

CNIC-00924

BRIUG-0020

CN9501920

# 中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE  
AND TECHNOLOGY REPORT

锆石特征及铀含量在铀成矿远景评价中的意义

THE SIGNIFICANCE OF ZIRCON  
CHARACTERISTIC AND ITS URANIUM  
CONCENTRATION IN EVALUATION OF  
URANIUM METALLOGENETIC PROSPECT

*(In Chinese)*



中国核情报中心  
原子能出版社

China Nuclear Information Centre  
Atomic Energy Press

OL 27 01



李耀崧：核工业北京地质研究院研究员级高级工程师，1956年毕业于北京地质学院金属和非金属矿产地质及勘探专业。1963年毕业于苏联科学院地球化学及分析化学研究所铀矿床地球化学专业。

Li Yaosong: Professor of Beijing Research Institute of Uranium Geology, CNNC. Graduated from Beijing Geological College in 1956, majoring in metallic and nonmetallic mineral geology and exploration, and graduated from Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Academy of Sciences of the USSR in 1963, majoring in geochemistry of uranium ore deposits.

CNIC-00924

BRIUG-0020

# 锆石特征及铀含量在铀成矿 远景评价中的意义

李耀荃 朱杰辰 夏毓亮

(核工业北京地质研究院)

## 摘 要

从物理性质及化学成分两方面研究了锆石特征及其与铀成矿作用的关系。表明锆石晶体颜色与铀含量有关；在普平的锆石群型研究法基础上，设计了锆石群型分区图，得出产铀矿岩体的锆石群型主要在Ⅰ区，其次为Ⅳ区；锆石中的U和Th, Hf, Ta呈同步增长趋势；产铀矿地质体中锆石铀含量明显增高，其灵敏度远大于岩石铀含量；锆石铀含量高的时代往往与该地区该时期产出铀矿的情况较好有关。统计了1785个数据的锆石平均铀含量，得出了明显的规律，即锆石平均铀含量在产铀矿好的地区、岩类、地质体及成矿带均高于在成矿不好或非产铀矿的地区、岩类、地质体及成矿带者。由此可见，区域上锆石平均铀含量实际上反映了区域含铀的原始背景值，其高低直接制约着尔后铀成矿的可能性。在此基础上评述了已知铀成矿带和远景区的铀源条件，并对81片地区岩浆岩的锆石平均铀含量作了对比分级，提出了值得进一步工作的地区。

# **THE SIGNIFICANCE OF ZIRCON CHARACTERISTIC AND ITS URANIUM CONCENTRATION IN EVALUATION OF URANIUM METALLOGENETIC PROSPECT**

*(In Chinese)*

Li Yaosong Zhu Jiechen Xia Yuliang

(BEIJING RESEARCH INSTITUTE OF URANIUM GEOLOGY)

## **ABSTRACT**

Zircon characteristic and its relation to uranium metallogenetic process have been studied on the basis of physics properties and chemical compositions. It indicates that the colour of zircon crystal is related to uranium concentration; on the basis of method of zircon population type of Pupin J. P., the sectional plan of zircon population type has been designed, from which result that zircon population type of uranium-producing rock body is distributed mainly in second section, secondly in fourth section; U in zircon presents synchronous increase trend with Th, Hf and Ta; the uranium concentration in zircon from uranium-producing geologic body increases obviously and its rate of increase is more than that of the uranium concentration in rock; the period, in which uranium concentration in zircon is increased, is often related to better uranium-producing condition in that period of this area. 1785 data of the average uranium concentration in zircon have been counted and clear regularity has been obtained, namely the average uranium concentrations in zircon in rich uranium-producing area, rock, geologic body and metallogenetic zone are all higher than that in poor or no uranium-producing area, rock, geologic body and metallogenetic zone. This shows that the average uranium concentration in zircon within the region in fact reflects the primary uranium-bearing background in region and restricts directly follow-up possibility of uranium mineralization. On the basis of this, the uranium source conditions of known uranium metallogenetic zones and prospective provinces have been discussed, and the average uranium concentrations in zircon from magmatic rocks for 81 districts have been contrasted and graded, and some districts in which exploration will be worth doing further are put forward.

运用矿物找矿是一种普遍而重要的方法。在评价铀成矿远景问题上,作为岩石中副矿物形式产出的锆石早已被人们所重视,国内外均有过一些探索性研究。然而在我国广大疆域内却未曾有过系统的研究或结合铀成矿远景方面的评述,本课题就是在此前提下立项的。我们制定的研究方针是:一方面解剖锆石物理、化学特征在产铀矿及不产铀矿的地质体中的不同表现,以便优选出能指示铀源的锆石标型特征;另一方面瞄准了较有实用价值的锆石铀含量作为评价产铀远景的重要指标。

## 1 锆石若干物理特征与铀及铀成矿作用的关系

### 1.1 锆石的物理特征研究

锆石是岩浆岩、变质岩中常见的副矿物。锆石的结晶形态、颗粒大小、颜色、透明度、光泽等特征常受到矿物形成时的物理、化学环境的影响而出现多种变化。本工作观察、统计了12个地质体中40件锆石样品的上述物理特征,并试图探讨它们与锆石铀含量的变化关系。观察结果表明,颜色与铀含量有关,同一岩石样品中,深色锆石的铀含量高于浅色锆石的铀含量,浅色锆石的铀含量高于无色锆石的铀含量。如洁源流纹斑岩中同时代浅棕黄色锆石的铀含量为 $2014 \times 10^{-6}$ ,浅黄色锆石铀含量为 $717 \times 10^{-6}$ ,无色透明锆石铀含量为 $494 \times 10^{-6}$ ,三者铀含量相差明显,其他地区的情况亦如此。故在发现某岩石中深色锆石较多时,预示这类岩石中锆石铀含量可能较高,赋存这种锆石的地质体可能具有产铀矿的潜力。另外,同一样品中锆石的个体结晶形态与其铀含量大小没有本质上的相关或制约关系。

### 1.2 锆石晶体中铀及某些微量元素的分布

采用JXA-8600型电子探针分析仪测定了我国不同地区八颗锆石晶体的主要成分及部分微量元素。锆石晶体为自形,多为长柱状,其长一般大于 $200 \mu\text{m}$ ,宽 $100 \pm 30 \mu\text{m}$ ,长宽比1.15~3.0不等。分析结果表明:

(1)  $\text{UO}_2$ 含量在大多数测点上小于检测极限( $<0.15\%$ ),可检测点数占总点数的16%左右。 $\text{UO}_2$ 含量不等,多数变化在0.8%~3%范围内,有一个测点高达6.595%。如苗儿山岩体Ag27C颗粒共测定了15个点,其中有6个点高于检测限, $\text{UO}_2$ 含量为0.817%~2.802%,平均为 $(1.453 \pm 0.823)\%$ ,高值为低值的3.6倍。Ag27D颗粒共测20个点,其中有9个点高于 $\text{UO}_2$ 检测限,含量变化范围为0.874%~1.930%,平均为 $(1.389 \pm 0.397)\%$ ,这两颗锆石的 $\text{UO}_2$ 高点值都分布在颗粒的边缘或近边缘部位。

(2)  $\text{ThO}_2$ 含量:八颗锆石共测定的135个测点中仅有5个测点高于检测极限值( $\text{ThO}_2 > 0.14\%$ )。  $\text{ThO}_2$ 含量变化在0.666%~3.740%范围内。 $\text{ThO}_2$ 含量高的点, $\text{UO}_2$ 含量也较高。

(3)  $\text{ZrO}_2$ 含量在所有测点上都有测值, $\text{HfO}_2$ 含量变化较大,绝大多数测点均小于检测极限( $\text{HfO}_2 < 0.5\%$ ),能检测的点中 $\text{HfO}_2$ 含量变化在1.016%~2.505%范围内。 $\text{HfO}_2$ 含量高的测点往往伴随着U、Th含量的增高,如Ag27C、Ag27D。

以上情况表明,元素在各测点(微区)上的分布是不均匀的,特别是微量元素的分布更加明显。铀含量高的测点主要分布在锆石晶体的边缘。

### 1.3 锆石结晶形态群型特征研究

锆石不仅结晶形态多样,而且形态的变化与晶出的地质条件有着极其密切的关系,常常被作为指示形成环境的标型矿物。法国南锡岩石矿物实验室的普平(Pupin, J. P.,

1980) 花费了十多年时间, 通过对二百多个岩体的研究和观测而提出了一种以研究锆石形态为基础的岩石成因分类方法。

普平的研究认为: 岩浆的化学成分和结晶温度是控制锆石晶形发育的基本因素。具体地说, 介质的成分决定锆石锥面的发育, 结晶温度的高低决定锆石柱面的发育。普平把一定的晶形组合称为群型, 设计的锆石群型分布图为正方形, 纵、横坐标分别为温度指数 (IT) 和碱度指数 (IA)。这两种指数分别定义为  $100 \sim 800$ , 将坐标平均分为八等分, 纵坐标从上往下温度指数增加, 横坐标从左到右碱度指数增加, 不同的锆石类型分布在图上, 横向上标出  $x$ 、 $p$  面相对发育程度, 纵向上标出  $m$ 、 $a$  面的相对发育程度。

每个样品精选出  $120 \sim 150$  颗晶形较完全的锆石颗粒, 在双目镜下逐粒仔细观察, 以普平的分类原则鉴定, 并将鉴定颗粒的形态 (柱面、锥面发育情况) 分别标示在图的相应位置上, 然后统计各种形态的锆石颗粒数目, 求出其频率值。本研究工作共统计了 46 件样品, 其中包括花岗岩、闪长岩、流纹岩、石英粗面岩及部分沉积变质岩中的锆石。为了简化读图和便于对比, 将普平的图型划分为五个个区 (见图 1)。其中无柱面一行及锥面为 (301) 即  $u$  面一列划为特殊区 (V 区), 在统计样品中比较罕见。其余划分为四个区, 各区晶面发育特征大体上归纳为:

- I 区:  $a (a > m) - x (x \geq p)$
- II 区:  $a (a > m) - p (p > x)$
- III 区:  $m (m \geq a) - x (x \geq p)$
- IV 区:  $m (m \geq a) - p (p > x)$

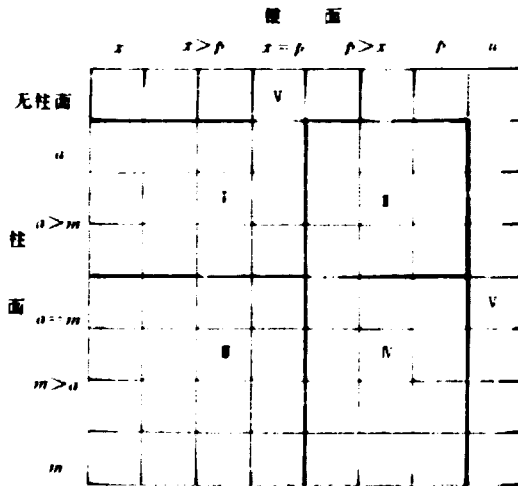


图 1 锆石群型分区图

观测统计结果表明, 多数样品发育有一种主要锆石晶形, 分布在一个区内。部分样品中锆石发育有两种主要晶形, 跨越于两个区。将已观察和统计的 46 件样品中锆石的群型组合特征综合得出如下认识:

(1) 同一地区, 同一时代, 岩石类型相近的地质体, 锆石群型基本相近, 绝大多数归

划在同一区内,同一地区,不同时代,不同岩石类型的锆石群型往往有较明显的差异。

(2) 我国产有大型铀矿床的一些岩体,如诸广山岩体、贵东岩体、苗儿山岩体、会昌岩体及桃山岩体等,锆石群型主要集中在Ⅰ区,以柱面 a 和锥面 p 发育为特点,其次分布在Ⅱ区,发育柱面 m 和锥面 p。

(3) 产铀矿的火山岩及其浅成侵入体和正长岩类的锆石群型基本集中在Ⅱ区,即发育 m 单一柱面和 p 锥面。

(4) 非产铀矿地质体中锆石群型分布比较分散,各区均有,以Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ区为主,Ⅰ区其次。

## 2 锆石若干化学特征与铀成矿作用的关系

### 2.1 不同地质体中锆石的 U、Th 含量

#### 2.1.1 锆石样品的中子活化分析结果

在燕辽地区不同地质体中采集了 22 件锆石样品,采用中子活化法分析了 U、Th 含量,按各地质体中铀矿产出情况分别加以统计,其平均值列入表 1,可见产铀矿地质体中锆石的 U、Th 含量一般均远大于非产铀矿地质体中锆石的 U、Th 含量;产铀矿地质体中锆石铀含量一般大于  $1000 \times 10^{-6}$ 。

#### 2.1.2 若干岩体锆石 U、Th 平均含量的比较

收集了 8 个岩体的锆石铀、钍含量资料,将其平均值列入表 2,与上例结果一样,产铀矿岩体锆石的 U、Th 平均含量也是远大于非产铀矿岩体锆石的 U、Th 平均含量;产铀矿岩体锆石铀含量不仅大于  $1000 \times 10^{-6}$ ,而且有的达  $3000 \times 10^{-6}$  以上。

表 1 燕辽地区不同情况地质体中锆石平均 U、Th 含量 ( $10^{-6}$ )

地质体情况	U	Th
产铀矿岩体 (5)	1383	2185
非产铀矿岩体 (8)	405	552
非产铀矿变质岩 (9)	218	290

注:括号中数字为样品数。

表 2 产铀矿与非产铀矿岩体锆石中 U、Th 平均含量对比 ( $10^{-6}$ )

岩体名称	产铀矿否	U	Th
连山关岩体 (辽宁)	是	1405 (15)	769 (15)
牧护关岩体 (陕西)	是	1955 (10)	2450 (6)
诸广山岩体 (湘赣粤)	是	1817 (37)	706 (38)
苗儿山岩体 (广西)	是	3168 (22)	1312 (22)
西阳岩体 (吉林永吉)	非	337 (10)	200 (11)
鹿杖子岩体 (河北)	非	775 (8)	427 (8)
峰山岩体 (山东邹县)	非	399 (6)	231 (6)
台马岩体 (广西)	非	481 (4)	233 (3)

注:括号中数字为样品数。

#### 2.1.3 不同岩性岩石中锆石的铀含量

统计了两广地区不同深成岩类岩石中锆石的铀含量情况, 结果见表 3。由表可见, 锆石铀含量随岩石由酸性至中性而减小, 这与岩石铀含量的变化趋势类似, 而变化数值更为明显。据目前所知, 酸性岩石与铀矿形成关系密切, 根据锆石铀含量来判别将具有更明显的效果。

表 3 两广地区不同深成岩类锆石平均铀含量对比 ( $10^{-6}$ )

省 区	花岗岩	二长花岗岩	花岗闪长岩	闪长岩
广 东	2218 (63)	1519 (29)	1445 (14)	568 (4)
广 西	2503 (54)	1300 (3)	1181 (11)	779 (3)

注: 括号中数字为样品数。

另外, 火山岩中锆石铀含量有自己的特点, 即使是产铀矿的地区, 其锆石平均铀含量也显著低于邻近省区产铀矿侵入岩中的锆石平均铀含量。据四个产铀矿火山岩区的锆石铀含量统计, 它们的平均值都小于  $1000 \times 10^{-6}$ , 不过已测定的极大值往往都在  $2000 \times 10^{-6}$  上下, 锆石铀含量变化较大可能是产铀矿火山岩的特点。

## 2.2 锆石铀含量与全岩铀含量的对比

本文统计了 66 件样品的锆石和全岩铀含量资料, 其中产铀矿地质体样品占 26 件。将它们作回归分析, 得出线性回归和幂回归的效果都较好。线性回归方程为  $y = 671 + 81.2x$ , 相关系数  $r = 0.6321$  (见图 2a); 幂回归方程为  $y = 6.11x^{0.4444}$  (见图 2b)。两种回归分析的相关系数在 0.05 甚至 0.01 的显著性水平上均能满足回归统计要求, 说明岩石铀含量 ( $x$ ) 与锆石铀含量 ( $y$ ) 呈线性或幂式正相关关系。简单来说, 即锆石铀含量与全岩铀含量具有良好的正相关关系。另外, 产铀矿地质体和非产铀矿地质体的数据点分布各有其特点: (1) 大多数非产铀矿地质体的锆石铀含量小于  $1000 \times 10^{-6}$ , 其全岩铀含量则小于  $10 \times 10^{-6}$ , 且主要是小于  $5 \times 10^{-6}$ ; (2) 产铀矿地质体当全岩铀含量变化不大时, 其锆石铀含量呈急剧增长趋势。所以, 锆石铀含量作为产铀远景的评价指标, 其灵敏度远大于全岩铀含量。

## 2.3 锆石中稀有元素特征及其与铀含量的关系

根据 22 件样品中子活化分析的结果 (数据略), 可得如下认识:

### 2.3.1 锆石铀含量与其他元素含量的关系

对 22 件样品分析结果的相关分析如下:

	Ta	Hf	Zr	Th	U	REE
REE	0.2976	0.4013	-0.2318	0.8340	0.7837	1.0000
U	0.7519	0.5470	-0.3173	0.9487	1.0000	
Th	0.6441	0.5261	-0.3077	1.0000		
Zr	-0.1769	0.2992	1.0000			
Hf	0.3894	1.0000				
Ta	1.0000					

上表情况表明: 铀含量与 Th、REE 及 Ta 含量呈较高的正相关关系, 说明它们之间具有同步增长关系。铀含量与钍含量呈较低的正相关, 而与锆含量呈负相关, 因为铀是取代锆进入锆石晶体的。

### 2.3.2 锆石中稀土元素特征



稀土元素是锆石中常见的混入物，其总量常大于万分之几，甚至达百分之几。从<sup>1</sup>对22件不同地质体中锆石的分析结果来看，可归纳出以下特点：

(1) 产铀矿老岩体中的锆石轻稀土含量比非产铀矿老岩体中锆石的轻稀土含量高一个数量级，而重稀土含量两者差别不大。稀土配分曲线表明，产铀矿老岩体锆石中铈显著亏损，稀土配分曲线呈“V”字型，非产铀矿老岩体锆石中铈表现不规律，稀土配分曲线呈左倾斜型。

(2) 中生代产铀矿火山岩锆石样品的稀土总含量比中生代非产铀矿岩体锆石样品高出两倍。稀土配分曲线表明均为左倾斜型，产铀矿火山岩锆石的铈显著亏损，而非产铀矿岩体锆石的铈亏损不显著。

(3) 非产铀矿的老变质岩，其稀土含量中一般均为轻稀土大于重稀土。稀土配分曲线显示重稀土量较集中，各样品差别不大；而轻稀土量明显分散，各样品含量差别悬殊。

### 2.3.3 锆石中铀与钽含量的关系

将上述铀和钽含量作线性回归，得线性相关系数 $r=0.7519$ ，满足回归统计要求（0.05显著性水平），其线性方程为 $y=1.17 \pm 0.0187x$ ，据此来区别产铀矿与非产铀矿地质体的情况，可以得出三点认识：（1）钽随铀的含量增高而增高，两者呈正相关关系；（2）非产铀矿地质体中锆石的铀含量一般低于 $700 \times 10^{-6}$ ，钽含量一般低于 $8 \times 10^{-6}$ ；（3）产铀矿地质体中锆石的铀含量有较大增加，同时钽含量也随之大幅度增加。

2.4 锆石铀含量与形成时代的关系

前人研究得出，我国中酸性岩浆岩锆石铀含量有随着形成年龄的增加（由新到老）而减少的趋势，现在看来，这仅仅是个大概的趋势而已，更重要的还是各时代的锆石铀含量与地质背景密切相关。考虑到我国南、北方在地质背景上有较大的差别，本工作收集的1785件样品按北方、南方分别统计，并将其划分为七个时间段落。为此，我们把华北、东北、西

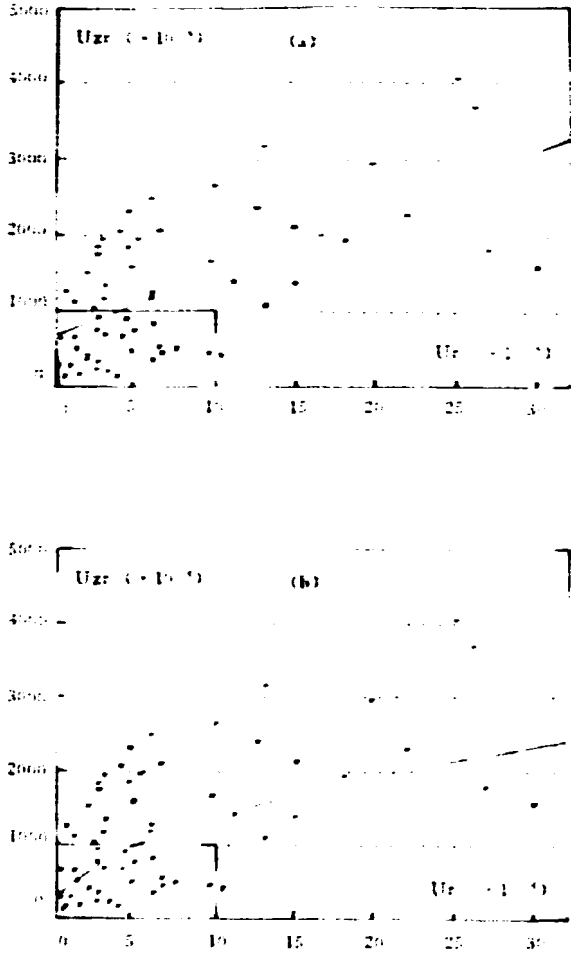


图2 岩石铀含量(X)与锆石铀含量(Y)关系图  
a. 线性回归; b. 幂回归

北地区和河南、山东两省，以及湖北、安徽两省的大别山地区统称其为北方，全国其他地区统称其为南方，样品数按时代分布情况如表4所示。

表4 各时代锆石样品分布情况(单位:样品件数)

时代	中、新生代	晚古生代	早古生代	晚元古宙	中元古宙	早元古宙	太古宙	合计
年龄范围 (Ma)	<250	250~405	405~570	570~1000	1000~1800	1800~2500	≥2500	
北方	346	83	41	61	41	350	181	1103
南方	450	27	83	60	34	28	/	682
合计	796	110	124	121	75	378	181	1785

上表表明,已测定的锆石样品主要属于中、新生代及早元古宙,说明这两个时间段落的地体分布较广和研究程度较高,其次是太古宙的样品,而且早元古宙和太古宙的样品主要产于北方,这与华北地台产出大面积古老花岗岩及变质岩有关。

将收集的全部现测锆石铀含量数据按北方地区、南方地区分别统计,所得结果如表5所示。

表5 中国北方、南方各时代锆石平均铀含量( $10^{-4}$ )

时代	中、新生代	晚古生代	早古生代	晚元古宙	中元古宙	早元古宙	太古宙
代号	I	II	III	IV	V	VI	VII
年龄范围 (Ma)	<250	250~405	405~570	570~1000	1000~1800	1800~2500	≥2500
北方	993 (291)	817 (59)	695 (23)	345 (51)	833 (41)	508 (20)	511 (157)
南方	1698 (433)	1213 (27)	1257 (80)	869 (58)	357 (31)	665 (24)	-

注:括号内数字为样品数。

各时代锆石平均铀含量有以下特点:

(1)总的演化趋势是时代愈新,锆石铀含量愈高,但中间有起伏,这在南、北方均如此。

(2)显生代的锆石平均铀含量在南方地区远大于北方,尤其是南方中、新生代锆石平均铀含量最高,达 $1698 \times 10^{-4}$ ,这主要是华南地区中生代花岗岩类所造成,是产铀矿的地质背景。

(3)中元古宙的锆石铀含量在北方和南方有较大差别,此时在南方地区呈现低谷,而北方地区则高达 $833 \times 10^{-4}$ ,这正好与华北地台发育有17~18亿年的成铀期相吻合。

因此,锆石铀含量随时代变新而增高的趋势并非绝对规律,而主要还是与具体地质演化史有关,并能显示产铀地质背景,按地区分别统计后即可看到辽宁省的老岩体锆石铀含量大于显生代岩体,这与该区老岩体中产铀矿情况好一致;内蒙古和陕西地区则是显生代岩体锆石铀含量大于老岩体,也与该区显生代岩体产铀矿情况较好有关,河北、山东地区据目前所知产铀矿情况不算好,锆石铀含量也显得低,且新老时代差别不大,老变质岩中的锆石铀含量较高的,也显示该区产有铀矿化现象。

### 3 中国区域性锆石铀含量与铀成矿作用的关系

鉴于锆石铀含量高低与铀矿床产出与否有一定联系,本工作除具体采样进行研究外,还

尽可能收集了全国范围内已测定锆石铀含量的数据, 主要是锆石 U-Pb 同位素年龄测定数据, 以便进行系统的统计研究, 全部数据共计 1785 个, 远远多于已知同类研究工作所涉及的数据, 因此, 它首先反映了研究结果具有较好的代表性和可靠性; 其次, 前人大多只对岩浆岩做工作, 而本工作扩大到变质岩地区, 尤其是华北地台的一些古老变质岩区也有铀矿产出。

为了统计结果具有较好的代表性和可靠性, 统计中采用了格鲁布斯离群值检验法 (秦建侯等, 1989), 目的是判断数据中是否存在异常值, 如存在异常值则将进行舍弃, 所获数据不得进行人为挑选, 完全是随机的, 检验法采用显著性水平为 0.05, 全部计算过程由计算机程序自动进行, 因而有时实际统计数要小于样品数。

### 3.1 产铀矿地区与非产铀矿地区的锆石铀含量对比

为了较醒目地对比产铀矿地区与非产铀矿地区锆石铀含量的差别, 特选择了目前对铀矿产出比较清楚的几个省区, 在这些省区内可以明显地划分出产铀矿情况好的和不好的地区, 对比它们的平均铀含量, 结果如表 6 所示。

由表 6 可见, 辽宁省的鞍山-本溪地区 (包括连山关岩体)、凤城-宽甸地区以及营口-海城地区产出铀矿的情况较好, 锆石平均铀含量均大于  $1000 \times 10^{-6}$ , 其余地区的锆石平均铀含量均较低 ( $536 \sim 638 \times 10^{-6}$ ), 陕西境内陕东南的蓝田、丹凤一线产出铀矿的情况较好, 宝鸡地区亦如此, 它们的锆石平均铀含量均在  $1000 \times 10^{-6}$  以上, 唯陕西南汉中一带, 产铀矿情况较差, 其锆石平均铀含量仅  $346 \times 10^{-6}$ , 广东省内的铀矿主要产出在粤北和粤东地区, 这两地区的锆石平均铀含量就较高, 而其余三片地区的锆石平均铀含量则低得多, 广西北部苗儿山、摩天岭是有名的产铀矿地区, 其锆石平均铀含量高, 桂东北也是有铀呈矿现象的, 而桂东南地区产铀矿较差, 锆石平均铀含量也较低, 在某些省区内区别不同时代、不同岩类的地质体, 分别统计产铀矿和非产铀矿地质体的锆石平均铀含量, 它们之间也显示出明显的差异, 表 7 表明, 在辽宁、山西、陕西三省内对同一类别的地质体统计结果, 产铀矿地质体的锆石平均铀含量均高于非产铀矿地质体的锆石平均铀含量, 有的差别还相当明显, 如辽宁和陕西的显生宙岩体中的锆石平均铀含量。

表 6 某些省区内不同地区锆石平均铀含量 ( $10^{-6}$ )

地 区	样品数	U	地 区	样品数	U
辽宁: 连山关岩体	26	1409	宝鸡地区	10	1752
鞍山-本溪地区	58	1129	广东: 粤北地区	36	2405
凤城-宽甸地区	42	1071	粤东地区	45	1872
营口-海城地区	23	1083	从化-云浮地区	15	1001
山海关-兴城地区	9	638	粤西沿海	22	1634
金县-新金地区	15	566	粤西云开大山	28	703
清原-西丰地区	11	536	广西: 苗儿山岩体	22	3158
宁城-建平地区	10	619	摩天岭岩体	24	1268
陕西: 陕东南地区	39	1287	桂东北地区	12	2793
陕西南地区	15	346	桂东南地区	28	900

从华南湘、赣、粤、桂四省区的情况来看, 主要是显生宙的岩体, 其中广东、广西两

省区产铀矿与非产铀矿岩体锆石平均铀含量差别相当明显，一般产铀矿岩体的锆石平均铀含量高于非产铀矿岩体，尤以γ5的锆石平均铀含量最高。湖南、江西两省的情况有些类似，只是两者差别小一些。总之，产铀矿地质体锆石平均铀含量往往是较高的，而锆石平均铀含量较高的地质体目前并非都发现有铀矿，这说明锆石平均铀含量高是判别铀成矿远景的重要指标，但非唯一指标，还必须进一步探索其它影响因素。

表7 产铀矿与非产铀矿地质体锆石平均铀含量对比 (10<sup>-6</sup>)

省区	地质体类别	产铀矿地质体	非产铀矿地质体
辽宁	老岩体	1293 (36)	1139 (15)
辽宁	显生宙岩体	1592 (4)	889 (45)
辽宁	老变质岩	871 (38)	613 (38)
山西	老变质岩	1193 (10)	897 (15)
陕西	显生宙岩体	2253 (21)	768 (20)

注：括号中数字为样品数。

### 3.2 区域性锆石铀含量的背景值

上述情况表明，产铀矿地质体或产铀矿地区锆石平均铀含量往往较高可能与区域性铀含量背景值高有关。为此，对目前已知铀成矿带或远景区的锆石平均铀含量加以讨论将是有益的。根据已有材料的统计，结果如表8所示。

表8数据表明：

(1) 从岩浆岩中锆石平均铀含量来看，除燕山、桂南两个二级铀成矿带的铀源条件较差外，其余花岗岩地区的锆石平均铀含量均超过  $1000 \times 10^{-6}$ ，其中雪峰、南岭及桃山三个铀成矿带甚至超过  $2000 \times 10^{-6}$ 。长江中下游铀成矿远景区为正长岩、斑岩区，赣杭铀成矿带为火山岩区，它们的锆石平均铀含量似乎与花岗岩区不能用同一尺度来衡量，可能其成矿的铀源不完全取决于上地壳，而与深部来源有关。

(2) 从变质岩中锆石平均铀含量来看，辽东铀成矿带和北秦岭铀成矿远景区比较富铀。

(3) 表8中引入了活化参数  $H$ ，它是铀含量的平均值和标准差的乘积，反映了不仅平均值高、且离散度大者的活化程度高，对铀成矿有利。这一参数曾被用于岩石铀含量中作为评价指数，此处只能指锆石所赋存的地质体形成前古老铀源的活化情况。从地质演化的继承性角度来看，用于锆石铀含量中作评价指数仍能有所反映。从表8中数据看，南岭、桃山、雪峰、南天山、辽东等铀成矿带及北秦岭铀成矿远景区表现出不仅锆石平均铀含量高，且活化参数也大。辽东铀成矿带的变质岩中锆石平均铀含量高，活化参数也大。所有这些情况均说明这些地区的基底岩石铀含量高，重熔、改造时铀的活动性大，给尔后的铀成矿作用准备了条件。

### 3.3 锆石铀含量背景值高是产铀矿地质体的重要特征

据国外学者80年代的研究认为，侵入岩中锆石的铀含量通常反映了原始岩浆的铀含量，在结晶作用以后，变质作用（低于麻粒岩相）、形变作用和风化作用等都不影响存在于锆石中的铀。虽在这类过程中全岩铀含量可以变化很大，但锆石的铀含量可能仍然比较恒定。因此，有理由认为锆石的铀含量能够用来指示代表主要铀源岩石的含铀情况 (Rush S. M. 1982)。另有研究指出，锆石的铀含量是一个反映出铀在变质地区内活动情况的估价因素。锆石中的铀含量随着变质程度的增加，其总的区域倾向逐渐降低 (Watson J. et al.

1982)。本研究工作的结果证实了上述论点基本上是正确的,同时还认为锆石平均铀含量实际上是反映了区域含铀的原始背景值,其高低直接制约着尔后铀成矿的可能性。

根据前面的论证可以说明,锆石铀含量背景值高是产铀矿地质体的重要特征。不同类型的地质体表现有所不同,大致的趋势是:

表 8 中国某些已知铀成矿带及远景区的锆石中平均铀含量

成矿带区	全部 锆石			岩浆岩中 锆石			变质岩中 锆石					
	样品数	平均值 ( $10^{-6}$ )	标准差 ( $10^{-6}$ )	活化参数	样品数	平均值 ( $10^{-6}$ )	标准差 ( $10^{-6}$ )	活化参数	样品数	平均值 ( $10^{-6}$ )	标准差 ( $10^{-6}$ )	活化参数
辽东铀成矿带(二级)	82	1145	787	901115	21	1460	913	1332980	60	999	657	656343
燕山铀成矿带(二级)	189	513	296	151848	146	551	290	159790	43	384	280	107520
泰山铀成矿远景区	38	805	729	586845	19	1194	867	1035198	19	415	142	58930
北秦岭铀成矿远景区	68	1262	993	1253166	41	1346	923	1242358	23	734	403	295802
龙首山铀成矿带(二级)					5	1330	692	929670				
南天山铀成矿带(二级)					18	1767	1059	1871253				
雪峰铀成矿带(一级)					26	2259	1232	2783088				
长江中下游铀成矿远景区					17	910	637	579670				
南岭铀成矿带(一级)					62	2241	1319	2955879				
闽杭铀成矿带(一级)	73	696	361	265176	58	740	397	293780	15	522	252	131544
桃山铀成矿带(一级)					24	2234	1323	2955582				
黔北铀成矿带(二级)	54	1079	588	634452	43	1182	600	709200		680	321	218280
桂南铀成矿带(二级)					28	900	389	350100				
滇西铀成矿带(二级)					6	1667	680	1135560				

注:成矿带及其级别划分的根据是管理部门内部文件,部分没有样品的带区未列出;活化参数  $H = \text{平均值} \times \text{标准差}$ 。

(1) 侵入岩区在北方是大于  $1000 \times 10^{-6}$  者产铀矿情况较好,华南显生宙花岗岩则要大于  $1500 \times 10^{-6}$  ( $\gamma_3 > 1000 \times 10^{-6}$ ,  $\gamma_5 > 2000 \times 10^{-6}$ ) 才是可能的产铀矿区。

(2) 北方产铀矿变质岩区的锆石含铀背景值要大于  $800 \times 10^{-6}$ ,南方则缺乏这样的地质体。

(3) 火山岩区锆石含铀背景值普遍较侵入岩区低,大于  $600 \times 10^{-6}$  者即是产铀矿地区的反映。

(4) 对于沉积型或沉积再造型铀矿远景区如二连、北祁连、南秦岭等处,由于缺乏锆石样品资料而无法评述,然而像雪峰铀成矿带那样含铀背景值高,说明基底含铀性好,对晚期沉积、淋积型铀矿的形成有利。

#### 4 利用锆石铀含量评价我国产铀远景区

根据已有资料,分析了各类地质体锆石的平均铀含量在各省区产铀远景所反映的特点,认为在北方辽宁以老岩体为好;甘肃、新疆以古生代花岗岩较有远景;吉林、内蒙古、河南、陕西以中生代岩体远景最佳。南方湘、赣、粤、桂四省区以中生代岩体产铀远景最好,古生代加里东期岩体次之,但广西摩天岭岩体为晚元古宙形成,锆石铀含量也反映了较好的产铀远景;四川的中生代岩体样品主要是康滇地轴区,表明是值得注意的地区;西藏的

中、新生代岩体锆石平均铀含量较华南四省要低得多，但并不太低，看来是需要进一步研究的地区。

为了实际应用上的便利，将已收集到的样品按样品产地比较集中、且地质背景又基本相同的地区分片加以统计分析，以展示产铀远景的概貌。为了有统一的尺度来对比，故只统计了岩浆岩的样品；有些地区样品太少，又明显与该区总的地质背景不符，也暂不列出。这样共统计得 81 片地区，将其按平均铀含量的高低分为五级。数据列于表 9。

由表 9 分析得出一些指导性原则，供具体应用者参考：

(1) 大多数地区锆石平均铀含量高低与已知产铀矿情况的好坏相吻合，说明地区锆石铀含量背景值能反映产铀远景。

(2) 锆石平均铀含量到底多高才能产出铀矿，很难确定一个全国性的统一指标。欲对一个地区进行评价，需要参考相邻已知地区的情况予以确定。

(3) 样品数少的地区可能还存在代表性不足的问题，这就需要进行进一步工作后来进行调整。随着样品数的增加，显然其平均铀含量作为背景值的代表性和可靠性都要提高。

(4) 某些地区其样品代表性已基本具备，平均铀含量高，而目前仍未有好的铀矿发现。这样的地区是值得重点研究的对象，还可能有新的发现，或者是铀源条件具备，其他成矿条件不足，如铀的活化程度差，构造、热液活动不具备等等。

(5) 火山岩分布区和以中性侵入岩为主的地区，其锆石平均铀含量指标高低的要求应与花岗岩类分布区有别。这些岩石中的锆石铀含量一般比花岗岩的低许多，更需要参照其他评价条件。

(6) 从全国范围内来看还存在大片的空白区，但本工作将提供一个基础，如在未知地区进一步工作和收集了锆石铀含量数据后，与相邻已知地区作对比，将是一种有效的铀矿远景评价方法。

从上述已知资料中看来，除了那些锆石平均铀含量较高，又已知有较好的铀矿产出的地区外，下列地区是值得进一步工作的，即康滇地轴的会理地区，桂东北地区，湖南宁乡地区，新疆吐鲁番，粤西沿海地区，海南省中南部等。这些地区的锆石铀含量特点是：已知样品数有一定的代表性，锆石平均铀含量较高，以及各样品铀含量波动较大（标准差大）。

## 5 结 语

根据上述研究结果，可得到以下新认识：

(1) 发现锆石晶体颜色与铀含量有关，同时代锆石中颜色深者或具有磁性者铀含量较高；电子探针分析表明锆石中的铀大多分布在锆石颗粒的边缘，同时也表明锆石中铪含量增高处，铀，钍也增高，说明它们可能一起参与了置换作用。

(2) 引入锆石群型研究方法，结合产铀矿与非产铀矿地质体锆石群型组合情况，提出了群型分区图。我国许多重要的产铀矿岩体的锆石群型主要集中在Ⅰ区，发育 a 柱面和 p 锥面，其次分布在Ⅳ区；产铀矿的火山岩及其浅成侵入体和正长岩中的锆石群型基本集中在Ⅳ区，即发育 m 柱面和 p 锥面。

(3) 产铀矿地质体中锆石的铀、钍含量一般均大于非产铀矿地质体中锆石的铀、钍含量；锆石铀含量与其所赋存的岩石铀含量具有良好的正相关关系，对于产铀矿地质体来说，

表9 中国岩浆岩类岩石中锆石平均轴含量地区分布

序号	地区	样品数		标准差		序号	地区	样品数		标准差		序号	地区	样品数		标准差	
		>2500	1501~2500	1501~2500	>2500			500~1000	>2500	1501~2500	500~1000			>2500	1501~2500	<500	
1	苗儿山(桂)	22	3168	1753	28	山丹、永昌(甘)	5	1330	699	57	宁城、建平(辽)	7	654	262			
2	会理(川)	13	3095	2069	29	营口、海城(辽)	14	1305	959	58	山海关、兴城(辽)	9	638	183			
3	茶陵(湘)	6	2802	258	30	闽南	3	1274	539	59	塔河、新西(黑)	3	616	36			
4	桂东北	12	2793	1799	31	摩天岭(桂)	24	1268	492	60	呼玛	13	602	351			
5	麟田岭(湘)	6	2593	1188	32	鞍山、本溪(辽)	48	1261	810	61	嘉阴、萝北(黑)	5	582	162			
6	邵阳、溆浦(湘)	10	2574	828	33	平陆(晋)	8	1218	711	62	丰宁(冀)	54	558	311			
					34	乌拉特旗(蒙)	19	1194	867	63	汪清、珲春(吉)	6	555	295			
					35	宽城、宽甸(辽)	4	1190	450	64	五台、孟县(晋)	14	552	353			
7	粤北	36	2405	1786	36	凤城、宽甸(辽)	28	1182	490	65	敦化、酒泉(鄂)	17	544	180			
8	宁乡(湘)	11	2309	1172	37	天岗(吉)	44	1177	477	66	宜昌、秭归(鄂)	6	540	237			
9	城步(湘)	7	2097	984	38	方山、交城(晋)	11	1097	204	67	清原、西丰(辽)	11	536	270			
10	九嶷山(湘)	15	2063	1525	39	日喀则(藏)	3	1057	110	68	桦甸(吉)	19	525	293			
11	赣南	56	2059	1065	40	从化、云浮(粤)	15	1001	431			<500					
12	宝鸡(陕)	8	1969	1192													
13	粤东	45	1872	1241	41	庐江、枞阳(皖)	17	910	637	69	费县、武安(冀)	17	481	352			
14	吐鲁番(新)	17	1854	1023	42	滇南	4	905	159	70	集宁、卓资(蒙)	6	454	234			
15	衡阳(湘)	7	1852	675	43	桂东南	28	900	389	71	隆化、滦平(冀)	27	415	193			
16	诸广山(湘)	12	1763	661	44	胶东(鲁)	16	864	305	72	甘东南		414	88			
17	平江(湘)	5	1723	1866	45	鲁西	18	861	455	73	张家口(冀)	19	406	162			
18	桂西	4	1667	402	46	相山(皖)	28	832	383	74	新金、庄河(辽)	4	378	167			
19	滇西	6	1667	680	47	大别山(鄂)	7	805	215	75	西阳(吉)	10	337	37			
20	粤西沿海	22	1634	884	48	白旗(蒙)	10	798	517	76	黄山(皖)	3	321	255			
21	和龙(吉)	32	1604	509	49	赣东北	18	772	530	77	密云、怀柔(京)	12	253	150			
					50	闽西	3	728	349	78	方正(黑)	5	249	49			
					51	林西、东乌(蒙)	17	704	337	79	陕西南	12	247	142			
22	海南省	18	1403	1090	51	云开大山(粤)	28	703	235	80	额尔古纳(蒙)	4	205	32			
23	广鹿(皖)	4	1392	717	52	大冶、孝感(鄂)	8	696	224	81	钟祥(鄂)	6	154	123			
24	阿里西脉(藏)	11	1377	724	53	沽源(冀)	38	681	533								
25	吕郡(藏)	14	1375	555	54	溧中	6	673	550								
26	黔东南	33	1373	943	55	晋龙、抚宁(冀)	21	669	226								
27	拉萨(藏)	8	1346	590	56												

锆石铀含量往往呈急剧增长势头,故作为产铀远景评价指标,其灵敏度远大于岩石铀含量。

(4) 产铀矿岩浆岩中稀土元素总含量较同时代非产铀矿岩浆岩要高很多,产铀矿岩浆岩中锆石的铀都有显著亏损,锆石中的钍和铀呈正相关关系,且在产铀矿地质体中它们均急剧增高。

(5) 锆石铀含量与区域地质背景有关。华南中生代花岗岩锆石铀含量高,而华北地台则中元古宙地质体的锆石铀含量高。锆石铀含量高的时代往往与该地区该时期产出铀矿的情况较好有关。

(6) 根据锆石平均铀含量统计得出,产铀矿地区的锆石平均铀含量远大于邻近非产铀矿地区的锆石平均铀含量。在同一区域内同类别的产铀矿地质体锆石平均铀含量大于该类别非产铀矿地质体的锆石平均铀含量。

(7) 从已知各铀成矿带和远景区统计获得,花岗岩区锆石平均铀含量在  $1000 \times 10^{-6}$  以上、变质岩区的锆石平均铀含量达到  $800 \times 10^{-6}$  左右者,其产铀矿情况较好,火山岩区情况有所不同,需要一个较低的衡量标准 ( $600 \times 10^{-6}$ )。同时,凡是产铀矿好的带、区,不仅其锆石平均铀含量高,且活化参数 (平均值  $\times$  标准差) 也大,说明各样品铀含量离散度大的地区对铀成矿有利。由此可见,锆石平均铀含量实际上是反映了区域含铀的原始背景值,其高低直接制约着尔后铀成矿的可能性。

(8) 利用锆石铀含量评价产铀远景问题必须注意:样品数量要有一定的代表性;欲对一个地区进行评价,需要参考相邻已知地区的情况予以对比确定;要搞清锆石平均铀含量高的地区而未发现铀矿的原因。

(9) 在已知各铀成矿带和远景区中,燕山、桂南铀成矿带、狼山铀找矿远景区及长江中下游铀成矿远景区等反映出铀源条件较差,其余带区均具备较好的铀源条件。就各地区产铀远景所反映的特点来看,在北方的辽宁以老岩体为好,甘肃、新疆以古生代花岗岩较有远景,吉林、内蒙古、河南和陕西以中生代岩体远景最佳;南方的湘、赣、粤、桂四省区以中生代岩体产铀远景最好,古生代加里东期岩体次之;康滇地轴区的中生代岩体和西藏的中、新生代岩体都值得注意。按样品较集中的 81 片岩浆岩地区的锆石平均铀含量来看,除已知较好的产铀矿地区外,四川会理地区、桂东北、湖南宁乡地区、新疆吐鲁番、粤西沿海以及海南省中南部是值得进一步工作的地区。

## 参 考 文 献

- [1] 楚雪君,王学峰. 华南不同成因系列花岗岩中锆石群型的研究. 南京大学学报(地球科学), 1990, 4: 34~47
- [2] 黄志章等. 锆石变质性对评价产铀花岗岩的意义. 核工业北京地质研究院成果报告, 1992
- [3] 秦建侯等. 分析测试数据统计处理中计算机的应用. 北京: 化学工业出版社, 1989
- [4] 郑恩公等. 我国中酸性岩浆岩锆石铀含量变化及其地质意义. 放射性地质, 1984, (3)
- [5] Rush S.M. 怀俄明铀矿省的研究——一种圈定铀矿省的综合方法. 译文载: 国外铀矿区域评价方法专辑, 1982, 北京铀矿地质研究所, 1983年9月
- [6] Watson J. 等 与变质程度和区域地球化学有关的铀矿区. 译文载: 国外铀矿区域评价方法专辑, 1982, 北京铀矿地质研究所, 1983年9月
- [7] Pupin J.P. Zircon and granite petrology. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1980, 73: 207



(京)新登字 077 号

图书在版编目 (CIP) 数据

锆石特征及铀含量在铀成矿远景评价中的意义 =  
THE SIGN. OF ZIRC. CHAR. AND ITS URAN.  
CONC. IN EVAL. OF URAN. META. PROS. / 李耀崧  
等著. 北京: 原子能出版社, 1995. 2

ISBN 7-5022-1342-2

I. 锆… I. 李… II. 锆石-含铀多金属矿石-含矿率-  
铀矿 IV. ①P618.850.4②P619.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 02721 号

C

原子能出版社出版发行

责任编辑: 孙凤春

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 1/16·印张 1/2·字数 21 千字

1995 年 2 月北京第一版·1995 年 2 月北京第一次印刷

# CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1342-2



9 787502 213428 >