

阿尔泰诺尔特地区花岗岩岩浆中水的溶解度及含量

袁 峰,周涛发,岳书仓

(合肥工业大学,合肥 230009)

[摘 要]诺尔特地区位于新疆阿尔泰北部山区,西伯利亚板块西南缘。花岗岩广泛分布,主要为加里东晚期、华力西中晚期及燕山期花岗岩。选取各期代表性岩体计算了岩浆中水的溶解度和含量,探讨了岩浆中水的溶解度及含量与成矿的关系。

[关键词]花岗岩 水溶解度 水含量 诺尔特地区

[中图分类号]P588.12 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2001)06-0025-04

诺尔特地区位于新疆阿尔泰北部山区,西伯利亚板块西南缘^[1],属阿尔泰造山带。阿尔泰造山带划分为5个构造带:北阿尔泰构造带、南阿尔泰构造带、琼库尔—阿巴宫构造带、额尔齐斯构造带、布尔津—二台构造带^[2],诺尔特地区位于北阿尔泰构造带的东部,该区金矿化信息点多、异常规模大、强度高,是新疆北部重要的金成矿远景区,已发现有阿克提什坎、托格尔托别、塔斯比格—阔科依达拉斯和库马苏等金、多金属矿床(点),金、多金属矿化基本上沿红山嘴断裂分布,矿(化)体主要赋存于下石炭统红山嘴组地层中。区内花岗岩主要受红山嘴断裂控制,花岗岩体沿红山嘴断裂及其次级断裂分布。加

里东晚期花岗岩主要分布于诺尔特地区中部,库尔木图—忙代恰及巴利尔斯—喀依尔提一带,另外在西部西岔河—阿阻拜一带也有分布,岩体展布方向为北西—南东向。华力西中期花岗岩主要分布于西北部库尔木图—诺尔特山—托格尔托别一带,另外在金格—库马苏一带也有出露,岩体展布方向与区域构造线方向一致。华力西晚期花岗岩主要分布于库马苏、库额尔齐斯河上游及中蒙边境一带。燕山期花岗岩出露范围小,分布于金格及库额尔齐斯河上游附近。本文选取加里东晚期塔斯比克都尔根岩体、华力西中期阔克牙克达拉斯岩体、华力西晚期海尔特岩体及燕山期阿提什岩体(图1)为研究对象,

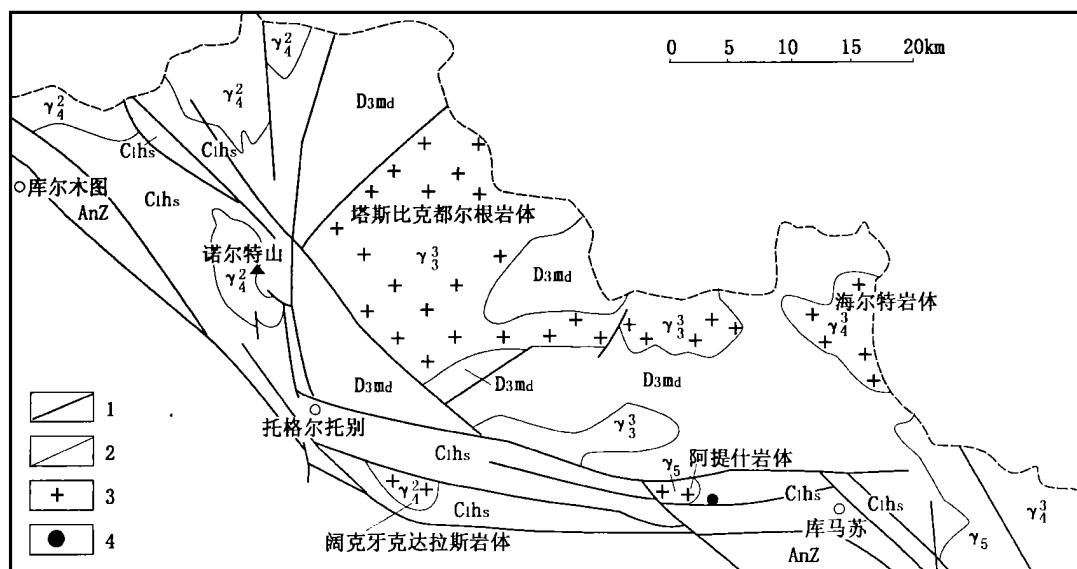


图1 诺尔特地区花岗岩分布示意图

C_{1hs}—下石炭统红山嘴组;D_{3md}—上泥盆统忙代恰组;AnZ—前震旦系库威群;γ₃—加里东晚期花岗岩;γ₄—华力西中期花岗岩;γ₅—华力西晚期花岗岩;γ₅—燕山期花岗岩;1—断层;2—地质界线;3—研究岩体;4—阿克提什坎金矿床

其中阿提什岩体与阿克提什坎金矿床关系密切,而与塔斯比克都尔根岩体、阔克牙克达拉斯岩体及海

尔特岩体有关的矿化不发育。本文将进行花岗岩岩石学和岩浆中水的溶解度及含量的研究计算,并从

[收稿日期]2000-10-08;[修订日期]2001-03-12;[责任编辑]曲丽莉。

[基金项目]“九五”国家科技攻关项目(96-915-02-04,新疆305)部分研究成果。

岩浆中水溶解度及含量的角度探讨花岗岩与金成矿的关系。

1 岩石学及岩石化学特征

1.1 岩石学特征

塔斯比克都尔根岩体岩相变化不明显,岩性主要为黑云母花岗岩,岩石新鲜面为灰白色,风化面为灰—灰褐色,中粒、中—细粒花岗结构,块状构造,斑杂状构造。岩石中矿物粒度一般在 1.5 mm~4 mm 之间,个别大于 5 mm,副矿物粒度一般为 0.1 mm~0.25 mm。岩石中主要矿物为:斜长石(50 %~60 %),为中—更长石($An = 30$ 左右),半自形—自形,宽板状、柱状、板柱状,具环带构造及聚片双晶,其双晶纹细密,近于平行消光,次生变化有少量绿帘石、绢云母;石英(25 %~30 %),它形粒状,不规则状充填在其它矿物间,有波状消光;钾长石(10 %左右),呈它形粒状分布在其它矿物间,主要为微斜长石;黑云母(10 %左右),呈片状,内含较多的磷灰石、锆石等矿物包体。出现的副矿物有:锆石、磷灰石、绿帘石、磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿、黄铁矿等。阔克牙克达拉斯岩体岩性为花岗斑岩,新鲜面呈灰—灰绿色,斑状结构,基质为显微半自形粒状结构,块状构造。斑晶含量 50 %~55 %,主要为:石英(12 %~17 %),熔蚀港湾状、次圆状;斜长石(35 %左右),板条状、粒状,常见聚片双晶,为中—更长石($An = 30$ 左右);黑云母约占 3 %。基质主要由粒状石英和半自形粒状的斜长石及

黑云母组成,含量 45 %~50 %,长石有不同程度的高岭土化和绢云母化。出现的副矿物为:磁铁矿、钛铁矿、锆石及绿帘石,其次有黄铁矿及磷灰石。

海尔特岩体岩性主要为黑云母花岗岩,灰白色,中细粒结构,块状构造,具典型的中粒花岗结构。岩石主要成分为:钾长石(46 %),主要为微斜长石;石英(30 %),具蠕石英结构;斜长石(20 %)为中—更长石($An = 30$ 左右),具净边结构,见微斜长石交代斜长石;黑云母(4 %)。副矿物主要有锆石、磷灰石等。

阿提什岩体岩性为二长花岗岩,主要矿物成分为:石英(35 %),有波状消光及文象结构;钾长石(30 %),主要为微斜长石,略有高岭土化;斜长石(32 %),为更长石($An = 27$),零星绢云母化和高岭土化,有的具环带结构;云母(3 %左右)。石英、长石、云母颗粒均较大。副矿物主要有磁铁矿、褐铁矿、锆石、磷灰石等。

1.2 岩石化学特征

花岗岩平均岩石化学成分如表 1 所示。各花岗岩体均为铝过饱和类型,根据 $K_2O - SiO_2$ 相关关系及 AFM 关系,各花岗岩体均属于高钾钙碱性系列。根据 Ab - Or - Q 三元平衡相图及 Ab - Ksp - Q - H_2O 体系的实验结果^[3],确定各花岗岩体的结晶温度(T)及压力(P)为:塔斯比克都尔根岩体:760 , 760 $\times 10^5$ Pa;阔克牙克达拉斯岩体:740 , 880 $\times 10^5$ Pa;海尔特岩体:740 , 880 $\times 10^5$ Pa;阿提什岩体:730 , 940 $\times 10^5$ Pa。

表 1 花岗岩平均化学成分

%

岩体	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
塔斯比克都尔根	黑云母花岗岩	70.85	0.34	14.60	0.61	1.68	0.03	0.81	1.77	3.81	3.95	0.24
阔克牙克达拉斯	花岗斑岩	70.37	0.49	13.89	0.92	2.64	0.04	1.65	0.30	3.38	3.92	0.14
海尔特	黑云母花岗岩	69.88	0.37	14.77	0.98	2.06	0.06	1.91	1.66	3.54	3.85	0.16
阿提什	二长花岗岩	71.71	0.39	13.38	0.63	1.68	0.07	0.89	1.60	3.13	4.34	0.20

测试单位:国家地质实验测试中心。

2 花岗质岩浆中水的溶解度

Burnham(1979)^[4]曾系统地研究了水在铝硅酸盐岩浆内的溶解行为,并建立了相应的热力学模型,该模型假设水在岩浆中的溶解机制与其在钠长石熔体中的溶解机制相同。水在钠长石熔体中的溶解机制可用以下两式来描述:

当 $X^{m_w} \leq 0.5$ 时,水的溶解以式 $H_2O(v) + O^{2-}(m) + Na^+(m) = OH^-(m) + ONa^-(m) + H^+(m)$ 为主,当 $X^{m_w} > 0.5$ 时,水的溶解以式 $H_2O(v) + O^{2-}(m) = 2OH^-(m)$ 为主,其中,m 表示熔体,v 表示含水流体相, X^{m_w} 为熔体中水的摩尔分数。

对诺尔特地区各岩体,考虑结晶时的情况,温度(T)及压力(P)参数取其结晶时的温度、压力。先求给定温度及压力下水在岩浆中的饱和摩尔分数 X^{m_w} ,当 $X^{m_w} \leq 0.5$ 时, $X^{m_w} = (1/k)^{1/2}$;当 $X^{m_w} > 0.5$ 时, $X^{m_w} = 0.5 - \ln(0.25k)/(6.52 - 2667/T)$ 。其中 k 为温度和压力的函数,可据高山(1987)^[5]不同温度与压力下的 $\ln k$ 值图解查得。按两式分别计算后 X^{m_w} 均小于 0.5,可见本区各花岗岩均属于 $X^{m_w} \leq 0.5$ 的情况,再按 $X^{m_w} \leq 0.5$ 的计算公式得到的 X^{m_w} 结果见表 2。然后计算 $X^{m_w} \leq 0.5$ 时,相当于 1mol $NaAlSi_3O_8$ 分子的无水岩浆重量 Me :

1)对于 CIPW 计算中不含标准刚玉矿物分子的

岩石:

$$Me = w / n_{Al}$$

其中, w —除 H_2O 以外的各主要氧化物重量百分数之和, n_{Al} —Al 的离子数。

2) 对 CIPW 计算中含标准刚玉分子的岩石, $NaAlSi_3O_8$ 分子数为所有可交换阳离子数之和, 此外, 除 Si^{4+} , Al^{4+} , Ti^{4+} 以外的所有阳离子均认为是可交换的, 此时:

$$Me = w / \sum n_i$$

其中, n_i —某个可交换阳离子的数目。

3) 若 Si^{4+} 离子数 $> 3 \sum n_i$ 则

$$Me = w / [\sum n_i + 0.19 (n_{Si} - 3 \sum n_i)]$$

本文研究的诺尔特地区各花岗岩均为 3) 的情况, 计算结果见表 2。

当 $X^m_w \leq 0.5$ 时, 岩浆中水的质量百分溶解度按下式求得:

$Wt = 100 a / (a + Me)$, $a = 18.02 X^m_w / (1 - X^m_w)$
计算结果可见, 本区各花岗岩岩浆中水的溶解度在 3.65 % ~ 4.49 % 之间(表 2)。

表 2 花岗质岩浆中水的溶解度及含量 %

岩体	Me	k	X^m_w	Wt	X_{H_2O}
塔斯比克都尔根	282.36	7.2066	0.3725	3.65	3.43
阔克牙克达拉斯	275.74	6.3598	0.3965	4.12	3.74
海尔特	278.48	6.3598	0.3965	4.08	3.25
阿提什	274.11	5.7546	0.4169	4.49	4.90

3 花岗质岩浆中水的含量

水是天然硅酸盐熔体中最主要的挥发组分, 硅酸盐熔体在冷凝成岩的过程中, 其中大量的挥发性组分都已散失, Nicholls (1980)^[6], 马鸿文 (1985)^[7], 周涛发等 (1995)^[8] 提出了应用热力学方法计算硅酸盐熔体中水的含量 X_{H_2O} 的公式:

$$\mu_{H_2O}^0 / RT + \ln P - A / T - B - \Phi_p =$$
$$\ln X_{H_2O}^2 + (1 - X_{H_2O})^2 \Phi / T$$
$$\mu_{H_2O}^0 / RT = 2.9147 \ln T - 9.6863 \times 10^{-4} T +$$
$$6.8593 \times 10^{-8} T^2 + 77.8899 T^{-1/2} - 28954.8 T^{-1} -$$
$$2263.27 T^{-2} - 15.8997$$
$$\Phi_p = (0.11 T^{-1} + 4.432 \times 10^{-5} + 1.405 \times 10^{-7} T -$$
$$2.394 \times 10^{-11} T^2) P + (7.337 \times 10^{-8} T^{-1} -$$
$$1.170 \times 10^{-8} - 9.502 \times 10^{-13} T) P^2 +$$
$$(1.876 \times 10^{-10} T^{-1} + 4.586 \times 10^{-13}) P^3 -$$
$$1.191 \times 10^{-14} T^{-1} P^4$$

$$\Phi = C_0 + \sum_{i=1}^{10} C_i X_i$$

其中, A、B 为常数, $A = -34345.9$, $B = 18.3527$; C_0 为常数项, C_i 为组分 i 的回归系数^[6,7,8]; X_i 为组分 i 在无水熔体中的浓度。

考虑岩浆结晶时的情况, 温度 (T) 及压力 (P) 参数取其结晶时的温度、压力。计算的本区各岩体花岗质岩浆中水的含量结果如表 2 所示, 可见区内花岗质岩浆水含量在 3.25 % ~ 4.90 % 之间, 与世界一般花岗岩浆含水量 (2.6 % ~ 6.0 %) 相比属于中等水平。

4 讨论

挥发组分的研究在探讨岩浆作用与成矿问题方面日益受到重视, 原因在于挥发组分往往支配了元素的活化、转移、分配及再分配的行为。岩浆热液的观点认为, 与岩浆岩密切有关的热液矿床, 其成矿热液来自于岩浆, 成矿热液是由岩浆岩结晶过程中产生的一种与岩浆不相混溶的富挥发组分的流体相。而岩浆热液的析出取决于溶解于岩浆中的挥发组分在结晶过程中是否能达到饱和浓度。由于岩浆中挥发组分以水为主, 因此问题可归结为, 岩浆热液的形成取决于水在岩浆中能否达过饱和, 而岩浆热液的形成是与岩浆岩有关的热液矿床成矿的重要条件。

对各研究岩体的计算可见, 岩浆结晶时岩浆中水的溶解度在 3.65 % ~ 4.49 % 之间, 水的含量在 3.25 % ~ 4.90 % 之间, 将含水量与水的溶解度比较, 花岗岩岩浆有两种情况, 一是水达到饱和状态, 一是水不饱和。阿提什岩体的岩浆含水量为 4.90 %, 而水的溶解度为 4.49 %, 水过饱和, 这表明岩浆在结晶前和结晶过程中都会有大量水析出, 因此在成矿作用过程中为成矿热液提供岩浆热液和部分成矿物质是可能的。已有研究也表明, 诺尔特地区阿提什岩体与阿克提什坎金矿床关系密切, 主要表现在以下几个方面: 空间上, 二长花岗岩体侵入于矿化区下石炭统红山嘴组地层中; 时间上, 二长花岗岩成岩年龄与金成矿年龄基本一致; 微量元素的研究反映了二长花岗岩与矿化在成因及物质来源上存在一定的联系; 铅同位素的研究表明了二长花岗岩提供部分成矿物质的可能; 氢、氧同位素的研究表明岩浆水是成矿热液的重要组成部分^[9,10,11]。而塔斯比克都尔根、阔克牙克达拉斯及海尔特等岩体, 其含水量达不到饱和状态, 可能也是导致与这些花岗岩体有关的矿化不发育的原因。此外, 在阿尔泰地区库鲁

克塔格、可可托海、西诺尔特山、多拉纳萨依等地,与矿化有关的花岗岩岩浆水均达到饱和状态,灭日特克、哈拉阿依、大青格里河、正格等岩体岩浆水未达饱和状态,而与这些花岗岩体有关的矿化也不发育^[9]。周涛发等(1995)^[8]在安徽月山地区的研究也有类似结论。这些特点表明岩浆水是否饱和对于岩浆热液能否形成及能否参与成矿流体系统的成矿作用具有重要影响。

[参考文献]

- [1] 肖序常,汤耀庆,冯益民,等.新疆北部及其邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992,84~103.
- [2] 何国琦,韩宝福,岳永君,等.中国阿尔泰山带的构造分区和地壳演化[M].新疆地质科学第2辑,北京:地质出版社,1990,9~20.
- [3] Tuttle O F, Bowen N L. Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2$ [J]. Geological Society of American Memoir, 1958:74:153.

- [4] Burnham C W. Magmas and hydrothermal fluids, geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd ed., H. L. Barnes, ed. [M]. John Wiley and sons, New York, 1979, 71~131.
- [5] 高山. 岩浆结晶分异过程中挥发组分演化的计算模拟及意义[J]. 地球科学, 1987(2): 163~170.
- [6] Nicholls J. A simple thermodynamic model for estimating the solubility of H_2O in magma [J]. Contrib Mineral. petrol. 1980, 74:211~220.
- [7] 马鸿文. 天然硅酸盐熔体中水的溶解度与结构种计算[J]. 矿物岩石, 1985(3): 60~69.
- [8] 周涛发, 岳书仓. 安徽月山地区闪长岩岩浆动力学及其与成矿的关系[J]. 矿床地质, 1995(4): 342~352.
- [9] 周涛发, 袁峰, 岳书仓, 等. 新疆诺尔特地区岩浆活动与成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 2000.
- [10] 袁峰. 新疆阿克提什坎成矿区热液体系氢氧同位素研究[J]. 合肥工业大学学报, 1998, 21(4): 37~42.
- [11] 袁峰. 新疆阿克提什坎金—多金属矿床微量元素地球化学[J]. 合肥工业大学学报, 1998, 21(6): 77~81.

SOLUBILITY AND CONTENT OF LIQUID IN GRANITIC MAGMA IN THE NURT AREA, ALTAY

YUAN Feng, ZHOU Tao - fa, YUE Shu - cang

Abstract: The Nurt area is located in the north of Altay, at the southwest of the Siberia plate. The granites formed at late Caledonian stage, middle Hercynian stage, late Hercynian stage and Yanshanian stage are widely exposed in the Nurt area. The solubility and the content of the liquid in the magma of the representative granite each stage are calculated. We have discussed the relationship between the metallization and the solubility and the content of the liquid in the magma.

Key words: granite, solubility of liquid, content of liquid, Nurt area

[第一作者简介]

袁 峰(1971年-),男,1993年毕业于合肥工业大学资源与环境科学系,1998年获合肥工业大学矿床学专业博士学位,现任合肥工业大学讲师,主要从事成岩成矿地球化学的教学和研究。

通讯地址:安徽省合肥市 合肥工业大学资源与环境科学系 邮政编码:230009



欢迎订阅 2002 年《世界有色金属》杂志

《世界有色金属》是经国家科学技术部、新闻出版署批准,由中国有色金属工业信息中心主办,面向国内外公开发行的中国有色金属工业领域中唯一的技术经济综合性科技期刊。刊物内容广泛、信息量大、可读性强,被誉为“经营管理人员的参谋,科技工作者的耳目,读者的良师益友”。

《世界有色金属》坚持以为发展我国有色金属工业服务为根本宗旨,主要:报导国内外有色金属工业各领域的新技术、新工艺、新设备、新产品;报导有色金属工业各领域的技术经济综合性分析;报导国内外发展有色金属工业的政策措施,企业经营管理模式与经验;报导国内外有色金属工业的资源开发、环境保护、综合利用;报导国内外有色金属工业市场状况分析,价格走势预测;报导有色金属产品在相关领域的应用动向分析,典型企业介绍等。不仅适合有色行业各级领导,经营管理人员和广大科技工作者阅读,而且适合有色金属上下相关行业的广大读者阅读。《世界有色金

属》每月一期,四色彩封精印,每期 52~60 页,国际 16 开本(297mm×210mm),常年开展广告业务。国内统一刊号 CN11-2472/TF,国际标准刊号 ISSN1002-5065,广告许可证号:京西工商广字 0062 号。

《世界有色金属》全年订价 120 元,全国各地局均可订阅,邮发代号 2-642,也可到本刊发行部直接办理订阅手续。

编辑部地址:北京市西直门内大街西章胡同 9 号《世界有色金属》编辑部

邮编:100035 联系人:李晓丽

E-mail: sjysjs@sina.com

电话:010-62243425, 62229186

传真:010-62242536

收款单位:有色金属技术经济研究院

开户行:工商银行北京新街口分理处

帐号:0200002909003200979