

中国铀矿地质 研究成果荟萃



中国核工业总公司地质总局
核能资源研究开放实验室

核工业北京地质研究院
中国核学会铀矿地质分会

谨以此书献给第三十届国际地质大会

名誉主编 陈肇博

张伟星

刘兴忠

赵凤民

主 编 杜乐天

黄世杰

陈祖伊

蒋永一

终 审 王祖邦

核能资源研究 开放实验室

1995年7月正式成立并开始运行



实验室主任 陈祖伊

实验室副主任 王正邦 朱德龄

学术委员会主任 杜乐天

学术委员会副主任 黄世杰

学术委员会聘请了中国著名地质学家21名为委员

中国科学院地学部主任涂光炽
先生和核工业地质总局前总工
刘兴忠先生为特邀顾问

实验室有良好的研究工
作条件和现代化的仪器
设备, 是进行铀矿地质
研究的理想环境。



1995年资助了9个
研究课题, 重点
是与可地浸砂岩
铀矿形成条件和
产铀盆地评价有
关的基础和应用
基础研究项目。

竭诚欢迎

国内外铀矿地质工作者携带研究项目来我实验室进行研究
或向我实验室申请研究课题

目 次

序.....	徐光焱 (1)
--------	---------

区域成矿规律

中国铀矿地质工作的主要成就与回顾.....	刘兴忠 (2)
铀谜与碱盲.....	杜乐天 (10)
华南大陆构造与铀矿省.....	周维勋 (20)
试述华东南与中生代不整合面有关铀矿床.....	陈祖伊 黄世杰 (27)
华北地台铀成矿条件及找矿前景.....	胡绍康 (34)
中国碳硅泥岩型铀矿床成矿规律探讨.....	张待时 (40)
层间氧化带砂岩型铀矿的形成条件及找矿判据.....	黄世杰 (45)
华南火山岩型铀成矿地质条件.....	陈然志 何才一 (52)
庐纵地区铀成矿规律探讨.....	陈一峰 (59)
辽东铀成矿区成矿地质条件及识别标志.....	郭智添 钟家善 王宗英 (67)
龙首山铀成矿带成矿规律与成矿模式.....	施文静 胡俊楨 (73)
古水热系统排泄区(减压区)铀成矿模式.....	李学礼 史维浚 孙占学 (79)
滇西砂岩成矿带区域成矿地质条件和识别标志.....	戴杰敏 (85)

铀矿床研究

花岗岩型铀矿富矿的地质特征和形成条件.....	李田港 童航寿 冯明月 (94)
诸广岩体南部伸展构造与铀成矿关系的探索.....	潘永正 张建新(102)
花岗岩中晶质铀矿及富集因素的初步研究.....	戎嘉树 孙西田 王炎庭(107)
花岗岩型热液铀矿床蚀变地球化学.....	黄志章 孙志富(115)
33号地区碱交代特征及其与铀矿化关系.....	孙志富 杜乐天(122)
某热液铀矿床中的铀石研究.....	蔡根庆(130)
东秦岭伟晶岩型铀矿形成机理及远景预测.....	冯明月 戎嘉树 孙志富(139)
华南东部中生代火山岩型铀成矿规律、勘查模式及找矿远景.....	王玉生 李文君(146)
460火山岩型铀-钼矿床的构造-矿化分带及成矿模式研究.....	罗毅 王正邦 周德安(151)
新疆伊犁盆地512矿床层间氧化带铀成矿地质特征.....	古抗衡 王保群(156)
NHT式铀矿床地质特征及其油气水与铀成矿作用探讨.....	张如良 丁万烈(162)

数学地质、同位素地质、成矿实验

铀资源评价新方法——成功树法

.....	孙文鹏	陈庆兰(169)
华南花岗岩型铀矿的成因模式、数学模型和断裂成矿潜力估计法.....	李明连	(176)
冀北早前寒武纪基底与古老花岗岩类演化特征及其铀成矿条件研究.....	夏毓尧	戎嘉树 林锦荣(182)
大龙山、昆山铀矿床稳定同位素地质特征研究.....	朱杰辰	郑懋公 菅俊龙(191)
沥青铀矿、晶质铀矿和含钍沥青铀矿的人工合成及其形成规律的实验研究.....	沈才卿	赵凤民(197)
放射性核素在花岗岩上的吸附特性研究.....	徐国庆	张家富 叶明吕(206)

遥感地质

应用信息复合技术进行线性构造地质成因识别模型研究

.....	何钟琦	岑长华	高 民(214)
以航空放射性测量为主的多源信息综合技术及应用.....	刘德长	孙茂荣	朱德龄(219)
遥感技术在覆盖区成矿预测中的应用.....	黄贤芳	田 华	冯 杰(225)
轻型飞机航空遥感应用及前景.....	崔振奎	何钟琦	谭章明(232)
轻型飞机航测系统及其应用.....	邹家衡	刘京晶	郑一淳(239)

物化探及仪器研制

洁源—多伦地区深部地球物理特征信息.....	崔焕敏	刘腾耀	李珍福(244)	
GP-106 型汽车 γ 能谱测量系统及其应用效果.....	陆士立	刘腾耀	翟玉贵(250)	
土壤汞法在铀矿勘查中的研究与应用.....	游云飞	陆士立	谭本玉(255)	
湘南—桂北地区铀矿床与地球物理场的联系及铀成矿特点浅析.....			舒孝敬(261)	
航空放射性测量标准模型及其应用.....	于百川	蔡文良	丘汉昌(265)	
BGO 晶体在地质找矿中的开发应用.....				
		马丽娟	陆士立	谢海宁(271)
核技术勘查油气田及其边缘铀远景.....	付 锦	蒋永一	陈国良(276)	
放射性方法在油气勘查中的应用.....	吴慧山	林玉飞	白云生(282)	
AS-2000 型航空综合测量系统.....	于振涛	王海洋	赵志明(289)	
H-90A 微机 γ 能谱仪.....	张 彪	董 晨	赵志明(293)	
LT-8812 型激光-时间分辨发光微量分析仪.....			张乃昌(298)	

分析测试

核工业北京地质研究院分析测试技术的新进展.....	赵云龙	顾鼎祥	李喜斌(306)
铀矿石及含铀岩石中铀(IV)和铀(VI)分析方法的研究.....	沈珠琴	郑永凤	李清贞(314)
环境水样中铀、钍、镭和铅同位素及其活度比值的系统分析.....	顾鼎祥	汪 苓	陈明秀(319)
激光荧光法直接测定土壤、岩石、矿物、生物等样品中的铀.....	李清贞	张延安	(325)

序

摆在读者面前的这本书，虽名曰“中国铀矿地质研究成果荟萃”，实际上是一部论文集，但它并不像一般论文集那样，为若干文章松散的组合，而是带有严密、紧凑的结构，从各个有关方面，如我国铀的区域成矿规律、不同类型铀矿床、铀的成矿实验、同位素地质、数学地质和遥感地质，铀的地球物理及地球化学探测，以及分析测试，仪器制造等方面，回顾和总结了多年来我国铀矿地质战线所取得的重要进展。虽然论文多是个人署名、个人负责，带有个人的观点与剖析，但从总体看，众多论文所反映的思路、成果、看法等的确体现了我国铀矿地质的水平。

我国铀矿地质的发展，除早期几年有外国专家的帮助外，近 40 余年来完全是靠自己的力量，填补了这一重要矿产领域的空白，并取得了一批难能可贵的成果。从我国岩石圈发育演化及地质条件的具体情况出发，借鉴别人的经验，但又不拘泥、不套用，中国铀矿地质学家走出了自己的路子。从 40 余年来广泛而深入的铀矿地质实践看，我国铀矿床类型、时空分布、规律、控矿因素及铀矿形成机制等都有其特点，在许多方面不同于世界其他产铀国家。将我国铀矿地质之精华从万花缭乱的现象中抽提出来，加以炼制，并与国外情况进行必要对比，既总结了自己的过去，又吸取了别人的特长，这本书的作者正是这样做的。

围绕我国铀矿地质的攻坚，开展了较全面而系统的工作，包括物化探、遥感等方法，技术及理论研究。这些侧面的进展，在这本论文集中也有较充分的反映。

可以说，这本书具论文集之外表，而实质则是系统反映我国铀矿地质方方面面的专著，推荐中外地质界同行一读。

徐光灿

中国科学院地学部主任

1996.4.3

中国铀矿地质工作的主要成就与回顾

刘兴忠

(核工业地质总局 北京 100013)

本文系统总结了我国30多年来铀矿地质勘察和科研的主要成果,着重阐述我国铀矿地质的主要特点,铀矿床类型及地质矿化特征、产铀建造、铀矿分布规律。

关键词 火山塌陷构造 产铀建造 成矿期

我国铀矿普查勘探工作自1955年以来从无到有,从小到大,从不懂到掌握,逐步建立了专业配套,找矿、科研、设备制造、培养人才等完整的铀矿地质体系,找到了10多种类型的铀矿床,向国家提交了可供开采的铀矿资源,为核工业的发展做出了宝贵贡献。

1 我国铀资源对发展核工业保障程度及特点

30多年来,在我国找到多种类型的铀矿床,探明相当数量的储量,为矿山开采提供了可靠的资源,保证了发展核武器对铀资源的需要,为2000年以前发展核电提供了足够资源。

我国铀资源具有以下主要特点:

(1) 铀矿床主要产于显生宙,除奥陶纪未发现铀矿床,几乎各个时代均有铀矿产出,但多数储量集中分布在中生代。

(2) 矿床类型以花岗岩型和火山岩型热液脉状矿床为主。

(3) 矿床规模以中小型为主,但在一个矿田中铀矿床往往成群出现,从几个到几十个不等。

(4) 矿石品位以中等品位为主,个别矿床的平均品位有的可达0.5%以上,尤以火山岩型铀矿床品位较富。

(5) 埋藏深度大多在500m以内,个别可达到700—1000m。

(6) 铀矿床分布不均一,虽然在全国20多个省、自治区均有产出,但多数铀矿床集中于华南及其它少数省区。

2 我国铀矿主要类型及地质矿化特征

我国探明多种类型的铀矿床,主要有花岗岩型、火山岩型、砂岩型、含铀煤型、碳硅泥岩型、碳酸盐岩型、含铀磷块岩型、石英岩型、砂卡岩型、伟晶白岗岩型、混合岩型及风化残积型等,其中以4类最为主要,其主要地质矿化特征:

2.1 花岗岩型铀矿床

花岗岩型铀矿床是我国最主要铀矿类型,主要分布在华南和西北地区,矿化类型很多,有微晶石英型(玉髓型)、碱交代型、萤石型、粘土型等。华南花岗岩型铀矿床主要受纬向构造带和新华夏系构造带复合部位的控制,西北地区主要受北西向构造的控制。

产铀岩体主要特征是:

(1) 产铀岩体地质时代有老有新,具有广泛的地质时代。目前已发现的产铀岩体有雪峰期、加里东

期、海西期、印支期及燕山期,受不同地区大地构造的制约。产铀岩体地质时代具有区域性特点,如华南地区以燕山期为主,而西北地区则以加里东期为主。

(2) 岩体剥露面积一般大于 $100-200\text{km}^2$,有的可达 1000km^2 以上。

(3) 产铀岩体的岩性主要是中粗粒似斑状黑云母花岗岩和二云母花岗岩,岩体多数为多期多次的复式岩体,分异良好,岩体含铀量一般在 $(10-40)\times 10^{-6}$,含晶质铀矿,钍铀比值 <1 。

(4) 铀矿化受断裂构造的控制,矿田(区)常产于区域性断裂带夹持部位,铀矿化则赋存于低序次低级别断裂构造中。

(5) 热液蚀变明显,矿前期蚀变以钠长石化、水云母化为主,成矿期蚀变则以赤铁矿化、萤石化、硅化、黄铁矿化、水云母化为主要特征。矿石物质成分简单,沥青铀矿是主要铀矿物。脉石矿物不多,主要是微晶石英。矿石主要为单铀型,伴生元素少。

(6) 铀矿的形成与含铀主岩在华南有较大时差,从雪峰期—燕山期的岩体,其铀矿的形成呈明显的同时性,矿化年龄一般都小于 100Ma (主要成矿年龄为 $87,67,47\text{Ma}$),相当于晚白垩世—老第三纪红盆形成的时期。

(7) 岩体外带铀矿床含矿岩性多为前泥盆系炭质、泥质轻度变质岩,含铀量高,铀矿化产出距岩体水平距离一般不超过几百米。

2.2 火山岩型铀矿床

我国火山岩型铀矿床,矿化主要产于华南加里东褶皱系、天山—兴安海西褶皱系及华北地台北缘活化地区的火山洼地中,其主要特征是:

(1) 含铀火山岩的地质时代从晚古生代(泥盆纪、石炭纪、二叠纪)至侏罗纪、白垩纪均有产出,但我国东部主要矿化岩石为中生代(侏罗纪为主)火山岩,西部则为古生代火山岩。

(2) 产出的岩性主要为中酸性和偏碱性的熔岩、次火山岩、火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩及隐爆角砾岩等。矿化与有利岩性有关,尤其是在不同岩石物理机械性质的界面附近对成矿更为有利。

(3) 火山岩型铀矿化常常是层位与构造联合控矿,而构造控制较花岗岩型更为复杂,一般受区域性断裂和火山构造(如环状断裂、放射状断裂、各种火山塌陷构造、爆发角砾岩筒等)的复合部位的控制。华南新华夏系构造是主要的控矿构造,它与盆地基底断裂和火山构造归并、复合部位是成矿的有利部位。由于控矿条件的复杂性,矿化受多种界面、多层位、多相位的控制,因而矿体常呈多种形态、多种产状。

(4) 热液蚀变特征。由于地球化学类型不同而产生不同性质的蚀变,最有找矿意义的前期蚀变是钠长石化、水云母化和迪开石化,近矿蚀变有赤铁矿化、萤石化、绿泥石化、黄铁矿化,有明显的垂直和水平蚀变的分带性。

(5) 矿石物质成分比较复杂,铀矿物除沥青铀矿外,有些矿床还见有含钍的沥青铀矿、钍铀矿、铀石、钍铀石等,铀有时与钍伴生,矿石中常伴有钼、铜、银、铅、锌、磷、汞等,有时还有金、铂、钨有时可达到综合利用的品位。

(6) 铀矿化年龄略晚于火山活动时期,铀矿化年龄一般为 $140-100\text{Ma}$,但有些矿床矿化年龄小于 100Ma ,有的仅为 $50-20\text{Ma}$,矿岩时差较花岗岩型为小。

2.3 砂岩型铀矿床

我国砂岩型铀矿床主要产于中生代陆相碎屑岩建造盆地中,其主要特征是:

(1) 含矿地质时代有三叠纪、侏罗纪、白垩纪和第三纪,以后两者为主。

(2) 含矿主岩有花岗岩质砾岩、长石砂岩、长石石英砂岩、粉砂岩和泥岩等,常含有金属硫化物、有机质和粘土等。含矿主岩颜色多为浅灰色、灰绿色、灰黑色及黑色。

(3) 铀矿层产出岩相古地理条件十分复杂,有冲积扇、河流相、三角洲相和湖泊相。具有工业价值的铀矿床,除具有良好的岩相古地理条件外,后生改造作用(包括淋积作用和热事件作用)常具有重要富集作用。

(4) 含矿建造有红色碎屑岩和暗色碎屑岩建造两种,常伴有Re, Sc, Sr, V, Mo等有用元素。有的矿床砂岩疏松,含水性和渗透性好适于地浸开采。

2.4 碳硅泥岩型铀矿床

(1) 产出的地质时代主要为震旦—寒武纪、志留纪、泥盆纪、二叠纪,以震旦—寒武纪和志留纪最为主要。

(2) 含矿岩性十分复杂,由碳硅泥岩及过渡的岩性组成。如含炭硅岩、含炭泥岩、泥质硅岩、炭质板岩、白云质泥岩、硅泥质白云岩、硅质灰岩等。一般含矿主岩富含有机质、磷质和黄铁矿等,铀含量一般为 10×10^{-6} 至 11×10^{-6} 不等,形成富铀层位。

(3) 矿化受有利层位和构造的联合控制。尤其是层间破碎带是后生富集关键因素。

(4) 矿石物质成分复杂程度不一,铀常呈吸附状态存在,热液改造型铀矿床可见沥青铀矿及伴生的萤石、硫化物、绿泥石等。伴生元素有汞、磷、铅、锌、铜、镍、钼、钨、钽、铌等,可形成铀—磷、铀—汞综合矿床。

(5) 矿化成因多为复成因类型,可划分为沉积成岩型、淋积型和热液改造型。热液改造型和淋积型常形成规模较大和品位较富的铀矿床。沉积成岩型品位低,工业价值不大。

(6) 铀矿化年龄120—20Ma之间,岩层时代愈老,矿岩时差愈大。

2.5 含铀煤型矿床

主要产于中、新生代陆相暗色碎屑岩建造中,其主要特征是:

(1) 产出地质时代为侏罗纪和第三纪。

(2) 含矿主岩为含铀煤和浅色碎屑岩。含铀层一般位于煤层顶、底部炭化程度低的褐煤和烟煤中,炭化程度高的对铀富集不利。浅色碎屑岩多为砾岩、含砾粗砂岩以及中粗粒砂岩。含矿主岩多富含有机质和黄铁矿。

(3) 含矿主岩沉积相为泥炭沼泽相及河漫滩地相、河流相。

(4) 矿石物质成分较复杂,有时伴有锕、钍和稀有元素,并具有综合利用价值。铀存在形式多为吸附状态或有机络合物,有时见沥青铀矿、铀石、铀黑和次生矿物。

2.6 碳酸盐岩型铀矿床

(1) 含矿地质时代有寒武纪、泥盆纪、石炭纪。

(2) 含矿主岩多为不纯的灰岩和不纯的白云岩,夹有粘土碎屑岩。岩石中常含有有机质、炭质和黄铁矿等。

(3) 矿化受层位和构造破碎带联合控制,多以层间构造破碎带为主要控矿构造。矿体多呈似层状、透镜状及复杂的串状、不规则状等。

(4) 矿石物质成分复杂不一,有的常伴有多金属硫化物,个别还伴有钨矿产出。

(5) 矿床成因说法各异,有的认为是沉积再造,有的认为是古岩溶成矿。

2.7 伟晶白岗岩型铀矿床

(1) 铀矿化产于早元古代龙首山群的伟晶白岗岩体中,产铀岩体时代为1900—1700Ma,属吕梁期产物。

(2) 伟晶状白岗岩呈板状体侵入,与围岩主要呈切割式侵入接触,伟晶状白岗岩普遍遭受过强烈改造。

(3) 铀矿物以晶质铀矿为主, 也见有沥青铀矿和铀黑, 晶质铀矿常富集于伟晶白岗岩边部的黑云母富集带内, 而构成富矿体。金属矿物有辉钼矿、黄铁矿、方铅矿等。

(4) 伟晶白岗岩型铀矿床属岩体型, 成矿除与岩体形成时期相近的一期外, 常有后期叠加, 矿体呈似层状、透镜状及不规则状。

2.8 混合岩型铀矿床

(1) 矿化产于连山关穹状背斜南缘早元古代辽河群与太古代花岗岩体接触带附近。

(2) 矿体产出形态严格受下元古界底部变质岩及沿不整合面构造蚀变带的控制。含矿围岩主要为碱交代岩, 其次为石英岩、云母石英片岩和花岗岩。

(3) 矿体赋存于碱交代岩内的构造角砾岩和裂隙中, 呈透镜状、扁豆状, 斜列分布。热液蚀变作用有钠长石化、绢云母化和绿泥石化等。

(4) 矿石品位高, 主要工业铀矿物为沥青铀矿。

(5) 矿床成因为沉积变质型和碱交代型。矿化年龄为2085—1974Ma。

3 我国铀矿床分布规律

3.1 空间分布规律

我国铀矿床的分布规律受中国大陆地壳发育、演化的特点制约, 是按不同大地构造单元分布的。从已知铀矿床产出地区分布来看, 我国铀矿床主要产于显生宙以来的褶皱带中, 其次产于地台上, 但大多数集中产于地槽及其毗邻地台的边缘以及褶皱带中的古隆起(或中间地块)的周围。与苏联、欧洲等地区铀矿床产出的地质条件有类似之处。但与澳大利亚、加拿大、南非一些大型铀矿床产于地盾和古老地台有明显不同(表1,2)。现就我国的主要产铀地质构造单元及铀矿化特点作一简要分析:

表1 世界主要产铀地区铀成矿期与中国铀成矿期的对比简表

产铀地区	成矿时代(Ma)	与主成矿期有关的造山运动
加拿大埃利奥特湖(石英脉石墨岩型)	Δ 2300—2200, 1900	肯诺兰期
加拿大阿萨巴斯卡盆地(不整合脉型)	Δ 1100-960, 370, 150-100	格伦维尔期
澳大利亚阿德莱德河(不整合脉型)	1700 Δ , Δ 920-800, 500-400	卡奔塔里亚期
美国科罗拉多高原(砂岩型)	Δ 150-130, 新生代	拉拉米期
法国中央高原(花岗岩型)	Δ 260-240, 40-15	海西期
苏联(含铁石英岩型、火山岩型、砂岩型)	1800-1600, Δ 380-360, Δ 270-250, 150-130, 20	加里东期、海西期
中国(花岗岩型、火山岩型、碳酸岩型、砂岩型)	Δ 379-348, Δ 87-67-46-20	加里东期、燕山期

Δ 主要成矿期

本表来源: 孙文鹏, 国外铀矿地质(2), (1987)。

表2 我国铀矿成矿特征一览表

构造区划	主造山期	主成矿期	成矿类型
华南褶皱系	加里东期	燕山期、喜山期	花岗岩型、火山岩型、碳酸岩型、砂岩型
华北地台	吕梁期	吕梁期、海西期、燕山期、喜山期	混合岩型、火山岩型、砂岩型、碳酸岩型
天山—兴安褶皱系	海西期	海西期、燕山期、喜山期	含铀脉型、砂岩型、火山岩型
扬子准地台	扬子期	燕山期、喜山期	碳酸岩型、花岗岩型
南秦岭褶皱系	印支期	燕山期	碳酸岩型
滇西褶皱系	印支期	喜山期	砂岩型、含铀煤型

3.1.1 华南褶皱系 华南褶皱系位于扬子准地台之南,是一个晚加里东地槽褶皱系,基底为中晚元古代浅变质岩系,地槽建造主要由震旦系—志留系组成,为复理石、类复理石建造,少量碳酸盐岩和火山岩,为一冒地槽沉积,加里东运动褶皱回返,晚古生代属地台沉积,中生代至新生代属陆相断陷盆地沉积,印支—燕山运动表现强烈岩浆活动,有大量火山岩喷发和花岗岩的侵入,直接控制了铀矿及多金属矿产产出,是我国花岗岩型、火山岩型热液脉状铀矿床的主要产地。

3.1.2 华北地台(即中朝准地台) 华北地台是我国发育最早的陆壳,基底是由太古代中深变质岩系及混合杂岩所组成,是华北地台最早形成的陆核,于早元古代褶皱回返而固结形成地台(约1700Ma)。地台盖层建造从上元古界开始,寒武系和奥陶系发育良好,中上石炭统至下二叠统为滨海相及陆相建造,从晚二叠世开始地台上形成大规模陆相沉积盆地,晚二叠世的印支运动后,地台进入大陆边缘活动带发展阶段,燕山旋回有大规模的酸性为主的火山喷发和花岗岩浆侵入,地台盖层发生强烈的褶皱、断裂,新生代以断块升降为主,华北地台由于古陆核不够发育,岩石变质程度比较高,地台固结时间又比较晚,中新生代地台强烈活化的基本特点,因而对铀矿的生成产生直接的影响。目前发现的铀矿类型有混合岩型、火山岩型、花岗岩型、砂岩型、伟晶岩型、石英岩型等,其分布多产于地台和毗邻地槽的槽台过渡带。

3.1.3 天山—兴安褶皱系 该带是中亚—远东巨型褶皱系的一部分,它是处于西伯利亚地台和中朝准地台之间的古生代褶皱系,是典型的多旋回构造运动所形成的,褶皱系经历了晚元古、加里东、海西期几个构造旋回才固结为年青的地台。该褶皱系在欧洲和苏联是主要产铀地区,铀矿化大部分产于褶皱系中间地块上及其边缘的山间和山前盆地陆相碎屑岩中。如中央地块和阿莫里卡地块是法国花岗岩热液脉状铀矿床的产地,科克契塔夫地块是苏联火山岩热液脉型铀矿床产地。在我国,该褶皱系铀矿床类型主要是火山岩型、砂岩型和含铀煤型。花岗岩型目前已发现的铀矿化只产于该褶皱系的西部和东部地区。

3.1.4 扬子准地台 扬子准地台是在晚元古代末扬子旋回形成的地台,其基底在地台西部边缘康滇地轴出露有大洪山群、昆阳群和康定杂岩,江南古陆出露冷家溪群、双桥山群、四堡群和板溪群等。元古代早期为优地槽发育阶段,元古代晚期康滇地轴、江南古陆转化为冒地槽阶段。地台盖层发育良好,自震旦系至中三叠统主要为海相、滨海相,海陆交互沉积,震旦系顶部—寒武系底部沉积有一套炭质、硅质泥质板岩及含铀磷块岩,是该区富铀的层位。晚三叠世后扬子准地台进入大陆边缘活动带阶段,主要以陆相沉积为主,形成巨大的盆地。这个时期扬子准地台经历了强烈的多旋回的构造活动,在地台西部边缘和东部地区表现特别强烈,并控制了铀矿化的产出。

3.1.5 南秦岭褶皱系 前志留系在南秦岭基本为地台型沉积,志留纪开始转化为地槽型沉积,下志留统为一套变质中基性火山岩,显示加里东旋回时期优地槽的特点。中志留统为冒地槽沉积,为一套碳硅泥岩所组成的含矿岩组,形成富铀的含矿层位。泥盆系至二叠系全部为碳酸盐岩,三叠系为复理石建造。印支运动是本区最明显最强烈的一次构造运动,它使地槽全面回返成陆,使三叠系及其以前更老的地层发生强烈褶皱。燕山运动在本区仍较强烈,产生侏罗—白垩系断陷红盆地和北东向断裂构造,并伴有较强的火山活动。铀矿产于下寒武统、寒武—奥陶系、下志留统内。含矿主岩为硅灰岩、碳酸岩、硅板岩,矿化属沉积再造成因。

3.1.6 滇西褶皱系 滇西印支—燕山褶皱系为滇藏褶皱系的一部分,铀矿化主要产于印支—燕山期花岗岩体之上和附近的第三纪盆地中,含矿主岩为花岗岩质砾岩和含铀煤层。

3.2 时间分布规律

3.2.1 我国铀矿产出地质时代和主要的富铀建造 我国产铀地质时代主要集中在中生代时期,而前寒

武纪,尤其是早中元古代时期(世界上大型铀矿产出的地质时代)我国虽然有所发现但数量非常之微。各地质时代虽都有铀矿产出,但矿化类型有着极大的差异。例如:晚太古代至早元古代时期:含铁石英岩型、伟晶白岗岩型、混合岩化型;晚元古代-早古生代时期(震旦-寒武纪):以碳硅泥岩为主,同时还有碳酸盐岩型、花岗岩型、含铀磷块岩型、石英岩型;晚古生代时期:碳酸盐岩型、硅岩破碎带型、花岗岩型;中生代时期:花岗岩型、火山岩型、砂岩型、含铀煤型;新生代:砂岩型、含铀煤型。

3.2.2 主要产铀建造 根据我国大地构造特点和地壳演化程度,主要产铀建造有:

(1) 中下元古界产铀建造:这个时期产铀建造在中国分布虽不够广泛,但在早、中元古代地槽或裂陷槽中已有富铀建造的形成,如早元古代辽河群、中条群、龙首山群,相当于中元古代的渣尔泰群、白云鄂博群以及康滇地轴的昆阳群。

(2) 震旦-寒武系产铀建造:震旦-寒武纪是我国华南重要富铀沉积建造形成期,它们多为过渡性的碳硅泥岩沉积,该建造中产有为数众多的碳硅泥岩型铀矿床。

(3) 晚古生代的陆相火山岩建造:晚古生代陆相酸性火山岩建造仅在西北地区发现有铀矿床。

(4) 晚古生代碳酸盐岩建造:产铀碳酸盐岩建造主要发育在华南褶皱系中,是盖层性质的沉积,岩性富含泥质、有机质和黄铁矿。

(5) 侏罗纪-白垩纪花岗岩、火山岩建造:由于中生代以来太平洋板块向亚洲大陆俯冲所引起构造岩浆活化,造成了中国东部大面积侏罗纪-白垩纪花岗岩、花岗岩的发育,这些火山岩建造则常是区内的富铀建造,区内热液铀矿床成矿物质来自这些富铀岩石。

(6) 中新世代陆相沉积建造:这个时期中国大部分地区处于隆起剥蚀状态,大量基岩被风化搬运到山前、山间拗陷中堆积起来,在沉积过程中,在某些地区形成有利于铀的聚集的沉积建造,因而多形成砂岩型、含铀煤型铀矿床。

3.3 我国铀成矿期及其特点

3.3.1 我国铀成矿期是根据我国铀矿同位素测定数据结果来划分的,我国铀成矿期绝大多数铀矿年龄集中在晚白垩世-老第三纪(87-45Ma),约占86%左右,古生代只占10%左右,而前寒武纪年龄数据则只占很小比例。我国铀成矿期同全球铀成矿期来比,有相同之处,又有相当大的差异,全球主要成矿期有:2500-2200Ma, 1700Ma, 900-850Ma, 380Ma, 270Ma, 80-60Ma和20Ma,由此可明显看出,我国前寒武纪成矿期是很不发育的。

3.3.2 铀成矿期特点

(1) 铀矿化年龄与成矿区及其邻区的造山运动有关,铀矿化往往在主要构造运动期和稍后时期内形成。如我国华南花岗岩型和火山岩型铀矿化期是与燕山运动有着密切关系,而其成矿则晚于燕山运动主幕。

(2) 成矿的同时性 华南是我国铀矿最为集中的地区,发现的花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型、砂岩型、碳酸盐岩型等类型,不论其产出的地质时代、赋矿围岩性质如何,只有到燕山晚期构造热液活动极为发育时期才成矿。这一点却是非常一致的,表现相当大的同时性,同位素年龄多数为87, 67, 47和20Ma,火山岩型铀矿一般为144-74Ma。

(3) 成矿期的多期性 我国铀成矿具有多期性的成矿特点,华南花岗岩型、碳硅泥岩型、火山岩型和砂岩型都有2-3期成矿期。西北碱交代型有加里东期(398-374Ma)、燕山期(139和94Ma)、喜山期(4.7Ma),但多期性成矿都有一个主要成矿期。这与世界上某些类型成矿具有多期的特点有着相似之处。如澳大利亚不整合脉型有3个成矿期:1700Ma, 920-800Ma和500-40Ma;加拿大阿萨巴斯卡盆地不整合脉型也有3期:1100-960Ma, 370Ma和150-100Ma。

4 铀矿地质科研的主要成果

30多年来铀矿地质科研工作同整个铀矿地质工作一样是逐渐发展起来的,现已拥有一个全国性的铀矿地质研究院和6个地区性的研究所,各地质大队都成立了科研队(组),地质科研在找矿工作中发挥了主要作用,取得较好的地质效果。

4.1 加强了地质成矿规律的研究,开展3级(区域、成矿带、矿田)成矿预测,为更好地选择有利的普查地区和明确找矿方向提供了依据

为开展华北地台探索新类型和开辟新区的工作,对华北地台太古代基底演化特征与成矿条件进行了研究工作,提出了华北地台基底演化的一些认识。华北地台太古界上、下两部分,是由两个不同演化阶段巨型火山-沉积旋回构造组成,分别代表地壳形成过程中的两次由洋壳向陆壳演化作用,在晚旋回产物中,特别是原岩中含有较多中酸性火山岩成分,经过混合岩化和花岗岩型侵入而形成的古穹窿杂岩区,往往形成富铀区,为后期成矿提供了有利的铀源。

对华南加里东褶皱带的研究,提出该区成矿规律和矿化类型的产出有明显的规律性,划分3个成矿域;东矿域主要是火山岩型铀矿化;中矿域主要为花岗岩型铀矿化;西矿域,主要发育花岗岩型、碳硅泥岩型和碳酸盐岩型铀矿化。

对江南古陆碳硅泥岩型运用岩相古地理的方法进行研究,认为铀矿化产于上震旦一下寒武统有利的相带,即岛礁相的白云岩、泥岩组合和岛后海盆的炭质泥岩组合。

4.2 研究矿床的形成机理和成因模式指导找矿

对重点矿床进行了深入的研究。对指导找矿和扩大矿床远景,发挥了重要作用。例如:60年代对1704矿床的研究,首次提出碱交代(钠交代)对矿化的作用,从而引起了碱交代作用对矿化富集的认识;对433矿床研究,初期认为古河流入湖的喇叭口控矿,后进一步认为富矿主要受构造控制和热液叠加成矿,导致434矿床的发现;对301矿床的研究得出有利的层位和构造联合控矿的认识;610地区通过研究认为是塌陷式火山盆地,预测了有利远景地区,扩大了远景;6722矿床受火山管道的隐爆角砾岩控制。近两年来对460矿床的研究,认为控矿的主要岩石为流纹斑岩,而不是原来认为的花岗斑岩,矿化受构造、次火山岩和火山机构的联合控制。通过卫星像片解译,460矿床位于一环形火山机构内。

对我国各类型的成矿规律、成因模式、找矿判据、找矿标志、找矿方向开展了全面的综合研究,对于指导找矿取得了实际效果。

4.3 找矿方法和探矿手段的研究

4.3.1 找矿方法方面 30多年来找矿方法随着工作深入发展,为适应攻深找盲的需要,开展了多方面的研究,找矿方法从单一的放射性物探方法,逐步发展为同地质、地球物理、地球化学多方面的结合。

现将主要的找矿方法和找矿效果综述如下:

(1)放射性物探方法 60年代研究伽玛场(相对)空间分布规律,分析异常分布规律和特点,从而提高了找矿效果。随后在70年代开展伽玛能谱测量,研制了四道伽玛能谱仪。在一些重要地区开展了地面和航空伽玛能谱测量,取得了丰富的信息和资料。

在氦气找矿方法上有了很大的发展,几十年来先后研究了径迹蚀刻法、 ^{210}Po 法、活性碳法、 α 卡法、氧管法等,这些方法在某些地区得到广泛应用并取得了良好的效果。

(2)地球物理方法 地球物理方法得到进一步应用,如磁激发极化法、激发极化法、地震法、重力法、磁法、电法、少量测量法等,这些方法可以直接取得有关地质构造、盆地基底形态、盖层岩性的划分、隐伏岩体以及与矿化有关的硫化物等深部资料,为分析铀矿成矿条件和控制因素提供了丰富的

信息。

(3) 地球化学方法 水化学找矿方法有了很大发展,在普查选区、揭露评价方面取得了很好的地质成果,研究水中同位素比值找矿法、研制了JU-1型激光荧光测铀仪和改进型抗干扰荧光剂,为我国开辟一条痕量铀测量新途径。

(4) 引进运用遥感和电算技术

遥感技术在70年代中期开始起步,目前在地质工作上的应用得到重视和加强,地质局成立了遥感中心。图像处理由简单影像识别进展为图像增强、信息提取、识别分类等多功能解译方法,在方法上开展了多光谱扫描、红外扫描和侧视雷达等多种方法,图片由单一黑白片发展到彩色片,从国外引进计算机数字图像设备,为我国遥感技术发展提供了条件。遥感技术在找矿、科研方面发挥了很好的作用,得到广大科技人员的重视。

计算机应用在我们铀矿地质系统起步较晚,70年代中期,计算机主要用于成矿元素的相关分析,在1978年之后,逐步对一些地质体进行多变量的综合评价,采用数学理论编制了一系列新的计算程序,80年代试验研究用计算机进行储量计算,并开展一些成矿带和主要矿田的铀量总量预测和评价,取得了较好的成果。目前正在建立各种类型数据库并运用计算机进行技术管理。

4.3.2 探矿工程方面 30多年来,探矿科研工作一直围绕着钻探技术、小口径化和坑道机械化两大重点项目、开展多方面的研究,取得了一批重要成果,表现出了显著的经济效益。

(1) 钻探设备、钻具、钻头基本上实现了系列化,目前已初步实现以绳索取芯钻进技术为主要内容的小口径钻机,小口径钻机已占开动钻机的70%以上,一些主要经济技术指标创历史最好水平,在国内同行业中居领先地位。1985年全局钻探台月效率达到508m,优质孔率达90.2%。

(2) 勘探坑道以“三车一机”(双机液压台车、机车、梭式矿车、电动装运机)为主要内容的机械化作业线已形成。

4.4 室内分析鉴定测试方面

矿物鉴定方面,中南230所在70年代发现芙蓉铀矿、湘江铀矿,核工业北京地质研究院鉴定了斜方铁铀矿、腾冲铀矿等新矿物,出版了铀矿物图册。

室内分析测试方面,1962年制定了“铀钍分析规程”,1970年围绕微量、快速、准确的原则,成功地研究了微量铀、钍分析新方法。1982年研制了铀、钍、镭标准样,填补了我国放射性标准物质的空白。在石家庄建立了模型标定测试中心,模型站与测试中心的建立,统一了我国铀矿放射性测量的计算基准。

5. 情报出版刊物

70年代初开始出版刊物:《放射性地质》(后改为《铀矿地质》)、《国外放射性地质》、《放射性地质简讯》和《经济信息参考》,约2742万字。编写翻译40多种册子。组织召开一些学术性讨论会。建立情报网,向基层提供了大量技术资料。

(责任编辑 仇宝聚;校订 童航寿 冯明月;排版 姜晓东)

硅谜与碱盲

——近代热液成矿学的两大暗区

杜乐天

(核工业北京地质研究院 北京 100029)

Si迁移和K、Na交代是了解全部热液成矿作用的两个关键问题,但却长期没有引起人们足够的重视。不去研究去硅、加碱的机制,要想真正认识热液成矿规律是不可能的。和一般习惯性思维不同,我们认为成矿元素在热液物质运动流中是微量的、被动的从属成分。自然界不存在什么某某元素的成矿作用。除矿源问题受控于地幔和地壳岩石分布不均匀外,同一成矿作用几乎可以形成所有元素的矿床。热液物质系统的主活动成分是碱、硅和酸质挥发分。此3元决定成矿元素释放、活化、迁移、沉淀和富集的命运。在3元中各自起的成矿作用不同,有奇妙的职能分工。在这3者中主控因素是碱金属而硅和酸质是被碱制约的。热液作用都是从碱交代开始的,酸质(包括硅)及成矿元素是碱金属活动的萃取物。碱交代热液是超临界态地幔流体HACONS的冷凝相变产物。

关键词 硅谜 碱盲 碱交代作用

矿床学(包括热液矿床学)如以美国著名学术刊物《经济地质》创刊(1905年)为标记,到现在已有90年历史了。在这漫长时期中尽管世界各国众多的研究者做出了丰硕的成果和总结,但却奇怪地有两个大的疏漏一直存在:

(1)在各类热液矿床中(不论是何种元素矿床),和成矿元素紧密共生的总有大量游离 SiO_2 (石英、玉髓、蛋白石、碧玉、燧石、硅华)。在矿脉和矿层中成矿元素总占少量,其余绝大部分都是石英之类的脉石矿物。也许石英这个矿物太多太简单,反而没能引起人们多大的注意。但它到底是如何产生和演化的?却长期很少研究。因此笔者(1985)称之为“硅谜”。置矿脉中90%以上的主成分于不顾,孤立地去研究存在量相对极少的成矿元素本身,解决成因问题可能是困难的。

(2)在热液脉旁常发育蚀变,特别是碱(主要是K、Na)的带出带人。它是了解成矿作用的又一重要问题。可是实际上,仅少数中外学者给予专门研究,多年来留下的是又一个暗区,这种视而不见的现象可称之为“碱盲”。

在本文中 will 尝试对此二问题以及它们间的相互关系进行破解。

1 硅迁移

本文所提到的硅是指各种状态和粒级的 SiO_2 ,包括充填的、交代的和热沉积的。和常规性概念相反,石英这个很耐风化的矿物在热液作用中却是最不稳定、最易溶解、迁移的矿物之一^[1],特别是在盐类溶液(包括卤水)或碱性溶液中溶解度更大。在自然界这种地质现象很普遍。1704, 1706钠交代铀矿床花岗岩的石英被溶解成空洞,后又被碳酸盐、磷灰石、钠长石、绿泥石及次生石英充填。湖南有一个钾交代铀花岗岩、伟晶岩及混合岩的石英溶为空洞,其中充填沥青铀矿、铀石、冰长石等。法国中央地块马尔亚克及贝尔那当铀矿床的变正长岩实际上是碱交代了的花岗岩,石英溶洞充填了大量铀氧化物及蒙脱石而成为富矿。在华南广大花岗岩地区到处可见花岗岩中有长石局部增多石英显著减少,成为几十厘米到十几公里规模不等的大小长石化团或带,见图1。从图1及表1可以看出,在长石化

中碱带人硅带出, K, Na都带人叫混合交代(305地区); 只有Na带人叫钠交代(塘湾地区)。去硅加碱是同一碱交代作用必然产生的确定性伴生现象。花岗岩在长石化中其石英溶解并向外迁移, 到外带沉淀并形成富石英花岗岩。值得强调, 在长石化过程中花岗岩中的含成矿元素的暗色矿物和副矿物大量破坏、消失, 一系列成矿元素也发生减失迁移, Si迁移和矿质迁移是同步的。在成矿学中困惑地质学家多年的矿源问题一直显得神秘莫测。众说纷云。现在已有充分根据认为矿源(至少相当大的部分)就是来自这被碱交代了的岩石。另外, 硅迁移还是反映碱交代作用存在的确切标志, 凡是大量发育石英脉、硅化带和硅质层的地区不论是陆相还是海相都反映了该区深部有大规模碱交代作用发生和碱交代岩的存在。这一重要的认识飞跃如果说前些年尚不易为人们理解, 那么现在金矿床深部发现越来越多的长石化、云母化交代岩的全球性事实应当给人们以新的启迪。其它矿种如Fe, Cu, Pb, Zn, Mo, W等等矿床也有此规律。

国内外曾对石英的溶解做过大量的实验, 归纳起来主要规律是: ①在碱性溶液中石英溶解度最大(表2), 中和作用(即降低碱性)是 SiO_2 沉淀的重要因素。在酸性介质中(pH 为4—7) SiO_2 有最大的沉淀量。碱交代岩形成会使热液大量耗碱而酸化, 构成了后期硅质、矿质沉淀成矿的大前提。因此, 前期碱交代乃是后期酸质沉淀场中成矿绝不可少的先决条件; ②温度特别是压力加大会使石英的溶解度急剧增高。从深部上升的热液到浅部减压降温就导致石英大量沉淀。石英等硅质沉淀是热液中矿质沉淀和浓集的保证。

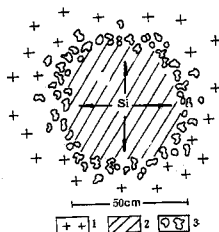


图1 碱交代体状态示意图

1——花岗岩; 2——碱交代岩; 3——富石英花岗岩。

注: 箭头示硅迁移方向

表1 花岗岩与碱交代岩化学成分(%)

	305地区			塘湾地区		
岩石样品	SiO_2	K_2O	Na_2O	SiO_2	K_2O	Na_2O
原岩	73.11	4.37	2.94	68.11	5.86	2.94
碱交代岩	67.13	5.98	6.10	66.65	0.54	8.96
富石英花岗岩	77.83	4.53	3.28	75.19	4.54	3.53

注: 资料引自王炎盛。

人工合成压电石英的实验至今已60年历史。但实验结果的地质意义却很少为矿床学界注意。其实这正是一个理想的模拟石英脉形成的成功实验(图2)。在热压釜中注入5% Na_2CO_3 (或 K_2CO_3)浓度的溶

液, 内压力 > 100mPa, 在 400℃ 到 380℃ 的温度差下釜底的碎块石英原料不断溶解, 溶液在温差下对流, 溶解的 SiO_2 到釜顶, 由于温度降低 20℃, 过量的部分将沉淀在下悬的小石英雏晶之上^[2]。78 天后此雏晶可长到 1000g 以上大晶体石英。这一过程和自然界碱交代造成石英脉极为接近。碱交代热液也多是 Na_2CO_3 或 K_2CO_3 型(在碱交代后期普遍出现碳酸盐化就是证明)。

表 2 石英在水中溶解度 ($\times 10^{-6}$)

温度℃	pH=5	pH=6	pH=7	pH=8	pH=9	pH=10
100	66	66	66	74	149	890
150	144	144	144	168	372	2400
200	262	262	264	288	463	2880

据: 纳乌莫夫, 1978

除了上述岩石中原来的石英简单的溶解以供硅源外, 其它矿物蚀变也可供硅, 例如斜长石的绢云母化, 辉石、角闪石的绿泥石化、绿帘石化。但是我们在本文后面将看到这些蚀变也只有在碱交代作用中才能强烈发育。

2 碱带入

碱带入就是碱交代, 热液中碱金属(主要是 K^+ , Na^+ , 另外还有 Li^+ , Rb^+ , Cs^+)在蚀变中会从热液中进入固相岩石而形成碱金属硅铝酸盐蚀变矿物。对碱交代作用是不能光从名称上简单加以理解的, 这一命题至少包括以下内涵: ①碱是指碱金属, 不指碱性溶液, 它可以是碱性(当碱强度 > 酸强度时)也可以是中性的(碱强度和酸强度相等时)^①。如热液中主要是 Na_2CO_3 , K_2CO_3 (有时还经常有大量的 Na_3PO_4 , K_3PO_4 , Na_2TiO_3 , K_2TiO_3), 它们都是强碱弱酸盐, 因而热液呈碱性, 铀矿中经常出现磷—铀型、钽—铀型, 就是这类碱交代热液造成的; 如果热液中溶解的是强碱强酸盐类, 例如 NaF , KF , NaCl , KCl , Na_2SO_4 , K_2SO_4 等之类, 则碱交代热液呈中性; ②在交代作用命名中虽然只突出了交代, 但也包括充填。被交代出来的成分到了浅部减压区就发生充填, 这是上下不可分割的一个整体。在碱交代带中会产生一个基本的垂上部为氢交代(或称酸交代), 酸—碱分离, 上酸下碱(图3)。碱交代岩在深部, 中性交代蚀变岩分布于中部, 充填物在浅部。矿主要在酸交代充填区; ③在命名中虽只强调碱, 但并不是忽视酸成分的重要^[4]。实际上碱交代热液都是盐类溶液(气体除外)。酸碱中和即生成盐类, 酸碱总是共存。这里存在着一个奇妙的分工, 热液盐类中的碱阳离子对岩石、矿物起破坏分解作用, 产生了一个重要后果, 这就是成矿元素的释放自此出现矿源, 成了全部成矿作用的开始; 释放出来的矿质又恰好被盐类的另外一半成分酸性阴离子带走。碱离子的存在可保证络合物稳定迁移, 随热液流向减压降温区沉淀、充填成矿。总之,

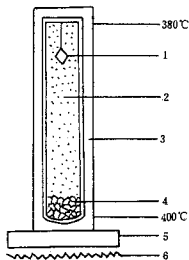


图 2 人造石英装置

1—晶芽、雏晶; 2— $F=0.80$, Na_2CO_3 溶液(5%); 3—热压釜; 4—碎石英料; 5—底座; 6—加热器。

① 在本文酸碱是采用化学中传统概念, 没有使用软硬酸碱观点