

青海治多地仁地区过铝质花岗岩 地球化学特征及构造意义

赵呈祥¹⁾, 李善平²⁾, 潘 彤¹⁾, 林 浩³⁾, 金婷婷²⁾

1)青海省地质矿产勘查开发局, 青海西宁 810001; 2)青海省地质调查院, 青海西宁 810012;
3)青海大学, 青海西宁 810016

摘要: 治多地仁地区花岗岩侵位于松潘—甘孜地块南部, 该区花岗岩可划分为3个单元: 地仁石英闪长岩($T_3\delta o$)、日勤花岗闪长岩($T_3\gamma\delta$)、角考斑状二长花岗岩($T_3\pi\eta\gamma$), 岩体呈小岩基、岩株产出。花岗岩属强过铝质, 兼具I型和S型花岗岩的特点; Eu负异常明显, 轻重稀土分馏明显; Ta、Nb、Ce、Sm、Hf轻度富集, Y、Yb强烈亏损, Rb/Ba平均为0.38, Nb/Ta平均为16.44, 具下地壳源岩部分熔融花岗岩的特性; 单颗粒锆石U-Pb年龄介于210~225 Ma之间。由此可知, 该期花岗岩具有巴颜喀拉构造带碰撞造山后期花岗岩的特征。

关键词: 巴颜喀拉群; 花岗岩; 锆石U-Pb年龄; 构造环境

中图分类号: P588.121; P595 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2017.122901

Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of High Aluminium Granites in Diren Area of Zhiduo County, Qinghai Province

ZHAO Cheng-xiang¹⁾, LI Shan-ping²⁾, PAN Tong¹⁾, LIN Hao³⁾, JIN Ting-ting²⁾

1) Qinghai Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xining, Qinghai 810001;
2) Qinghai Institute of Geological Survey, Xining, Qinghai 810012;
3) Qinghai University, Xining, Qinghai 810016

Abstract: Granites are distributed in the southern part of the Songpan–Ganzi block in Diren area of Zhiduo County, Qinghai Province. The granites in the study area can be divided into three units: Diren diorite ($T_3\delta o$), Riqin granodiorite ($T_3\gamma\delta$), and Jiaokao porphyry feldspar plagioclase granite ($T_3\pi\eta\gamma$). The rock masses exhibit small batholiths and stocks. The granite belongs to aluminum type and has both I and S-type granite characteristics. Eu negative anomalies are obvious, with significant light and heavy rare earth fractionation. Ta, Nb, Ce, Sm, Hf are slightly enriched, Y and Yb are strongly depleted, Rb/Ba ratio is 0.38, and Nb/Ta ratio is 16.44. These data show that the granite has a crustal source rock, partly with the characteristics of molten granite. Single-grain zircon U-Pb ages range from 210 Ma to 225 Ma in the study area. It is thus held that the granite has the characteristics of collision late stage orogenic granite of the Bayankara tectonic belt.

Key words: Bayankara Group; granite; zircon U-Pb age; tectonic setting

青海治多地仁地区出露的花岗岩位于巴颜喀拉山岩浆岩带; 巴颜喀拉山位于松潘—甘孜造山带南部, 其南侧紧邻金沙江缝合带, 与北羌塘盆地相望。大地构造位置属东特提斯构造域羌塘—三江构造区之玉龙塔格—巴颜喀拉双向早期边缘前陆盆地褶皱带(潘桂棠等, 2002); 为经历了复理石楔的增生

作用印支褶皱系以及东昆仑—巴颜喀拉增生楔与北美塘地体之间的斜向碰撞的叠置产物(许志琴等, 2007)。晚三叠世时期, 治多地区的日啊日曲高镁石英闪长岩形成于甘孜—理塘洋南西向俯冲过程中(赵少卿等, 2015)。晚三叠世巴颜喀拉由残留洋演化成周缘前陆盆地, 末期盆地闭合发生陆壳消减和陆

本文由青海省科技计划项目(编号: 2016-ZJ-716; 2016-SF-A3; 2016-ZJ-719)资助。

收稿日期: 2017-11-02; 改回日期: 2017-12-25; 网络首发日期: 2018-01-04。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 赵呈祥, 男, 1969生。高级工程师。主要从事区域地质及矿床地质研究。通讯地址: 810001, 青海省西宁市胜利路24号。

电话: 0971-6166251。E-mail: 503996444@qq.com。

内大规模褶皱造山作用(张雪亭等, 2005)。巴颜喀拉山群褶皱变形主要发生在晚印支期, 并伴随有大量的中酸性岩浆活动(许志琴等, 1992)。巴颜喀拉山岩浆岩带出露的岩体主要是在造山作用后期侵位的, 属于 Maniar 分类中的 POG 型花岗岩(Maniar and Piccoli, 1989)。220—212 Ma 之间大量的 POG 型岩浆侵位表明, 青藏高原北部印支造山运动进入尾声, 这一期间的岩浆活动主要集中在巴颜喀拉地体内(陈文和 Arnaud, 1997)。然而, 甘孜—理塘缝合带北西段和金沙江缝合带的结合部位(青海省治多地区)相关研究成果较少, 这在一定程度上限制了对甘孜—理塘洋北段演化历史的认识(赵少卿等, 2015)。处于甘孜—理塘缝合带北西段的治多地仁地区出露有不同规模的花岗岩, 侵位于巴颜喀拉山群, 笔者等对地仁地区花岗岩的侵位时代、岩石地球化学及构造环境等的研究, 对深入认识甘孜—理塘缝合带北西段乃至青藏高原的构造-岩浆演化具有重要意义。

1 地质特征

治多地区巴颜喀拉山构造岩浆岩带中酸性侵

入岩较发育, 由晚三叠世花岗岩类组成, 岩石类型较单一, 侵入于晚三叠世巴颜喀拉山群地层中; 集中分布在地仁、角考和日勤一带, 其中地仁、角考、日勤一带的岩体呈小岩基、岩株产出(图 1), 出露面积达 147 km²。

地仁岩体呈小岩基产出, 出露面积 120 km², 岩体向北延伸。岩体与围岩的接触面一般较陡, 在岩体外接触带上, 砂板岩经受不同程度的角岩化、硅化, 热接触变质带的宽度达 300~400 m。岩体外部有较多的围岩(砂岩)捕虏体, 其规模一般为几平方米至数十平方米不等, 最大者可达 0.5 km²以上。岩体主要由中细粒石英闪长岩和花岗闪长岩组成, 中部为石英闪长岩, 花岗闪长岩在岩体的外部围绕石英闪长岩分布, 二者之间呈明显的脉动侵入接触关系, 岩体内部有宽度 5~20 m 的花岗斑岩、二长斑岩的酸性岩脉侵入。

角考岩体呈小岩株产出, 平面形态为不规则椭圆形, 出露面积 25 km²。岩体由中细粒石英闪长岩和斑状二长花岗岩两个侵入体组成, 二者呈明显的脉动侵入接触, 其中中细粒石英闪长岩分布在复式

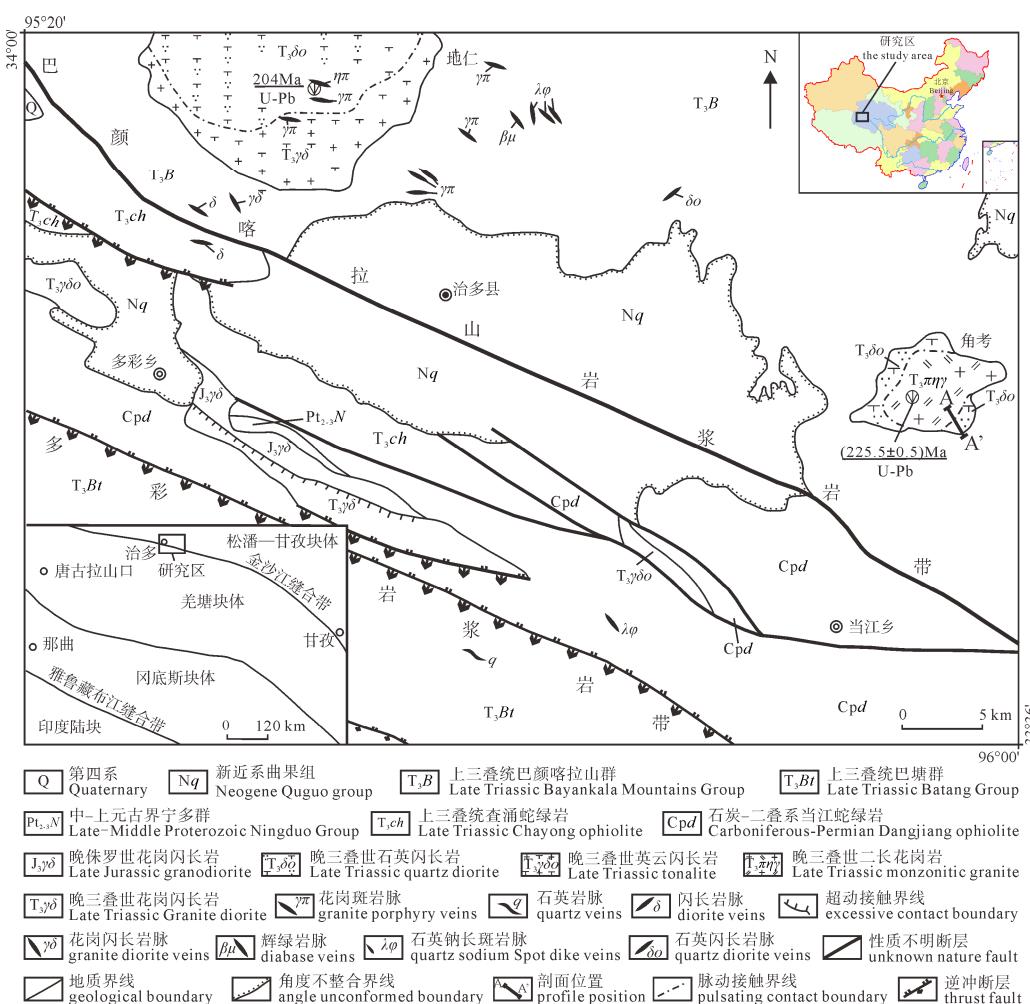


图 1 地仁地区岩浆岩分布略图(底图据青海省地质调查院, 2006; 略修改)

Fig. 1 Sketch map showing the distribution of magmatic rocks in Diren area
(base map modified after Qinghai Academy of Geological Survey, 2006)

岩体的东、西和北侧边部, 呈较小的不规则状; 斑状二长花岗岩分布在复式岩体的中心核部, 呈规模较大的浑圆状岩株。两侵入体岩性均匀, 含少量闪长质包体。局部地段在二长花岗岩和石英闪长岩之间有宽 100~250 m 的中细粒花岗闪长岩, 规模较小, 三者之间呈明显的脉动接触关系。岩体与围岩的接触界面向外倾斜, 倾角 65°~80°。外接触带砂板岩具明显的角岩化, 发育有红柱石角岩、角岩化砂岩。在岩体和围岩中发育花岗岩脉和细晶岩脉。

日勤小岩体为一近椭圆状岩株, 出露面积约 2 km², 外接触带中围岩已强烈角岩化, 角岩化带宽 200 m。岩体主体为花岗闪长岩, 北部边缘出露宽约 100 m 的石英闪长岩, 二者之间为脉动接触关系。岩体蚀变较强, 特别在中心部位普遍云英岩化。

依据上述三个岩体的地质产状、空间分布、岩石组合及侵入接触关系等特征, 从老到新可以划分 3 个单元: 地仁石英闪长岩($T_3\delta o$)、日勤花岗闪长岩($T_3\gamma\delta$)、角考斑状二长花岗岩($T_3\pi\eta\gamma$), 以地仁石英闪长岩出露最为广泛, 构成了地仁岩基的主体。其中在地仁岩基中地仁石英闪长岩与日勤花岗闪长岩之间呈涌动接触, 在角考地区角考斑状二长花岗岩($T_3\pi\eta\gamma$)与地仁石英闪长岩($T_3\delta o$)为明显的脉动接触关系(图 2)。

侵入体与围岩侵入接触关系明显, 围岩多发生角岩化, 热接触变质晕发育, 并有岩枝贯穿; 侵入体边部具冷凝边, 尤其地仁岩基的边部更为发育, 与围岩侵入界线十分清楚。各单元之间接触界线清楚, 以脉动侵入接触。侵入体中含闪长质同源包体呈星散状分布, 后期发育花岗岩脉和细晶岩脉(枝)等。上述特征说明该期侵入体侵入深度较浅, 岩体的剥蚀不深, 属浅-中等剥蚀。

2 岩相学特征

地仁地区侵入岩 3 个单元岩性为: 地仁石英闪长岩、角考斑状二长花岗岩、日勤花岗闪长岩。

地仁石英闪长岩: 深灰色-灰绿色石英闪长岩,

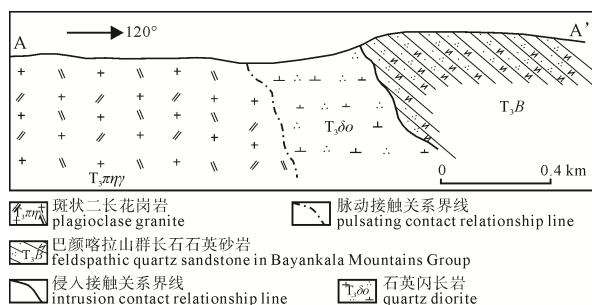


图 2 角考地区石英闪长岩-斑状二长花岗岩剖面图

Fig. 2 Profile of quartz diorite-plagioclase granite in Jiaokao area

细粒半自形粒状结构, 粒度 0.3~2.4 mm, 块状构造, 斜长石半自形板状, $An=33\sim49$, 聚片双晶和环带结构发育, 核心绢云母化, 局部被钾长石交代具蠕虫结构, 占 50%~68%; 钾长石呈它形粒状, 填隙状均匀分布, 交代斜长石, 占 0~8%; 石英它形粒状, 充填于斜长石之间, 波状消光, 约占 10%~15%; 角闪石半自形柱状, 呈集合体, 核部偶见辉石残晶, 占 10%~18%; 黑云母具鳞片状, 部分交代角闪石, 被绿泥石、绿帘石交代, 占 12%~20%; 副矿物为磷灰石、锆石和磁铁矿等, 微量。

角考斑状二长花岗岩: 似斑状结构, 基质具中粒花岗结构, 斑晶 1~5 cm, 基质 1~5 mm, 块状构造, 斜长石呈半自形板状, $An=27\sim36$, 发育聚片双晶和环带结构, 多具绢云母化、高岭土化, 部分含少量锆石包体, 占 30%~45%; 钾长石为微斜长石和条纹长石, 呈半自形板状, 格子双晶发育, 多高岭土化, 约占 25%~35%; 石英为它形粒状, 多熔蚀成港湾状, 具波状消光, 占 20%~25%; 黑云母呈褐色, 绿泥石化, 约占 5%~10%; 副矿物为磷灰石、锆石, 微量。

日勤花岗闪长岩: 灰白色, 中细粒花岗结构, 粒度 0.5~5 mm, 块状构造, 斜长石为更-中长石, $An=35\sim44$, 半自形板状, 具聚片双晶和环带结构, 局部绢云母化、高岭土化, 占 40%~55%; 钾长石为条纹长石、微斜长石, 它形板粒状, 具格子双晶和条纹状构造, 局部高岭土化, 约占 10%~28%; 石英为它形粒状, 充填于斜长石之间, 波状消光, 占 20%~25%; 角闪石呈褐绿色, 半自形粒柱状, 绿泥石化, 约占 5%~10%; 黑云母为鳞片状, 褐色, 占 5%~10%; 副矿物多为磁铁矿、褐帘石、磷灰石、榍石和锆石, 微量。

由上述矿物含量显示, 各单元结构、构造、矿物特征基本相同, 石英呈它形粒状, 碱性长石主要为微斜长石, 斜长石半自形柱粒状, 聚片双晶、环带构造发育, 均为中-更长石。侵入体由早期至晚期, 岩石由灰白色到肉红色, 随着石英的增多, 钾长石含量及粒度增大; 而暗色矿物的含量减少, 特别是角闪石从自形晶出现到晶形较差含量变少到基本不含; 斜长石牌号减小, 构成一个成分演化序列, 并显示出向富碱方向的演化趋势。表明上述花岗岩类岩石为同源岩浆演化的产物, 具有向富碱贫铁镁方向的演化趋势。

3 地球化学特征

3.1 主量元素

地仁地区花岗岩类岩石化学分析数据见表 1。从地仁石英闪长岩、日勤花岗闪长岩到角考斑状二

长花岗岩, SiO_2 含量逐渐增加, 分别为 57.01%~58.54%、64.27%~64.41%、68.74%~73.72%, 均属于中酸性岩的范畴; Al_2O_3 的含量变化不大, 略有降低, 含钾量逐渐增高。但从地仁石英闪长岩、日勤花岗闪长岩的 $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, 到角考斑状二长花岗岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq \text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, 铝过饱和指数 ASI > 1 从偏铝质岩石逐渐变化为过铝质岩石。肖庆辉等(2002)认为强过铝(SP)花岗岩的 A/CNK 比值 ≥ 1.1 , 强过铝(SP)花岗岩在时空上与钙碱性花岗岩有关。研究区 A/CNK 比值处于 1.21~1.67, 平均为 1.45, 具有强过铝(SP)花岗岩的特征。里特曼指数 σ 多数为 0.53~1.12, 属于钙碱性岩系列。镁铁指数依据计算公式 ($\{\text{MF}\}\% = 100[\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) + \omega(\text{FeO})]/[\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) + \omega(\text{FeO}) + \omega(\text{MgO})]$), 铁镁指数 MF 分别为 46.6~51.1、58.9~65.2、61.6~82.2, 铁镁指数逐渐变大, 表明晚期侵入体分离结晶程度逐渐升高; 固结指数依据计算公式 ($\{\text{SI}\}\% = 100\omega(\text{MgO})/[\omega(\text{MgO}) + \omega(\text{FeO}) + \omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) + \omega(\text{Na}_2\text{O}) + \omega(\text{K}_2\text{O})]$), 固结指数 SI 为 44.60~38.54、27.91~19.67、18.21~5.11, 固结指数逐渐降低, 且多数小于 40, 表明岩浆的分异程度高, 符合同源岩浆结晶分离过程中向富酸碱贫钙铁镁演化的规律。

在花岗岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 岩浆系列判别图解(图 3)中, 样品投影点落入钙碱性岩系列及高钾钙碱性系列岩区, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 多数介于 0.73~2.18, 平均为 1.10; 再投点于花岗岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解(图 4)中, 多数点投于 I型花岗岩区内, 且部分点靠近 S型接触边界, 显示该期花岗岩兼具 I型和 S型花岗岩的特点。

由上所述, 地仁地区花岗岩体是以富铝、多碱质和挥发组分为特征的兼具 I型和 S型花岗岩, 属强过铝质花岗岩, 可能形成于大陆碰撞环境。

3.2 稀土元素

地仁地区花岗岩类的稀土元素分析结果(表 2)表明, 岩石的稀土总量中等, $\sum \text{REE}$ 为

$58.17 \times 10^{-6} \sim 185.37 \times 10^{-6}$, 与中上地壳的平均值相当, 且中晚期侵入体含量明显较高; 岩石具有轻稀土富集特点, 轻重稀土分馏明显, $\text{LREE/HREE} = 4.57 \sim 11.42$; 稀土元素球粒陨石标准化曲线右倾, Eu 负异常明显, δEu 分布于 0.50~0.89 之间, 平均为 0.66; 地仁石英闪长岩单元侵入体 δEu 平均

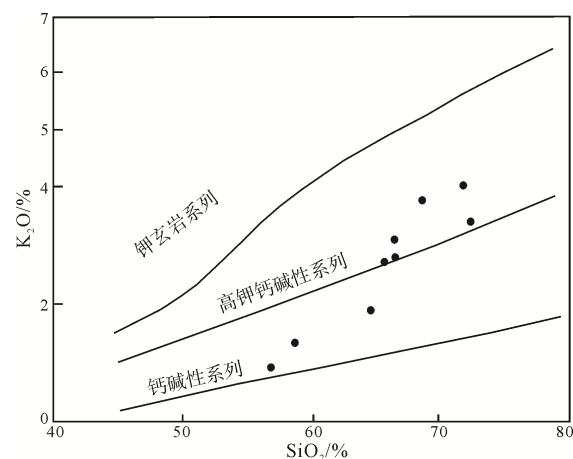


图 3 花岗岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 岩浆系列判别图解
(据 Peccerino and Taylor, 1976)

Fig. 3 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ magma series of granite discrimination diagram (after Peccerino and Taylor, 1976)

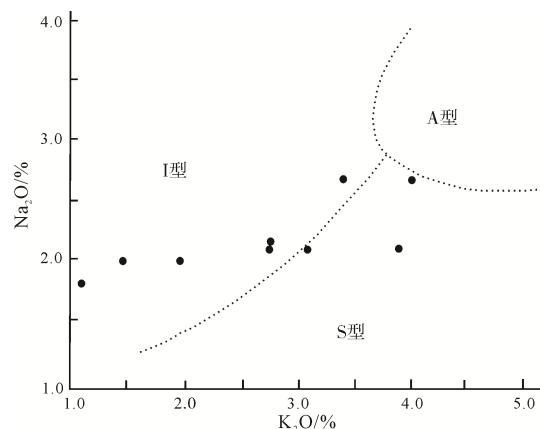


图 4 花岗岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解
(据 Nakada and Takahashi, 1979)

Fig. 4 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ diagram of granite
(after Nakada and Takahashi, 1979)

表 1 地仁花岗岩主量元素分析结果表(%)
Table 1 Analytical results of major elements of granite in Diren area (%)

单元	样号	岩性	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	LOS	Total
$T_3\delta o$	GS43	石英闪长岩	57.01	0.51	13.65	0.98	5.70	0.13	7.64	8.51	1.76	1.05	0.07	2.27	0.55	99.83
	GS703-1	石英闪长岩	58.54	0.58	14.74	0.74	5.70	0.13	6.17	7.76	1.97	1.43	0.08	1.84	0.13	99.81
$T_3\gamma\delta$	GS1842-1	花岗闪长岩	64.27	0.67	14.24	0.60	4.25	0.10	3.38	6.09	1.96	1.92	0.10	1.49	0.76	99.83
	GS1266-1	花岗闪长岩	66.7	0.63	14.45	0.67	3.78	0.10	2.38	4.45	2.09	3.18	0.12	1.21	0.06	99.82
	GS1266-2	花岗闪长岩	66.58	0.65	14.32	0.51	3.85	0.11	2.81	4.61	2.10	2.72	0.12	1.11	0.33	99.82
$T_3\pi\eta\gamma$	GS1843-1	花岗闪长岩	64.41	0.67	14.88	0.66	4.28	0.11	3.14	5.38	2.18	2.75	0.10	1.20	0.06	99.82
	GS704-1	斑状二长花岗岩	68.74	0.54	14.01	0.49	2.85	0.07	2.08	3.80	2.12	3.88	0.10	0.95	0.20	99.83
	GS705-1	斑状二长花岗岩	72.61	0.30	14.08	0.40	1.82	0.05	0.48	2.64	2.68	4.02	0.06	0.55	0.16	99.85
	Gs1526-1	斑状二长花岗岩	73.72	0.25	13.96	0.64	1.63	0.07	0.62	2.26	2.70	3.39	0.06	0.57	0.22	100.09

注: 样品由武汉综合岩矿测试中心测试。

为 0.87, 负异常较弱, 向晚期侵入体 Eu 负异常增强; δCe 为 $0.88 \times 10^{-6} \sim 0.96 \times 10^{-6}$, 平均为 0.93, 呈弱异常; $(\text{La}/\text{Yb})_n$ 为 4.01~15.97, 各侵入体稀土配分曲线斜率基本一致(图 5); $(\text{La}/\text{Sm})_n=2.75 \sim 4.45$ 。上述特征表明该期次花岗岩为地壳重熔型的同源岩浆演化的花岗岩期次。

3.3 微量元素

地仁地区花岗岩类微量元素分析结果见表 3, 结果显示 Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Cr 等亲铁元素含量高于世界同类花岗岩; 而强不相容元素中 Rb、Th 富集明显, Ba 的相对亏损, Ta、Nb、Ce、Sm、Hf 轻度富集或无异常, Y、Yb 强烈亏损。该区花岗岩类微量元素蛛网图的分布形式与同碰撞花岗岩相近(图 6), 反映出该区花岗岩类具有 I 型花岗岩的特征。大离子亲石元素 Ba 和 Sr 属不相容元素, Rb 属

高度不相容元素, 其比值 Rb/Ba 及 Rb/Sr 对岩浆作用敏感, 强烈的结晶分异作用可使 Rb/Ba 及 Rb/Sr 比值增高(邱瑞龙, 1998)。而低 Rb/Sr、Rb/Ba 比值(<2)是含水条件下部分熔融的初始阶段

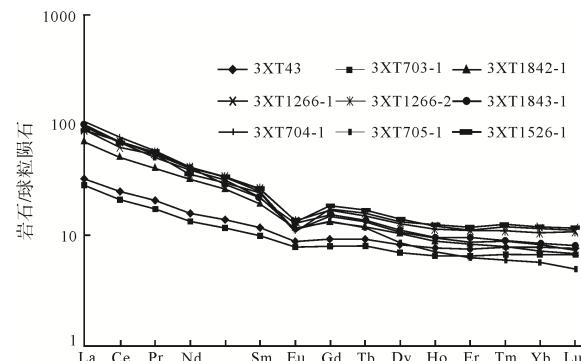


图 5 地仁地区花岗岩 REE 分布图

Fig. 5 REE distribution diagram of granite in Diren area

表 2 地仁地区花岗岩稀土元素分析结果($\times 10^{-6}$)
Table 2 Analytical results ($\times 10^{-6}$) of REE elements of granite in Diren area

样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
3XT43	石英闪长岩	9.85	20.00	2.52	9.62	2.25	0.64	2.41	0.43	2.60	0.55	1.58	0.25	1.64	0.25	13.10
3XT703-1	石英闪长岩	8.68	16.83	2.13	8.02	1.94	0.58	2.04	0.38	2.24	0.47	1.36	0.22	1.42	0.22	11.64
3XT1842-1	花岗闪长岩	22.43	42.43	5.06	19.9	3.86	0.87	3.51	0.58	3.43	0.64	1.76	0.26	1.58	0.23	17.48
3XT1266-1	花岗闪长岩	27.69	54.89	6.64	24.42	5.17	0.96	4.81	0.81	4.55	0.89	2.40	0.39	2.46	0.36	24.06
3XT1266-2	花岗闪长岩	28.87	57.99	6.85	24.73	4.96	0.97	4.37	0.70	4.14	0.82	2.29	0.36	2.21	0.35	20.85
3XT1843-1	花岗闪长岩	31.15	59.38	6.83	23.41	4.57	0.95	3.90	0.64	3.58	0.70	1.98	0.29	1.78	0.26	17.52
3XT704-1	斑状二长花岗岩	33.45	63.06	7.13	25.05	4.73	0.79	3.85	0.62	3.44	0.68	1.80	0.28	1.69	0.23	16.95
3XT705-1	斑状二长花岗岩	28.18	54.36	6.13	22.76	4.50	0.82	3.53	0.55	2.75	0.51	1.34	0.19	1.19	0.16	12.08
3XT1526-1	斑状二长花岗岩	28.15	51.07	6.47	21.85	4.77	0.76	4.45	0.76	4.36	0.92	2.55	0.42	2.53	0.39	21.78

注: 样品由武汉综合岩矿测试中心测试。

表 3 地仁地区花岗岩微量元素分析结果($\times 10^{-6}$)
Table 3 Analytical results ($\times 10^{-6}$) of trace elements of granite in Diren area

样号	岩性	Li	Be	Sc	Ga	Th	Sr	Ba	V	Co	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	W	Sn
DY43	石英闪长岩	29.80	0.73	35.8	14.3	3.70	130	150	193.0	33.10	477.00	145.00	8.80	10.60	69.20	0.26	1.50
3DY703-1	石英闪长岩	45.40	1.14	34.6	15.9	6.60	143	226	172.0	30.50	304.00	91.80	10.00	6.40	66.20	0.83	1.70
DY1842-1	花岗闪长岩	21.40	1.30	26.1	15.8	7.10	149	299	116.0	19.00	129.00	30.00	40.60	10.40	59.30	0.68	1.00
DY1266-1	花岗闪长岩	33.70	2.06	16.8	17.1	14.40	177	461	80.5	13.40	59.90	17.80	20.70	16.10	56.50	0.60	1.60
DY1266-2	花岗闪长岩	25.00	1.84	18.6	16.0	10.60	157	410	83.9	15.90	97.40	34.60	27.50	18.70	59.60	1.02	1.10
DY1843-1	花岗闪长岩	34.50	1.98	19.6	18.9	9.20	186	395	94.2	17.70	114.00	30.60	22.00	16.50	63.00	0.64	1.70
DY704-1	斑状二长花岗岩	48.20	2.44	14.0	15.9	17.60	121	390	58.9	11.10	68.80	15.40	3.20	20.30	41.50	0.56	1.50
DY705-1	斑状二长花岗岩	69.90	3.43	6.0	19.0	14.20	145	306	73.4	3.40	8.20	0.93	1.90	27.70	45.60	0.45	3.30
DY1526-1	斑状二长花岗岩	91.00	3.80	7.1	21.0	18.00	122	289	20.0	5.60	5.60	6.90	3.50	27.00	56.00	0.38	5.20
样号	岩性	Bi	B	Rb	U	Hf	Zr	Au	Ta	Ce	Yb	Ti	Sb	Nb	Sm	As	Nd
DY43	石英闪长岩	0.05	6.50	51.0	0.65	3.00	87	1.31	0.30	29.60	2.60	2 882	0.36	7.30	2.50	82.20	11.10
3DY703-1	石英闪长岩	0.07	51.50	72.3	0.96	3.00	104	1.47	0.53	36.20	2.80	2 911	0.14	10.10	3.40	13.50	16.20
DY1842-1	花岗闪长岩	0.07	5.10	77.7	1.54	4.60	173	0.98	0.48	45.00	3.40	3 621	0.11	10.30	4.40	3.31	21.30
DY1266-1	花岗闪长岩	0.07	12.00	131.0	0.97	4.30	153	0.49	0.98	62.90	3.10	3 613	0.11	14.80	5.60	2.17	29.90
DY1266-2	花岗闪长岩	0.08	6.20	111.0	2.04	5.70	182	1.00	0.71	53.00	3.10	3 659	0.92	13.00	5.10	305.00	26.00
DY1843-1	花岗闪长岩	0.09	9.20	122.0	1.14	4.30	126	0.50	1.08	50.10	2.90	3 695	0.10	15.50	4.70	1.88	23.40
DY704-1	斑状二长花岗岩	<0.05	8.90	150.0	2.18	5.40	195	0.54	0.88	70.90	3.60	2 968	0.15	12.60	5.30	1.64	28.10
DY705-1	斑状二长花岗岩	0.34	13.50	177.0	3.23	4.70	124	0.50	1.82	53.00	1.80	1 337	0.10	17.70	4.50	1.31	23.00
DY1526-1	斑状二长花岗岩	0.71	8.60	195.0	5.10	6.70	180	0.90	1.50	55.00	2.90	2 145	0.11	17.00	4.30	1.50	21.00

注: 样品由武汉综合岩矿测试中心测试。

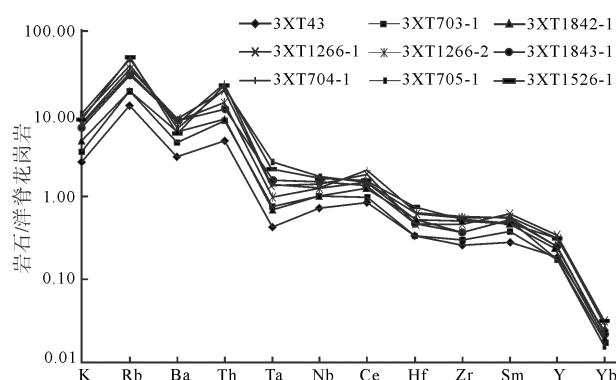


图 6 地仁地区花岗岩微量元素蛛网图
Fig. 6 MORB-normalized trace element spidergram of granite in Diren area

特征(Harrison et al., 1999)。地仁地区花岗岩类的 Rb/Sr 为 0.39~1.60, 平均为 0.84; Rb/Ba 为 0.26~0.67, 平均为 0.38。华仁民等(2003)认为各类岩浆岩中的 Nb 含量都高于 Ta 含量, 但在岩浆结晶作用晚期, Ta 趋向富集, 尤其是在花岗岩中, 从早期相到晚期相, Ta 逐渐富集, Nb/Ta 比值逐渐减小。地仁地区花岗岩类的 Nb 含量相对较高, 介于 7.3~17.7, 平均为 13.1; Ta 含量 0.30~1.82, 平均为 0.92; Nb/Ta 为 9.73~24.33, 平均为 16.44。上述显示, 研究区花岗岩具下地壳源岩部分熔融花岗岩的特性, 晚期侵入体 Rb、Th 等大离子亲石元素的富集, 表明了岩浆演化过程中晚期具有一定程度的结晶分异作用。

4 岩体侵位时代

1: 20 万区调在研究区石英闪长岩和斑状二长花岗岩中获得 204 Ma、192 Ma 和 126 Ma 的黑云母 K-Ar 同位素年龄(青海省第二区域地质调查队, 1981)。1:25 万区域地质调查中在地仁地区二长花岗岩、石英闪长岩、花岗闪长岩中获得单颗粒锆石(LA-ICPMS)U-Pb 法同位素年龄介于 210~225 Ma 之间(青海省地质调查院, 2006), 显示从地仁石英闪长岩到角考斑状二长花岗岩年龄依次变新。这与巴颜喀拉岩区岩体中-东部吾和玛黑云母花岗岩体、年保玉则黑云母花岗岩体中利用黑云母 ^{39}Ar - ^{40}Ar 和锆石 ^{207}Pb / ^{206}Pb 同位素测年结果 212~220 Ma(陈文和 Arnaud, 1997)一致。与甘孜—理塘缝合带北西段治多地区的日啊日曲石英闪长岩锆石(LA-ICPMS)U-Pb 定年为 (218 ± 1.0) Ma, 为晚三叠世岩浆活动的产物(赵少卿等, 2015)。由此推测, 该区花岗岩类为青藏高原北部印支造山运动结束时期的产物。

5 侵位机制

肖庆辉等(2002)认为花岗岩体定位机制的问题核心是花岗岩的定位空间问题; 且与同碰撞有关的

强过铝(SP)花岗岩是后碰撞的, 是地壳加厚达到最高值后才定位的。地仁地区晚三叠世花岗岩总体呈大型复式岩基和岩株出露于巴颜喀拉山构造-岩浆岩带, 侵入体的空间群居性较好, 岩体平面形态多呈椭圆状、不规则状产出, 具有同心环状岩体的特点。早期的地仁石英闪长岩单元出露岩体面积大, 分布于整个复式岩基的中央地仁—达考一带, 晚期的日勤花岗闪长岩单元则分布于岩基的南北两侧; 且早期侵入体分布较集中, 在平面上晚期侵入体形态多呈条状、椭圆状、不规则状产出, 受断裂控制明显; 表明岩浆总体由中央向两侧侵位的特征。

各侵入体内部线理、面理等定向组构不发育, 与围岩接触界线清楚, 界线不规则呈港湾状, 并含较多的棱角状围岩捕虏体。而晚期侵入体的岩体内常见围岩的大型捕虏体, 呈顶蚀体或残留体形式产出, 岩体中细晶岩脉比较发育, 围岩的热接触变质较强烈。显示地仁地区晚三叠世花岗岩侵入体的早期侵入体具“气球膨胀式”就位特点; 而中-晚期侵入体则是一种被动的顶蚀和岩墙扩张兼具的侵位机制。由此, 研究区强过铝花岗岩可能具有后碰撞过程中侵位的特征。

6 构造环境判别

巴颜喀拉岩浆岩带位于扬子陆块、柴达木陆块、北方陆块及羌塘—昌都陆块之间, 成为一倒三角形状(潘桂棠等, 2001); 巴颜喀拉山造山带内三叠系最新地层为诺利阶(朱迎堂等, 2003); 过铝花岗岩直接侵入到已发生褶皱的三叠系地层中。三叠纪侵入体呈规模较小的岩基分布于阿拉克湖等地区, 属钙碱性系列, 属 I 型花岗岩, 显壳源型花岗岩特点(陈守建等, 2011)。达日—久治地区出露的晚三叠世花岗岩体是同碰撞造山期深部滑脱构造导致地壳局部熔融的结果(沙淑清等, 2007)。三叠纪古特提斯洋的关闭, 巴颜喀拉山造山带转入陆内碰撞造山阶段(潘桂棠等, 2001)。而研究区晚三叠世花岗岩类从早期侵入体开始, 由石英闪长岩经花岗闪长岩至二长花岗岩显示出成分演化特点, 岩石化学特征显示为强过铝(SP)质的钙碱性岩石系列。稀土总量中等, 具显著的负铕异常, 轻重稀土分馏明显; Rb、Th 强烈富集和 Y、Yb 等强烈亏损, 表明该期次花岗岩为地壳重熔型花岗岩, 其岩石类型相当于 Pearce 等(1984)分类中的 VAG 花岗岩。

研究区岩石中暗色矿物以黑云母为主, 早-中期侵入体岩石中有角闪石等矿物, 岩石具有由早期的偏铝质岩石逐渐过渡到过铝质岩石的特点。构造环境判别图解选用在地质作用过程中相对稳定的微量元素, 因高场强元素 Nb、Ta、Nd、Hf、Zr、Tb、

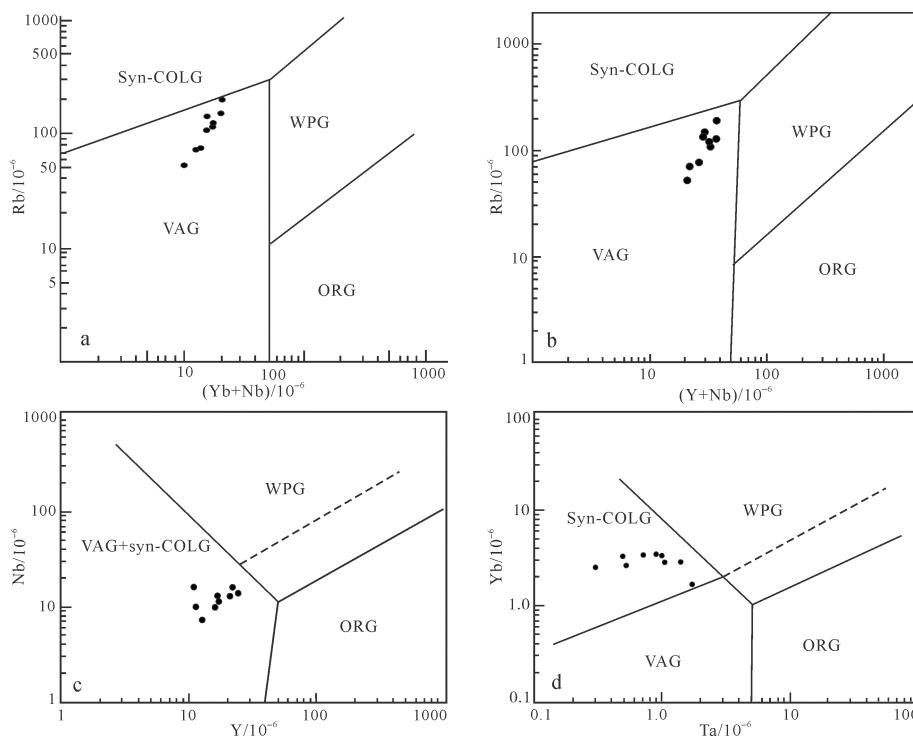


图 7 地仁地区花岗岩构造判别图解

Fig. 7 Tectonic discrimination diagram of granite in Diren area

Syn-COLG-同碰撞花岗岩; VAG-岛弧花岗岩; ORG-洋脊花岗岩; WPG-板内花岗岩类, 断线表示产生异常的 ORG 边界线

Syn-COLG-syn-collision granite; VAG-island arc granite; ORG-ocean ridge granite; WPG-intraplate granitoids

Y 、 Yb 等在海水蚀变及变质过程中是稳定或比较稳定的不活动性元素, 在后期变质过程中相对保持稳定, 可代表原岩的成分(Miniar et al., 1989; 赵振华, 1997)。在花岗岩构造环境判别 $\text{Rb}/(\text{Yb}+\text{Nb})$ 图解和 $\text{Rb}/(\text{Y}+\text{Nb})$ 图解(Pearce et al., 1984)(图 7a, b)中, 研究区样品均投影于火山弧花岗岩(VAG)中; 在花岗岩 $\text{Nb}-\text{Y}$ 图解(Pearce et al., 1984)(图 7c)中样点落在火山弧花岗岩及同碰撞花岗岩区(VAG+Syn-COLG)内, 显示具有岛弧与大陆块体碰撞作用的特征。在花岗岩 $\text{Yb}-\text{Ta}$ 图解(Batcheelor and Bowden, 1985)(图 7d)中, 样点多数投于同碰撞花岗岩区内, 且部分靠近火山弧花岗岩区, 暗示具有陆缘同碰撞花岗岩的特征。

因此, 结合区域地质特征, 地仁地区的花岗岩类是在巴颜喀拉构造带碰撞造山后期形成的花岗岩, 晚期的二长花岗岩可能代表后造山期岩浆活动的产物。

7 结语

(1)据研究区花岗岩的岩基、岩株地质分布、岩石特征, 可划分 3 个单元: 地仁石英闪长岩($\text{T}_3\delta\delta$)、日勤花岗闪长岩($\text{T}_3\gamma\delta$)、角考斑状二长花岗岩($\text{T}_3\pi\eta\gamma$), 以地仁石英闪长岩出露最为广泛, 构成了地仁岩基的主体。地仁地区晚三叠世花岗岩侵入体的早期侵入体具“气球膨胀式”就位特点, 而中-晚期侵入体则是一种被动的顶蚀和岩墙扩张兼具的侵位机制; 岩浆侵位时代为晚三叠世。

(2)研究区侵入岩体是以富铝、多碱质和挥发组

分为特征的兼具 I 型和 S 型花岗岩, 属过铝质花岗岩, 暗示可能形成于大陆碰撞环境; Eu 负异常明显, 轻重稀土分馏明显; Ta 、 Nb 、 Ce 、 Sm 、 Hf 轻度富集, Y 、 Yb 强烈亏损, Rb/Ba 为平均为 0.38, Nb/Ta 平均为 16.44, 具下地壳源岩部分熔融花岗岩的特性。

(3)地仁地区晚三叠世花岗岩总体呈大型复式岩基和岩株出露于巴颜喀拉山构造区, 侵入体的空间群居性较好, 岩体平面形态多呈椭圆状、不规则状产出。结合区域认识, 该期次的花岗岩是在巴颜喀拉构造带碰撞造山后期形成的花岗岩, 晚期的二长花岗岩可能代表后造山期岩浆活动的产物。

致谢: 参加野外工作及室内研究的还有青海省地质调查院祁生胜、王毅智、刘生军等, 在此表示衷心的感谢。

Acknowledgements:

This study was supported by the Science and Technology Project of Qinghai Province (Nos. 2016-ZJ-716, 2016-SF-A3 and 2016-ZJ-719).

参考文献:

- 陈守建, 李荣社, 计文化, 赵振明, 李国栋, 刘荣丽, 戴传固, 朱迎堂. 2011. 巴颜喀拉构造带二叠-三叠纪岩相特征及构造演化[J]. 中国地质大学学报, 36(3): 393-406.
陈文, ARNAUD N. 1997. 巴颜喀拉地体 POG 型花岗岩同位素年代学研究[J]. 地球学报, 18(3): 261-267.
华仁民, 张文兰, 陈培荣, 王汝成. 2003. 赣南大吉山与漂塘花

- 岗岩及有关成矿作用特征对比[J]. 高校地质学报, 9(4): 609-619.
- 潘桂棠, 王立全, 李兴振, 王洁民, 徐强. 2001. 青藏高原区域构造格局及其多岛弧盆系的空间配置[J]. 沉积与特提斯地质, 21(3): 1-26.
- 青海省地质调查院. 2006. 1:25 万治多县幅区域地质调查报告[R]. 西宁: 青海省地质调查院.
- 青海省第二区域地质调查队. 1981. 1:20 万治多县幅区域地质调查报告[R]. 共和县: 青海省第二区域地质调查队.
- 邱瑞龙. 1998. 九华山花岗岩岩浆分异特征及岩石成因[J]. 岩石矿物学杂志, 17(4): 308-315.
- 沙淑清, 王宗秀, 郭通珍, 肖伟峰, 杨欣德. 2007. 巴颜喀拉山东段花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征[J]. 地球学报, 28(3): 261-269.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 科学出版社: 21-38.
- 许志琴, 侯立玮, 王宗秀. 1992. 中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社: 100-152.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 张建新, 吴才来. 2007. 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: 99-145.
- 张雪亭, 王秉璋, 俞建, 王培俭, 丁西岐, 古风宝, 张显廷. 2005. 巴颜喀拉残留洋盆的沉积特征[J]. 地质通报, 24(7): 613-621.
- 赵少卿, 付乐兵, 魏俊浩, 谭俊, 王旭春, 赵志新, 李翔. 2015. 青海治多地区晚三叠世石英闪长岩地球化学特征及成岩动力学背景[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 40(1): 61-76.
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社: 113-138.
- 朱迎堂, 郭通珍, 张雪亭, 杨延兴, 彭琛, 彭伟. 2003. 青海西部可可西里湖地区晚三叠世诺利期地层的厘定及其意义[J]. 地质通报, 22(7): 474-479.

References:

- BATCHEELOR R A, BOWDEN P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chemical Geology, 48: 43-55.
- CHEN Shou-jian, LI Rong-she, JI Wen-hua, ZHAO Zhen-ming, LI Guo-dong, LIU Rong-li, DAI Chuan-gu, ZHU Ying-tang. 2011. Lithofacies characteristics and tectonic evolution of Permian-Triassic in the Bayankala tectonic zone[J]. Journal of China University of Geosciences, 36(3): 393-406(in Chinese with English abstract).
- CHEN Wen, ARNAUD N. 1997. Isotopic chronology of POG-type granites in Bayan Kala terrane[J]. Acta Geoscientica Sinica, 18(3): 261-267(in Chinese with English abstract).
- HARRISON T M, GROVE M, MCKEEGAN K D, COATH C D, LVBERA O M, FORT P L. 1999. Origin and episodic emplacement of the Manaslu intrusive complex, central Himalayan[J]. Journal of Petrology, 40: 3-19.
- HUA Ren-min, ZHANG Wen-lan, CHEN Pei-rong, WANG Ru-cheng. 2003. Granite and associated mineralization characteristics contrast of the Dajishan and Piaotang area[J]. Geological Journal of China Universities, 9(4): 609-619(in Chinese with English abstract).
- MANIAR P D, PICCOLI P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 101: 635-643.
- NAKADA S, TAKAHASHI M. 1979. Regional variation in chemistry of the Miocene intermediate to felsic magmas in the outer zone and the Setouchiprovince of Southwest Japan[J]. Mining Geology, 85(9): 571-582.
- PAN Gui-tang, WANG Li-quan, LI Xing-zhen, WANG Jie-min, XU Qiang. 2001. Regional tectonic framework of the Qinghai-Tibet plateau and its spatial distribution of multi-island arc basin[J]. Sedimentary and Special Geology, 21(3): 1-26(in Chinese with English abstract).
- PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 25: 956-983.
- PECCERINO R, TAYLOR S R. 1976. Geochemistry of Eocene calcalkalin volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58(1): 63-81.
- Qinghai Institute of Geological Survey. 2006. 1: 250000 regional geological survey report of zhidoi county. xining[R]. Xining: Qinghai Institute of Geological Survey(in Chinese).
- QIU Rui-long. 1998. Mount Juhua granite magmatic differentiation characteristics and petrogenesis[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 17(4): 308-315(in Chinese with English abstract).
- SHA Shu-qing, WANG Zong-xiu, GUO Tong-zhen, XIAO Wei-feng, YANG Xin-de. 2007. Zircon SHRIMP Dating and Geochemical Characteristics of Granites in the Eastern Part of the Bayan Har Mountains[J]. Acta Geoscientica Sinica, 28(3): 261-269(in Chinese with English abstract).
- The Second Regional Geological Survey Team, Qinghai province. 1981. 1: 200000 regional geological survey report of zhidoi county. gonghe county in Qinghai province[R]. Gonghe: Second Regional Geological Survey Team (in Chinese).
- XIAO Qing-hui, DENG Jin-fu, MA Da-quan. 2002. The study thought and method of granite[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- XU Zhi-qin, HOU Li-wei, WANG Zong-xiu. 1992. Orogenic processes of the Songpan-Ganzi orogenic belt of China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 100-152(in Chinese).
- XU Zhi-qin, YANG Jing-sui, LI Hai-bing, ZHANG Jian-xin, WU Cai-lai. 2007. Plateau of orogenic-terrane mosaic, collisional orogeny and uplift mechanism of the Qinghai-Tibetan plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House: 99-145(in Chinese).
- ZHANG Xue-ting, WANG Bing-zhang, YU Jian, WANG Pei-jian, DING Xi-qi, GU Feng-bao, ZHANG Xian-ting. 2005. Sedimentary characteristics of the Bayan har relict ocean basin[J]. Geological Bulletin, 24(7): 613-621(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Zhen-hua. 1997. Geochemistry of the principle of trace elements[M]. Beijing: Science Press: 113-138(in Chinese).
- ZHAO Shao-qing, FU Le-bing, WEI Jun-hao, TAN Jun, WANG Xu-chun, ZHAO Zhi-xin, LI Xiang. 2015. Petrogenesis and Geodynamic Setting of Late Triassic Quartz Diorites in Zhiduo Area, Qinghai Province[J]. Journal of China University of Geosciences, 40(1): 61-76(in Chinese with English abstract).
- ZHU Ying-tang, GUO Tong-zhen, ZHANG Xue-ting, YANG Yan-xing, PENG Chen, PENG Wei. 2003. Discovery of Triassic Norian strata in the HohXilLake area, western Qinghai and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 22(7): 474-479(in Chinese with English abstract).