

文章编号: 1006-6616(2003)01-0062-08

甘肃大水二长岩类特征、结晶 条件与侵位深度

刘晓春¹, 王平安¹, 董法宪¹, 刘建民¹, 徐刚¹, 李亚东²

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 甘肃省地勘局第三地质队, 甘肃 合作 747000)

摘要: 对大水地区(石英)二长岩类的岩石学研究表明, 忠格扎拉、忠曲和格尔括合岩体及周围的脉岩是同源岩浆演化的产物。尽管它们结晶的温度条件相似(约700°C~800°C), 但侵位深度有明显的差别, 西部忠格扎拉岩体最深(20km~22km), 中部忠曲岩体次之(16km), 东部格尔括合岩体最浅(8km~11km), 并且后者具有次火山岩的性质。这说明浅成岩浆对金矿的形成最为有利, 这就是为什么在格尔括合和忠曲岩体附近形成了大型金矿床, 而在忠格扎拉岩体周围仅找到金矿点的主要原因。

关键词: (石英)二长岩; 侵位深度; 金矿; 大水地区

中图分类号: P588.34⁺1

文献标识码: A

0 引言

甘肃南部大水地区位于西秦岭南亚带之西倾山复背斜南翼, 90年代因大水金矿的发现而闻名全国。(石英)二长岩类主要出露于玛曲—略阳断裂带北侧的大水弧形构造区, 包括忠格扎拉岩体、忠曲岩体、格尔括合岩体以及围绕岩体南部分布的岩脉群(图1)。这些岩体或岩脉在空间分布上与金矿体关系密切, 为探求其与金矿的成矿关系, 我们对岩石的野外产状、岩石化学和矿物化学进行了初步研究, 并估算了其结晶的物化条件与侵位深度。

1 野外产状、时代与岩石化学特征

1.1 野外产状

忠格扎拉岩体: 分布在忠格扎拉北侧, 呈近圆形岩株, 面积4.8km²。岩体侵入于石炭—二叠纪灰岩中, 外接触带发生了明显的大理岩化, 白垩系不整合于岩体之上。岩体边部见

收稿日期: 2002-01-09

基金项目: 国土资源部“九五”科技攻关课题(编号: 95-02-002-02)

作者简介: 刘晓春(1962-), 男, 博士, 研究员, 主要从事变质地质学研究。

钾长石斑晶强烈定向排列，倾向近于直立，但在中心部位定向性不明显，这种流动构造的形成显然与岩浆的主动侵位有关。

忠曲岩体：由两个凸镜状岩枝构成，位于一构造破碎带东侧，大部分被第四系覆盖。构造破碎带西侧为二叠纪含蜓灰岩，故它可能侵入于上石炭一下二叠世灰岩中。

格尔括合岩体：呈椭圆形岩株，面积 1.24km²，侵入于二叠纪一下三叠世灰岩中，北部被白垩纪砾岩覆盖。岩体外围有大量的同源脉岩，内部 SN 向节理非常发育。岩体东北部边界与深灰色灰岩相接触，但未见接触变质现象，内接触带（宽 10m）一般风化为黄色，局部呈肉红色。岩体西南界线为一波状滑动面，总体产状 80°∠75°，并指示右行剪切，内接触带也存在数个小滑动面，约 10m 宽，风化为土黄色，直接围岩为碎裂白云质灰岩，宽约 5m，再向外过渡为白云质灰岩。由于未见明显的围岩蚀变，推测岩体与围岩为构造接触，并造成后期滑动。

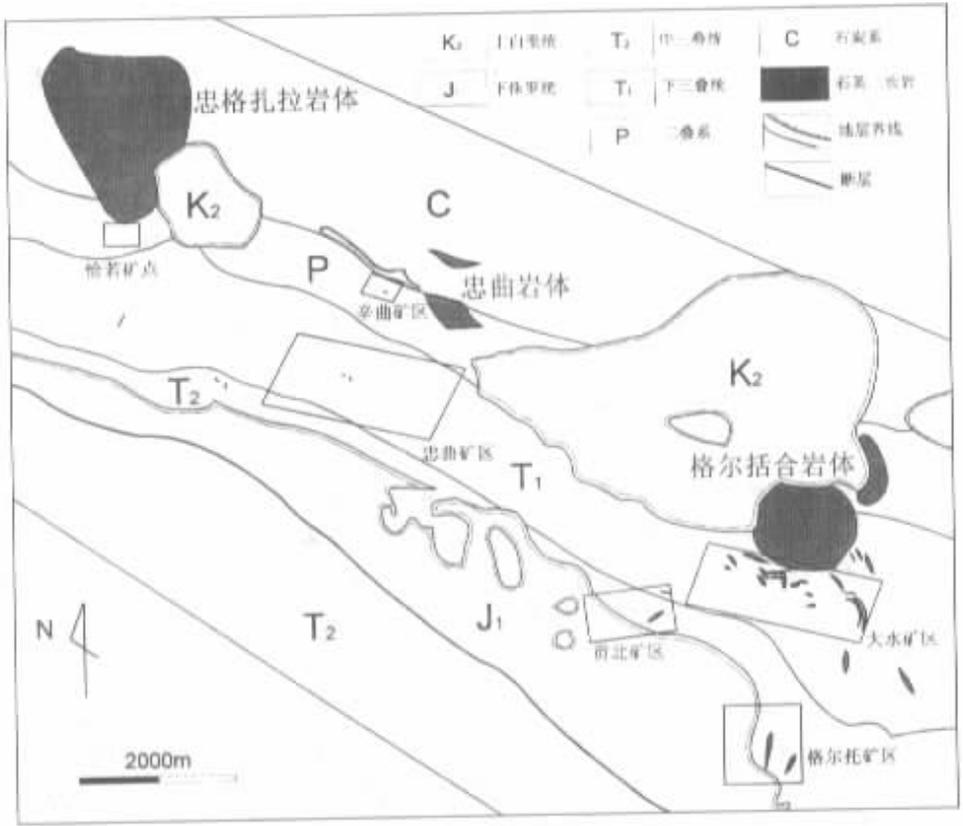


图 1 甘肃南部大水地区（石英）二长岩类的分布简图

Fig.1 Distribution of quartz monzonites in Dashui area, southern Gansu Province

1.2 形成时代

对忠格扎拉岩体、忠曲岩体、格尔括合岩体及其派生脉岩进行了系统的黑云母⁴⁰Ar—³⁹Ar法同位素定年，结果为：忠格扎拉岩体坪年龄 237.7Ma ± 1.7Ma，等时线年龄 236.5Ma ± 2.4Ma；忠曲岩体坪年龄 225.7Ma ± 1.3Ma，等时线年龄 226.6Ma ± 2.6Ma；格尔括合岩体坪年龄 235.4Ma ± 1.3Ma，等时线年龄 235.2Ma ± 2.2Ma；大水脉岩坪年龄 222.5Ma ± 2.6Ma，等时线年龄 223.0Ma ± 2.8Ma。可以看出，3 个岩体以及岩脉的定年结果基本一致，为 222.5Ma ~

237.7Ma, 且坪年龄与等时线年龄完全吻合, 表明它们是印支期侵入的产物。

1.3 岩石化学

(石英)二长岩类具有低硅高碱的特征, 其中 SiO_2 含量为 60.17% ~ 65.11%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 5.73% ~ 9.07%, 且均为 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 。在 3 个岩体中, 忠格扎拉岩体的碱含量最高, 其 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 8.85% ~ 9.07%, 而忠曲和格尔括合岩体仅为 5.73% ~ 6.72%。脉岩一般明显比主岩体偏基性, 其 SiO_2 含量为 50.96% ~ 52.13%, CaO 含量也较高。岩体中大量的暗色同源岩浆包裹体一般具有与脉岩相似的化学成分。

2 岩相学

2.1 忠格扎拉岩体

忠格扎拉岩体岩相分带明显, 中心部分为斑状黑云母辉石石英二长岩, 边缘部分为斑状黑云母辉石二长岩, 其主要区别在于石英的有无及其含量的多少。岩石具二长结构, 斑状构造。主要造岩矿物是黑云母 (5% ~ 10%), 单斜辉石 (5% ~ 10%), 斜长石 (30% ~ 40%), 钾长石 (30% ~ 45%), 石英 (0 ~ 15%), 磁铁矿 (1% ~ 5%)。斜长石具明显的环带状构造, 特别是较大的斑状斜长石。钾长石多呈较大的斑晶, 具卡氏双晶, 有时也见光学环带。黑云母与单斜辉石的共生以及角闪石的缺乏是该岩体的一个最显著的特征。在少数几个含角闪石的样品中, 可见角闪石取代单斜辉石生长, 属于正常的结晶反应序列, 而在边缘相两个含角闪石较高 (10% ~ 20%) 的样品中不见黑云母, 为角闪石辉石二长岩, 说明黑云母与角闪石呈消长关系。

岩石中普遍含有一种细粒暗色包裹体, 一般 1cm ~ 10cm 大小, 成分为黑云母辉石二长岩。其与主岩体的差别在于: ①具似辉长结构, 由两种长石和黑云母搭成格架, 单斜辉石充填其中; ②暗色矿物含量高, 单斜辉石最高可达 40%, 黑云母达 15%, 不含或含微量石英 (<3%), 但决不含角闪石。这种包裹体显然应代表同源岩浆包体。

岩石一般保存较好, 但部分样品有较强烈的蚀变, 主要表现为斜长石土化, 单斜辉石和黑云母轻微或严重绿泥石化, 局部发生方解石化, 并有方解石细脉生成。

2.2 忠曲岩体

主要是角闪石辉石黑云母石英二长斑岩。岩石具明显的斑状构造。斑晶约占 30% ~ 40%, 主要包括: ①斜长石 (10% ~ 20%), 板条状, 一般具明显的环带状构造, 中心部分有时强烈蚀变形成方解石, 少数颗粒具有溶蚀边; ②钾长石 (5% ~ 10%), 卡氏双晶, 可见光学环带; ③黑云母 (5% ~ 15%), 叶片状, 具有很窄的暗化边, 析出铁质; ④角闪石 (2% ~ 5%), 暗化边较宽, 分解为氧化铁 + 绿泥石 (?) 等; ⑤单斜辉石 (2% ~ 5%), 具有成堆聚集分布的特征, 与角闪石和黑云母共生, 一般具有暗化边; ⑥石英, 很少见, 一般呈浑圆状, 具明显的溶蚀边。

基质部分约占 60% ~ 70%, 矿物非常细小, 一般没有完整的颗粒边界, 但有时可见交织结构。主要组成矿物是无色透明的长石和不可鉴别的针状蚀变铁镁矿物, 长石中隐约可见聚片双晶 (斜长石) 和卡氏双晶 (钾长石)。后期存在重结晶现象, 并明显发生了次生石英化、硅化和方解石化。

该岩石的一个显著特征是普遍发育气孔 (杏仁) 构造, 气孔的形状不规则, 沿气孔壁有束状褐绿色绿泥石生长, 中心部分有时被方解石充填。这种气孔构造, 加之基质的微细结

构、铁镁矿物的暗化边以及石英的溶蚀现象证明忠曲岩体的形成与火山作用密切相关，它可能属于次火山岩。

2.3 格尔括合岩体

岩石的基本特征与忠曲岩体相似，但蚀变强烈。主体为辉石角闪石黑云母石英二长斑岩，在西南边缘为辉石黑云母二长斑岩，无角闪石产出。斑晶矿物主要是斜长石、钾长石、黑云母、角闪石、单斜辉石和石英，其中斜长石环带状构造明显，石英溶蚀现象显著，黑云母具暗化边，有时被绿泥石取代，角闪石可在中心包裹单斜辉石，而单斜辉石的边缘和裂隙均被方解石和绿泥石取代，有时只呈其假象。野外所见砖红色红眼圈构造是斜长石转变成氧化铁的结果，而这种现象一般是英安岩中的钠更长石风化所特有的，进一步暗示其成因与火山作用密切相关。

基质矿物非常细小，并已发生次生石英化、玉髓化，保存相对较好的样品中可识别出两种长石和强烈蚀变（大量氧化铁析出）的铁镁矿物（单斜辉石+黑云母？）。气孔（杏仁）构造也相当发育，其性状与成因与忠曲岩体相同，属于次火山岩。

岩石中也含有较多的细粒暗色包裹体，具似辉长结构，成分主要是黑云母辉石二长岩，但蚀变强烈。所有铁镁矿物都绿泥石化和方解石化，方解石的含量有时可达 20%。尽管有后期次生石英化，但总的来说 SiO_2 含量很低。

2.4 岩脉

主要产出于格尔括合岩体的周围，显微镜下鉴定表明石英斑晶的含量均小于 5%，但基质中可能还存在少量无法鉴别的石英，故定名为黑云母辉石（石英）二长斑岩，与主岩体具有同源的性质。其主要特点是不含角闪石，基质具似辉长结构，主要由两种长石与黑云母搭成的格架构成，一种蚀变铁镁矿物（单斜辉石？）充填其中。斑晶中的斜长石环带状构造明显，单斜辉石有时也见生长环带，石英则具明显的溶蚀边。许多脉岩已强烈蚀变，特别是产于金矿体之中或附近者，硅化、方解石化、绿泥石化和磁铁矿化非常严重，晚期形成的方解石成堆聚集或呈细脉状。

一般来说，与一个岩体伴生的脉岩的形成应晚于主岩体。但从化学和矿物成分上看，格尔括合岩体周围的脉岩比主岩体偏基性，与其内包裹体成分类似，且这种脉岩并未穿切主岩体，所以推测其形成早于主岩体。考虑到主岩体的次火山岩性质，这种推测可能是合理的。

3 矿物化学

3.1 单斜辉石

单斜辉石成分比较均一，均为普通辉石（表 1），主要由透辉石分子（54.10% ~ 65.67%）、钙铁辉石分子（27.75% ~ 36.25%）组成，含少量契尔马克分子（0 ~ 5.76%）、硬玉分子（0 ~ 5.65%）和霓辉石分子（0 ~ 6.59%）。少数样品中的单斜辉石具环带构造，其中脉岩 ZK1103-25 中单斜辉石边部比核部富 Mg 而贫 Fe，似乎是生长环带。

3.2 角闪石

仅出现于部分样品中，一般呈褐色，与单斜辉石大致共生，但有时边部被绿色角闪石所取代。按 Leake（1978）的分类方案，本区的角闪石均为钙质角闪石（表 1），其中忠格扎拉岩体主要是含铁韭闪石，而忠曲和格尔括合岩体为镁普通角闪石，二者的最明显差别是前者富含 K_2O 和 Na_2O ，同时相对富 Al_2O_3 、FeO 而贫 MgO 。

表 1 大水地区(石英)二长岩中代表性矿物的电子探针分析(%)

Table 1 Microprobe analyses of representative minerals in quartz monzonites from Dashui area(%)

样号	ZG6-1-2									ZG6-1-8	ZQ6-4-1	DS6-3-1	ZK1103-25	
	Cpx	Bt	Kfs	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Amp	Amp	Amp	Cpx	Bt
矿物	核	核	基质	基质	斑晶 ₁	斑晶 ₂	斑晶 ₃	斑晶 ₄	斑晶 ₅	核	核	核	核	斑晶
SiO ₂	51.53	36.21	65.53	59.70	49.26	48.30	49.35	57.10	59.29	40.45	43.50	45.28	52.20	36.70
TiO ₂	0.34	3.75	0.39	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.01	2.60	1.22	1.11	0.43	5.16
Al ₂ O ₃	2.48	14.87	19.29	24.90	32.07	32.24	32.01	28.18	26.32	11.89	10.63	9.11	2.09	13.60
Cr ₂ O ₃	0.25	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26	0.18	0.28	0.21
FeO	12.59	18.74	0.04	0.29	0.13	0.24	0.13	0.38	0.28	18.68	15.69	16.35	11.15	17.21
MnO	0.45	0.15	-	-	-	0.04	0.25	0.05	-	0.39	0.25	0.24	0.32	0.34
MgO	10.70	11.65	-	-	-	-	-	-	-	8.43	10.08	11.45	13.64	12.03
CaO	21.19	-	0.39	7.06	14.88	14.83	14.45	9.48	7.88	10.90	11.09	11.29	18.58	
Na ₂ O	0.94	0.13	2.33	6.38	1.98	2.21	2.56	5.21	5.39	2.37	1.07	1.23	0.23	0.10
K ₂ O	0.12	9.96	11.99	0.37	0.01	0.13	0.11	0.25	0.36	2.19	1.38	1.24	0.01	9.46
总计	100.60	95.58	99.96	98.77	98.39	98.06	98.89	100.68	99.53	97.91	95.17	97.49	98.93	94.80
Si	1.936	2.764	2.997	2.687	2.274	2.246	2.273	2.540	2.646	6.236	6.657	6.742	1.968	2.800
Ti	0.010	0.214	0.013	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001		0.302	0.140	0.124	0.012	0.296
Al	0.110	1.338	1.032	1.320	1.743	1.765	1.736	1.476	1.383	2.159	1.916	1.598	0.093	1.223
Cr	0.007	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	0.031	0.021	0.008	0.13
Fe ³⁺	0.065	-	-	-	-	-	-	-	-	0.084	0.181	0.297		1.098
Fe ²⁺	0.331	1.196	0.002	0.011	0.005	0.009	0.005	0.014	0.010	2.325	1.827	1.739	0.352	0.022
Mn	0.014	0.010	-	-	-	0.002	0.010	0.002	-	0.025	0.016	0.015	0.010	1.368
Mg	0.599	1.326	-	-	-	-	-	-	-	1.937	2.300	2.542	0.767	
Ca	0.853	-	0.019	0.340	0.736	0.739	0.713	0.452	0.377	1.800	1.818	1.801	0.751	0.015
Na	0.068	0.019	0.205	0.557	0.177	0.199	0.229	0.449	0.466	0.708	0.318	0.355	0.017	0.921
K	0.006	0.970	0.695	0.021	0.001	0.008	0.006	0.014	0.020	0.431	0.269	0.236		

Cpx = 单斜辉石; Bt = 黑云母; Kfs = 正长石; Pl = 斜长石; Amp = 角闪石

分析单位: 中国地质大学(北京); 测试者: 李树岩; 仪器型号: JCSA-733; 实验条件: 电压 20kV, 电流 2.2×10^{-8} A, 束斑 $2\mu\text{m}$

3.3 黑云母

黑云母均以富 Ti 为特征(表 1), 其 TiO₂ 含量范围为 3.22% ~ 6.39%。Mg/Mg + Fe²⁺ 比值集中于 0.52 ~ 0.64, 其中岩脉 ZK1103-25 较低, 为 0.48。在 Si/Al-(Mg + Fe²⁺)/Al 图解上, 黑云母均落入碱性区。

3.4 斜长石

基本成分范围为 Ab49 ~ 55, An41 ~ 49, Or1 ~ 5, 属中长石, 其中忠格扎拉岩体中有两个样品稍富 Na, 最大者 Ab = 61, An = 37。斜长石斑晶均具有光学环带, 但在化学成分上有一部分样品差别不大, 而另一部分样品则具有富钙的核心, 一个最明显的斑晶环带(样品 ZG6-1-2)从核到边的变化次序为 An80 → 78 → 75 → 49 → 44(表 1), 属于正常环带, 反映岩浆

结晶从基性向偏酸性的演化。一般情况下，基质中的斜长石比斑晶相对富 Na 而贫 Ca。

3.5 正长石

正长石分斑晶和基质两种，但其化学成分相似，范围为 Or65 ~ 84, Ab16 ~ 34, An0 ~ 4 (表 1)。尽管有些正长石具有光学环带，但在化学成分上未见明显差异。

4 结晶条件与侵位深度估算

4.1 结晶条件

大水地区 (石英) 二长岩类的典型矿物组合为单斜辉石 + 黑云母 + 斜长石 + 钾长石，特别是单斜辉石与黑云母的共生最具特征，而角闪石的形成一般略晚于单斜辉石。所以，根据单斜辉石—黑云母共生对中 $Mg / (Mg + Fe^{2+} + Mn)$ 的分配来估算该岩类的结晶温度^[1]比较合理。由 10 对单斜辉石—黑云母矿物对获得的结晶温度范围在 690℃ ~ 800℃ 之间，其中以 690℃ ~ 750℃ 之间的数据最多 (表 2, 图 2)，这一温度区间与该区的岩浆性质相符。根据其他矿物对如单斜辉石—角闪石、角闪石—斜长石和斜长石—钾长石等所获得的温度显得分散，大致区间在 700℃ ~ 900℃，一种可能的原因是这些矿物对本身的精度较差，另一方面也可能在于斜长石的环带构造以及角闪石相对晚期的共生性质。

表 2 大水地区 (石英) 二长岩类单斜辉石—黑云母共生对温度

Table 2 Crystallized temperatures estimated from clinopyroxene-biotite thermometer for quartz monzonites from Dashui area

岩体	样号	$(Mg/Mg + Fe + Mn)_{Cpx}$	$(Mg/Mg + Fe + Mn)_{Bt}$	温度/℃
忠格扎拉	ZG6-1-2	0.63	0.52	710
	ZG6-1-4	0.68	0.57	740
	ZG6-1-6	0.69	0.56	750
	ZG6-1-8	0.71	0.51	800
	ZG6-1-11 主体	0.68	0.64	690
	ZG6-1-11 包体	0.68	0.63	700
	忠曲	ZQ6-4-1	0.66	0.60
格尔括合	DS6-3-1 主体	0.67	0.55	730
	DS6-3-1 包体	0.66	0.53	725
脉岩	ZK1103-25	0.68	0.47	800

对钙碱性侵入岩来讲，结晶压力的估算主要借助于角闪石中 Al 含量压力计。该压力计已被多次校正，其中 Johnson 和 Rutherford (1989) 由于考虑了氧的缓冲剂和气体存在的条件，因而他们提出的计算公式被广泛使用，其表达式为： $P (\pm 0.5kb) = 4.23Al^{tot} - 3.36^{[2]}$ 。根据这一公式计算的结晶压力见表 3。可以看出，所获压力存在一定的规律性变化：忠格扎拉岩体为 0.57GPa ~ 0.63GPa，忠曲岩体为 0.46GPa，格尔括合岩体为 0.23GPa ~ 0.33GPa，即由西向东结晶压力逐渐降低。

4.2 侵位深度

岩浆岩的结晶压力是其侵位深度的反映。如果以上地壳平均密度 $2.9g/cm^3$ 来计算，那么 3 个岩体的侵位深度分别为：忠格扎拉岩体约 20km ~ 22km，忠曲岩体 16km，格尔括合岩

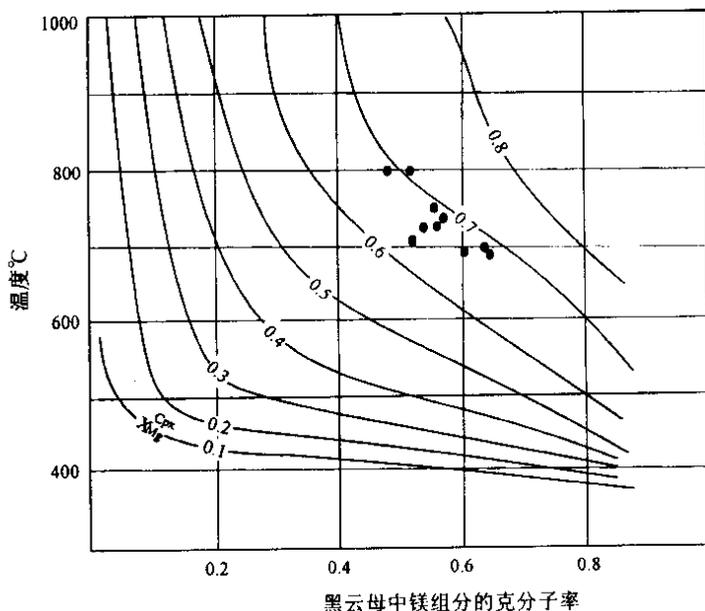


图 2 单斜辉石—黑云母共生相图解

Fig.2 (Mg/Mg + Fe + Mn) -T diagram for clinopyroxene and biotite

体约 8km ~ 11km (表 3), 也就是说, 岩体的侵位深度由西向东逐渐变浅。这一变化规律恰好与野外地质观察和岩相学特征相符。如前所述, 忠格扎拉岩体为斑状深成侵入体, 而忠曲和格尔括合岩体为次火山岩性质的浅成斑岩。

表 3 大水地区 (石英) 二长岩类中角闪石的结晶压力与侵位深度

Table 3 Crystallized pressures and emplacement depths of quartz monzonites from Dashui area

岩体	样号	Al ₂ O ₃ (%)	Al ^{tot}	P/GPa	侵位深度/km
忠格扎拉	ZG6-1-4	11.70	2.179	0.58	20.00
	ZG6-1-8	11.89	2.159	0.57	19.66
		12.83	2.311	0.63	21.72
忠曲	ZQ6-4-1	10.63	1.916	0.46	15.86
格尔括合	DS6-3-1	9.11	1.598	0.33	11.38
		7.73	1.368	0.23	7.93

5 结语

岩石学、岩石化学和同位素年代学特征均表明在大水地区产出的忠格扎拉、忠曲和格尔括合岩体及脉岩是同源岩浆演化的产物, 尽管它们结晶的温度条件相似, 但侵位深度有明显的差别, 以西部忠格扎拉岩体最深, 东部格尔括合岩体最浅。大水金矿受控于岩体和脉岩的特征非常明显, 稳定同位素研究也证明金的成矿物质来源与岩浆活动有关^[3]。如此可以得出如下结论, 浅成岩浆对金矿的形成最为有利, 这也是为什么在忠格扎拉岩体周围未能寻找到大型金矿床的主要原因。

参 考 文 献

- [1] 张儒瑗, 从柏林. 矿物温度计和矿物压力计 [M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [2] Johnson M C and Rutherford M J. Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks [J]. *Geology*, 1989, 17: 837 ~ 841.
- [3] 闫升好, 王安建, 高兰, 等. 大水式金矿床稳定同位素、稀土元素地球化学研究 [J]. *矿床地质*, 2000, 19 (1): 37 ~ 45.

CHARACTERISTICS , CRYSTALLIZATION CONDITIONS AND EMPLACEMENT DEPTHS OF QUARTZ MONZONITES FROM DASHUI AREA , GANSU PROVINCE

LIU Xiao-chun¹ , WANG Ping-an¹ , DONG Fa-xian¹ , LIU Jian-min¹ , XU Gang¹ , LI Ya-dong²

(1. *Institute of Geomechanics , GGS , Beijing 100081 , China ;*

2. *No. 3 Geological Party , Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources , Gansu Hezuo 747000 , China)*

Abstract : Study of petrology of quartz monzonites from Dashui area suggests that the Zhonggezhalala , Zhongqu and Ge'erkuohe bodies are derived from a comagmatic region. Although their crystallization temperature of about 700°C ~ 800°C is exactly alike , the emplacement depth among them is very different , from 20km ~ 22km of Zhonggezhalala through 16km of Zhongqu to 8km ~ 11km of Ge'erkuohe towards the east . Moreover , the later two bodies show a signature of subvolcanic rock . This implies that hypabyssal magma is beneficial to the gold mineralization in the Dashui area . This is why the large-scale gold deposit was defined in the vicinity of Ge'erkuohe and Zhongqu bodies , but only ore spot was found nearby Zhonggezhalala body .

Key words : quartz monzonite ; emplacement depth ; gold deposit ; Dashui area