

吉林省通化地区大川碱长花岗岩成因与稀土元素赋存状态

作者姓名：张婷婷

专业名称：矿物学、岩石学、矿床学

指导教师：孙景贵教授

中文摘要

吉林南部地区位于华北克拉通北缘东段，是一个经历了太古代、元古代、古生代和中生代以及新生代漫长地质历史演化的地质构造区，岩浆活动以中生代最为强烈，并形成了与之有关的热液型金、铅锌等矿床；本文选择晚中生代富集稀土元素的大川碱长花岗岩岩体开展了野外地质调查、岩相学、岩石主量、微量、稀土元素地球化学研究，结合矿物 LA-ICPMS 原位微区分析等工作，探讨该岩体岩石成因、构造背景，初步确立了稀土元素赋存状态，取得以下主要认识：

(1) 大川花岗岩体主体由粗粒黑云母碱长花岗岩、中粒黑云母碱长花岗岩、细粒黑云母碱长花岗岩和花岗伟晶岩相组成，主量元素具有高 Si、低 Al、准铝-强过铝质的特征，属于高钾钙碱性系列。稀土总含量较高 ($\Sigma \text{REE}=88.53\text{ppm}\sim 839.59\text{ppm}$)， $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}=2.30\sim 41.24$ ，轻稀土元素富集，而重稀土元素出现亏损，稀土配分模式为右倾型，铕负异常比较明显， δEu 值为 $0.05\sim 0.60$ ，分异指数 ($\text{DI}=87.4\sim 97.24$) 较高，固结指数 ($\text{SI}=0.16\sim 1.13$) 较低。显示岩浆演化过程中经历了斜长石、黑云母、磷灰石等矿物不同程度的分离结晶作用，结合岩相学特征，初步认为大川碱长花岗岩岩体为伸展环境下形成的高分异花岗岩。

(2) LA-ICP-MS U-Pb 年代学与 Hf 同位素系统表明：粗粒黑云母碱长花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄为 $120.8\pm 1.6\text{Ma}$ ，指示其形成于早白垩世；锆石 $\varepsilon \text{Hf}(t)$ 值全部为负值 ($-5.2\sim -10.7$)，对应的二阶模式年龄为 $2188\sim 2587\text{Ma}$ ， $f\text{Lu}/\text{Hf}$ ($-0.95\sim -0.97$) 变化范围较小，证明岩浆成分均一，指示其岩浆来源于新太古代-古元古代地壳。

(3) 岩矿鉴定及全岩微量显示, 随着岩浆的演化, 石英含量逐渐升高, 黑云母含量逐渐降低, 稀土总含量也逐渐降低, 稀土主要富集在粗粒黑云母碱长花岗岩相中; 单矿物 LA-ICPMS 原位微区测试分析结果显示: La、Nd、Ce、Y 等稀土元素主要以类质同象的方式赋存在磷灰石、锆石中。磷灰石、锆石为稀土元素的主要矿物载体。黑云母和花岗伟晶岩磁铁矿中稀土含量略高, Rb、Nb、Ta 等稀有金属含量很高, 但是在岩石中含量很低; 而正长石和斜长石中稀土元素含量极低, 非稀土元素的主要矿物载体。

关键词:

通化地区, U-Pb 同位素定年, Hf 同位素, 岩石成因, REE 赋存状态

Genesis and occurrence of rare and rare earth elements of Dachuan alkali-feldspar granite in Tonghua area, Jilin Province

Author:ZhangTingting

Specialty:Mineralogy,Petrology & MineralDeposits

Supervisor:ProfessorSunJinggui

Abstract

Located in the eastern section of the northern margin of the North China Craton, the southern part of Jilin Province is a geological structure area that has experienced the long geological history of Archaean, Proterozoic, Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic. The Mesozoic magmatic activity is the most intense and related hydrothermal gold, lead-zinc and other deposits have been formed. In this paper, the late Mesozoic Dachuan alkali-feldspar granite mass enriched with rare earth elements was selected to carry out field geological survey, petrography, rock mass, trace and rare earth element geochemistry studies, combined with LA-ICPMS in situ microzone analysis and other work, to explore the petrogenesis and tectonic background of the rock mass, and preliminarily establish the occurrence state of rare earth elements. The following key insights have been gained:

(1) The Dachuan granitic body is mainly composed of coarse-grained biotite alkali-feldspar granite, medium-grained biotite alkali-feldspar granite, fine-grained biotite alkali-feldspar granite and granite-pegmatite facies. The major elements are high Si, low Al, quasi-aluminum-strong peraluminous, belonging to the high potassium calc-alkaline series. The total rare earth content is high ($\Sigma\text{REE}=88.53\text{ppm} \sim 839.59\text{ppm}$), $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}=2.30\sim 41.24$, light rare earth elements are enriched, while heavy rare earth elements are depleted, rare earth partition pattern is right-leaning type, europium negative anomaly is obvious, δEu value is $0.05\sim 0.60$. The differentiation

index (DI=87.4~97.24) was high, and the consolidation index (SI=0.16~1.13) was low. The results show that the different degrees of separation and crystallization of plagioclase, biotite, apatite and other minerals occurred in the process of magmatic evolution. Combined with the petrographic characteristics, the preliminary conclusion is that the Dachhuan alkali-feldspar granite is a highly differentiated granite formed in the extensibility environment.

(2) LA-ICP-MS U-Pb chronology and Hf isotope system indicate that the zircon U-Pb isotopic age of the coarse-grained biotite alkali feldspar granite is 120.8 ± 1.6 Ma, indicating that the granite was formed in the Early Cretaceous. The $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values of zircons are all negative (-5.2 ~ -10.7), corresponding to the second-order model ages of 2188 ~ 2587 Ma, and the f_{Lu}/Hf (-0.95 ~ -0.97) range is small, indicating that the magma is homogeneous, indicating that the magma originated from the Neoproterozoic-Paleoproterozoic crust.

(3) Rock identification and whole rock trace show that with the evolution of magma, the quartz content gradually increased, the biotite content gradually decreased, and the total rare earth content also gradually decreased, and the rare earth is mainly enriched in the coarse-grained biotite alkali feldspar facies. LA-ICP-MS in situ microanalysis of single minerals shows that rare earth elements such as La, Nd, Ce and Y occur mainly in apatite and zircon in a homogenous manner. Apatite and zircon are the main mineral carriers of rare earth elements. The content of rare earth in biotite and granite-pegmatite magnetite is slightly higher, and the content of rare metals such as Rb, Nb and Ta is very high, but the content of rare metals in rocks is very low. However, the content of rare earth elements in orthoclase and plagioclase is very low, which is the main mineral carrier of non-rare earth elements.

Keywords:

Tonghua area, U-Pb isotope dating, Hf isotope, Petrogenesis, REE occurrence state

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解吉林大学有关保留、使用学位论文的规定，同意吉林大学保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权吉林大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

（保密论文在解密后应遵守此规定）

论文级别：■硕士□博士

学科专业：矿物学、岩石学、矿床学

论文题目：吉林省通化地区大川碱长花岗岩成因与稀土元素赋存状态

作者签名：

张婷婷

指导教师签名

孙学军

2023年5月25日

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与选题依据	1
1.2 研究现状	2
1.2.1 稀土赋存特征研究现状	2
1.2.2 研究区研究现状	3
1.2.3 研究区花岗岩有关研究概况	4
1.3 研究内容与拟解决问题	5
1.3.1 研究内容	5
1.3.2 实验方法	6
第 2 章 区域地质背景	9
2.1 地层发育状况	9
2.1.1 太古宙地层	9
2.1.2 古元古代地层	9
2.1.3 中、新元古代地层	11
2.1.4 古生代地层	14
2.1.5 中生代地层	16
2.2 侵入岩发育状况	18
2.2.1 新太古代侵入岩	18
2.2.2 元古代侵入岩	19
2.2.3 中生代岩浆作用	20
2.3 区域构造	20

第 3 章 岩体地质和岩相学特征.....	24
3.1 细粒黑云母碱长花岗岩.....	24
3.2 中粒黑云母碱长花岗岩.....	25
3.3 粗粒黑云母碱长花岗岩.....	25
3.4 花岗伟晶岩.....	26
第 4 章 锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学和 Hf 同位素特征.....	27
4.1 锆石 U-Pb 年代学特征.....	27
4.2 主量元素.....	27
4.3 微量和稀土元素.....	30
4.4 锆石 Hf 同位素.....	34
第 5 章 岩石成因讨论.....	35
5.1 形成时代.....	35
5.2 岩石成因类型.....	36
5.3 岩浆源区、演化机理.....	40
5.4 构造环境.....	41
第 6 章 矿物稀土元素含量和赋存状态.....	44
6.1 矿物稀土元素含量.....	44
6.1.1 造岩矿物.....	44
6.1.2 副矿物.....	47
6.2 稀土元素赋存状态.....	49
6.2.1 全岩稀土元素赋存状态.....	49
6.2.2 造岩矿物稀土元素赋存状态.....	50

6.2.3 副矿物稀土元素赋存状态	50
结 论	52
参考文献	53
附表	65
作者简介及在学期间发表的科研成果	74
致 谢	75

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与选题依据

花岗岩不仅是大陆地壳的重要组成部分,也是太阳系中地球区别于其他行星的重要标志(洪大卫等, 2007; 吴福元等, 2007)。花岗岩通常可以指示一定的地质背景,通过对其形成时代的研究有助于建立构造演化的时空格架;通过对其成因、源区、构造背景的研究对于重塑区域地质演化、探讨壳-幔物质组成与相互作用过程及地球动力学过程有重要意义。因而一直受到地质学界的关注。与此同时,研究还发现花岗岩还与许多 Au、Ag、Pb、Zn、Cu、Nb、Fe、Mo、Nb、Ta 和 REE 等矿产在成因上有密切联系(Kempe, et al., 1999; 黄小娥等, 2005, 李洁等, 2013; 张硕, 2019)。因此,一直以来作为主要的研究内容而被地质学家尤其是岩石学家、矿床学家所关注(韩振新等, 1995; 洪大卫等 2000; 孙景贵等, 2006)。

研究区位于吉林省通化市西南部,研究区经历了丰富的岩浆活动,地质构造十分发育。目前,区域已经发现和探明许多稀有金属矿床、矿化点;例如:砂矿型稀土矿床(东清独居石砂矿床)、斑岩型矿床(吉中地区钼矿床中伴生镓)。全省锌、金、钼、铜、铅、镍、硫铁、铁、银等矿产中均不同程度共伴生有稀有稀土矿产资源。近期在参加《吉林省“三稀”元素成矿潜力调研》过程中,发现通化地区大川碱长花岗岩岩体具有相对高的稀土、稀有金属含量;具有确定稀土矿的工业矿体可能性很大。为此,本文在野外调研基础上,展开了野外地质调查、岩相学、岩石主量、微量、稀土元素地球化学研究,结合矿物 LA-ICPMS 原位微区分析等工作,探讨该岩体岩石成因、构造背景,初步确立了稀土元素赋存状态。

本论文依托于《吉林省通化地区三稀元素富集特征研究》、《吉林省集安中生代构造岩浆作用与金铜(银)铅锌矿成矿找矿预测模型研究》项目,组织实施和技术指导单位为吉林省地质勘查基金管理中心,项目承担单位为吉林省区域地质矿产调查所,吉林大学科研团负责项目的外协工作。论文以此项目为依托,以通化大川地区早白垩世碱长花岗岩为研究对象,通过野外地质调查,结合室内岩相

学、同位素年代学、元素地球化学等对其形成时代、源区、成因类型、地球动力学环境等进行研究，对揭示研究区乃至区域上地质演化史具有十分重要的意义；并分析稀土元素赋存状态，为该区进一步的矿产勘查与开发利用提供理论依据。

1.2 研究现状

1.2.1 稀土赋存特征研究现状

早在上个世纪九十年代，就已经提出关于稀土赋存状态的问题，施泽民（1992）通过研究冕宁稀土矿床稀土元素的赋存状态及其配分特征，提出稀土元素的赋存状态主要四种：①呈独立单矿物；②呈胶态沉积；③以类质同象赋存于晶格中；④呈离子吸附于矿物表面，谢玉玲等（2008）进一步对这个矿床研究，发现稀土大多赋存于氟碳铈矿，小部分赋存于氟碳钙铈矿，并提出他的成因或许与超临界流体有关。Mohamed（2012）通过研究埃及 Abu Rusheid 地区煌斑岩脉的稀土矿物，发现稀土主要赋存于独居石、磷钇矿，并且他提出可能是氟磷灰石受到热液交代作用进而形成独居石。Nicholas（2013）通过研究美国西德克萨斯州的圆顶山重稀土矿床，发现稀土主要赋存于萤石中。白云鄂博矿床作为我国最大的稀土矿床，稀土矿种十分丰富，地质学家们对他们做了大量的研究，发现稀土主要赋存于独居石和氟碳铈矿（刘健等，2008）。余立新（2014）通过研究从湖北大磊山采回来的样品，经过化学分析研究，发现稀土元素主要赋存于磷钇矿、褐钇铌矿、硅铍钇矿、钍石、褐帘石等（余立新，2014）。

从成矿角度出发，这类 REE 矿床的成因分为岩浆成因与热液成因两种观点，分别与碱性花岗岩和过碱性花岗岩类相关（毛景文等，2022）。花岗岩型 REE 矿床依据成矿特征可概括为：（1）与高分异碱性花岗岩密切相关，无碳酸盐岩组合，由多个分异相构成的一套岩体或杂岩体；（2）矿床富含中稀土和重稀土元素，伴生高场强元素，如：Nb、Ta、Zr 等；（3）经历强烈的岩浆期后热液的改造，热液交代作用为经济矿物的形成提供基础（范宏瑞等；2020）。全球范围内，已探明富稀土的碱性花岗岩包括俄罗斯科拉半岛的 Lovozero 稀土矿、格林兰半岛 Ilimaussaq 碱性岩体相关的稀土矿、加拿大 Kipawa、Red Wine、Strange Lake、Thor Lake 等稀土矿、纳米比亚 Amis 杂岩体碱性花岗岩形成的 Zr-Nb-REE 矿床、

尼日利亚中部 Ring 碱性花岗杂岩体的 Nb-U 矿床、摩洛哥 Tamazeght 碱性花岗岩形成的 Zr-REE 矿床、蒙古西部 Khaldzan Buregtey 碱性花岗岩形成的 Zr-Nb-Ta-REE 矿床等 (Konopleva et al., 2015; 范宏瑞等; 2020)。这类矿床以 Zr、Nb、U、Ti 等为主要成分, REE 仅为伴生组分。随着稀土经济的开发, 我国先后发现多个碱性花岗岩相关的稀土矿床与矿化点, 例如: 内蒙古扎鲁特巴尔哲地区碱性花岗岩体形成的超大型 Zr-REE-Nb 矿床 (Yang et al., 2020; 范宏瑞等; 2020), 新疆地区碱性花岗岩形成的超大型 Nb-Ta-REE-Zr 矿床 (Huang et al., 2014; ; 范宏瑞等; 2020), 辽宁凤城地区的赛马碱性花岗杂岩体的 U-REE 矿床 (Zhu et al., 2016)。

1.2.2 研究区研究现状

根据近期吉林省区域地质志所述, 该区始于上世纪 70 年代中期, 先后完成了 1: 20 万恒仁幅 (1975)、浑江市-集安县幅 (1976) (1976)、通化县幅 (1978) 区域地质矿产调查, 覆盖了整个工作区, 建立了本区的地层层序、岩浆期次和构造格架。上世纪 80 年代开展了 1:5 万区域地质矿产调, 1988 年吉林省区域地质调查所完成了调查工作集安县幅; 1995 年吉林省第四地质调查所完成了七道沟、老岭调查工作。先锋幅、热闹幅、阳岔村幅及边境地区的不完整图幅三道沟幅、青石镇幅、黄柏村幅、下解放幅等未开展 1:5 万区域地质矿产调查工作; 本世纪 2004 年和 2007 年间, 吉林省区域地质矿产调查先后所完成了 1: 25 万通化市幅、白山市幅区域地质调查工作, 在充分收集整理前人成果基础上, 系统建立地层层序, 基本查明构造岩浆活动特征及规律, 建立了构造岩浆活动事件表; 研究了地质构造、岩浆活动与成矿的关系。

研究区地处两大构造域的叠合部位, 是研究不同时代、不同类型造山带的典型地区, 历来为众多学者所关注, 自上世纪 70 年代以来, 许多研究学者、机构对本区进行了大量研究工作, 其中近期具有代表性的研究有:

(1) 1988 年出版的《吉林省地质志》, 全面总结了区内的基础地质概况, 基本建立了区内的地层层序, 岩浆演化序列和区域构造格架。

(2) 1992 年方文昌等完成了《吉林省花岗岩类及成矿作用》, 系统总结了吉林省岩浆岩特征。

(3) 1996年出版的、由沈阳地质矿产研究所(赵春荆等)、吉林省地质局(彭玉鲸等)、黑龙江省地质局(党增欣等)联合研究的基础地质项目《吉黑东部构造格架与地壳演化》,在一定程度上提高了区内的基础地质研究水平。

(4) 1997年出版的《吉林省岩石地层》,系统地总结了区内的岩石地层、生物地层和年代地层的基本特征,奠定了近年来地层研究工作的基础。

(5) 吉林大学吴福元、孙德有、张艳斌等对本区花岗岩进行了较为广泛的年代学研究,取得了一大批新的测年数据。

(6) 2001年吉林省地矿局陈尔臻等完成的《中国主要成矿区(带)研究(吉林省部分)》,在详细搜集以往勘查成果和科研成果的基础上,在研究矿床控矿条件的基础上,侧重了矿床形成时代、微量元素特征、稀土元素特征、稳定和放射性同位素特征、成矿物质来源的研究,使吉林省的典型矿床研究的又一次得到了较大幅度的升华。

(7) 2013年完成的吉林省矿产资源潜力评价,对吉林省的区域地质调查和专题研究等资料包括沉积岩、火山岩、变质岩、大型变形构造等各个方面,按照大陆动力地学理论和大地构造相工作方法进行系统整理归纳。

(8) 2018年完成的吉林省第二代区域地质志编撰工作,以板块构造理论、大陆动力学为指导,系统建立和完善了吉林地层层序,总结了各时代的沉积作用、沉积建造特征及含矿沉积建造时空分布特点,详细划分了不同时代构造岩浆岩带,探讨了岩浆活动与成矿作用的关系,划分了吉林省变质岩区带。

1.2.3 研究区花岗岩有关研究概况

(1) 形成时代

前人通过对吉林南部中生代花岗岩进行研究,认为他们主要形成于印支期和燕山期。秦亚等(2013)通过研究吉南老岭地区的头道、老岭、上绿水桥和高台子岩体,确定其侵位时代为121~125Ma;裴福萍(2008)以辽南-吉南地区中生代侵入岩为研究对象,利用锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年技术,确定蚂蚁河岩体的形成时代为225Ma,辽南-吉南地区早白垩世侵入岩的形成时代介于137~119 Ma;裴福萍(2005)利用锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年技术,确定吉南地区果松组火山岩形成于早白垩世早期,岩浆侵位年龄为 $130.2 \pm 0.3\text{Ma}$,三棵榆树组火山岩形成于早白垩世

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/587126022155006046>