

# 龙首山直沟门岩体特征及构造环境

胡能高, 许安东, 杨家喜

(长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 直沟门岩体(年龄  $374 \pm 38\text{Ma}$ ) 侵入于华北板块西缘的龙首山岩群, 主要由花岗岩、二长花岗岩等岩性组成。根据野外产状和岩相学特征可划分为 3 个单元, 从早到晚依次为: 直沟门单元、湾湾圈单元和马路湾单元。岩体的  $w(\text{SiO}_2)$   $65.94\% \sim 75.18\%$ ,  $w(\text{K}_2\text{O})$   $2.36\% \sim 4.35\%$ ,  $w(\text{Na}_2\text{O})$   $3.53\% \sim 5.47\%$ , 总体上  $w(\text{Na}_2\text{O}) \approx w(\text{K}_2\text{O})$ 。随  $w(\text{SiO}_2)$  增大  $w(\text{CaO})$ ,  $w(\text{FeO})$ ,  $w(\text{MgO})$  减少, 所有岩石均具铝弱过饱和,  $\text{ANKC} = 1.01 \sim 1.09$ 。岩浆类型属钙碱性系列,  $\sigma = 1.99 \sim 2.64$ 。皮可克指数为 55.6。Li, Cs, Rb 质量分数较低, 而 Ba, Sr 较高, 从早到晚大体存在 Rb/Sr 减少, 而 Sr, Ba, Co 和 Ba/K 增加。湾湾圈和马路湾单元在  $\sum \text{REE}$  ( $(152.11 \sim 171.94) \times 10^{-6}$ ),  $\sum \text{LREE} / \sum \text{HREE}$  ( $24.81 \sim 26.92$ ),  $\delta \text{Eu}$  ( $0.91 \sim 1.10$ ) 以及配分模式等方面是相似的, 与其相比, 直沟门单元的  $\sum \text{REE}$  ( $46.62 \times 10^6$ ),  $\sum \text{LREE} / \sum \text{HREE}$  (3.52) 低, 而  $\delta \text{Eu}$  (1.60) 高。 $w(\text{La})$  与  $w(\text{La}) / w(\text{Sm})$  大体存在正相关,  $\delta \text{Eu}$ ,  $\sum \text{REE}$  与 DI 变化也相一致。直沟门岩体形成于祁连造山带碰撞阶段之后, 属后碰撞花岗岩。在  $w(\text{CaO}) / w(\text{Na}_2\text{O})$  对  $w(\text{Al}_2\text{O}_3) / w(\text{TiO}_2)$  图上, 与拉克伦褶皱带后碰撞花岗岩的投影区相近。直沟门岩体的岩浆可能源自祁连褶皱带下冲火山岩。

[关键词] 祁连山造山带; 后碰撞花岗岩; 构造环境; 深熔作用; 甘肃

[中图分类号] P588.1 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)02-0005-07

[作者简介] 胡能高(1949-), 男, 浙江东阳人, 教授, 从事岩石学和地球化学教学与研究。

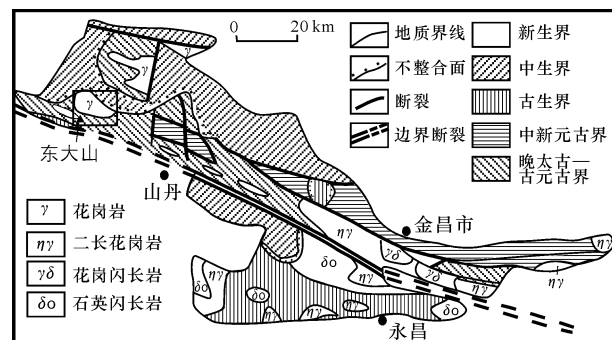
龙首山脉绵延于甘肃河西走廊北侧, 其中分布有众多花岗岩体, 多数是加里东期侵入的, 直沟门岩体是其中之一, 它位于龙首山脉西端, 东大山主峰的北麓(图 1)。在进行 1:5 万那仁布鲁格幅地质调查时对该岩体作了较系统的工作, 现将基本特征作一介绍, 同时探讨其构造环境。

## 1 区域地质概况及岩体地质

### 1.1 区域地质概况

研究区位于华北板块西缘, 紧邻华北板块与祁连褶皱带的边界断裂带(图 1)。华北板块内出露地层有龙首山岩群、敦子沟群、庙沟组。研究区内龙首山岩群属古元古界, 东部金昌河西堡一带可能有晚太古代地层<sup>①</sup>, 该岩群形成于板内裂谷环境, 经历

了多期次变形变质改造, 已成为结晶基底岩系<sup>[1]</sup>, 敦子沟群属蓟县系, 形成于浅海环境<sup>[2]</sup>, 庙沟组属白垩系, 为陆内盆地沉积<sup>[3]</sup>。南部为祁连褶皱带的过渡带, 第四系沉积特别发育, 地层出露零星, 研究



资料来自甘肃省地质志<sup>[3]</sup>, 1:5 万西坡幅、河西堡幅、东寨乡幅、那仁布鲁格幅、山丹幅、马莲井幅和红寺湖幅地质图

图 1 区域地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the studied area

[收稿日期] 2004 04 06

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40372043); 国土资源部地质大调查项目(1:5 万那仁布鲁格幅)

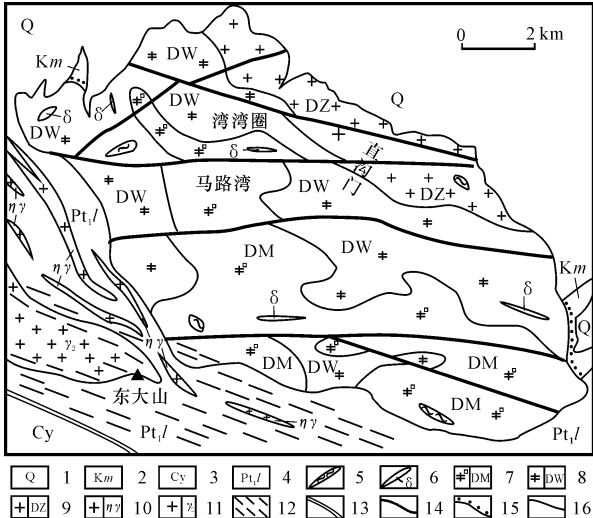
① 甘肃地质局. 1:5 万西坡幅、河西堡幅、东寨乡幅区域地质调查报告, 1995.

区内出露少量浅海相石炭系地层, 向东到山丹一金昌一带有较多寒武系地层和新元古代大黄山群, 系深海浊积相<sup>①</sup>。

区内岩浆活动较频繁, 古元古代以裂谷火山活动为主<sup>[1]</sup>, 中元古代有少量花岗岩侵入<sup>①</sup>, 东部地区有基性-超基性岩浆活动<sup>①</sup>。最强烈的岩浆作用发生在加里东期, 可能延续到海西早期, 以花岗质岩浆多期次侵入为特征。最强烈的变质作用发生在古元古代, 祁连造山运动中沿边界断裂也有强的剪切变质、变形作用发生。

1.2 岩体地质

直沟门岩体侵入龙首山岩群中, 出露面积约 70 km<sup>2</sup>, 其北侧被白垩系地层不整合覆盖, 西南部被韧性剪切带改造。岩体内发育近东西向和东北-南西向后期断裂。岩体呈透镜状, 其长轴方向与区域构造线方向一致(图 2)。用逐层蒸发法测得该岩体的岩浆锆石年龄为(374±38)Ma, 属加里东晚期—早海西期侵入的。



- 1 - 第四系; 2 - 白垩系庙沟组; 3 - 石炭系羊虎沟组; 4 - 龙首山岩群; 5 - 捕虏体; 6 - 中性岩脉; 7 - 马路湾单元; 8 - 湾湾圈单元; 9 - 直沟门单元; 10 - 不明时代二长花岗岩脉; 11 - 元古代花岗岩; 12 - 韧性剪切带; 13 - 边界断裂带; 14 - 断裂; 15 - 不整合面; 16 - 地质界线

图 2 直沟门花岗岩体地质图

Fig. 2 Geological map of the Zhigoumen granite

岩体内发育的岩石类型较多, 主要是钾长花岗岩类、二长花岗岩类和花岗闪长岩类。岩石结构有中细粒、含斑和似斑状结构等多种。岩体内有众多围岩捕虏体, 以斜长角闪片岩为主, 其次为强流变的大理岩, 是龙首山岩群强烈变形带中的岩石。岩体内未见细晶质岩浆岩包体, 但可见少量宽度 10 m

以下中性岩脉, 这些岩脉的走向多变。

依据岩体内的侵入关系、岩性及岩性组合特征, 可划分为 3 个单元, 由老到新分别是: 直沟门肉红色中细粒钾长花岗岩-二长花岗岩单元(DZ), 湾湾圈肉红色含斑二长花岗岩单元(DW)和马路湾肉红色似斑状二长花岗岩单元(DM)。

直沟门单元主要分布在岩体北部, 大体呈北西-南东走向, 长条状产出。该单元的主要岩性为中细粒黑云母钾长花岗岩, 其次为中细粒黑云母二长花岗岩, 与南侧湾湾圈单元为脉动式接触关系。湾湾圈浅肉红色含斑二长花岗岩单元主要分布在直沟门单元南侧和岩体东部, 其中含有直沟门单元中细粒花岗岩捕虏体, 说明它稍晚于直沟门单元侵入, 锆石的同位素测年样采于该单元, 该单元的主要岩性为浅肉红色含斑二长花岗岩和含斑石英二长岩等。马路湾单元主要分布在中部-中南部, 局部与湾湾圈单元相邻处见变细现象, 属冷却效应的反映, 说明形成于湾湾圈单元之后。马路湾单元以肉红色似斑状黑云母二长花岗岩为主, 同时还有浅灰色少斑状黑云母花岗闪长岩、浅灰色-灰色中粗粒黑云母石英闪长岩和含白云母、二长花岗岩等。由此可见岩体侵位过程是由北向南、由西向东进行的(见图 2)。

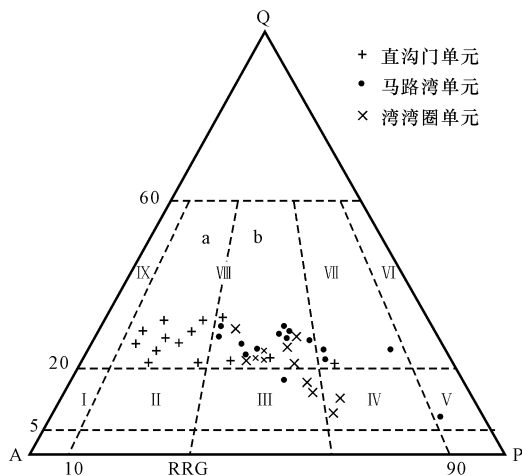
2 岩相学特征

直沟门岩体各种岩性的主要矿物均为石英、斜长石和钾长石 3 种, 主要暗色矿物为黑云母, 仅在少量黑云母石英闪长岩中见角闪石。石英体积分数在 10%~35%, 两种长石的比例变化大, 因此岩石种类较多, 主要有钾长花岗岩类和二长花岗岩类, 其次为石英二长岩类、花岗闪长岩类、石英二长闪长岩类及少量石英闪长岩。3 个单元代表性岩石的 QAP 投影(图 3)表明, 在矿物组成上虽有相当大的重叠, 但从早到晚石英减少, 斜长石/钾长石增大的趋势是明显的。

二长花岗岩类、钾长花岗岩类和花岗闪长岩类都为深浅不同的红色调, 石英二长岩类、石英二长闪长岩类和石英闪长岩多为浅灰-灰色调。二长花岗岩类和钾长花岗岩类的结构有: 中细粒等粒状、少斑状和似斑状结构等多种, 石英二长岩类、石英

① 许安东, 等. 1:5 万那仁布鲁格幅区域地质调查报告, 2000.

二长闪长岩类和石英闪长岩类以中粒、中粗粒结构为主。从早到晚大体存在由细到粗, 由等粒状结构, 经含斑似斑状结构到似斑状结构的变化趋势。除岩体西南部因变形发生糜棱岩化和片麻理化而形成糜棱构造和片麻状构造外, 多数为块状构造。



I - 石英碱性正长岩; II - 石英正长岩; III - 石英二长岩; IV - 石英二长闪长岩; V - 石英闪长岩; VI - 斜长花岗岩; VII - 花岗岩; VIII<sub>a</sub> - 钾长花岗岩; VIII<sub>b</sub> - 二长花岗岩; IX - 碱长花岗岩

图 3 直沟门花岗岩体各单元 QAP 投影

Fig 3 QAP diagram of the various units of Zhigoumen granite

各岩性中黑云母都呈片状, 自形一半自形晶,  $N_g$  为深棕褐色,  $N_p$  为浅黄色。不同岩类中黑云母含量有变化, 钾长花岗岩类 1%~5%, 平均 3%左右; 二长花岗岩类 1%~6.5%, 平均 3.4%左右; 花岗闪长岩类 2%~8%, 平均 5%左右; 依石英二长岩、石英二长闪长岩和石英闪长岩的次序, 平均含量增加, 分别为 8.2%, 9.5%和 10.1%。各岩类中黑云母的成分相似, 探针分析数据经计算在  $Mg - [Fe^{2+} + Mn] - [Fe^{3+} + Al + Ti]$  三角图中投影, 均属铁质黑云母。

斜长石都呈半自形-自形晶, 板状或板柱状, 多具联合双晶和发育程度不同的环带结构。多数为更长石, 其号码在不同岩类中有变化, 按钾长花岗岩类和二长花岗岩类、花岗闪长岩类、石英二长岩类、石英二长闪长岩类和石英闪长岩类的次序有升高的趋势, 分别变化在  $An = 15 \sim 23$ ,  $21 \sim 28$  和  $22 \sim 34$  间。斜长石中含钾长石分子都在 2%以下。

钾长石的自形程度较斜长石差, 以半自形-它形为主, 粒状和板状, 板状者多为斑晶, 大小为  $(5 \sim 12) mm \times (15 \sim 25) mm$ , 粒状者在等粒状结构岩石中或在似斑状结构岩石的基质中。斑晶钾长石多具格子状双晶, 为微斜长石, 其内部常有长条状自形斜长石小晶体。斑晶边界常不平直, 呈树枝状伸

入其他矿物间隙。基质钾长石多为条纹长石, 钠长石条纹细密, 平行排列, 体积分数均  $< 5\%$ , 钾长石中  $Q_r > 88$ ,  $An < 1$ 。

石英多为它形粒状, 矿物粒径多  $< 1 mm$ , 常以集合体出现, 集合体直径多  $> 2 mm$ , 多数石英具波状消光。

角闪石仅在石英闪长岩和石英二长闪长岩类中有少量出现, 均为半自形柱状,  $N_g \wedge C$  为  $21^\circ$  左右, 属普通角闪石。

副矿物组合多为磁铁矿-榍石-磷灰石-锆石, 不同岩性中其含量有变化, 石英闪长岩类中榍石和磷灰石较丰, 其中磷灰石、锆石多为自形晶, 榍石在二长花岗岩和钾长花岗岩类中晶形不佳, 其他岩类中多为信封状自形晶。

岩石的蚀变常见, 但不强烈, 黑云母常见绿泥石化, 同时折出粉末状磁铁矿, 斜长石有绢云母化和帘石化等。

### 3 岩石化学和地球化学

#### 3.1 岩石化学

3 个单元的代表性岩石化学分析数据列于表 1。从表 1 可看出, 岩体的  $w(SiO_2)$  变化范围较大, 为 65.94%~75.18%。随  $w(SiO_2)$  增加,  $w(CaO)$ ,  $w(TFeO)$ ,  $w(MgO)$  都降低, 尤其是  $w(CaO)$  更为明显, 而  $w(K_2O)$  是增加的, 这种变异属钙碱性岩浆演化的特点,  $w(Na_2O)$  的变化不明显, 故出现了  $w(K_2O)/w(Na_2O)$  值变化较大(0.43~1.23)的特征。

CIPW 标准矿物计算表明, Q 值均为正值, 在 20.06~33.93 间, 在花岗岩类岩石中是比较低的, 这与实际矿物中石英含量较低相一致, 而 Ab 在 29.39~46.66 间, 是相当高的, An 在 4.45~13.63 间, 也较高。所有样品中均出现 C 值, 但都较小, 在 0.2~1.22 间, 平均 0.65, 属铝弱过饱和的, ANKC 值在 1.01~1.09 间, 也显示铝弱过饱和性。岩石的分异指数( $I_d$ )较大, 在 76.83~92.67 间。各样品的  $\sigma$  值较接近, 在 1.99~2.64 间, Peacock 指数为 55.6, 都说明属钙碱性系列<sup>[4]</sup>, 在 ACF 图解上除个别点落在 I/S 型花岗岩<sup>[3]</sup> 边界附近的 S 型区外, 绝大多数位于 I 型区内。

3 个单元的化学成分存在明显地相似性, 尤其是湾湾圈单元和马路湾单元相似性更为明显, 但从

早到晚总体上显示从酸性向中酸性演化的趋势,与图 3 中实际矿物含量的变化及斜长石成分的变化相一致。这种演化特征不应是同一岩浆结晶分异形成的,即不是同岩浆的,而应是同源演化或同成因演化特征。

3.2 稀土元素特征

各单元代表性稀土分析列于表 2,稀土元素配分见图 4。各单元均为轻稀土富集型,配分曲线明显右倾(图 4), $(La/Yb)_N$  在 11.14~90.33 间, $\sum LREE/\sum HREE$  在 3.53~26.92 间。 $\delta Eu=0.91\sim 1.60$ ,说明几乎不存在 Eu 贫化,或是弱富集, $\delta Ce$  相近,在 0.61~0.70 间。马路湾单元和湾湾圈单元的稀土元素在各方面都相似,而直沟门单元的 $\sum REE$  低,轻重稀土的分异弱, $\delta Eu$  值大。 $\sum REE$  和  $I_d$  与  $\delta Eu$  都显示了正相关性, $La$  与  $La/Sm$  值也显示正相关,这些变异特征暗示着各单元及各岩性间不存在结晶分异演化关系,而显示部分熔融演化的特征。

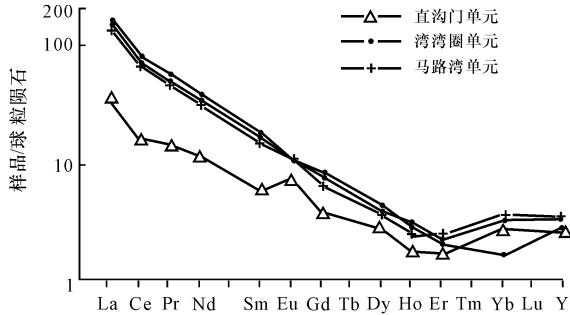


图 4 直沟门花岗岩体代表性岩石稀土元素配分图  
Fig. 4 Chondrite normalized REE distribution patterns for typical granites of Zhigoumen pluton

3.3 微量元素特征

各单元代表性微量元素分析列于表 3。在分析元素中除 Ni, Cr 有很大变化, Nb 有较大变化外,其他元素变化范围都不大。 $w(Li, Cs, Rb)$  的平均含量分别为  $10.75\times 10^{-6}$ ,  $1.075\times 10^{-6}$  和  $78.25\times 10^{-6}$ ,比华南花岗岩低得多,在华南含量较低的不含矿花岗岩  $w(Li, Cs, Rb)$  均值分别为  $37.8\times 10^{-6}$ ,  $12.9\times 10^{-6}$  和  $214\times 10^{-6}$ 。相反,  $w(Sr, Ba)$  平均值为  $621\times 10^{-6}$  和  $2050\times 10^{-6}$ ,是较高的。 $w(Ba)$  是世界花岗岩均值  $w(BaO)480\times 10^{-6}$  的 5 倍以上。 $w(Ni, Cr, V, Co, Sc)$  各元素的均值均列于表 3,与常见花岗岩的相应值<sup>[9]</sup>比,  $w(Ni)$  偏高,其他元素均在正常变化范围内,与花岗岩的均值相近。 $w(Nb, Ta)$  的世界花岗岩均值分别为  $21\times 10^{-6}$  和  $4.2\times 10^{-6}$ ,直沟门岩体与它们十分接近。

据弗兰纳干资料<sup>[7]</sup>,花岗岩  $w(Zr)$  在  $(140\sim 300)\times 10^{-6}$ ,  $w(Hf)$  在  $(4.7\sim 12)\times 10^{-6}$  间,与之相比,直沟门岩体 Zr 强烈偏低, Hf 相近。

从早到晚微量元素也存在一些变化趋势: $w(Sr, Ba, Co)$  等元素升高,  $w(Rb)/w(Sr)$  值降低,而  $w(Ba)/w(K)$  值升高。

4 构造环境

根据火山岩及火山作用研究,从新元古代末开始,到加里东期末,祁连地区经历了一个完整地板块构造旋回:先形成裂谷,随后扩大成洋,再形成沟弧盆体系和发生俯冲作用,到加里东晚期碰撞闭合、褶皱成山链。深海沟俯冲带分布在走廊南山南坡一带,俯冲由南向北,插向华北板块之下,俯冲带北侧发育完整地弧盆体系,碰撞作用发生在 428 Ma 前后<sup>[8]</sup>。分布在龙首山一带的加里东花岗岩应与该时期俯冲和碰撞及碰撞后的调整有关。1995 年在金昌河西堡一带作 1:5 万西坡幅、河西堡幅和东乡幅地质调查时建立了 4 个花岗岩序列:韩家峡石英闪长岩和角闪花岗岩闪长岩( $592\pm 82$ ) Ma, 中牌黑云母花岗岩闪长岩( $577\pm 59$ ) Ma, 杨前大山花岗岩闪长岩( $427\pm 14$ ) Ma 及孟家大湾二长花岗岩( $403\pm 18$ ) Ma,其中韩家峡和中牌序列花岗质岩类与火山岛弧、弧后盆地岩浆活动有关,它们的形成是俯冲作用中产生的壳源与幔源岩浆混合作用的结果<sup>[9]</sup>。按 Maniar 和 Piccoli<sup>[10]</sup> 分类,这 2 个序列花岗质岩石应属于 IAG 或 CAG 型,按 Barbarin 分类<sup>[11]</sup> 应属 ACG 型。杨前大山和孟家大湾序列花岗质岩石与 Barbarin<sup>[11]</sup> 的 KCG 相近,直沟门岩体的侵位比河西堡最后侵入的孟家大湾序列花岗岩稍晚,但在岩相学、岩体地质、岩石化学等多方面存在明显差异,应属不同构造环境的产物,时序上应属后碰撞环境花岗岩。

直沟门岩体侵位于边界断裂北侧,这是一条长期活动的构造带,岩体捕虏中有产于剪切带中的岩石,而岩体西南侧又受剪切改造就是佐证,该岩体的侵入也是受剪切带控制的,这是后碰撞花岗岩侵位特征之一。Liegeois 等在研究后碰撞花岗岩时采用了  $w(K_2O)-w(SiO_2)$ ,  $w(Al_2O_3+CaO)/w(FeO+Na_2O+K_2O)-100^2w(MgO+FeO+TiO_2)/w(SiO_2)$ ,  $Na_2O-K_2O-3\times w(CaO)$  图解来区分不同类型<sup>[12]</sup>,在这些图解上,直沟门岩体的投影点与同剪切期岩体重合,也说明直沟门岩体与

表 1 代表性花岗岩的化学成分

Table1 Chemical composition of typical granites																	$w_B/\%$	
序号	岩石名称	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	烧失量	$\sigma$	ANKC	$I_d$		
1	黑云母二长花岗岩	71.36	0.20	15.37	1.19	0.91	0.047	0.39	1.60	5.47	2.36	0.020	0.59	2.16	1.06	85.98		
2	少斑状黑云母花岗岩内长岩	69.74	0.43	14.88	1.32	1.45	0.078	0.78	2.19	3.98	3.84	0.011	0.83	2.29	1.01	82.31		
3	似斑状黑云母二长花岗岩	69.40	0.35	15.10	2.10	1.30	0.078	0.74	1.80	3.92	3.94	0.012	0.82	2.34	1.09	82.77		
4	似斑状黑云母二长花岗岩	67.96	0.50	15.54	2.03	1.73	0.110	0.97	2.28	4.22	3.50	0.022	0.65	2.39	1.05	79.42		
5	马路湾单元平均	69.62	0.37	15.22	1.66	1.35	0.078	0.72	1.97	4.40	3.41	0.016	0.72	2.39	1.05	82.62		
6	含斑二长花岗岩	69.92	0.40	14.75	1.56	1.39	0.120	0.66	1.81	3.96	4.16	0.020	0.78	2.45	1.02	84.35		
7	似斑状石英二长岩	65.94	0.50	16.76	2.22	1.70	0.076	1.07	2.70	4.28	3.50	0.010	0.58	2.64	1.08	76.83		
8	中细粒黑云母二长花岗岩	70.56	0.63	14.71	1.34	1.32	0.094	0.56	1.74	4.04	3.98	0.023	0.62	2.33	1.04	85.00		
9	中粒含黑云母二长花岗岩	70.52	0.45	14.57	1.28	1.39	0.074	0.71	1.79	3.96	3.96	0.011	0.84	2.28	1.03	84.36		
10	湾湾圈单元平均	69.24	0.50	15.20	1.60	1.45	0.091	0.75	2.01	4.06	3.90	0.016	0.71	2.43	1.04	82.63		
11	细粒花岗岩	75.18	0.15	13.58	0.36	0.58	0.050	0.16	0.90	4.12	4.16	0.010	0.34	2.13	1.05	92.67		
12	中粗粒花岗岩	72.26	0.55	14.24	0.76	1.29	0.082	0.61	1.59	3.71	4.43	0.040	0.28	2.26	1.03	86.63		
13	中粒含黑云母花岗岩	74.26	0.25	13.59	0.79	0.85	0.064	0.37	1.39	3.53	4.35	0.030	0.57	1.99	1.04	88.79		
14	中细粒黑云母花岗岩	75.02	0.60	13.47	0.45	0.60	0.061	0.22	1.07	3.80	4.31	0.020	0.24	2.05	1.05	91.51		
15	直沟门单元平均	74.18	0.39	13.72	0.59	0.83	0.064	0.34	1.24	3.79	4.31	0.025	0.36	2.11	1.04	89.90		

样品分析由原西安地质学院中心实验室用重量和容量法分析

表 2 代表性花岗岩的稀土元素分析及有关参数

Table 2 Rare earth elements and the ratios of typical granites																$w_B/10^{-6}$	
序号	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\frac{\sum LREE}{\sum HREE}$	$\frac{\delta Eu}{(La/Yb)_N}$
1	似斑状黑云母二长花岗岩	44.53	64.23	6.93	2.09	3.31	0.87	2.19	<0.30	1.29	0.23	0.58	<0.10	0.67	<0.10	152.11	39.42
2	中细粒黑云母二长花岗岩	51.74	73.40	7.24	22.07	3.80	0.87	2.28	<0.30	1.43	0.28	0.57	<0.10	0.34	<0.10	171.94	85.60
3	中粒含黑云母二长花岗岩	48.04	67.14	7.00	21.11	3.47	0.87	2.56	<0.30	1.13	0.27	0.54	<0.10	0.69	<0.10	160.68	41.36
4	中细粒黑云母花岗岩	11.09	14.66	1.98	6.82	1.32	0.60	1.24	<0.30	4.93	0.15	0.39	<0.10	0.59	<0.10	46.82	11.14

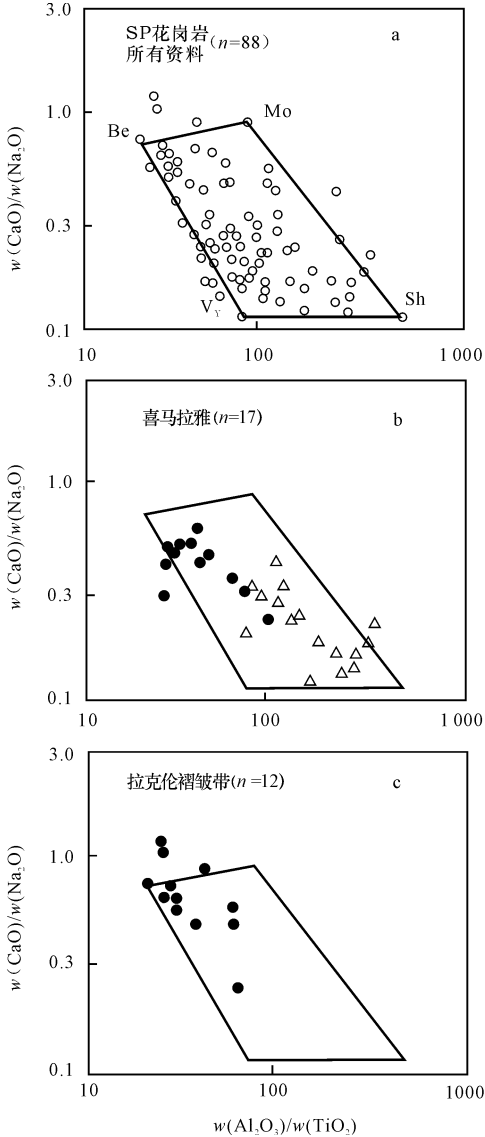
样品分析由原地矿部宜昌地质矿产研究所用 IOP 及 AAS 法分析,精度高于  $0.01 \times 10^{-6}$

表 3 代表性花岗岩岩石的微量元素

Table 3 Trace elements of typical granites																				$w_B/10^{-6}$
序号	岩石名称	Rb	Sr	Ba	Li	Cs	Ni	Cr	V	Co	Sc	Nb	Ta	Hf	Zr	Nb/Ta	Zr/Hf	Rb/Sr	(Ba/K)/10 <sup>-4</sup>	K/Rb
1	似斑状黑云母二长花岗岩	75	762	2.2×10 <sup>3</sup>	9.0	0.8	9.4	13	41	9.6	1.80	18	4.0	8.6	42	4.50	4.88	0.10	673	436
2	中细粒黑云母二长花岗岩	75	608	2.1×10 <sup>3</sup>	14	1.4	92	3	37	8.3	1.49	30	4.1	8.6	70	7.32	8.14	0.12	634	440
3	中粒含黑云母二长花岗岩	89	731	1.9×10 <sup>3</sup>	13	1.1	34	41	41	8.4	2.27	24	4.7	7.4	48	5.11	6.49	0.12	578	369
4	中细粒黑云母花岗岩	74	382	1.9×10 <sup>3</sup>	7.0	1.0	7.6	3	23	6.7	1.04	16	3.8	12	59	4.21	4.92	0.19	531	483
平均		78.25	621	20.25	10.75	1.075	35.75	15	35.5	8.25	1.65	22	4.15	9.15	54.75	5.29	6.11	0.13	604	432

样品分析由原地矿部宜昌地质矿产研究所用 IOP 及 AAS 法分析,精度高于  $0.01 \times 10^{-6}$

碰撞后沿大型剪切带活动有关。Sylvester 用  $w(\text{CaO})/w(\text{Na}_2\text{O}) - w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$  图解来识别后碰撞花岗岩的源岩和熔融温度, 火成岩源区的  $w(\text{CaO})/w(\text{Na}_2\text{O})$  较高,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$  对熔融温度有较好指示意义, 其值低, 熔融相对温度较高。<sup>[13]</sup> 在该图上, 直沟门岩体各样品多落在后碰撞花岗岩区或附近, 且与拉克伦褶皱带的点相近, 而与喜马拉雅的差异较明显(图 5), 应为高温型

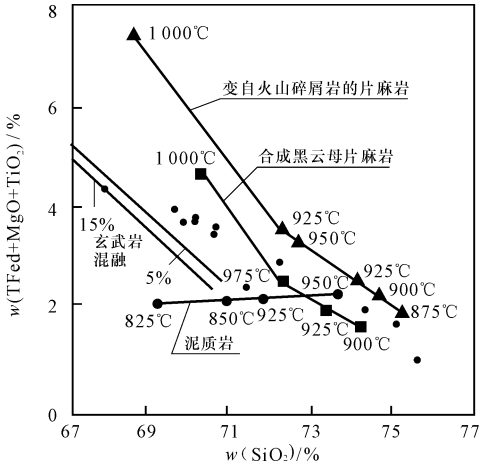


A - 多数后碰撞花岗岩分布在 Be - Mo - Sh - Vy 四边形内; B - 圆点为直沟门岩体, 三角为喜马拉雅后碰撞花岗岩; C - 拉克伦褶皱带的后碰撞花岗岩

图 5 直沟门岩体与典型后碰撞花岗岩  $w(\text{CaO})/w(\text{Na}_2\text{O})$  与  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$  对比  
Fig 5  $w(\text{CaO})/w(\text{Na}_2\text{O})$  vs  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$  diagram comparing the Zhigoumen granites with typical post collisional granites

后碰撞花岗岩。

Patino Douce 和 Johnston<sup>[14]</sup>, Patino Douce 和 Beard<sup>[15]</sup> 和 Skerjerie 和 Johnston<sup>[16]</sup> 分别用泥质岩、合成黑云母片麻岩和变自火山碎屑岩的片麻岩作过深熔实验, 随熔融温度升高, 其中源自两种片麻岩的岩浆  $w(\text{TFeO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2)$  质量分数增加, 而  $w(\text{SiO}_2)$  质量分数降低。源自泥质岩的岩浆,  $w(\text{SiO}_2)$  质量分数上升, 但  $w(\text{TFeO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2)$  质量分数变化不大。据此可以用来识别岩浆的源岩。在该图上直沟门岩体的成分点变异与片麻岩的深熔相一致(图 6), 推测源岩的主体为火成变质岩。结合区内地质背景, 源岩不应是相当龙首山岩群的地质体, 因为, 该岩群中有较丰富地泥质变质岩<sup>[1]</sup>, 源岩很可能是由南向华北板块俯冲的祁连造山带的火山岩, 这些火山岩向北下插到华北西缘之下, 在碰撞后拆沉进入深部, 发生熔融形成后碰撞花岗岩。如果确是如此, 说明祁连造山时俯冲作用已波及现在华北板块和祁连褶皱带的边界断裂之北。



变自火山碎屑岩的片麻岩、含黑云母片麻岩及泥质岩的深熔线分别转引自 Skerjerie 和 Johnston<sup>[16]</sup> Patino Douce<sup>[15]</sup> 和 Patino Douce 和 Johnston<sup>[14]</sup>

图 6 直沟门岩体  $w(\text{TFeO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2)$  与  $w(\text{SiO}_2)$  对比  
Fig. 6  $w(\text{TFeO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2)$  vs  $w(\text{SiO}_2)$  diagram of Zhigoumen granite

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 胡能高. 甘肃东大山地区龙首山岩群地球化学特征及其构造环境[ J ]. 长安大学学报( 地球科学版), 2003, 25(4): 32 ~ 39.  
[ 2 ] 许安东, 姜修道. 华北地台西缘中元古界蓟县系墩子沟群特征及其地质意义[ J ]. 长安大学学报( 地球科学版), 2003, 25(4): 27 ~ 31.

[ 3 ] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省地质志[ M ] . 北京: 地质出版社, 1989.

[ 4 ] 武汉地质学院岩石教研室. 岩浆岩岩石学( 下册)[ M ] . 北京: 地质出版社, 1980.

[ 5 ] 王仁民, 贺高品, 陈珍珍, 等. 变质岩原岩图解判别法[ M ] . 北京: 地质出版社, 1987.

[ 6 ] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学[ M ] . 北京: 科学出版社, 1980.

[ 7 ] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论[ M ] . 北京: 地质出版社, 1987.

[ 8 ] 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 祁连山及邻区火山作用与成矿[ M ] . 北京: 地质出版社, 1998.

[ 9 ] 方同辉, 王崇礼, 王 荣. 河西堡花岗岩体中闪长质包体与岩浆混合作用[ J ] . 西安地质学院学报, 1997, 19( 4) : 15 ~ 21.

[ 10 ] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[ J ] . Geo Soc Am Bull, 1989, 101: 635 ~ 643.

[ 11 ] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[ J ] . Lithos, 1999, 46: 605 ~ 626.

[ 12 ] Liegeois J P. Contrasting origins of post collision high K calc alkaline shoshonitic and alkanine peralkaline granitoids: the use of sliding normalization[ J ] . Lithos, 1998, 45: 1 ~ 28.

[ 13 ] Sylvester P J. Post collision strongly peraluminous granites[ J ] . Lithos, 1998, 45: 29 ~ 44.

[ 14 ] Patino Douce A E, Johnston A D. Phase equilibria and melt productivity in pelitic system; implication for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites[ J ] . Contrib Minerl Petrol, 1991, 107: 202 ~ 218.

[ 15 ] Pattino Douce A E, Beard J S. Dehydration melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 kbar[ J ] . J Petrol, 1995, 36: 707 ~ 738.

[ 16 ] Skjerlie K P. Johnston Vapour – absent melting from 10 to 20 kbar of crustal rocks that contain multiple hydrous phases; implications for anatexis in the deep to very deep continental crust and active continental margins[ J ] . J Petrol, 1996, 37: 661 ~ 691.

# Characteristics and tectonic environment of Zhigoumen pluton in Longshoushan area

HU Neng gao, XU An dong, YANG Jia xi

( School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract** The Zhigoumen pluton( age of  $374 \pm 38$  Ma), intruded into the Longshoushan Group at the western margin of the North China Plate, is composed dominantly of granite, monzogranite et al. . On the basis of the field relations and petrographic data, the pluton can be divided into three units from early to late: Zhigoumen unit, Wanwanjuan unit and Maluwan unit. The rocks of the pluton have  $w(\text{SiO}_2) = 65.94\% \sim 75.18\%$ ,  $w(\text{K}_2\text{O}) = 2.36\% \sim 4.35\%$  and  $w(\text{Na}_2\text{O}) = 3.53\% \sim 5.47\%$ ,  $w(\text{CaO})$ ,  $w(\text{TFEO})$  and  $w(\text{MgO})$  decrease with increasing  $w(\text{SiO}_2)$ . All rocks are moderately peraluminous with ANKC of  $1.01 \sim 1.09$  and magmatic type belongs to calc alkalic series with  $\sigma = 1.99 \sim 2.64$  and Peacock index = 55.6. As compared with typical granites, the trace elements of Li, Cs and Rb are lower, and Sr and Ba higher. There is from early to late units, a weakly tendency of decrease in Rb/Sr and increase in Sr, Ba, Co and Ba/K. The Wanwanjuan unit is similar to the Maluwan unit in  $\sum \text{REE}$  ( $152.11 \sim 171.94 \times 10^6$ ),  $\delta\text{Eu}$  ( $0.91 \sim 1.10$ ) and REE pattern, but the Zhigoumen unit differs from them, it has lower  $\sum \text{REE}$  ( $46.62 \times 10^6$ ), lower  $\sum \text{LREE} / \sum \text{HREE}$  ( $3.53$ ) and higher  $\delta\text{Eu}$  ( $1.60$ ). Generally, La is positively correlated to La/Sm, and  $\delta\text{Eu}$  and  $\sum \text{REE}$  vary consistently with DI. The Zhigoumen pluton, formed after the collision stage of the Qinling Fold Belt, belongs to post collision granite type, because the rocks are similar to the granites of the Lachlan Fold Belt in the plots such as  $w(\text{CaO}) / w(\text{Na}_2\text{O})$  vs.  $w(\text{Al}_2\text{O}_3) / w(\text{TiO}_2)$ . It is possible that the Zhigoumen pluton is derived from the melting of the subducted volcanic rocks of the Qilian Fold Belt.

**Key words:** Qilian Fold Belt; post collision granite; tectonic environment; anatexis; Gansu Province

[ 英文审定: 杨家喜]