 富 Sr, 与东天山埃达 克岩较相似^[27-28]。

3.3 稀土元素

旱草湖环状中酸性岩体中,花岗闪长岩的稀土 元素总量最高,为113.97×10⁻⁶~146.16×10⁻⁶,二长花 岗岩和正长花岗岩的稀土元素总量最低,分别为 61.459×10⁻⁶~77.99×10⁻⁶和84.79×10⁻⁶~89.96×10⁻⁶。 其中,二长花岗岩的LREE/HREE 值最高,为17.58~ 20.13,其(La/Yb)»值也最高,为22.0~25.6,表明轻、 重稀土元素分馏显著,而其他岩体的LREE/HREE 值略低,总体为8.37~12.24,(La/Yb)_N值也较二长花 岗岩更低,为7.4~13.1,轻、重稀土元素分馏程度不 如二长花岗岩。从这个角度可以推断,按照英云闪 长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩-正长花岗岩-石英 闪长岩侵位顺序,环状中酸性岩体应该不是同一个 岩浆演化序列(即岩浆分离结晶)的产物。因为按 轻、重稀土元素分馏的特点,若岩体是一个完整的 演化序列,轻稀土元素(LREE)较重稀土元素 (HREE)碱性更强,更应该在岩浆作用晚期富集。 而从野外地质特征和U-Pb年龄看,轻、重稀土元素 分馏程度最高的二长花岗岩并不是最晚期的侵入 体,在二长花岗岩之后侵位的正长花岗岩的轻、重稀 土元素分馏远不及前者。结合前述分析,环状中酸



Fig. 7 Trace element spidergrams of Hancaohu ringed pluton

性岩体的形成不是一个岩浆事件分离结晶的结果, 而是不同期次的独立侵入体。在所有的岩体中, (La/Sm)_{CN}值都大于1,为2.4~5.8,反映不同岩性岩 体LREE都较富集。球粒陨石标准化稀土元素配分 模式图(图8)显示LREE富集右倾,与张旗等^[29]总结 出的埃达克岩的配分曲线极类似。δEu值均在1左 右,二长花岗岩为1.14~1.28,Eu呈轻微正异常,而其 他岩体的δEu值略小于1,Eu呈轻微负异常。

3.4 旱草湖岩体源岩性质

花岗岩的形成过程极其复杂,其主要性质的区 别在于源岩的差异。许多学者认为,对于花岗岩的 研究,源岩性质是最重要的^[11,30-31]。花岗岩在形成过 程中,会对其源岩的性质具有相当大程度的继承 性,通过一些地球化学特征可从一定程度上判定花 岗岩的源岩性质。

在 C/MF-A/MF 图解(图 9)上,可见英云闪长 岩、花岗闪长岩和石英闪长岩的源岩基本位于基性 岩和变质砂岩重叠区,而二长花岗岩和正长花岗岩位 于变质砂岩部分熔融区。这种特征显示,环状中酸性 岩体的形成既继承了基性岩的特点,又继承了碎屑岩 的特点,岩体的形成可能与壳幔相互作用有关。

4 讨 论

旱草湖环状中酸性岩体不同岩性间具有极相





似的微量元素原始地幔标准化曲线(图7)和稀土元 素球粒陨石标准化配分曲线(图8)特征,由于微量 和稀土元素的地球化学性质较稳定,相似的构成说 明环状中酸性岩体的源岩及成因过程较类似。

在判断源岩的K₂O-Na₂O图解(图6)上,环状 中酸性岩体集中位于I型花岗岩内,Na₂O/K₂O值较 高,在判断碱性-钙碱性的SiO₂-K₂O图解(图4)上, 环状中酸性岩体集中位于高钾钙碱性-钙碱性系 列,故将其概括为I型高钾钙碱性-钙碱性系列。通 常情况下,源区为火成岩熔融的I型花岗岩K₂O含 量都较低,而高钾的I型花岗岩要求其源区K含量 较高。地壳岩石部分熔融实验证明,高钾的I型花 岗岩只能起源于地壳中含水的钙碱性-高钾钙碱 性、镁铁质或中性变质岩^[32]。通过Pitcher等^[33]的研 究,主要有2种构造背景可以产生高钾钙碱性岩浆, 一种为大陆岛弧背景,通过地幔楔与下沉板块流体 相互作用而形成;另一种为后碰撞背景,通过地壳 加厚拉伸引发镁铁质岩浆底侵形成。

张旗等[™]根据花岗岩中微量元素 Sr、Yb 的含量,提出一种花岗岩形成与压力关系的模式,即具 有高 Sr、低Yb特征的中酸性岩浆岩可能与榴辉岩处 于平衡,形成深度较大;而具有低 Sr、高Yb特征的岛 弧安山岩-英安岩-流纹岩与斜长角闪岩处于平衡, 形成深度较浅。依据该模式,本次研究中采集的中



Fig. 9 C/MF–A/MF diagram of Hancaohu ringed pluton

酸性岩石样品,都具有很低的Yb含量(平均值小于 1.23×10⁻⁶)和较高的Sr含量(平均值大于400×10⁻⁶), 故推断其应形成于加厚的下地壳环境,类似于埃达 克岩。CIPW标准矿物的计算(表3)表明,只有英云 闪长岩体的标准刚玉分子(C)>1%。所有岩体的 MgO含量都较低(均小于3%),Mg*值也较低(均小 于48.6),说明岩体可能没有受到被消减板片交代的 地幔楔物质的影响,与基性-超基性岩的地幔来源 不同。

幔源岩浆底侵壳幔边界是壳幔相互作用及陆 壳生长的重要机制¹³⁵⁻³⁰,旱草湖环状中酸性岩体的 成岩时代主要在二叠纪,而黄山—镜儿泉地区在二 叠纪处于后碰撞伸展阶段已得到绝大多数学者的 认同^{16.37-38]}。在这一时期,岩石圈地幔拉伸减薄,软 流圈地幔上涌至壳幔边界,导致陆壳出现垂向增 生,地壳加厚,完全可以满足产生高Sr、低Yb花岗岩 的条件。据王涛等¹³⁹研究,在东天山后造山阶段,的 确有较多的深部幔源物质加入到地壳中。

本文研究的旱草湖环状中酸性岩体 Al₂O₃含量 高(14.46%~17.05%), A/CNK 值为 0.93~1.09, 属准 铝质和弱过铝质, 较富集 K₂O, 属高钾钙碱性-钙碱 性系列, MgO 含量较低, 为 0.71%~2.84%, Mg[#]值为 33.3~48.6。微量元素具高 Sr、低 Y 特征, Sr 含量为 217×10⁻⁶~740×10⁻⁶, Y 含量为 4.26×10⁻⁶~21.4×10⁻⁶,

0/

表3 旱草湖环状岩体 CIPW 标准矿物计算	氧结果
------------------------	-----

Table 3 CIPW normative mineral calculation data of Hancaohu ringed pluton

														70
岩性	样品号	Q	Or	Ab	An	С	Di wo	Di en	Di fs	Hy en	Hy fs	Mt	Il	Ap
	YY-01	33.26	8.22	31.58	17.75	1.53				2.22	3.99	0.45	0.77	0.24
英云闪长岩	YY-02	34.97	6.37	32.25	18.3	1.3				1.89	3.43	0.55	0.71	0.22
	YY-03	35.46	6.73	31.81	17.64	1.48				1.91	3.56	0.48	0.69	0.24
	HG-01	16.37	13.55	36.07	19.54		0.76	0.48	0.24	5.78	2.9	2.38	1.41	0.53
花岗闪长岩	HG-02	18.33	14.38	35.61	19.66		0.38	0.24	0.12	5.07	2.45	2.14	1.17	0.44
	HG-03	17.99	14.83	35.42	19.37		0.56	0.35	0.17	5.08	2.41	2.16	1.2	0.47
	EC-01	28.63	19.69	36.5	9.9	0.76				1.82	0.79	1.14	0.56	0.21
二长花岗岩	EC-02	26.99	19.17	38.48	10.14	0.75				1.79	0.74	1.19	0.54	0.22
	EC-03	29.34	18.34	37.04	10.32	0.66				1.79	0.71	1.08	0.52	0.21
	ZC-01	29.31	25.66	30.15	9.34	0.99				1.85	0.82	1.21	0.5	0.18
正长花岗岩	ZC-02	30.43	24.62	30.22	9.58	0.76				1.82	0.64	1.24	0.5	0.19
	ZC-03	29.63	24.19	30.97	9.98	0.51				1.95	0.81	1.26	0.52	0.19
	SY-01	12.8	10.66	39.48	20.85		0.13	0.08	0.03	7.01	2.91	3.42	1.77	0.85
石英闪长岩	SY-02	13.7	8.41	39.79	21.81	0.08				7.16	3.21	3.22	1.79	0.83
	SY-03	14.1	7.87	39.71	21.76	0.3				7.27	3.01	3.35	1.81	0.83
花岗闪长岩 二长花岗岩 正长花岗岩 石英闪长岩	HG-02 HG-03 EC-01 EC-02 EC-03 ZC-01 ZC-02 ZC-03 SY-01 SY-02 SY-03	18.33 17.99 28.63 26.99 29.34 29.31 30.43 29.63 12.8 13.7 14.1	14.38 14.83 19.69 19.17 18.34 25.66 24.62 24.19 10.66 8.41 7.87	35.61 35.42 36.5 38.48 37.04 30.15 30.22 30.97 39.48 39.79 39.71	19.66 19.37 9.9 10.14 10.32 9.34 9.58 9.98 20.85 21.81 21.76	0.76 0.75 0.66 0.99 0.76 0.51 0.08 0.3	0.38 0.56	0.24 0.35 0.08	0.12 0.17	5.07 5.08 1.82 1.79 1.79 1.85 1.82 1.95 7.01 7.16 7.27	2.45 2.41 0.79 0.74 0.71 0.82 0.64 0.81 2.91 3.21 3.01	2.14 2.16 1.14 1.19 1.08 1.21 1.24 1.26 3.42 3.22 3.35	1.17 1.2 0.56 0.54 0.52 0.5 0.5 0.52 1.77 1.79 1.81	0.44 0.47 0.21 0.22 0.21 0.18 0.19 0.85 0.83 0.83

注:Q一石英;Or一正长石;Ab一钠长石;An一钙长石;C一刚玉;Di Wo一透辉石中的硅辉石;Di En一透辉石中 的顽火辉石;Di Fs一透辉石中的正铁辉石,Hy En一紫苏辉石中的顽火辉石;Hy Fs一紫苏辉石中的正铁辉石; Mt一磁铁矿;II一钛铁矿;Ap一磷灰石

Sr/Y值为16.87~145.07,在原始地幔标准化曲线上, 富集大离子亲石元素 Rb、Sr、Ba,亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti。另外,环状中酸性岩体中的MgO、Mg[#] 及Ni含量都偏低,显示其可能没有受到被消减板片 交代的地幔楔物质的影响,与基性-超基性岩的地 幔来源不同,是软流圈地幔玄武质岩浆底侵壳幔边 界后,在地壳垂向增生的条件下诱发部分熔融的结 果。不同岩体之间岩性的差异可能与部分熔融程 度的差别和熔融时新生幔源物质组分的不同有关, 最终岩体的形成可能是不同熔融程度和不同幔源 组分岩浆分期侵入的结果。

5 地质意义

新疆北部晚古生代是大规模岩浆作用的爆发 期,尤其是石炭纪一二叠纪,强烈的岩浆活动产生 了一系列的大中小型矿床。对于东天山地区,黄 山、黄山东、香山、图拉尔根等大中型铜镍硫化物矿 床的形成与石炭纪一二叠纪区域地质背景紧密相 连。关于东天山地区晚古生代的区域地质背景,争 议较大,争议的焦点主要集中在泥盆纪一石炭纪构 造背景上。前人对古洋盆闭合的时限一直争论不 休。有学者认为古洋盆闭合时间为石炭纪中期^[40], 也有学者认为古洋盆闭合时间为泥盆纪末—石炭 纪初期[41-42],而后在此基础上,又再次拉张形成裂 谷[41,43]。对于黄山—镜儿泉地区,区域地质背景的认 识也不统一。有学者鬥认为,康古尔-镜儿泉构造 带是一个弧间盆地,夹于北侧哈尔里克岛弧与南侧 觉罗塔格岛弧之间;也有学者[45-46]认为,康古尔断裂 代表北侧哈萨克斯坦板块与南侧塔里木板块碰撞 的俯冲带;还有学者[47-48]认为,康古尔-镜儿泉构造 带是一个因觉罗塔格洋向北俯冲形成的弧后盆地, 而二叠纪处于后碰撞伸展阶段已得到绝大多数学 者的认同[6.38,49]。本文研究的旱草湖环状中酸性岩体 就是此区域背景下的产物。有研究者[48,50]曾将本文 研究的环状中酸性岩体区域统一划分为过铝质花 岗岩区,并对应幔源岩浆内侵形成的过铝质花岗 岩。然而,通过本次研究,旱草湖环状中酸性岩体 应对应幔源岩浆底侵,导致地壳垂向增生而诱发部 分熔融形成的高钾钙碱性-钙碱性花岗岩。环状中 酸性岩体的存在,说明区域内发生过幔源岩浆的底 侵和地壳的垂向增生。

在二叠纪,陆-陆碰撞后岩石圈伸展,导致软流 圈地幔上涌,岩石圈拆沉,上涌的软流圈地幔一方 面加热产生玄武质岩浆,玄武质岩浆上升,经过结 晶分离形成了黄山东岩体;另一方面底侵壳幔边界 产生地壳的垂向增生,诱发部分熔融生成高钾钙碱 性岩浆,这些岩浆不断分期侵入,由于部分熔融程 度和新生幔源组分的不同,形成旱草湖环状中酸性 岩体。在伸展环境下,形成的延伸至上地幔的区域 性深大断裂(康古尔塔格断裂),为岩浆的上升提供 了有利的空间通道。旱草湖环状岩体的长轴方向 与区域构造线方向一致,其主要成岩时代为二叠 纪,表明这一时期旱草湖一带存在较强烈的中酸性 岩浆活动,是东天山二叠纪构造-岩浆演化的响应。

6 结 论

(1)环状中酸性岩体位于旱草湖穹窿背斜内部,从野外的侵入关系判断,侵入顺序为英云闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩-正长花岗岩-石英闪长岩。

(2)通过U-Pb同位素测年,获得环状中酸性岩体最早侵位的英云闪长岩的成岩年龄为275.0±2.9Ma(MSWD=4.8),表明二叠纪旱草湖一带存在较强烈的中酸性岩浆活动,是东天山二叠纪构造-岩浆演化的响应。

(3)不同岩性的岩体轻、重稀土元素比值不连续,依据主量、微量元素含量的变化,岩体不是一个 岩浆事件结晶分离演化的结果,彼此之间也没有发 生结晶分离。不同岩性岩体间微量元素原始地幔 标准化曲线和稀土元素球粒陨石标准化曲线极相 似,表明不同岩性岩体的源区和成岩环境相似。

(4)岩体为高钾钙碱性-钙碱性花岗岩,富集大 离子亲石元素 Rb、Sr、Ba,亏损高场强元素 Nb、Ta、 Ti。在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线上,呈现 平坦右倾的轻稀土富集、重稀土元素亏损,说明黄 山一镜儿泉地区二叠纪碰撞后的岩石圈伸展,导致 软流圈地幔上涌,岩石圈拆沉,底侵壳幔边界产生 地壳的垂向增生,诱发部分熔融生成高钾钙碱性岩 浆。这些岩浆不断分期侵入,形成了旱草湖环状花岗 质岩体。不同岩体之间岩性的差异可能与部分熔融 程度的差别和新生幔源组分的不同有关。

致谢:样品测试工作得到自然资源部岩浆作用 成矿与找矿重点实验室郑民奇教授级高工和韩延 兵、程秀花、李艳广高级工程师的大力支持;研究过 程中得到中国地质调查局西安地质调查中心陈隽 璐、贾群子研究员的有益指导;审稿专家提出宝贵

的意见,在此一并致谢。

参考文献

- [1]Chen Y J, Chen H Y, Zaw K, et al. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China: An overview[J]. Ore Geology Reviews, 2007, 31(1/4):139–169.
- [2]Chen Y J, Pirajno F, Wu G, et al. Epithermal deposits in North Xinjiang, NW China[J]. International Journal of Earth Sciences, 2012, 101(4):889-917.
- [3]Huang X W, Qi L, Gao J F, et al. First reliable Re–Os ages of pyrite and stable isotope compositions of Fe(–Cu) deposits in the Hami region, Eastern Tianshan Orogenic Belt, NW China[J]. Resource Geology, 2013, 63(2):166–187.
- [4]Pirajno F. The Geology and Tectonic Settings of China's Mineral Deposits[M]. Berlin: Springer, 2013:1–671.
- [5]Mao J W, Goldfarb R T, Wang Y T, et al. Late Paleozoic base and precious metal deposits, East Tianshan, Xinjiang, China: Characteristics and geodynamic setting[J]. Episodes, 2005, 28(1):23–36.
- [6]顾连兴,张遵忠,吴昌志,等.关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识[J]. 岩石学报,2006,22(5):1103-1122.
- [7]Zhang L C, Qin K Z, Xiao W J. Multiple mineralization events in the eastern Tianshan district, NW China: Isotopic geochronology and geological significance[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(2/4):236–246.
- [8]周涛发, 袁峰, 张达玉, 等. 新疆东天山觉罗塔格地区花岗岩类年 代学、构造背景及其成矿作用研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(2): 478-502.
- [9]王银宏, 薛春纪, 刘家军, 等. 新疆东天山土屋斑岩铜矿床地球化 学、年代学、Lu-Hf同位素及其地质意义[J]. 岩石学报, 2014, 30 (11):3383-3399.
- [10]Wang Y H, Zhao C B, Zhang F F, et al. SIMS zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology, Hf isotope, and whole–rock geochemistry of the Wunugetushan porphyry Cu–Mo deposit and granitoids in NE China and their geological significance[J]. Gondwana Research, 2015,28:1228–1245.
- [11]吴福元,李献华,杨进辉,等.花岗岩成因研究的若干问题[J].岩 石学报,2007,23(6):1217-1238.
- [12]张连昌,秦克章,英基丰,等.东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达 克岩及其与成矿作用的关系[J].岩石学报,2004,20(2):259-268.
- [13]Wang Y H, Xue C J, Wang J P, et al. Early Carboniferous adakiticrocks in the area of the Tuwu deposit, eastern Tianshan, NW China: Slab melting and implications for porphyry copper mineralization[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 103: 332–349.
- [14]Wang Y H, Xue C J, Wang J P, et al. Petrogenesis of magmatism in the Yandongregion of Eastern Tianshan, Xinjiang: Geochemical, geochronological and Hf isotope Constraints[J]. International Geology Review, 2015, 57(9/10):1130–1151.
- [15]黄汲清,任纪舜,姜春发,等.中国大地构造及其演化[M].北京: 科学出版社,1980:1-124.
- [16]王洪亮,徐学义,何世平,等.中国天山及邻区地质图及说明书

(1:100万)[M]. 北京:地质出版社,2008:22-23.

- [17]Anderson T. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report²⁰⁴Pb[J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2): 59–79.
- [18]Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and link between U- Pb ages and metamorphism[J]. Chemical Geology, 2002, 184: 123–138.
- [19]Kosler J, Fonneland H, Sylvester P. U–Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies)A comparison of laser ablation LA– ICPMS and SIMS techniques[J]. Chemical Geology, 2002, 182: 605–618.
- [20]吴元保,郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的 制约[J]. 科学通报,2004,16:1589-1604.
- [21]王海然, 赵红格, 乔建新, 等. 锆石 U-Pb 同位素测年原理及应 用[]]. 地质与资源, 2013, 3:229-242.
- [22]Le Maitre. Igneous Rocks: A classification and Glossary of Terms (2nd edition)[M]. Cambridge University Press, 2002: 23-86.
- [23]Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitiods[J]. Geological Society of American Bulletin, 1989, 101: 635–643.
- [24]邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1985: 282-287.
- [25]Collins W J. Nature and origin of A type granites with particular referen- ce to Southeast Austrilia[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1982, 80:189–200.
- [26]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42(1): 313– 345.
- [27]熊小林,蔡志勇,牛贺才,等.东天山晚古生代埃达克岩成因及 铜金成矿意义[J].岩石学报,2005,3:967-976.
- [28]赵振华, 王强, 熊小林, 等. 新疆北部的两类埃达克岩[J]. 岩石学 报,2006,5:1249-1265.
- [29]张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 9:2249-2269.
- [30]罗照华,黄忠敏,柯珊.中酸性岩石的基本问题[J].地质评论, 2007,53(增刊):180-226.
- [31]张旗, 潘国强, 李承东, 等. 花岗岩混合问题: 与玄武岩对比的启 示——关于花岗岩研究的思考之一[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 1141-1152.
- [32]Boztu D , Arehart G B , Platevoet B , et al. High–K, calc–alkaline I–type granitoids from the composite Yozgat batholith generated in a post– collisional setting following continent– oceanic island arc collision in central Anatolia, Turkey[J]. Mineralogy and Petrology, 2007, 91(3): 191–223.

- [33]Pitcher W S. Granite type and tectonic environment[C]//Hsu K J. Mountain Building Process, London, 1983: 19–40.
- [34]张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩按照压力的分类[J]. 地质通报, 2006, 25(11): 1274-1278.
- [35]Petford N, Atherton M. Na- rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca bathloith, Peru[J]. Journal of Petrology, 1996, 37: 1491–1521.
- [36]金振民,高山.底侵作用(underplating)及其壳-幔演化动力学意 义[]]. 地质科技情报,1996,(2):1-7.
- [37]韩宝福,何国琦,吴泰然.天山早古生代花岗岩锆石U-Pb定年、 岩石地球化学特征及其大地构造意义[J].新疆地质,2004,22(1): 4-11.
- [38]王京彬,王玉往,周涛发.新疆北部后碰撞与幔源岩浆有关的成 矿谱系[J]. 岩石学报,2008,24(4):743-752.
- [39]王涛,李伍平,李金宝,等.东天山东段同造山到后造山花岗岩 幔源组分的递增及陆壳垂向生长意义-Sr、Nd同位素证据[J].岩 石学报,2008,24(4):762-772.
- [40]肖序常,汤耀庆,冯益民,等.新疆北部及邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992:1-169.
- [41]夏林圻,李向民,夏祖春,等.天山石炭一二叠纪大火成岩省裂 谷火山作用与地幔柱[J].西北地质,2006,39(1):1-49.
- [42]王京彬, 王玉往, 何志军. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. 中国地质, 2006, 33(3):461-469.
- [43]秦克章,方同辉,王书来,等.东天山板块构造分区、演化与成矿 地质背景研究[J]. 新疆地质,2002,20(4):302-308.
- [44]马瑞士, 王赐银, 叶尚夫. 东天山构造格架及地壳演化[M]. 南京:南京大学出版社, 1993:16-78.
- [45]周济元,崔炳芳,肖惠良,等.新疆康古尔-黄山对接碰撞带的存在、成矿模式及成矿预测[J].火山地质与矿产,2001,22(4):252-262.
- [46]李锦轶,王克卓,孙桂华,等.东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆 缘残片:中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录[J]. 岩石学报, 2006,22(5):1087-1102.
- [47]顾连兴,胡受奚,于春水,等.论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与 演化[J]. 岩石学报,2001,17(4):585-597.
- [48] 唐俊华, 顾连兴, 张遵忠, 等. 东天山黄山-镜儿泉过铝花岗岩矿物学、地球化学及年代学研究[]. 岩石学报, 2008, 24(5):921-946.
- [49]韩宝福,季建清,宋彪,等.新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁 铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 科学通报,2004,49(22):2324-2328.
- [50]顾连兴,张遵忠,吴昌志,等.东天山黄山-镜儿泉地区二叠纪地 质-成矿-热事件:幔源岩浆内侵及其地壳效应[J].岩石学报, 2007,23(11):2869-2880.