

The cover features a photograph of a geological rock outcrop. The rock is light-colored and shows signs of weathering and fracturing. A blue geological hammer is placed against the rock face to provide a scale. The background consists of dark green foliage and brown soil.

下庄铀矿田岩浆作用 及其与铀成矿关系

张展适 著

中国原子能出版社

下庄铀矿田岩浆作用 及其与铀成矿关系

张展适 著

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

下庄铀矿田岩浆作用及其与铀成矿关系 / 张展适著.

—北京:中国原子能出版社,2011.12

ISBN 978-7-5022-5379-0

I. ①下… II. ①张… III. ①铀矿—矿床成因论—研究—广东省 IV. ①P619.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 246333 号

下庄铀矿田岩浆作用及其与铀成矿关系

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 谭俊

责任校对 冯莲凤

责任印制 潘玉玲

印刷 保定市中画美凯印刷有限公司

经销 全国新华书店

开本 787 mm×1092 mm 1/16

印张 9.25 插页 2 字数 243 千字

版次 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5022-5379-0 定价 38.00 元

网址:<http://www.aep.com.cn>

E-mail:atomep123@126.com

发行电话:010-68452845

版权所有 侵权必究

前 言

下庄铀矿田是我国最早发现和最重要的花岗岩型铀矿田之一,尽管先前的研究程度较高,但大多数现役铀矿床在开采过程中均发现了新的富铀矿体,采出的矿石品位和储量也普遍高于勘查提交的品位和储量,这表明矿田中存在先前没有被人们认识和重视的控矿因素和矿化类型,因而需要采用新思维、新方法和新技术来重新思考和审视花岗岩型铀矿的成矿作用,以满足 21 世纪核能快速发展对铀资源的需求。

本研究在大量前人研究成果的基础上,针对前人研究中存在的对关键岩体的成岩年龄、成矿作用及成矿流体来源等方面认识的不一致,以岩石地球化学特征、成矿作用过程有关的水-岩作用特征等为主要研究内容,以矿物学、岩石地球化学和同位素地球化学为主要研究方法和手段,对下庄铀矿田所在的贵东花岗质杂岩体的成岩时代、岩浆活动序列、物质来源、形成方式、演化程度及其与下庄富铀矿体的关系等进行了研究,并重点讨论了贵东花岗质杂岩体中与铀成矿关系最密切的帽峰岩体的特征及其特殊性。在前人有关蚀变岩石学、矿物学和裂变径迹等研究的基础上,选择典型蚀变矿物绿泥石等进行了 XRD 和电子探针成分分析,探讨了水-岩作用发生的环境与特点。在前人重点研究了脉石矿物石英的基础上,对另一种重要的脉石矿物方解石的谱学特征及碳、氧、锶同位素等进行了研究,同时还研究了黄铁矿的氢、氩同位素,并据此进一步探讨了下庄铀矿田铀成矿作用的特征、成矿物质及成矿流体的来源等。研究获得了以下一些新的认识。

采用单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法测定了石土岭矿区帽峰岩体的形成年龄为 $(238.2 \pm 2.3) \text{Ma}$,肯定了帽峰岩体是印支期岩体,337 矿床并不是前人所认为的典型岩浆热液矿床。野外地质观察表明鲁溪岩体、下庄岩体及帽峰岩体侵入有先后,但最新的定年结果在误差范围内重叠,说明印支期的花岗质岩浆活动是相继进行的。而燕山期的两次岩浆活动即隘子岩体和司前岩体也是相继发生的,但随后的岩浆活动特点是各种基性和酸性脉岩的喷出和侵入活动。重新厘定了下庄矿田岩浆活动的侵位顺序是:鲁溪岩体→下庄岩体→帽峰岩体→笋洞岩体→隘子岩体→司前岩体→张光营组基性脉岩→竹山下二云母花岗岩→鲁溪-仙人嶂组基性脉岩。

研究了贵东花岗质杂岩体的岩石学和岩石地球化学特征,重点剖析了帽峰岩体的特殊性:主量元素研究表明帽峰岩体、笋洞岩体、司前岩体是强过铝质花

岗岩,隘子岩体为准铝质花岗岩,下庄岩体、鲁溪岩体属弱过铝质花岗岩;下庄铀矿田中的铀矿床主要分布在帽峰岩体、下庄岩体、笋洞岩体等过铝质花岗岩,特别是强过铝质花岗岩中。岩体中 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值表明帽峰岩体是贵东花岗质杂岩体中形成温度最低的岩体。微量元素特征表明:帽峰岩体在贵东花岗质杂岩体中,具有最低的稀土总量、 δEu 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 、 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 及 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值,而且是唯一表现出较典型M型四分组效应的岩体;结合蚀变岩石的微量元素特征,本书认为帽峰岩体是下庄铀矿田蚀变作用最强的岩体。蚀变特征:帽峰岩体的电气石化、绿泥石化等蚀变作用可能主要不是岩体自变质作用的结果,而是伴随着基性脉岩侵入所带来的(幔源)流体作用的结果。但这一点还需要得到硼同位素等的进一步证实。同位素特征:与下庄岩体、笋洞岩体和司前岩体的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{i}}$ 值变化于0.729 49~0.749 23之间相比,帽峰岩体具有更低的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{i}}$ 值(0.710 49~0.735 59),也佐证了帽峰岩体受幔源流体作用最强。帽峰岩体中141.2 Ma的蚀变产物白云母年龄也佐证了蚀变作用与基性脉岩侵入及区域地壳拉张是同时的。

下庄铀矿田蚀变花岗岩中的粘土矿物主要有四种组合类型,分别是:1)伊利石+绿泥石型;2)绿泥石+伊利石+蒙皂石型(或绿泥石+蒙皂石型);3)高岭石+伊利石+蒙皂石型;4)高岭石+伊利石型;在下庄铀矿田面型蚀变的绿泥石主要是蠕绿泥石和铁镁绿泥石,而受后期流体作用形成的线性绿泥石的成分变化较大,分别属于密绿泥石、铁斜绿泥石、蠕绿泥石和铁镁绿泥石。绿泥石的形成温度主要有两个区间:面状蚀变的绿泥石形成的温度介于220~250℃之间,主要由区域大规模水热蚀变作用或者岩浆期后热液蚀变作用形成,形成方式为溶解-沉淀;而脉状分布的绿泥石的形成温度常低于200℃,形成方式为溶解-迁移-沉淀。绿泥石的温度计算结果与本区绿泥石化蚀变花岗岩中基本上没有发现绿帘石相一致。

本研究的微量元素地球化学、同位素地球化学研究进一步确认了下庄铀矿田成矿元素铀及矿床中的脉石矿物方解石、黄铁矿等均主要来源于花岗岩,而不是基性脉岩。基性脉岩给成矿带来的是矿化剂及成矿的动力学背景。成矿流体中碳主要是幔源,成矿流体中的He和Ar很可能是来自富集地幔和地壳两部分相混合的产物,成矿流体中的水至少有一部分是大气降水。因此,下庄铀矿田铀成矿模式可以概括为:印支主碰撞晚期或后碰撞阶段本区富铀地层发生部分熔融作用形成了富铀的帽峰、下庄及笋洞等强过铝质花岗岩,燕山晚期(140 Ma以后)大陆拉张背景下多期次基性脉岩侵入,带来高热和矿化剂 CO_2 ,并驱动大规模流体运动,活化和萃取了富铀花岗岩中的铀,在不同部位(裂隙发育地段或在基性脉岩与花岗岩的接触部位)沉淀形成铀矿体(床)。

本研究主要源于作者的博士论文研究及国家自然科学基金委对我的连续

资助,在此衷心感谢我的导师南京大学地球科学与工程学院华仁民教授的精心指导和帮助。项目研究还得益于与南京大学地球科学与工程学院王汝成教授、蒋少涌教授、季峻峰教授、沈渭州教授、陈培荣教授、凌洪飞教授、邱剑生教授及东华理工大学周维勋教授、余达淦教授、孙占学教授、刘晓东教授、潘家永教授、巫建华教授等的交流与讨论,及中国科学院地球化学研究所赵振华研究员、张辉研究员、戚华文研究员、姚军明博士及中国稀土学报的审稿人提出了许多指导性的意见和建议,这些都让作者受益匪浅。核工业 290 研究所邓平高级工程师、朱捌总工程师、吴烈勤高级工程师、谭正中高级工程师和张彦春高级工程师等为本研究的野外工作提供了便利条件及大量基础资料;南京大学内生金属矿床成矿作用机制研究国家重点实验室陈小明教授及张文兰博士为我使用电子探针测试提供了热情的帮助和悉心指导;倪培教授、吴俊奇老师、丁俊英老师为包裹体观察、温度测定提供了便利及激光拉曼探针测试数据解释;季峻峰教授为我使用漫反射光谱仪及实验室提供了诸多方便;蔡元峰博士在使用 X 射线粉晶衍射仪提供了很大的方便;东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室的郭国林老师为绿泥石化学成分测试付出了辛劳,作者诚挚致谢!

作者还要感谢东华理工大学刘庆成教授、汤斌教授、郭福生教授、聂逢君教授、夏菲教授、杨亚新教授、管太阳教授、祝民强教授、刘成东教授、胡宝群教授、张树明教授、吴仁贵教授、王正其教授、谢才富教授、林子瑜教授、彭花明教授、刘平辉教授等领导 and 老师及地球科学学院全体教职工对我的支持、关心与帮助!研究生王素娟、李新春、冯增会、赵勇、于秋莲、邓林燕、吴弈参与了部分研究和图文工作,在此一并致谢!

特别感谢我的父母、丈夫和女儿多年来对我绵绵不断的鼓励、理解和支持,感谢所有给予我支持和帮助的朋友、同学和亲人。

本研究得到国家自然科学基金项目(批准号:40642010,40772068,40972068,40872072)、国家重点基础研究发展规划项目(编号:1999CB403209)及国家自然科学基金重点项目(批准号:40132010)的资助。

由于时间和作者水平等原因,书中一定存在不成熟甚至谬误的观点,敬请读者批评指正。

作者

2011年6月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究目的和意义	1
1.2 研究背景与现状	1
1.3 存在问题	3
1.4 研究内容	4
1.5 实物工作量	4
1.6 主要创新点	5
第 2 章 区域地质背景	6
2.1 大地构造位置	6
2.2 区域地层与岩浆活动	7
2.2.1 区域地层	7
2.2.2 岩浆岩分布与特征.....	12
2.3 区域有利的铀成矿地质条件.....	15
2.3.1 区域存在富铀地层是铀成矿的物源保障.....	15
2.3.2 多期次构造-岩浆活动与多期次蚀变叠加活化了铀	17
2.3.3 拉张的构造动力环境.....	18
2.4 下庄铀矿田基本概况.....	19
2.4.1 矿田基本概况.....	19
2.4.2 矿床地质特征.....	20
2.5 小结.....	21
第 3 章 花岗岩形成时代的新认识与岩浆演化序列	22
3.1 石土岭矿区帽峰岩体的单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法年龄	22
3.1.1 样品性质和准备.....	23
3.1.2 样品测试方法.....	23
3.1.3 测试结果.....	24
3.2 对贵东岩体形成和演化系列的重新认识.....	25
3.2.1 已有贵东岩体年龄结果及本次测试结果的可靠性和地质意义.....	25
3.2.2 贵东杂岩体的形成时代与演化序列.....	28
3.3 小结.....	30
第 4 章 岩浆岩的岩石地球化学特征	31
4.1 贵东花岗质杂岩体的岩石地球化学特征.....	31
4.1.1 主量元素特征.....	31

4.1.2	稀土元素特征	37
4.1.3	微量元素特征	40
4.1.4	贵东花岗质杂岩体的源区成分及熔融温度	44
4.2	贵东花岗质杂岩体的同位素特征及讨论	46
4.3	下庄矿田范围内基性岩脉及其岩石地球化学特征	49
4.3.1	基性脉岩的分布特征与形成时代	49
4.3.2	基性脉岩的岩石化学特征	52
4.4	小结	56
第5章	花岗岩的水-岩作用及蚀变矿物学研究	58
5.1	蚀变岩石的类型与特征	58
5.2	蚀变岩石的岩石化学特征	60
5.2.1	蚀变岩石的岩石化学特征	60
5.2.2	蚀变岩石的矿物组合特征	63
5.3	绿泥石的化学成分及形成环境研究	65
5.3.1	蚀变岩石中绿泥石的分布	65
5.3.2	绿泥石的化学成分及分类	67
5.3.3	绿泥石的形成环境	70
5.3.4	绿泥石的形成机制及与铀成矿的关系	73
5.4	电气石	76
5.4.1	电气石的产状和共生组合	77
5.4.2	电气石的成分特征	78
5.4.3	电气石的稀土和微量元素特征	79
5.5	小结	82
第6章	成矿流体的地球化学特征	84
6.1	脉石矿物方解石的研究	84
6.1.1	方解石样品的采集	84
6.1.2	方解石的谱学特征	85
6.1.3	方解石的碳、氧、锶同位素特征	89
6.2	成矿流体的包裹体特征	91
6.2.1	包裹体的类型和特征	91
6.2.2	成矿流体的温度	91
6.2.3	包裹体的群体成分特征	91
6.2.4	单个包裹体气体成分的激光拉曼光谱测定	93
6.3	铀的迁移与沉淀形式	94
6.4	成矿流体的来源	95
6.4.1	成矿流体中水的来源	95
6.4.2	成矿流体中碳的来源	99
6.4.3	成矿流体中 He-Ar 的来源	101
6.5	小结	103

第 7 章 下庄铀矿田矿床成因	105
7.1 铀成矿作用类型与特点	105
7.1.1 成矿作用类型	105
7.1.2 铀成矿时代	108
7.2 成矿物质来源	111
7.2.1 成矿的热源	112
7.2.2 成矿物质来源	112
7.3 问题讨论	119
7.3.1 精确的成岩年龄测定引起了人们对矿床成因的反思	119
7.3.2 为什么下庄矿田的矿床都围绕着帽峰岩体分布? 帽峰岩体的特殊性	120
7.4 下庄铀矿田矿床成因探讨	122
7.5 小结	123
第 8 章 结束语	125
8.1 主要研究成果和结论要点	125
8.2 存在问题及建议	126
参考文献	128
Abstract	139
图版	141

第 1 章 绪 论

1.1 研究目的和意义

位于粤北贵东花岗质杂岩体东部的下庄铀矿田是我国最重要的铀矿田之一,矿田内已探明有铀矿床 16 个,其中富大铀矿床 1 个、富铀矿床 3 个、含富矿储量大于 100 t 的铀矿床 5 个,富矿总储量占整个矿田铀矿总储量的 42% 以上,贵东花岗质杂岩体被认为是目前我国最好的产铀花岗岩体(邓平等,2003b)。因此尽管我国铀矿地质勘查工作的战略重点已由在南方寻找硬岩型铀矿转移到北方主攻可地浸砂岩型铀矿,南方的铀矿地质勘查工作量锐减甚至一度中断,但该区铀矿开采和地质研究却一直没有停止。众多学者对华南中生代构造岩浆活动的期次及铀成矿作用关系等进行了研究,并取得了一些新的成果和认识,例如,提出了华南铀矿的时空分布与伸展构造的时空演化密切相关(陈跃辉,1998)、华南燕山期与花岗岩类有关的铀矿床的定位常受不同源岩浆活动叠加在印支期的过铝质花岗岩之上(华仁民等,2003,2005)、粤北下庄铀矿田是在印支期花岗岩的基础上,由燕山晚期的 4 次酸性岩浆活动和 4 次基性-中基性岩浆活动的叠加而形成早晚两期 5 个阶段的铀矿化(邓平等,2000;吴烈勤等,2000)等等。同时大多数现役铀矿山在开采时均发现了新的富铀矿体,采出的矿石品位和储量普遍高于勘查提交的品位和储量(黄国龙等,2004)。这表明研究区存在我们以前没有认识和重视的控矿因素和矿化类型,需要采用新思维、新方法和新技术来重新思考和审视花岗岩型铀矿的成矿作用。因此,随着全国新一轮花岗岩研究热潮的到来和南方寻找硬岩型铀矿工作的复苏,南岭花岗岩及诸广-下庄铀矿聚集区成矿作用的研究再度成为众多高校和研究机构的研究热点(徐夕生等,2003;凌洪飞等,2004;陈培荣,2004;胡瑞忠等,2004,2007;吴烈勤等,2005;商朋强等,2007;张国全等,2007;张展适等,2007a,2007b,2009)。

1.2 研究背景与现状

南岭是我国稀有和有色金属矿产最集中的产地,已发现了一批超大型、大型 W、Sn、Bi、Cu、Pb、Zn、U 及 REE 等稀有和有色金属矿产。对该区花岗岩与矿产之间的关系进行研究与地质调查工作最早始于 20 世纪初,代表性的研究成果主要有翁文灏著《中国区域矿产论》(翁文灏,1920)及谢家荣著《中国之矿产时代及矿产区域》(谢家荣,1936)等。半个多世纪以来,众多学者和专家对南岭花岗岩成因、构造演化、构造-岩浆作用和成矿机制等进行研究,先后建立了花岗岩的多时代地质框架(黄汲清,1945;南京大学地质系,1981);确认了花岗岩成因类型(徐克勤等,1960,1963);并在 20 世纪 80 年代提出南岭过铝花岗岩是多时代、多成因,由地壳物质经混合岩化、花岗岩化及部分熔融(深熔)作用形成的认识(南京大学地质学

系,1981;地矿部南岭项目花岗岩专题组,1989);总结了与花岗岩有关的稀有和有色金属矿产的成因关系和成矿规律,并出版了一批相应的具有较高学术价值的研究专著(莫柱孙等,1980;程裕淇,1994;陈毓川等,1989;裴荣富等,1999);同时及稍后,对花岗岩研究的重点逐渐转移到侵位年龄的精确测定、探讨深部地壳性状和岩浆岩的成因机制和演化规律等方面(王德滋和周新民,2002;周新民和李武显,2000;黄萱 & DePaolo,1989;沈渭洲等,1989;Martin et al.,1994;Lapierre et al.,1997;Chen & Jahn,1998;Hong et al.,1998;徐夕生等,2003;张展适等,2007a)。

对华南特别是下庄铀矿田,在20世纪80年代以前铀矿研究工作的重点主要是找矿研究,主要针对主体花岗岩、成矿构造及晚期硅化带型和交点型铀矿的工作上,在这个时期代表性的成果有:

1) 在花岗岩和基性岩脉的岩石学和地球化学研究方面,张成江(1991)、林锦荣(1992)总结了贵东岩体的岩石学和地球化学特征,认为贵东岩体是一个由中心相、内部相和边缘相的燕山期复式岩体,为改造型产铀花岗岩体。王学成等(1986,1989)对基性岩脉的岩石学、岩石化学、微量元素、稀土元素以及锶、氧、硫同位素等特征进行了较系统的研究,认为原始岩浆来自地幔,在上升侵位过程中,可能在地壳的较浅部位发生过滞留,产生结晶分异作用以及与硅铝质地壳之间的混染作用。

2) 在成矿作用研究方面:陈安福和赵洪波(1986)、胡瑞忠(1989)、金景福和胡瑞忠等(1990a)分析了矿田中包裹体成分和成矿物理化学条件;倪师军(1986,1987)根据稀土元素特征探讨了337矿床成矿物质的来源,并模拟计算了铀成矿机理;在矿床成因上,杜乐天(1982)主张下降水、下降铀和上升水、上升铀的双重成因模式;周维勋(1982)提出内生预富集表生汲取成矿说;胡瑞忠则认为上升热液浸取铀成矿(胡瑞忠,1990;金景福和胡瑞忠,1990b)。

20世纪90年代以后,对南方硬岩型铀矿的工作受国家铀矿找矿战略转移的影响,经费的投入曾一度削弱,但即便如此还是取得了一些可喜的代表性的研究成果:

1) 刘汝洲等提出下庄矿田的岩浆演化活动存在不连续性和早晚两个不同的岩浆演化系列,三种不同性质的岩浆活动。矿田两次成矿作用都发生在晚期岩浆演化系列,并阐述了早期成矿作用及其矿化特征,以及与次火山花岗岩在时间、空间、成因上的联系(刘汝洲等,1995)。

2) 吴烈勤等提出诸广-下庄铀矿聚集区在 J_3 -E之间存在早晚两期双向伸展构造体系,且区内早晚两期不同成因的铀成矿与双向伸展构造在时间上合拍,在空间展布上一致,早晚两期铀矿均产于晚期岩浆演化系列活动阶段,且早期铀矿与帽峰式等细粒小岩体在时、空、物源上关系密切(吴烈勤等,1998)。

3) 李献华等(1997)对下庄基性岩脉的年代学、物质组分、地球化学特征等进行了较深入的研究,提出基性岩脉的成岩时代为140 Ma、105 Ma及90 Ma,并认为基性岩脉来源于亏损地幔,该源区很可能在形成基性岩浆前不久曾受到俯冲带流体的交代而具有EM II特征。陈跃辉等(1998)对中国东南部花岗岩型和火山岩型铀矿区基性岩脉的源区特征及其形成的构造背景作了详细研究,指出下庄地区基性岩脉的形成标志着陆壳的拉张和伸展,岩浆来源于富集地幔,且部分熔融程度较高。

进入21世纪以来,贵东岩体的岩石地球化学研究、铀成矿理论及下庄铀矿田的成矿作

用研究等均取得了重大突破。

1) 在国家自然科学基金重点项目、创新群体项目和“973”项目的资助下,南京大学和核工业 290 研究所的研究者们对贵东岩体中各重要岩体均开展了系统的岩石地球化学专项研究工作,有关贵东岩体的岩石化学研究取得了一系列新成果,发表了许多高质量的论文,其中代表性的成果有:

- 对贵东岩体中各主要岩体开展了新一轮的定年工作,徐夕生等通过单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年确定鲁溪及下庄岩体形成时代分别为 (239 ± 5) Ma 和 (235.8 ± 7.6) Ma,属印支期,而隘子岩体和司前岩体的形成时代分别为 (160.1 ± 6.1) Ma 和 (151 ± 11) Ma,属燕山期(徐夕生等,2003);邓平等采用单颗粒锆石 U-Pb 稀释法测定了笋洞岩体的年龄为 (189.1 ± 0.7) Ma,属燕山早期(邓平等,2003a);孙涛及孙涛等确定了下庄岩体、帽峰岩体和司前岩体的形成年龄分别是: (228.0 ± 0.5) Ma(孙涛等,2003)、 (207.6 ± 3.2) Ma(孙涛,2003)和 159 Ma(孙涛等,2003);上述多位研究者的颗粒锆石定年结果确定了鲁溪岩体、帽峰岩体和下庄岩体均应为印支期岩体,而笋洞岩体、隘子岩体和司前岩体是燕山期岩体。

- 凌洪飞等(2004)、吴烈勤等(2005)指出笋洞岩体和下庄岩体都属于典型的壳源型花岗岩,是在地壳伸展-减薄的构造背景下,但两者的部分熔融物质成分不同,前者通过以泥质成分为主的古-中元古代变质沉积岩部分熔融形成(凌洪飞等,2004),后者是通过以泥质岩和砂质岩组成的古元古代变质沉积岩部分熔融形成(吴烈勤等,2005)。

2) 铀成矿理论研究特别是在幔源流体成矿作用方面也取得了一些新的重大进展,杜乐天(2001)提出了中国的热液铀矿与世界各地的热液铀矿无界、热液铀矿与其他各种元素热液矿床无界、地壳上的热液作用和上地幔的流体活动无界等“三无界”观点。邓平等(2003)、凌洪飞和姜耀辉(2005)根据氢、氧、氦等同位素组成论述了下庄矿田仙石铀矿床的地幔流体成矿作用。胡瑞忠等(2004)指出在华南,热液铀矿区常有白垩-第三纪断陷盆地存在和有富铀岩石广泛分布,通过对华南铀矿床形成时代和岩石圈伸展和拉张的时代统计表明,主成矿期与岩石圈伸展期次基本上对应(胡瑞忠等,2004)。这些特征与前人研究的关于华南热液铀矿区与不同层次的伸展构造有关(陈肇博,1982;余达淦,1992,1994,2001;陈跃辉等,1997)的结果相一致,但更深入。上述幔源流体成矿的理论直接向国际上统治矿床学长达一个世纪之久的岩浆分异成矿论权威理论提出了挑战(毛景文等,2005)。上述研究成果为本论文的完成提供了良好的工作基础。

1.3 存在问题

尽管对南岭东段的粤北、赣南地区印支期-燕山期构造岩浆作用和花岗岩型铀矿成矿机制的研究程度已较高,然而,该区岩浆演化与铀成矿机制等方面仍存在以下主要问题:

1) 成岩年龄认识不统一,对与成矿关系密切的关键性岩体的定年方法仍有待改进和加强,需补充代表性矿区岩体定年样品。如目前很多研究者对帽峰岩体的认识还停留在是燕山晚期晚阶段的小岩体及次火山花岗岩,成岩物质来源于地幔的基础上(谭正中等,1993;邓平,2003;吴烈勤,2003)。采用 141.2 Ma 的年龄是早期测定的白云母 K-Ar 法年龄(刘汝洲等,1995),而野外的观察表明帽峰岩体发育了各种蚀变作用,在这种状况下采用该年龄来代表岩体成岩年龄的可靠性值得怀疑。

2) 对本区铀成矿作用和成矿年龄等的认识还不统一。据统计前人在本区测定了 100 多个沥青铀矿的 U-Pb 法年龄值,但在分析这些数据时常发现在一个矿床的不同部位或在同一矿床的同一矿带的不同样品,同位素表面年龄有很大的不同。因此有必要去伪存真重新认识这些年龄。

3) 对成矿物质与流体来源的认识不统一,目前比较公认的成矿流体中碳是幔源,而对于流体中水的来源则众说纷纭:周文斌(1995)、刘金辉等(1997)认为成矿流体中的水起源于下渗的大气降水;邓平等(2003a)认为仙石矿床成矿期流体主要来源于地幔,而成矿期后流体则主要来源于大气降水。关于成矿物质铀的来源,尽管大多数研究者认为铀主要来自于花岗岩(倪师军,1987;金景福和胡瑞忠,1990b;章邦桐等,2003),但最近有学者提出铀是幔源的(姜耀辉等,2004)。因此,仍有必要对成矿流体中幔源物质的类别及参与成矿的方式等进行研究。

总之,对下庄矿田与铀成矿关系最密切的帽峰岩体在成岩时代、物质来源和成因上认识的不统一,是研究者们对下庄矿田铀成矿作用方式不统一的关键,因此有必要对帽峰岩体进行包括定年在内的详细的岩石学、地球化学工作。

1.4 研究内容

针对上述问题,本研究以岩石地球化学、水-岩作用特征等为主要研究内容,采用最新的测试技术与方法,以矿物学、岩石地球化学和同位素地球化学为手段,运用新的成矿理论,重点对下庄矿田花岗岩体的成岩时代、物质来源、形成方式、演化程度及其与下庄富铀矿体的关系进行研究。具体研究内容包括:

1) 采用最新的单颗粒锆石 LA-ICP-MS 定年技术,确定贵东杂岩体中与铀成矿关系最密切的石土岭矿区帽峰岩体的形成时代。

2) 对贵东杂岩体东部几个主要的花岗岩体及基性脉岩进行了详细的主量元素、微量元素和同位素等岩石地球化学研究,探讨与铀成矿有关的岩体(特别是帽峰岩体的)的岩石地球化学特征、物质来源和演化等。

3) 通过对不同期次脉石矿物方解石进行粉晶 X 射线衍射、电子顺磁共振波谱、反射光谱、微量元素及锶、氧、碳同位素测试等,探讨不同期方解石形成的物理化学环境,进而研究成矿流体与成矿物质的来源。

4) 对绿泥石、伊利石等典型的蚀变矿物进行粘土矿物的分离、粘土矿物的定向片 XRD 测定及绿泥石化学成分的电子探针测试等,并通过绿泥石的化学成分计算获得绿泥石的形成温度并进而探讨绿泥石的形成环境等。

5) 在上述研究的基础上对比岩体和矿体中微量元素(特别是稀土元素)特征、同位素组成、包裹体组成特征等探讨花岗岩与铀成矿的关系。

1.5 实物工作量

本书的研究工作始于 2002 年 8 月,在博士论文研究和国家自然科学基金的连续资助下,作者先后 5 次到野外进行实地调查,途经粤北、赣南、湘南及桂东北等地共 10 多个县市,

累计行程约 2 000 km,野外工作累计 70 天,采集各类岩石标本和分析测试样品 100 余件,完成的主要工作量见表 1-1。

表 1-1 室内研究工作量一览表

序号	项 目	数量	完成单位
1	岩石薄片	40 片	南京大学地球科学与工程学院磨片室
2	电子探针片	50 片	南京大学地球科学与工程学院磨片室
3	主量元素分析	28 件	南京大学现代分析中心
4	微量稀土元素分析	40 件	南京大学内生金属矿床成床机制研究国家重点实验室
5	锆石 U-Pb 年龄测试	1 件(20 点)	西北大学地质学系大陆动力学教育部重点实验室
6	He 同位素测试	2 件	中国地质科学院
7	Ar 同位素测试	2 件	中国地质科学院
8	O 同位素测试	14 件	南京大学内生金属矿床成床机制研究国家重点实验室
9	C 同位素测试	14 件	南京大学内生金属矿床成床机制研究国家重点实验室
10	Rb 同位素测试	6 件	南京大学内生金属矿床成床机制研究国家重点实验室
11	Sr 同位素测试	6 件	南京大学内生金属矿床成床机制研究国家重点实验室
12	粘土矿物分离	20 件	南京大学内生金属矿床成床机制研究国家重点实验室
13	矿物的粉晶 X 射线衍射测定	20 件	南京大学现代分析中心;南京大学地球科学与工程学院
14	单矿物的电子顺磁共振波谱测定	8 件	南京大学现代分析中心
15	单矿物的反射光谱测定	8 件	南京大学内生金属矿床成床机制研究国家重点实验室
16	矿物成分电子探针分析	400 点	南京大学内生金属矿床成床机制研究国家重点实验室;东华理工大学核资源与环境工程国家重点实验室培育基地

1.6 主要创新点

1) 对下庄矿田的成矿物质和成矿流体提出了新的认识:成矿物质铀来自地壳,而成矿流体具有壳幔混合的特征。

2) 提出帽峰岩体是该地区唯一的具有较典型稀土元素 M 型四分组效应的岩体,其成因是岩体固结后的流体-岩体相互作用。

3) 提出下庄矿田不同矿床和不同岩石中均发育的电气石化不是岩浆自变质作用的产物,而是富硼流体交代花岗岩形成的。

4) 利用 XRD 确定了蚀变花岗岩中粘土矿物的组合类型,并采用电子探针测试技术测定了绿泥石的化学成分,并进而探讨了绿泥石的形成环境和形成机制,绿泥石形成温度的计算结果与野外和室内矿物共生组合观察结果一致。

5) 采用激光拉曼光谱技术测定了单个包裹体气相成分,测定结果进一步证明了 CO₂ 与铀成矿的关系,还原性气体 H₂S 的存在则证明了矿区存在有利于铀成矿的还原性环境。

第 2 章 区域地质背景

2.1 大地构造位置

南岭是我国稀有和有色金属矿产最集中的产地,已发现了一批超大型、大型 W、Sn、Bi、Cu、Pb、Zn、U 及 REE 等稀有和有色金属矿产;研究表明,它们主要与中生代花岗岩类有密切的成因联系(地矿部南岭项目花岗岩专题组,1989;陈毓川等,1989;刘梦庚等,1996;裴荣富等,1999;华仁民等,2005)。南岭地区发育有 5 条规模巨大的 EW 向花岗质岩浆岩带,自北向南依次为塔山-弹前岩带、九嶷山-诸广山岩带、花山-大东山-贵东岩带、广平-广宁-佛冈岩带和那蓬-新兴岩带,它们均受控于区域性的深大断裂(广东省地质矿产局,1988),诸广-下庄铀矿聚集区与铀成矿关系密切的岩浆岩带属九嶷山-诸广山岩带、花山-大东山-贵东岩带和广平-广宁-佛冈岩带。自 1958 年在粤北找到第一个花岗岩型铀矿——希望矿床以来,通过几十年的工作,该区内已发现数个花岗岩型铀矿田、数十个铀矿床,它们主要集中分布在诸广、贵东、上围、柏莆、青嶂、大东山、坪田、罗浮、佛岗、大坝、禾洞、新兴等花岗岩内,南岭东段特别是诸广-下庄地区由此成为我国最为重要的大型花岗岩型铀矿聚集区(图 2-1),花岗岩型铀矿也成为南岭东段最为重要的铀矿类型。此外,在该地区还相继发现了砂岩型、火山岩型和碳硅泥岩型等另外三种类型的铀矿床。

大地构造上,下庄铀矿田位于欧亚大陆东南缘华夏陆块与江南造山带的交接部,地质构造复杂,岩浆活动频繁,分布有大量中生代火山-侵入杂岩(舒良树和周新民,2002),是南岭构造-岩浆活动带的重要组成部分(图 2-2)。

下庄矿田位于恩平-新丰 NNE 向深断裂带、黄陂-龙南 NE 向大断裂带、惠来-汝城 NW 向深断裂带与大东山-漳州 EW 向大断裂带相交汇部位(图 2-3)。不同方向深大断裂构造带的交汇复合部位,既是早期的岩浆活动中心、幔源物质上涌中心,又是成矿期的构造热液活动中心,这种构造有利于岩浆的多期次侵入,并造成岩石破碎且蚀变强烈,是地块中相对薄弱部位,有利于铀的成矿与富集。

下庄铀矿田的地质构造经历了挤压造山和陆壳伸展两大构造活动时期,即继印支运动强烈的构造挤压之后,燕山期发生了陆壳伸展。本区一系列经多次地壳运动形成的断裂构造通常表现为: J_3 - K_1 多为控岩断裂构造,而 K_2 -N 形成的断裂多为控盆断裂构造。断裂展布的方向有 SN、EW、NW、NE 等,这些断裂构造多为深大断裂,具有多次活动的特征。总体趋势是 SN 向断裂较早,EW 向、NW 向断裂次之,最晚为 NE 向断裂。深大断裂控制了本区中、新生代以来的岩浆活动和盆地形成与发展,同时也控制了铀矿和多金属矿产的形成。

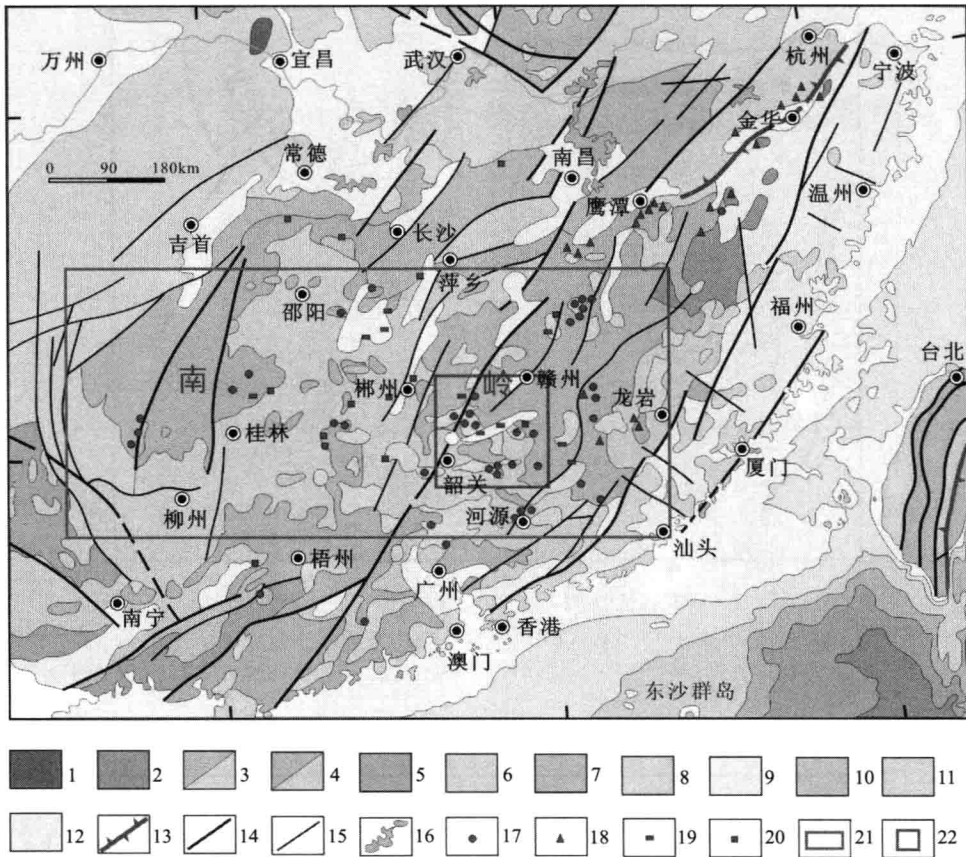


图 2-1 南岭大地构造与铀矿床分布位置图(据邓平 2003 修改)

1—五台褶皱带(>2 400 Ma);2—中条褶皱带(1 900~1 700 Ma);3—扬子褶皱带(>1 000~800 Ma)及盖层;
 4—加里东褶皱带及盖层(S-D);5—印支褶皱带(T3-J1);6—中燕山褶皱带(K1-K2);7—晚喜马拉雅褶皱带
 (Q1);8—喜马拉雅期盆地及山前磨拉石;9—印支期以来盆地;10—印支期花岗岩;11—燕山期花岗岩;12—燕山
 期火山岩;13—缝合带;14—主干断裂带;15—一般断裂带;16—湖泊;17—花岗岩型铀矿;18—火山岩型铀矿;
 19—砂岩型铀矿;20—炭硅泥岩型铀矿;21—南岭范围;22—研究区范围

2.2 区域地层与岩浆活动

2.2.1 区域地层

下庄铀矿田处于华夏陆块闽、赣、粤后加里东隆起与湘、桂、粤北海西-印支凹陷的交汇部位。区内各类地层出露较全,从新元古界-第四系均有出露(图 2-4),其中震旦系、寒武系、泥盆系、石炭系、侏罗系分布较广泛。

- 奥陶系的分布大致与寒武系相同,但不及前者广泛,二者呈整合接触。岩相组合与生物群面貌也有明显不同。最大厚度约 300 m。

- 泥盆系分布几乎遍及全区,主要发育中、上统。该系岩性复杂,岩相多变,古生物群

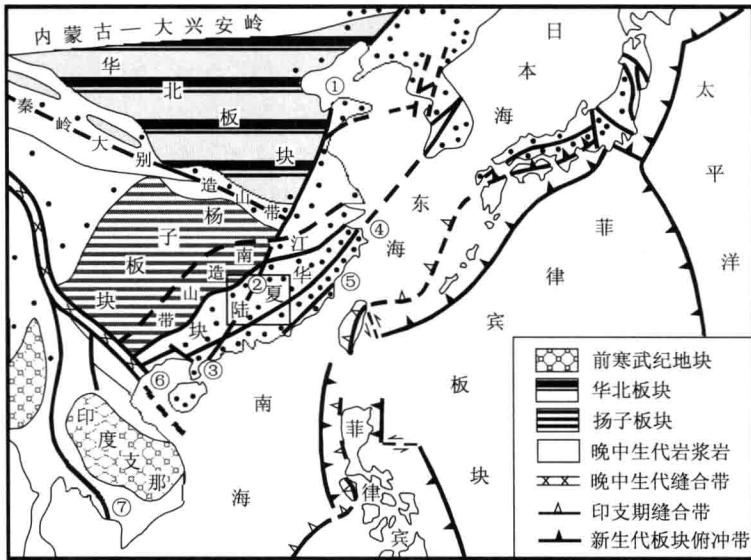


图 2-2 研究区大地构造框架图 (据舒良树和周新民, 2002)

图中方框示研究区范围, 黑点代表晚中生代岩浆岩的大致分布范围, 带圈数字为深大断裂编号: ①—郯庐断裂带; ②—赣江断裂带; ③—吴川-四会断裂带; ④—上虞-郑和-大埔断裂带; ⑤—长乐-南澳断裂带; ⑥—红河断裂带; ⑦—实皆断裂带

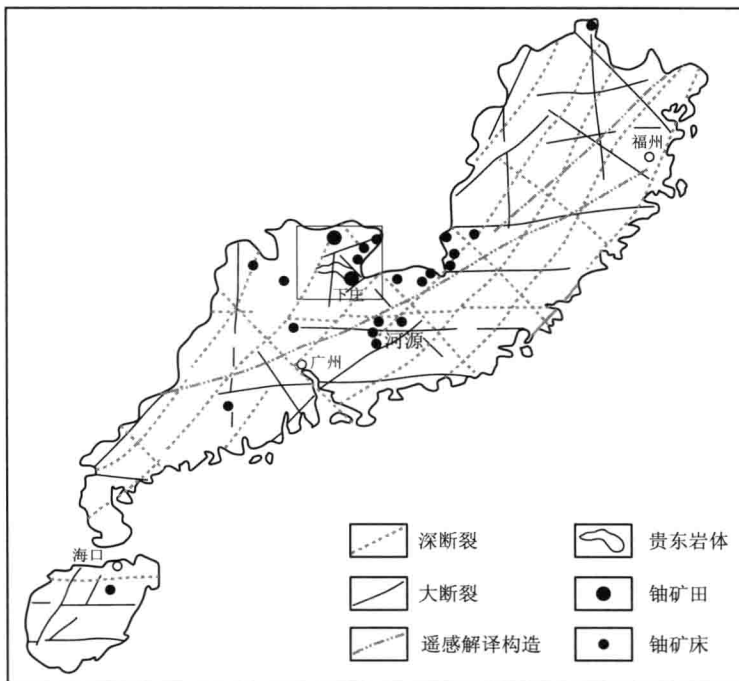


图 2-3 华南地区深、大断裂带及铀矿分布略图 (图中方框示研究区范围与位置)

(据 1 : 200 万华南铀矿分布图说明书)