

青海玉树哈秀岩体成因及⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学研究

陈文^{1,2}, 张彦¹, 陈克龙³, 张雪亭⁴, 王清利¹, 金贵善¹

(1. 国土资源部 同位素地质重点实验室, 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 2. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029; 3. 青海师范大学 地理系, 青海 西宁 810008; 4. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘要: 哈秀石英闪长岩体出露于西金乌兰-金沙江缝合带西段, 对其进行成因和侵位时代研究可以对沿西金乌兰-金沙江缝合带发生的板块俯冲、碰撞事件提供同位素年代制约。用主元素判别法判定其为造山花岗岩类(IAG 型), 形成于板块俯冲阶段。角闪石的⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年结果表明其侵位时代约为 216.4 Ma, 是印支晚期岩浆活动的产物。哈秀岩体的成因和时代研究表明, 沿金沙江缝合带, 迟至晚三叠世, 板块碰撞作用仍然没有开始, 洋壳的俯冲作用仍在继续。

关键词: 哈秀岩体; 西金乌兰-金沙江缝合带; 构造环境判别; ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄

中图分类号: P588.12⁺2; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2005)05-0393-04

Tectonic discrimination and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of Haxiu quartz diorite in Yushu, Qinghai Province

CHEN Wen^{1,2}, ZHANG Yan¹, CHEN Ke-long³, ZHANG Xue-ting⁴, WANG Qing-li¹ and JIN Gui-shan¹

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 4. Institute of Qinghai Geological Survey, Xining 810012, China)

Abstract: Haxiu quartz diorite is outcropped along the western Jinshajiang suture zone, and a study of its genesis and emplacement time can provide isotope geochronological evidence for the plate subduction and collision along the Xijinwulan-Jinshajiang suture zone. According to major element discrimination, it should belong to the IAG type formed during plate subduction. The ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating results of hornblende show that its emplacement time is ~ 216.4 Ma, suggesting a product of Late Indo-Sinian magmatism. A study of its origin and age shows that, along the Jinshajiang suture zone, the plate collision didn't start and the subduction of the oceanic crust still continued in Late Triassic.

Key words: Haxiu quartz diorite; Xijinwulan-Jinshajiang suture zone; tectonic setting discrimination; ⁴⁰Ar/³⁹Ar age

位于青海省玉树县哈秀乡一带的哈秀黑云母石英闪长岩, 构造位置属于西金乌兰-金沙江缝合带西段, 其成因和形成时代对于研究西金乌兰-金沙江缝合带构造演化历史具有重要意义。长期以来, 没有人对其侵位时代进行过详细研究, 仅有的几个年龄数据是在区调填图时用 K_{Ar} 法测定的, 年龄值为 184~192 Ma, 呈分散分布且测定误差均超过 10 Ma^①。在岩石形成的构造环境研究方面也未见有人涉及。本文从岩石的成因及形成时代两个方面对其进行了综合研究。

1 岩石学及岩石化学

哈秀岩体出露于青海省玉树县哈秀乡一带(图 1), 为一

不规则条带状岩基, 北西-南东向延伸, 长约 40 km, 最宽 10 km, 一般宽 2~6 km, 最窄处不足 200 m, 沿复式向斜核部侵入于上三叠统克南群中, 分布面积约 125 km²。岩体边部见有大小不等的围岩捕虏体, 长轴与地层走向基本一致。岩体顶端见有较多的围岩残留体。岩体主体部位呈岩盘或岩盆状, 岩体边部及近边部普遍具片麻状构造。岩体与围岩侵入接触界线清楚, 接触带附近常见有石英闪长岩脉穿插。

岩体岩石类型主要为片麻状、似斑状石英闪长岩。岩石呈浅灰-灰白色, 似斑状结构, 基质具中细粒半自形粒状结构, 片麻状构造、块状构造。斑晶成分为斜长石(10%)、角闪石(5%), 粒径为 2~4 mm, 最大可达 15 mm。角闪石为普通角

收稿日期: 2005-05-24; 修订日期: 2005-07-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40373033); 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB2610); 中国地质调查局资助项目(1212010560901)

作者简介: 陈文(1962-), 男, 汉族, 博士, 研究员, 从事同位素地质年代学研究工作, 电话: 010-68999757, E-mail: chenwenf@vip.sina.com。

① 青海省地质矿产局. 1990. 1: 20 万哈秀幅区调报告。

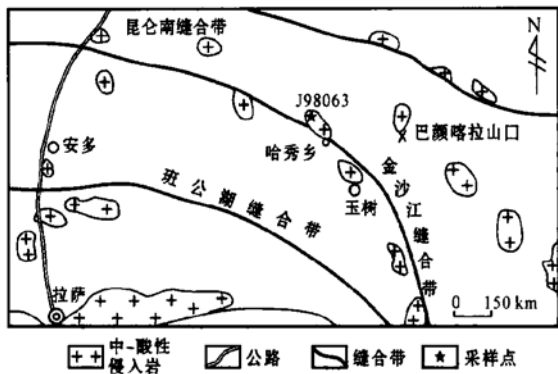


图1 哈秀岩体位置及同位素年代学采样点示意图
Fig.1 Location of Haxiu quartz diorite and sampling sites

闪石。基质成分为斜长石(42%)、角闪石(9%)、石英(16%)、黑云母(12%)及钾长石(3%)。斑晶和基质中斜长石呈聚片双晶,具正环带构造,其环带中心部位发生较强烈的绢云母化蚀变,斜长石 An_{40-45} ,属中长石。石英具波状消光。受动力作用,部分黑云母变形,呈破碎状或弯曲状。暗色矿物定向排列。副矿物有钛磁铁矿、锆石、磷灰石、榍石及褐帘石等,主要矿物粒径为0.2~1 mm。

10个岩石样品12项主元素化学分析结果的平均值中, SiO_2 、 FeO 含量略高于戴里值, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 P_2O_5 含量略低于戴里值,其余均与其相当。 SiO_2 平均含量为63.53%, $Al/(CNK) = 0.93 (< 1)$ 。岩石属偏铝质成分, $K/(K+Na) = 0.30 (< 0.42)$, $Fe/(Fe+Mg)$ (原子比)=56.7(> 35),均显示混源型花岗岩特征(Chappell *et al.*, 1974; 张德全等, 1986, 1988)。氧化系数 $Fo = Fe^{3+}/[Fe^{3+} + Fe^{2+}]$ (原子比)=0.04,极低,表明岩石结晶于弱氧化环境,暗示岩浆侵位较深。

2 岩石形成的构造环境判别

根据所形成的构造环境,可将花岗岩类划分出以下几种:岛弧花岗岩类(IAG型)、大陆弧花岗岩类(CAG型)、大陆碰撞花岗岩类(CCG型)、造山后花岗岩类(POG型)、与裂谷有关的花岗岩类(RRG型)、大陆造陆抬升花岗岩类(CEUG型)和大洋斜长花岗岩(OP型)(Maniar and Piccoli, 1989)。

利用花岗岩类的主元素化学成分,使用Maniar(1989)的5组图解: $K_2O - SiO_2$ 、 $Al_2O_3 - SiO_2$ 、 $FeO^T/(FeO^T + MgO) - SiO_2$ 、 $FeO^T - MgO$ (AFM三元图解)、 $FeO^T + MgO - CaO$ (ACF三元图解),并结合岩石的矿物学特征及Shand指数再加上 $TiO_2 - SiO_2$ 图解和区域地质资料,可以判别其形成的构造环境(Maniar and Piccoli, 1989; 孙桂英等, 1995; 陈文等, 1997; 肖庆辉等, 2002; 张彦等, 2002; Zhang *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2005^①)。

因篇幅所限,化学分析数据表、参数表略去,根据10个岩石样品的化学分析数据的平均值计算出用于投图的有关参数如下: $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3 + MgO)$ 在AFM三元图解中的质量分数]分别为57.25、18; $Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Fe_2O_3)$ 在ACF三元图解中的质量分数]分别为44.23、33。由于哈秀岩体已经确定为石英闪长岩,并且其 SiO_2 平均值为63.53%,小于70%,所以,不需要使用 $K_2O - SiO_2$ (用于判别是否是大洋斜长花岗岩)和 $Al_2O_3 - SiO_2$ ($SiO_2 > 70%$ 时使用)两组图解。上述数据在其余的3组图解上都给出了一致的判别结果:IAG+CAG+CCG型(图2)。由于岩体的Shand指数 $Al/CNK = 0.93 (< 1.05)$,根据Maniar的判别标准及区域地质资料,最终判定哈秀石英闪长岩为IAG型。

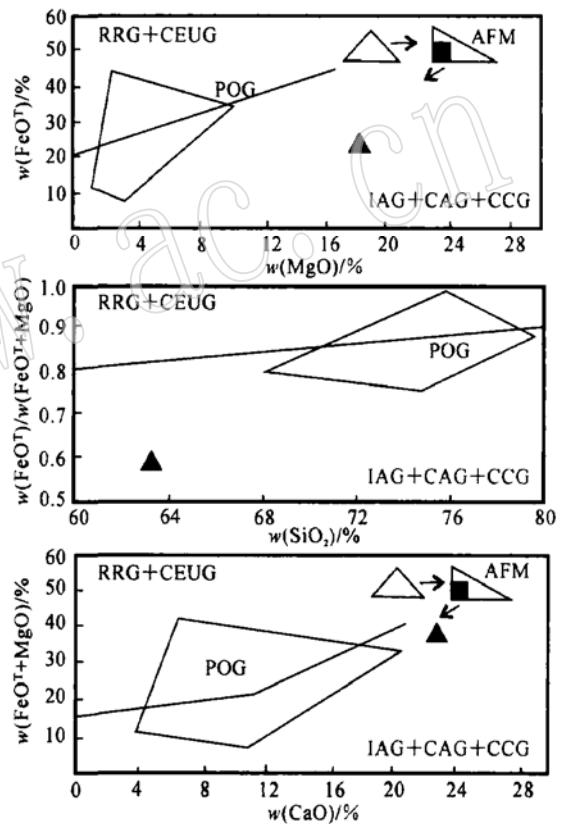


图2 哈秀石英闪长岩构造环境判别图
Fig.2 Tectonic discrimination diagram of Haxiu quartz diorite

3 同位素年代学研究

为确定哈秀石英闪长岩的侵位年龄,从岩体中采样(J98063)选出角闪石单矿物做 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 阶段升温年龄分析。将选纯的矿物(纯度 $> 99%$)样品封进石英瓶中送核反应接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池”中进行的。使用H8孔道,中子流密度约为 $6.4 \times 10^{12} n \cdot$

①Chen W, Zhang Y and Sun G Y. 2005. Subduction times of oceanic crust along the Jinshajiang suture zone, Tibetan plateau, SW China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(S)(in press).

cm⁻²•s⁻¹。照射总时间为 1 505 min, 积分中子通量为 5.42 × 10¹⁷n•cm⁻²。同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样: ZBH_25 黑云母国内标样, 其标准年龄为 132.7 Ma, K 含量为 7.6%。

样品的阶段升温加热使用双真空电子轰击炉, 每一个阶段加热 30 min, 净化 30 min。质谱分析是在 MM_1200B 质谱计上进行的, 每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。系统空白水平: m/e = 40.39.37.36 分别小于 6 × 10⁻¹⁵, 4 × 10⁻¹⁶, 8 × 10⁻¹⁷ 和 2 × 10⁻¹⁷ mol。中

子照射过程中产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K₂SO₄ 和 CaF₂ 获得, 其值为: (³⁶Ar/³⁷Ar₀)_{Ca} = 0.000 238 9, (⁴⁰Ar/³⁹Ar)_K = 0.004 782, (³⁹Ar/³⁷Ar₀)_{Ca} = 0.000 806。³⁷Ar 经过放射性衰变校正(半衰期 t_{1/2} = 35.1d); ⁴⁰K 衰变常数 λ = 5.543 × 10⁻¹⁰ a⁻¹ (Steiger and Jager, 1977); 坪年龄误差以 2σ 给出。用 ISOPLOT 程序计算坪年龄及反等时线(Ludwig, v2.49, 2001)。详细实验流程见有关文章(陈文等, 2002, 2003; Chen Wen *et al.*, 2002)。⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年结果列于表 1 并示于图 3。

表 1 J98063 角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温加热分析数据
Table 1 Data from ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating dating for J98063 hornblende

温度/ °C	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar ₀ / ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁹ Ar/10 ⁻¹⁴ mol	年龄/Ma	±2σ/Ma
J98063, 角闪石, W = 128.50 mg, J = 0.010 189							
400	35.757 6	0.106 1	0.534 2	4.451 7	20.05	88.5	6.6
500	12.141 3	0.013 6	0.234 9	8.154 6	17.95	144.1	3.9
600	14.950 2	0.023 5	2.561 0	8.213 9	48.01	145.1	4.4
700	14.634 2	0.021 5	2.558 5	8.792 8	45.02	154.9	4.2
800	14.296 2	0.014 9	0.261 0	9.915 3	35.13	173.7	4.8
900	14.233 4	0.007 6	0.252 8	11.988 6	27.10	207.9	4.8
1 000	14.271 8	0.006 0	0.255 9	12.513 23	50.13	216.5	3.8
1 100	13.795 6	0.004 4	0.259 2	12.517 9	87.25	216.6	3.6
1 200	13.153 6	0.002 2	0.252 9	12.449 9	35.20	215.5	3.4
1 300	12.926 5	0.001 5	0.259 3	12.528 0	18.10	216.7	3.6
1 400	25.763 9	0.004 5	0.243 1	12.550 6	6.83	217.2	4.6
Total age						186.4 ± 4.2	

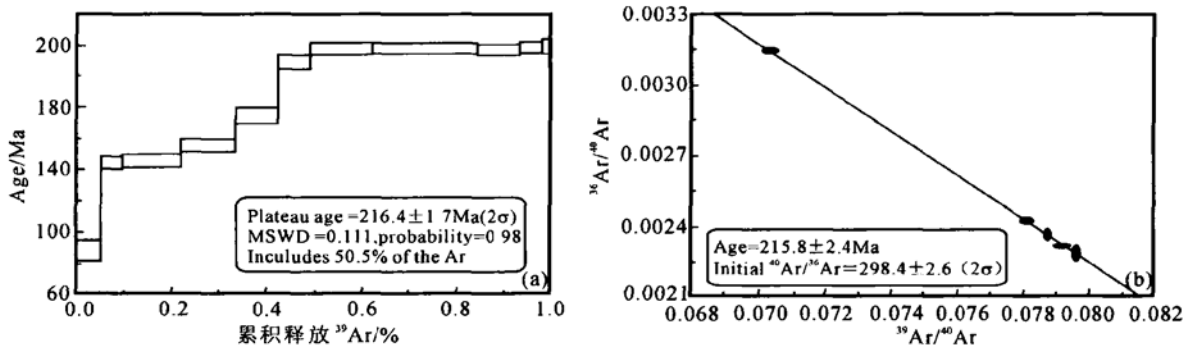


图 3 J98063 角闪石的⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温年龄谱(a) 及³⁶Ar/⁴⁰Ar-³⁹Ar/⁴⁰Ar 等时线图(b)

Fig. 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum (a) and inverse isochron diagram (b) of J98063 hornblende from Haxiu quartz diorite

400~ 1 400 °C 共 11 个温度阶段组成一个受到较强扰动的年龄谱, 总气体⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 186.4 ± 4.2 Ma。年龄谱中有两个年龄坪存在, 其中 1 000~ 1 400 °C 的 5 个高温阶段组成一个平坦的年龄坪, 坪年龄为 216.4 ± 1.7 Ma, 对应了 50.5% 的³⁹Ar 释放量(图 3a)。相应的³⁶Ar/⁴⁰Ar-³⁹Ar/⁴⁰Ar 等时线年龄为 215.8 ± 2.4 Ma, ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值为 298.4 ± 2.6 (2σ)(图 3b), 在误差范围内和尼尔值一致(Nier,

1950)。216.4 ± 1.7 Ma 的坪年龄被解释为角闪石的形成年龄, 也是岩浆冷却穿过 550 °C (角闪石的 Ar 同位素封闭温度, Berger and York, 1981; Harrison, 1981; McDougall and Harrison, 1999) 左右温度点的年龄。

由于已经判定哈秀岩体形成于板块俯冲阶段, 属 IAG 型花岗岩, 其角闪石 216.4 Ma 的⁴⁰Ar/³⁹Ar 高温坪年龄对沿金沙江缝合带发生的构造事件可以给出如下时间约束: 至晚三

叠世末期,至少到 216.4 Ma 时,沿金沙江缝合带,板块碰撞作用仍然没有开始,洋壳的俯冲作用仍在继续。

角闪石的氩同位素体系在后期受到强烈扰动,低温 500~700℃的 3 个阶段产生了一个较短的坪,其平均年龄为 148.0 ± 5.9 Ma,对应了约 30% 的 ^{39}Ar 释放量。由于拉萨地体和羌塘地体沿班公湖缝合带碰撞的时间在 170~180 Ma 左右(崔军文等,1992),哈秀岩体中角闪石 148.0 ± 5.9 Ma 的低温坪年龄似乎暗示了作为该碰撞作用的远程效应,强烈影响了角闪石氩同位素体系的后期构造事件发生在晚侏罗世末。但由于该低温坪对应的 ^{39}Ar 释放量较低,年龄误差较大,对地质事件的时间约束性较差,所以,还需要进一步的工作才能够准确限定导致角闪石氩同位素体系开放的后期构造事件的时代。

注意到本次测定得到的总气体 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 186.4 ± 4.2 Ma,恰好和前人得到的 184~192 Ma 的 K_Ar 年龄在误差范围内一致,证明了该 K_Ar 年龄是介于岩浆侵位和后期扰动事件之间的无意义的混合年龄,此前在区调和研究工作中据此把哈秀岩体划为燕山期岩浆活动的产物是错误的。

4 结论

通过上述岩石成因及形成时代两方面综合研究可以得出如下初步结论:

(1) 哈秀石英闪长岩属于 IAG 型,形成于板块俯冲阶段,岩体侵位较深。

(2) 哈秀石英闪长岩体的侵位时代在 216.4 Ma 左右,是印支晚期岩浆活动的产物。

(3) 由以上结论推论:至晚三叠世末期,至少到 216.4 Ma 时,沿金沙江缝合带,板块碰撞作用仍然没有开始,洋壳的俯冲作用仍在继续。

References

Berger G W & York D. 1981. Geothermometry from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating experiments[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 795~ 811.

Chappell B W and White A J R. 1974. Two contrasting granite type[J]. *Pacific Geol.*, 8: 293~ 305.

Chen Wen and Amdur N. 1997. Isotope Geochronology study for "POG Type" granite in BaYan Har Terrain[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18 (3): 261~ 266 (in Chinese with English abstract).

Chen Wen, Li Shuguang, Zhang Yan, *et al.* 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronological study of the muscovite from Qinglongshan High-Pressure orthogneiss, Donghai County, Su_Lu UHP metamorphic Belt[J]. *Geological Review*, 49(5): 537~ 543 (in Chinese with English abstract).

Chen Wen, Liu Xinyu and Zhang Sihong. 2002. Continuous laser stepwise heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating technique[J]. *Geological Review*, 48 (Supp.): 127~ 134 (in Chinese with English abstract).

Chen Wen, Zhang Yan, Ji Qiang, *et al.* 2002. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain [J]. *Science in China, Series B*, 45(Supplement): 20~ 27.

Cui Junwen, Zhu Hong, Wu Changde, *et al.* 1992. Lithosphere Deformation and Its Dynamics of Tibetan Plateau[M]. Beijing: Geological

publishing House (in Chinese with English abstract).

Harrison T T. 1981. Diffusion of ^{40}Ar in hornblende[J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 78: 324~ 331.

Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 101: 635~ 643.

McDougall I and Harrison T M. 1999. *Geochronology and Thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Method*[M]. New York: Oxford University Press.

Nier A O. 1950. A redetermination of the relative abundances of the isotope of carbon, nitrogen, oxygen, argon, and potassium [J]. *Phys.*, 77: 789~ 793.

Steiger R H and Jager E. 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 359~ 362.

Sun Guiying, Zhang Dequan and Xu Honglin. 1995. Chemical characteristics and tectonic environments of granitoids in the corridor from Dolmud to Ejin Qij [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 38(Supp. II): 145 ~ 158 (in Chinese with English abstract).

Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, *et al.* 2002. The Ways of Investigation on Granitoids[M]. Beijing: Geological Publishing House, 21~ 30(in Chinese with English abstract).

Zhang Dequan and Sun Guiying. 1986. A discussion on the genetic classification of granites[J]. *Bulletin of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science*, 15: 58~ 65(in Chinese with English abstract).

Zhang Dequan and Sun Guiying. 1988. *The Granite in Eastern China* [M]. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).

Zhang Yan, Chen Wen and Guo Yanru. 2002. Tectonic discrimination and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope geochronology of the Miba granite[J]. *Geological Review*, 48(Supp.): 110~ 114(in Chinese with English abstract).

Zhang Yan, Chen Wen, Liu Xinyu, *et al.* 2002. Tectonic setting discrimination and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope geochronology of Miba granite[J]. *Science in China (Series B)*, 45(Supplement): 47~ 54.

附中文参考文献

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~ 266.

陈文, 李曙光, 张彦, 等. 2003. 苏鲁超高压变质带东海青龙山高压正片麻岩中白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究[J]. *地质论评*, 49(5): 537~ 543.

陈文, 刘新宇, 张思红. 2002. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究[J]. *地质论评*, 48(增刊): 127~ 134.

崔军文, 朱红, 武长德, 等. 1992. 青藏高原岩石圈变形及其动力学[M]. 北京: 地质出版社.

孙桂英, 张德全, 徐洪林. 1995. 格尔木-额济纳旗地学断面走廊域花岗岩类的岩石化学特征与构造环境判别[J]. *地球物理学报*, 38, (增刊 II): 145~ 158.

肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 21~ 30.

张德全, 孙桂英. 1986. 关于花岗岩成因分类的讨论[J]. *中国地质科学院地质研究所所刊*, 15: 58~ 65.

张德全, 孙桂英. 1988. *中国东部花岗岩*[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.

张彦, 陈文, 郭彦如. 2002. 迷坝花岗岩形成时的构造环境判别及 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究[J]. *地质论评*, 48(增刊): 110~ 114.