第 89 卷 第 6 期 地 质 学 报 ACTA GEOLOGICA SINICA Vol. 89 No. 6 2015
2015年6月 1051～1069 June 1051～1069

中国铀矿资源特征及成矿规律概要

蔡煜琦[1)]，张金带[2)]，李子颖[1)]，郭庆银[2)]，宋继叶[1)]，范洪海[1)]，刘武生[1)]，漆富成[1)]，张明林[1)]
1)中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室，核工业北京地质研究院，北京，100029；
2)中国核工业地质局，北京，100013

内容提要：铀资源是我国重要的战略资源和能源矿产，作为 26 个重要矿种之一完成了全国铀矿资源潜力评价。在项目开展过程中，通过对中国铀矿资源特征、铀矿床类型（成因类型和预测类型）、时空分布及成矿系列研究，总结了中国铀矿的成矿规律。本文梳理了中国铀资源勘查现状与最近铀矿勘查工作进展，建立了 4 大类 9 类 21 亚类铀矿床类型，划分了 50 个铀矿预测类型；总结了中国铀矿时空分布特征及铀成矿规律，进而划分了 29 个铀成矿区带和 20 个铀成矿远景区带，建立了 20 个铀—多金属成矿系列。上述研究成果与进展有利于综合分析区域铀成矿规律，以期为未来的铀矿找矿工作提供指导。

关键词：铀矿；铀矿床类型；铀成矿规律；铀成矿区带；铀成矿系列

铀资源是我国重要的战略资源和能源矿产，也是我国核工业发展的基础原料[1]。2007 年国务院批准发布《核电中长期发展规划（2005～2020）》，提出到 2020 年建成 4000 万千瓦、在建 1800 万千瓦核电装机容量的发展目标。根据核电发展速度和规模的测算，未来需要相当规模的铀资源储量作保障（张金带，2012）。而我国铀资源较为丰富，矿床类型多。自 2006 年起，国家启动了全国重要矿产资源潜力评价项目，铀矿作为 26 个重要矿种之一完成了全国铀矿资源潜力评价，预测 1000m 以浅铀资源总量 200 余万吨（张金带等，2012）。本文是全国铀矿资源潜力评价研究成果的概略性总结，以期指导今后铀矿找矿工作。

1 铀资源及研究现状

1.1 世界铀资源

世界铀资源分布极不均匀，主要集中于澳大利亚、哈萨克斯坦、俄罗斯、加拿大、尼日尔、南非等国（Cuney et al.，2008）（图 1）。如表 1 所示，澳大利亚已探明铀资源量约为世界已探明量的 28.9%（<130 $/kgU），其中很大部分归功于奥林匹克坝 IOCG 型和不整合面型铀矿床；哈萨克斯坦占有约 11.51%的世界铀资源量，俄罗斯占有约 8.57%的世界铀资源量（<130 $/kgU），且以砂岩型铀矿为主；加拿大紧随其后，约占有 8.37%的世界铀资源量（<130 $/kgU），以不整合面型为主（Cuney et al.，2008）。此外，尼日尔、南非、巴西、纳米比亚等均是重要的产铀国。前 10 个铀资源大国集中了世界约 82.3%的铀资源。世界铀资源储量在 2007 年之前增长较快，2007 年之后资源量增长缓慢（OECD，2012；OECD，2014）。

1.2 中国铀资源

我国铀资源较为丰富，已查明的铀矿资源主要分布于全国 23 个省、市、自治区（张金带，2004），铀矿床类型多，但以砂岩型、花岗岩型、火山岩型和碳硅泥岩型等 4 大类型为主，成矿地质条件复杂。

进入 21 世纪，随着“主攻北方地浸砂岩型铀矿”勘查战略的实施，系统推进中新生代沉积盆地地浸砂岩型铀矿的调查评价和勘查，不仅使新疆伊犁、吐哈盆地地浸砂岩型铀矿得到了扩大和发展，成为超万吨级的铀资源基地，而且内蒙古鄂尔多斯盆地、二连盆地砂岩型铀矿找矿取得重大突破，其中在鄂尔多斯盆地北东部发现了一个特大型砂岩型铀矿床。从 2006 年开始，南方重点铀成矿带、矿田的勘查工作得到恢复，部分重点地区已初见成效，取得了较显著的找矿成果（张金带，2008），这表明我国铀矿找矿潜力巨大。

注：本文为中国地质调查局地质调查评价专项“全国铀矿资源潜力评价项目”（编号 1212011121042）、“中国铀矿产地质总结研究”（编号 121201140398O1）和国家高技术研究发展计划（863 计划）课题“隐伏放射性矿产识别技术”（编号 2012AA061801）等联合资助的成果。
收稿日期：2015-04-15；改回日期：2015-05-21；责任编辑：郝梓国。
作者简介：蔡煜琦，男，1969 年生。研究员级高工，硕士研究生导师，现主要从事铀成矿规律和潜力评价方面的工作。通讯地址：100029，北京市朝阳区小关东里 10 号（北京市 9818 信箱）；电话：010－64940548；Email：caiyq1883@126.com。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 世界主要铀资源国(截止 2013 年 1 月 1 日已查明铀资源量,<130 $ /kgU)

Table 1 The main Uranium-production countries in the world (1/1/2013, <130 $ /kgU)

序号	国家	铀资源量(10^3tU)	百分比(%)	代表性矿床及矿床类型
1	澳大利亚	1706.1	28.90	Alligator River (Unconformity-related); Olympic Dam (IOCG)
2	哈萨克斯坦	679.3	11.51	Kokshetau (Sandstone-type); Pribalkhash (Sandstone-type)
3	俄罗斯	505.9	8.57	Out Urals, Out Baikal, Western Siberia(Sandstone-type)
4	加拿大	493.9	8.37	Mc Arthur River (Unconformity-related);Cigar Lake (Unconformity-related)
5	尼日尔	404.9	6.86	Arlit, West Afasto (Unconformity-related)
6	南非	338.1	5.73	Witwatersrand (Quartz-pebble conglomerate)
7	巴西	276.1	4.68	Itataia (Phosphorite)
8	纳米比亚	382.8	6.48	Rossing (Surficial)
9	美国	207.4	3.51	Colorado Plateau (Sandstone-type)
10	中国	199.1	3.37	见下文
	总计	4857.8	82.30	
	世界总计	5902.9		

(OECD, 2014; Rogers, 1996; Zhao et al., 2002; Cawood et al., 2007; Tack et al., 2001)

1.3 铀矿床研究现状

世界范围内,关于铀矿床成矿规律的研究已有很多(Cuney, 2010; Cuney and Kyser, 2008; Kyser et al., 2000; Yulia et al., 2014; Boyle, 1982; Luo et al., 2014; Song et al., 2014),并将铀矿床划分为多种类型(Dahlkamp, 1993; Plant et al., 1999; OECD, 2000, 2006, 2008; Shatalov et al., 2006),主要有不整合面型,砂岩型,脉型,交代型,多金属铁氧化物角砾杂岩型(IOCG 型),侵入岩型,火山岩型,石英-卵石砾岩型,钙结岩型,塌陷角砾岩筒型,磷块岩型和黑色页岩型铀矿床(表 2),个别铀矿床与生物有关(Islam et al., 2014; Min et al, 2005)。

不整合面型铀矿床产出世界上 1/3 的铀资源(Sibbald and Quirt 1987; Thomas et al., 2000),与沉积盆地密切相关(McMurray, 2006; Jefferson et al., 2007; Velichkin et al., 2005; Holk et al., 2003; Richard et al., 2014),多位于不整合面附近(Cuney et al., 2003);砂岩型矿床产出于陆内或海

表 2 世界上主要类型铀矿床地质特征

Table 2 The geological characteristics of main uranium deposit types

类型	成矿地质背景	品位(%U)	全球探明储量(2013)(TU)(130 $ /kgU)	全球铀产量(2007)(TU)	形成温度(℃)	成矿流体	成矿时间	代表性矿床
不整合面型	陆内/板块边缘盆地	1.0~25.0	463272	15600	200~300	盆地流体	与控矿盆地形成时间大致相同;1500~1900Ma 居多	Rabbit Lake, McArthur River (Athabasca Basin); Narbarlek, Ranger (NT, Australia)
砂岩型	拉张断陷盆地	0.05~0.5	1165707	10000	25~100	地下水	古生代至新近纪	Mokum, Inkay (Kazakhstan); Colorado Plateau (USA)
脉型	造山后拉张盆地	0.1~2.0	324500	4220	200~500	变质流体	元古代至中生代	Dhada (Congo)
交代型	断陷/弧后盆地	0.05~0.2	285958	3800	300~700	变质热液岩浆热液	古生代	Lagoa Real (Brazil); Valhalla (Australia)
IOCG 型	岛弧/板块边缘盆地	0.03~0.05	942300	2000	200~500	岩浆热液	古生代	Olympic Dam (Australia)
侵入岩型	碱性杂岩体	0.01~0.5	198879	1000	300~700	岩浆热液	各个时代均有	Rossing (Namibia)
火山岩型	断陷/弧后盆地	0.03~0.3	139695	1000	200~500	盆地流体岩浆热液	各个时代均有	Dornot (Mongolia); Nopal (Mexico); McDermitt (USA);
石英-卵石砾岩型	陆内/板块边缘盆地		169536	600	50~300	地下水	2200~2700Ma	Witswatersrand (S. Africa); Blind River (Canada)
钙结岩型	盆地	0.03~0.1	110108	0	25~50	地下水	古近纪	Yeelirrie (Australia); Langer Heinrich (Namibia)
坍塌角砾岩筒型	陆内/拉张盆地	0.4~1.5	400	0	200~300	盆地流体	古近纪	Arizona Strip (USA)
磷块岩型	大陆架/边缘	0.005~0.05	94000	0	20~50	海水	显生宙	Uncle Sam (USA); Gantour (Morocco); Randstat (Sweden)

(Cuney and Kyser, 2008; Dahlkamp, 1993; Plant et al., 1999; OCED, 2008; OCED, 2014; McMurry, 2006; Shatalov et al., 2006)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

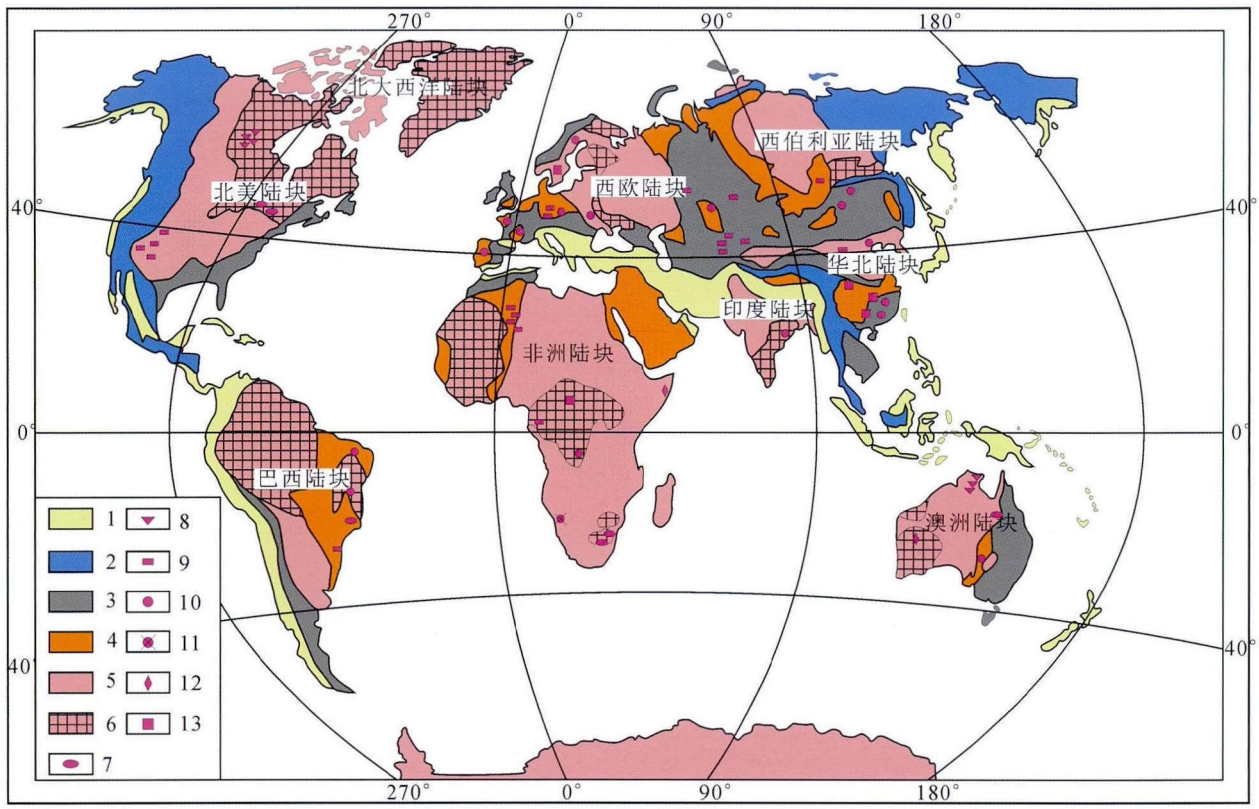


图 1　世界大型铀矿床分布简图

Fig. 1　The distribution schematic map of world-class uranium deposits

1—新生代褶皱带;2—中生代褶皱带;3—古生代褶皱带;4—元古代褶皱带;5—太古代陆块;6—古克拉通;7—石英—卵石砾岩型;8—不整合面型;9—砂岩型;10—脉型;11—侵入岩型;12—钙结岩型;13—黑色页岩型

1—Cenozoic fold belt; 2—Mesozoic fold belt; 3—Paleozoic fold belt; 4—Proterozoic fold belt; 5—Archean continental block; 6—Ancient craton; 7—quartz-pebble conglomerate type; 8—unconformity-contact type; 9—sandstone type; 10—vein type; 11—intrusive type; 12—surficial type; 13—black shales type

相沉积盆地的碎屑砂岩中(Sanford, 1994),多采用地浸法开采(Cuney and Kyser, 2008),是主要的产铀矿床类型;脉型铀矿床产出世界上 10%的铀,其成因较为复杂,且争论较多(Ruzicka, 1982; OECD, 1986; Martin-Izard et al., 2002);交代型矿床与 Na, Ca 交代及赤铁矿化密切相关(Dahlkamp, 1993; Plant et al., 1999),是一种主要的产铀类型;多金属铁氧化物角砾杂岩型(IOCG 型)铀矿床以其它多金属为主,铀为伴生元素,以世界上最大的铀矿床 Olympic Dam 为代表(2,200,000 t U)(Reeve et al., 1990);侵入岩型铀矿床与酸性侵入岩密切相关,火山岩型矿床多产于长英质喷出岩中,与 Mo, F, Th, REE 元素相伴生(Leroy and George-Aniel, 1992);石英—卵石砾岩型铀矿床为沉积成因,单个矿床铀资源量较高(Cuney, 2010);钙结岩型,塌陷角砾岩筒型,磷块岩型和黑色页岩型铀矿床在目前并不作为主要开采类型(Cuney and Kyser, 2008; Wenrich et al., 1995)。不同类型铀矿床主要矿床地质特征如表 2 所示。

2　铀矿类型

2.1　铀矿床类型

我国铀矿床类型多样,早在 20 世纪 60 年代就已开始铀矿类型划分的研究。国内众多学者出于各自不同的角度,所采取的分类依据或准则有所不同,归纳起来主要有:按成因分类的(周维勋,1991;李胜祥,2001),按含矿主岩分类的(李胜祥,2001),按含铀建造分类的(周维勋,1991;李胜祥,2001),按工业生产特点分类的(周维勋,1991),按主岩兼顾矿床构造和矿体形态分类的(周维勋,1991;李胜祥,2001),按矿床产出的地质部位和矿物组合的分类的[❷],等等,各有侧重(童航寿,2014)。具体分类不再赘述。

国际上对铀矿床的分类也各不相同(Dahlkamp,1993;Plant et al., 1999;OECD,2000,

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2006, 2008; McMurray, 2006; Shatalov et al., 2006),但国际原子能机构(IAEA)专家 Franz J. Dahlkamp (1993)的分类最具代表性,该机构每两年一次发布的全球《铀资源、铀生产和铀需求》均采用这一分类方案(IAEA,2013),该方案依据铀资源产出的地质背景,划分了砂岩型、不整合面型、多金属铁氧化物角砾杂岩型、石英一卵石砾岩型、脉型、侵入岩型、火山岩型和破火山岩型、交代岩型、表生型、塌陷角砾岩筒型、磷块岩型、其他类型等共 13 大类。

本次潜力评价工作系统建立了适合于本次资源评价的铀矿类型划分方案,按成因分大类,按含矿主岩与环境划分亚类,将全国铀矿床划分为 4 大类 9 类 21 亚类(表 3)。

表 3 中国铀矿床类型划分表

Table 3 Uranium deposits types in China

序号	大 类	类	亚类	矿床实例
1	岩浆型	伟晶岩型	/	光石沟、红石泉
		碱性岩型	/	赛马
2	热液型	花岗岩型	岩体内带亚类	希望、下庄、黄峰岭、东坑、蓝田
			岩体外带亚类	香草、金管冲
			岩体上覆盆地亚类	黄子洞
		火山岩型	火山角砾岩筒亚类	毛洋头、草桃背、巴泉
			次火山岩亚类	横涧、张麻井、大桥坞、白杨河
			密集裂隙带亚类	邹家山、白西坑
			层间破碎带亚型	大茶园、盛源、差干
			火山沉积碎屑岩亚类	干沟、熊家、白面石
3	陆相沉积型(广义砂岩型)	砂岩型	层间氧化型	库捷尔太、十红滩、皂火壕
			潜水氧化型	山市、城子山
			沉积成岩型	汪家冲、屯林
			复合成因型	巴什布拉克、钱家店、萨瓦布其
		泥岩型	沉积成岩型	大红山、努和廷
		煤岩型	/	达拉地、麻布岗
4	海相沉积型(广义碳硅泥岩型)	碳硅泥岩型	沉积一成岩亚类	麻池寨、铜湾
			沉积一外生改造亚类	坑口、垒头、黄材
			沉积一热液叠加亚类	金银寨、马鞍肚、铲子坪
			沉积一热液一淋积亚类	董坑、保峰源
		磷块岩型	/	金沙岩孔

(1)我国铀矿床与世界主要铀矿床类型相比,最大的特点是以花岗岩型、火山岩型、砂岩型和碳硅泥岩型为主,被称为中国"四大类型"的铀矿,占探明资源储量的 92.2%,其中,砂岩型占 43.0%,花岗岩型占 22.9%,火山岩型约占 17.6%,碳硅泥岩型占 8.7%,其他类型,包括碱性岩型、伟晶岩型、煤岩型、泥岩型、磷块岩型等约合占 7.8%。

(2)最新统计,全国已探明的铀矿床规模状况是:大型及其以上的矿床只占矿床总个数的 8.7%,资源储量却占 58%;中型矿床占矿床总数的 20.3%,资源储量占 23.8%;小型矿床占矿床总数的 71%,资源储量只占 18.2%。

(3)我国铀矿床以中低品位为主,其中:矿床平均品位在 0.3%以上的资源储量仅占 3.3%,矿床平均品位低于 0.3%的(包括低品位的地浸砂岩型铀矿)占 96.7%。其中,火山岩型和交点型花岗岩型铀矿品位相对较高。

2.2 铀矿预测类型

矿产预测类型是为了进行区域矿产预测,根据相同的矿产预测要素以及成矿地质条件对矿产划分的类型;在同一地质作用下形成的,成矿要素和预测要素基本一致,可以在同一预测底图上完成预测工作的矿床(点)和矿化线索可划为同一矿产预测类型(陈毓川等, 2010b;王登红等,2013,2014)。需要说明的是,同一成矿类型由于成矿要素不同可形成多种预测类型,同一矿种一般形成多种预测类型,相同成矿要素的不同矿种组合可以划分为同一预测类型,不同成矿时代应划分为不同预测类型。

根据上述预测类型的定义和说明,铀矿预测类型的建立主要考虑铀成矿的地质背景(构造单元)、成矿区带、成矿时代和矿化类型等因素。因为在一次地质作用过程中可以形成多种类型的铀矿化,所以铀矿预测类型与铀矿成因类型有着本质的区别。即使属同一成因类型,因为花岗岩型铀矿与火山岩型铀矿成矿要素和预测要素存在明显的差异,可将其划分为不同的预测类型;而在一些铀矿床中,因为铀和其他元素(钍、锗、铼、钼和铍等)在同一期地质作用中形成伴(共)生矿产,而且具有相同的成矿要素和预测要素,所以尽管属于不同的矿种也将其划分为同一预测类型。此外,我国地质构造的复杂性(小块拼合,长期、多期活动)决定了铀矿预测类型较多,并具有一定的区域性特征。

根据上述铀矿预测类型确定的原则,本次潜力评价在全国范围内共厘定了中国铀矿预测类型 50 个,包括花岗岩型 14 个、火山岩型 11 个、砂岩型 12 个以及碳硅泥岩型 13 个(表 4)。其中,花岗岩型铀矿预测类型主要分布在桃山一诸广、摩天岭一苗儿

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

山、龙首山－祁连山、郴州－钦州、北秦岭、辽东和武夷山等地区，火山岩型铀矿预测类型主要分布在赣杭带、武夷山带砂岩型、长江中下游、兴城、青龙、沽源－红山子、雪米斯坦、大兴安岭东坡、额尔古纳、冈底斯、天目山和大别山北麓等地区，砂岩型（含煤岩型和泥岩型）铀矿预测类型分布在我国伊犁、吐哈、塔里木、准噶尔、鄂尔多斯、二连、松辽、四川、河西走廊、十万大山、腾冲、临沧、巴丹吉林－巴音戈壁和衡阳等中新生代沉积盆地（群）之中，碳硅泥岩型铀矿预测类型主要分布在扬子陆块、华北陆块、南秦岭、华南陆块、塔里木北缘以及华北南缘等地。

3　中国铀矿时空分布规律概要

3.1　中国铀成矿区带

成矿区带是指有利环境范围内具有较丰富矿产资源及其潜力的成矿地质单元。在某一成矿区带内往往具有主导的成矿地质环境、地质演化历史及与之相应的区域成矿作用，其内各类矿床组合往往有规律地集中分布，能够反映矿产资源区域性宏观分布特征及受控因素（徐志刚等，2008；陈毓川等，2010；Ying et al.，2015）。

在铀矿产勘查的实践中不断提出新的铀成矿区带，新的找矿突破和铀矿地质理论的发展，也不断丰富和完善了已有的划分方案，因此铀成矿区带的划分是不断创新发展的。从“六五”时期划分的 11 个铀成矿带和 4 个铀成矿远景区（刘兴忠等，1981）[●]，至“十五”期间 18 个铀成矿带（区）（黄净白等，2005），成矿区带划分的数量不断增多（表 5）。

本次潜力评价共划分出 29 个铀成矿区带和 20 个铀成矿远景区带（图 2，表 6）（张金带，2012），划分原则是：①以断裂带控制为主的成矿单元称为铀成矿带（或铀成矿远景带），盆地内的成矿单元称为铀成矿区（或铀成矿远景区）；②已探明 2 个以上铀矿床或 1 个大型铀矿床的区带为铀成矿区带，含 1 个铀矿床，多个铀矿点、异常点的铀成矿有利区为铀成矿远景区带；③铀成矿区带的命名主要参考铀矿地质界以往常用的铀成矿区带名称，新增的铀成矿区带参考了全国成矿区带的命名（徐志刚等，2008）。

3.2　铀矿时空分布特点

铀成矿是地壳演化到一定阶段地质作用的产物，不同铀矿床类型的形成与不同地区的地壳发展演化历史密切相关。据已有资料及本次潜力评价研究表明，在中国地质历史发展过程中，不同时期均有铀成矿作用发生，但最主要的铀成矿期是白垩纪和新生代（图 3）。中国铀矿时空分布特征如下：

（1）古元古代（2200～1800Ma）：铀成矿作用主要发生在胶－辽－吉陆缘裂谷盆地及龙首山变质杂岩区。铀矿化与钾质花岗岩密切相关，如辽东的连山关铀矿床，龙首山的红石泉矿床，该期矿化分布地区局限，集中分布在辽东成矿带弓长岭－八河川地区、龙首山－祁连山成矿带的龙首山地区。

（2）早古生代（570～400Ma）：铀成矿作用主要发生在秦－祁－昆造山系龙首山变质杂岩区和秦岭弧盆系。铀矿化规模较大，类型多，如陈家庄、光石

表 4　中国铀矿预测类型划分表

Table 4　Prediction types of U-deposits in China

铀矿预测类型	花岗岩型	火山岩型	砂岩型	碳硅泥岩型
华北陆块	茔岭式、连山关式、扁都口式	张麻井式、干沟式		岳村式
华南陆块				马鞍肚式、岔头式、金银寨式
扬子陆块	香草式、达亮式	丁家山式	汪家冲式	麻池寨式、金砂岩孔式、老卧龙式、保峰源式、黄材式、铲子坪式、白马洞式、广子田式
鄂尔多斯古陆块			皂火壕式、磁窑堡式	
伊犁－准噶尔－吐哈地块				库捷尔太式、蒙其古尔式
塔里木－柴达木地块				巴什布拉克式、萨瓦布其式
天山－兴蒙造山系		白杨河式		
武夷－云开造山系	棉花坑式、希望式、大布式、黄子洞式	毛洋头式、邹家山式、盛源式、白面石式、差干式		
北秦岭造山系	蓝田式			降扎式
大兴安岭湖盆系				白音乌拉式、努和廷式、红沟窑式、钱家店式
秦岭弧盆系	光石沟式、中川式			
湘桂断陷盆地	罗渡式			
班戈－腾冲岩浆弧带				城子山式
胶－辽－吉陆缘裂谷盆地	赛马式			

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 5 中国铀成矿区带不同时期划分对比表

Table 5 Correlation table for Chinese uranium metallogenic belts in different period

“十二五”期间		“十五”期间	“九五”期间	“七五”-“八五”期间	“六五”期间
Ⅲ-1	阿尔泰铀成矿远景带				
Ⅲ-2	准噶尔盆地铀成矿远景区		准噶尔盆地东南缘成矿区	准噶尔成矿带	
Ⅲ-3	雪米斯坦铀成矿远景带				
Ⅲ-4	乌伦古河铀成矿远景带	北天山成矿带		北天山成矿带	
Ⅲ-5	北天山铀成矿远景带		天山山间盆地成矿带		天山成矿带
Ⅲ-6	南天山铀成矿带	南天山成矿带		南天山成矿带	
Ⅲ-7	伊犁盆地铀成矿区	北天山成矿带			
Ⅲ-8	吐哈盆地铀成矿区				
Ⅲ-9	塔里木北缘铀成矿带	南天山成矿带	塔里木盆地北缘成矿区	塔里木北缘成矿远景带	
Ⅲ-10	塔里木南缘铀成矿远景带		塔里木盆地南缘成矿区		
Ⅲ-11	西昆仑铀成矿远景带				
Ⅲ-12	祁漫塔格铀成矿远景带				
Ⅲ-13	柴达木盆地成矿远景区				柴达木盆地北缘成矿远景区
Ⅲ-14	龙首山-祁连山铀成矿带	祁连-龙首山成矿带	龙首山北祁连成矿带	祁连成矿远景带 龙首山成矿带	龙首山-祁连山北缘成矿带
Ⅲ-15	南秦岭铀成矿带	南秦岭成矿带	南秦岭成矿带	南秦岭成矿带	南秦岭成矿带
Ⅲ-16	北秦岭铀成矿带	北秦岭成矿带	北秦岭成矿带	北秦岭成矿带	北秦岭-大别山北缘成矿带
Ⅲ-17	金寨铀成矿远景带				
Ⅲ-18	二连盆地铀成矿区	二连-测老庙成矿区	乌兰察布成矿区	二连盆地成矿远景带	阴山-狼山成矿远景区
Ⅲ-19	巴丹吉林-巴音戈壁盆地铀成矿区	测老庙盆地成矿区	测老庙盆地成矿区		
Ⅲ-20	额尔古纳-满洲里铀成矿远景带			大兴安岭成矿远景带	
Ⅲ-21	扎兰屯铀成矿远景带				
Ⅲ-22	松辽盆地铀成矿区				
Ⅲ-23	敦化-密山铀成矿远景带				
Ⅲ-24	伊春铀成矿远景带				
Ⅲ-25	辽东铀成矿带	弓长岭-八河川成矿带	华北陆块北缘成矿带	燕辽成矿带	辽南-辽西成矿带
Ⅲ-26	兴城-青龙铀成矿带	兴城-青龙成矿带			
Ⅲ-27	沽源-红山子铀成矿带	沽源-红山子成矿带			
Ⅲ-28	鄂尔多斯盆地铀成矿区	鄂尔多斯盆地成矿区			
Ⅲ-29	潮水盆地铀成矿区	潮水盆地成矿区	潮水盆地成矿区	陕甘宁盆地成矿远景带	
Ⅲ-30	华北陆块南缘铀成矿带				
Ⅲ-31	长江中下游铀成矿带	栖霞山-庐枞成矿带	下扬子成矿带	长江中下游成矿远景带	
Ⅲ-32	天目山铀成矿远景带			湘南成矿带	湘南-粤北经向成矿带
Ⅲ-33	修水-宁国铀成矿带	幕阜山-衡山成矿带	幕阜山-雪峰山成矿带		
Ⅲ-34	湘中铀成矿带				
Ⅲ-35	雪峰山-摩天岭铀成矿带	雪峰山-九万大山成矿带		雪峰-九岭成矿带	雪峰-九岭成矿带
Ⅲ-36	黔中-湘西北铀成矿带		大容山-十万大山成矿带		桂东南成矿远景区
Ⅲ-37	大明山铀成矿带		六韶山-西大明山成矿带		
Ⅲ-38	四川盆地铀成矿区		川北成矿区		
Ⅲ-39	康滇地轴铀成矿远景带				
Ⅲ-40	赣杭铀成矿带	赣杭成矿带	赣杭成矿带	赣杭成矿带	绍兴江山崇仁火山断陷盆地成矿带
Ⅲ-41	武夷山铀成矿带	武夷山成矿带	武夷山成矿带	武夷山成矿带	武夷山火山岩成矿带
Ⅲ-42	桃山-诸广铀成矿带	桃山-诸广成矿带	桃山诸广新兴成矿带	桃山-诸广成矿带	大王山桃山诸广山花岗岩成矿带
Ⅲ-43	郴州-钦州铀成矿带	郴州-钦州成矿带	九嶷山-丫江桥成矿带		
Ⅲ-44	雷鸣盆地铀成矿远景区				
Ⅲ-45	腾冲铀成矿区	滇西成矿区	腾冲盆地成矿区	滇西成矿远景带	滇西歹字形成矿带
Ⅲ-46	临沧铀成矿区		临沧盆地成矿区	滇中成矿带	
Ⅲ-47	昌都铀成矿远景带				
Ⅲ-48	班戈-嘉黎铀成矿远景带				
Ⅲ-49	措勤-南木林铀成矿远景带				

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

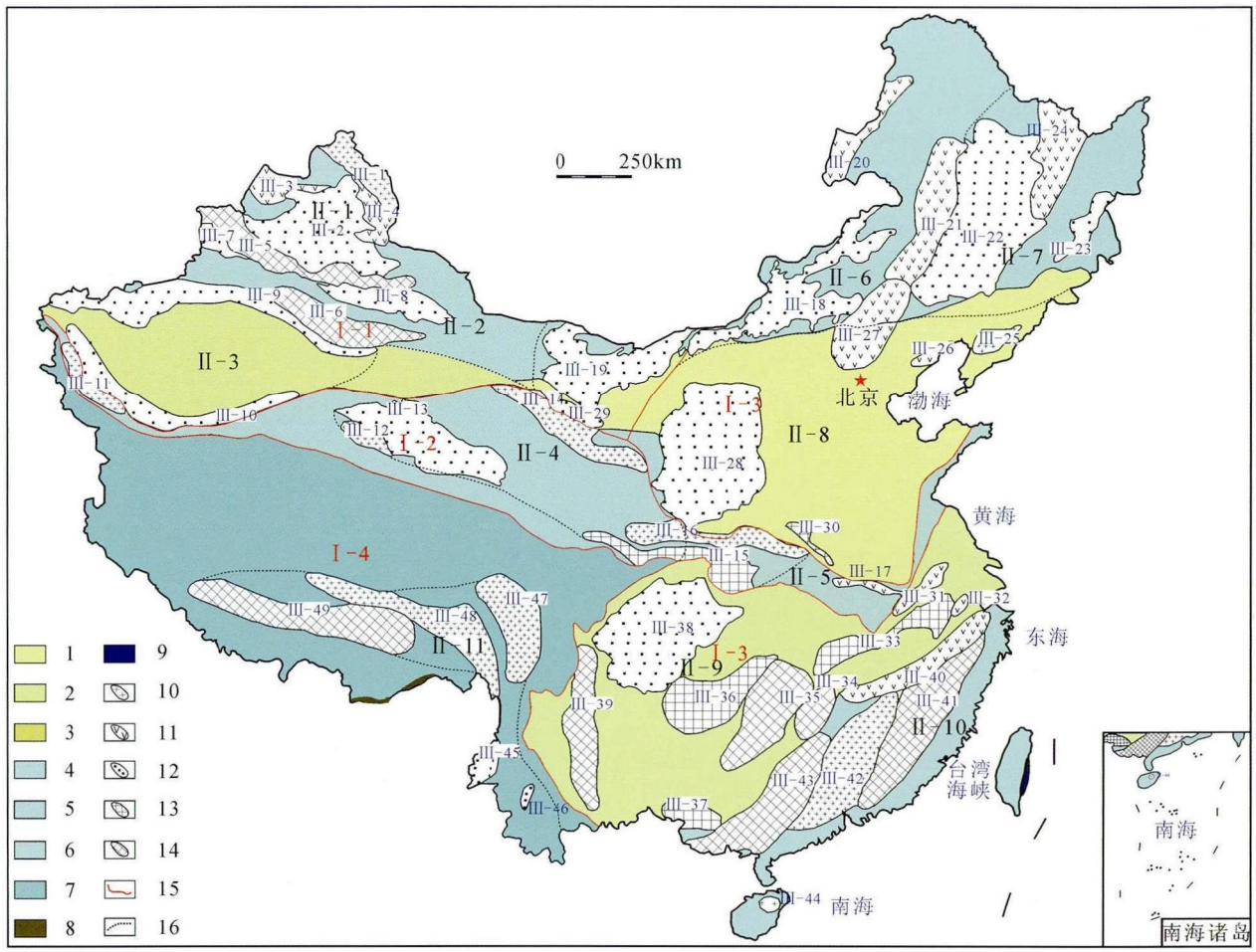


图 2　中国铀成矿区划图(据张金带，2012)

Fig. 2　Schematic map of U metallogenic belts in China (Zhang et al., 2012)

1—华北陆块；2—塔里木陆块；3—扬子陆块区；4—天山－兴蒙造山系；5—秦祁昆造山系；6—武夷－云开－台湾造山系；7—西藏－三江造山系；8—印度陆块区；9—菲律宾造山系；10—花岗岩型成矿区带；11—火山岩型成矿区带；12—砂岩型铀成矿区带；13—碳硅泥岩型成矿区带；14—混合型成矿区带；15—铀成矿域界线；16—铀成矿省界线

1—North China block; 2—Tarim block; 3—Yangtze block; 4—Tianshan-Xingmeng Orogen; 5—Qin-Qi-Kun Orogen; 6—Wuyi-Yukai-Taiwan Orogen; 7—Tibet-Sanjiang Orogen; 8—India block; 9—Philippines Orogen; 10—granite-type uranium metallogenic belt; 11—vocanic-type uranium metallogenic belt; 12—sandstone-type uranium metallogenic belt; 13—C-Si-pelite-type uranium metallogenic belt; 14—migmatite-type uranium metallogenic belt; 15—uranium mineralization domain boundaries; 16—uranium mineralization provincial boundaries.

沟铀矿床以及茔岭、新水井铀矿床中的早期成矿作用，主要分布于龙首山－祁连山成矿带的龙首山地区、北秦岭成矿带及南秦岭成矿带。

(3)晚古生代(400～250Ma)：铀成矿范围比加里东期大。在祁连、秦岭、雪米斯坦、摩天岭等地区均有分布，并形成了工业铀矿床，如扁都口矿床、茔岭矿床、白杨河矿床以及达亮矿床。

(4)三叠纪(250～200Ma)：铀成矿作用较弱。除辽东地区碱性岩型赛马矿床外，未见其它独立矿床产出，仅在有些矿床中作为一个次要的成矿阶段出现。

(5)侏罗纪(200～135Ma)：铀成矿作用较为发育，分布最为广泛。尤其是我国东部地区滨太平洋大陆活动边缘成矿作用最为强烈，往西则逐渐变弱。在东部地区无论是花岗岩型、火山岩型，还是碳硅泥岩型均以侏罗纪至白垩纪成矿为主，成矿作用主要集中在白垩纪，与地壳的拉张裂陷期密切相关。

(6)白垩纪(135～65Ma)：是我国铀成矿作用最强烈的阶段，分布最为广泛。尤其是我国东部地区受滨太平洋大陆活动边缘成矿作用最为强烈，往西则逐渐变弱。在东部地区无论是花岗岩型、火山岩型，还是碳硅泥岩型均以燕山期成矿为主，成矿作用主要集中在燕山晚期，与地壳的拉张裂陷期密切相关。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 6 中国铀成矿区带划分表

Table 6 U metallogenic belts in China

铀成矿域编号	铀成矿域名称	铀成矿省编号	铀成矿省名称	铀成矿带编号	铀成矿带名称
Ⅰ-2	秦祁昆铀成矿域	Ⅱ-4	祁连—昆仑铀成矿省	Ⅲ-11	西昆仑铀成矿远景带
				Ⅲ-12	祁漫塔格铀成矿远景带
				Ⅲ-13	柴达木盆地铀成矿远景区
				Ⅲ-14	龙首山—祁连山铀成矿带
		Ⅱ-5	秦岭—大别铀成矿省	Ⅲ-15	南秦岭铀成矿带
				Ⅲ-16	北秦岭铀成矿带
				Ⅲ-17	金寨铀成矿远景带
Ⅰ-3	滨太平洋铀成矿域	Ⅱ-6	大兴安岭铀成矿省	Ⅲ-18	二连盆地铀成矿区
				Ⅲ-19	巴丹吉林—巴音戈壁盆地铀成矿区
				Ⅲ-20	额尔古纳—满洲里铀成矿远景带
				Ⅲ-21	扎兰屯铀成矿远景带
		Ⅱ-7	吉黑(造山系)铀成矿省	Ⅲ-22	松辽盆地铀成矿区
				Ⅲ-23	敦化—密山铀成矿远景带
				Ⅲ-24	伊春铀成矿远景带
		Ⅱ-8	华北陆块铀成矿省	Ⅲ-25	辽东铀成矿带
				Ⅲ-26	兴城—青龙铀成矿带
				Ⅲ-27	沽源—红山子铀成矿带
				Ⅲ-28	鄂尔多斯盆地铀成矿区
				Ⅲ-29	潮水盆地铀成矿区
				Ⅲ-30	华北陆块南缘铀成矿带
		Ⅱ-9	扬子陆块铀成矿省	Ⅲ-31	长江中下游铀成矿带
				Ⅲ-32	天目山铀成矿远景带
				Ⅲ-33	修水—宁国铀成矿带
				Ⅲ-34	湘中铀成矿带
				Ⅲ-35	雪峰山—摩天岭铀成矿带
				Ⅲ-36	黔中—湘西北铀成矿带
				Ⅲ-37	大明山铀成矿带
				Ⅲ-38	四川盆地铀成矿区
				Ⅲ-39	康滇地轴铀成矿远景带
		Ⅱ-10	华东南铀成矿省	Ⅲ-40	赣杭铀成矿带
				Ⅲ-41	武夷山铀成矿带
				Ⅲ-42	桃山—诸广铀成矿带
				Ⅲ-43	郴州—钦州铀成矿带
				Ⅲ-44	雷鸣盆地铀成矿远景区
Ⅰ-4	特提斯铀成矿域	Ⅱ-11	冈底斯—三江铀成矿省	Ⅲ-45	腾冲铀成矿区
				Ⅲ-46	临沧铀成矿区
				Ⅲ-47	昌都铀成矿远景带
				Ⅲ-48	班戈—嘉黎铀成矿远景带
				Ⅲ-49	措勤—南木林铀成矿远景带

(7)新生代(<65Ma):铀成矿作用也十分强烈,仅次于燕山期。在华南地区由于拉张裂陷期为燕山晚期至喜山早期,往东南方向铀成矿作用有逐渐变新的趋势,即由燕山晚期成矿为主渐渐变为以喜山早期成矿为主。西南地区受冈底斯—喜马拉雅山造山系的影响,喜山期成矿较为显著,绝大多数工业铀矿床的主成矿期均为喜山期,其作用强度往北东方向逐渐变弱。我国北方地区基本上无喜山期的内生成矿作用,陆相盆地中外生砂岩型铀矿床绝大多数形成于喜山期,这主要与新构造运动和古气候特点有关。

3.3 铀矿时空分布规律

我国的铀矿床形成时代从古元古代一直到新生代,但古元古代的铀矿床很少,主要是花岗岩型和伟晶岩型,绝大多数铀成矿集中在白垩纪和新生代(图3、图4),这种铀成矿时代分布特点与我国大陆所处的大地构造环境、地质构造演化及铀元素本身的地球化学性质有关。空间分布主要位于29条铀成矿区带和20条铀成矿远景带(图2)。各预测类型时空分布规律如下:

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

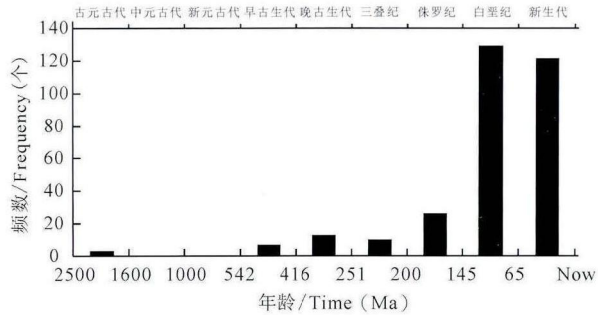


图 3　中国铀矿床成矿年龄统计图

Fig. 3　Statistical graph of U metallogenetic age in China

3.3.1　花岗岩型铀矿

花岗岩型（含岩浆型）铀矿床的成矿时代较为广泛，时代跨度很大，最老近 19 亿年，如连山关矿床，最年轻的为 10Ma，如双滑江矿床；但绝大多数铀矿床的形成时代仍为白垩纪和新生代（图 4）。受所在地区大地构造环境制约，华北克拉通内部和边缘，如连山关、红石泉、中条山的一些矿区，成矿时代均为早元古代晚期（19～18 亿年）；龙首山－祁连山地区为古生代褶皱带，成矿时代以泥盆纪为主，多在 350～400Ma；中国东部，包括华北、北秦岭和华南，成矿时代以晚白垩纪为主，集中在 95～65Ma 之间，少量为早白垩纪，年龄＞100Ma（如石土岭等矿床的年龄为 124Ma）。北秦岭和华南由于受喜山运动影响，出现小于 65Ma 的铀矿年龄，并且占有一定比重。

我国花岗岩型铀矿的空间分布很不均匀，主要集中分布在华东南铀成矿省，其中桃山－诸广铀成矿带预测资源量接近花岗岩型铀矿预测总量的一半（占 49.2%），武夷山成矿带（6.9%）、郴州－钦州成矿带（4.8%）；其次是扬子陆块铀成矿省的雪峰山－摩天岭成矿带（6.7%）、湘中成矿带（4.0%），秦岭－大别成矿省的北秦岭成矿带（5.1%），华北陆块成矿省的辽东成矿带（5.3%）。另外，在阿尔泰、南天山、西昆仑、祁漫塔格、康滇地轴、昌都和班戈－嘉黎等成矿远景带分布有矿点和矿化点。

3.3.2　火山岩型铀矿

我国火山岩型铀矿床的成矿时间较为集中，除新疆白杨河矿床属二叠纪外，其他绝大部分火山岩型铀矿床均为中生代晚期的白垩纪（图 4）。古生代时期，中国北方天山－兴蒙造山系夹于西伯利亚与塔里木华北古陆块之间，经历了多期构造－岩浆活动，其间众多的微陆块在岩浆热液作用下重熔而发生铀的富集，在中酸性陆相火山岩中形成了古生代铀矿床（白扬河铀矿床）。进入中生代时期，由于太平洋板块的俯冲作用，中国东部发生了巨大变动，在处于大陆边缘的活化带形成了大量的中酸性火山岩，并受后期强烈的伸展作用影响，形成了大量火山岩型铀矿床。

火山岩型铀矿床均产于以酸性岩或碱性岩为主的陆相火山岩系中（陈肇博，1982），受陆相中酸性火山岩带控制，而这些陆相中酸性火山岩主要分布在古板块之间的古生代褶皱带中（新疆地区）或活动大陆边缘岩浆活动带（中国东部地区）。因此，我国火山岩型铀矿床在空间上，分布于 6 条火山岩型铀矿成矿带（赣杭、武夷山、长江中下游、沽源－红山子、

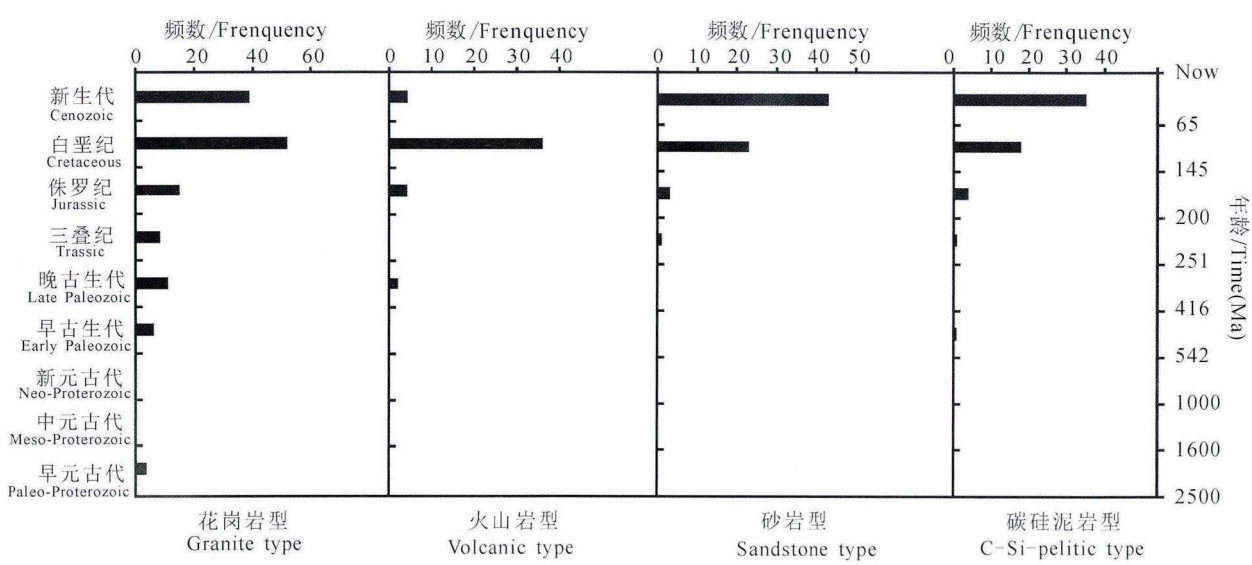


图 4　中国不同类型铀矿不同时代矿产地数统计图

Fig. 4　Statistical graph of ore-forming age for different types U-deposit in China

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

兴城—青龙和雪米斯坦)和8条火山岩型铀矿成矿远景带(天目山、金寨、扎兰屯、伊春、额尔古纳—满洲里、乌伦古河、北天山和措勤—南木林)。其中,雪米斯坦铀成矿带、乌伦古河和北天山铀成矿远景带内的火山岩型铀矿化产于古亚洲铀成矿域的晚古生代陆相中酸性火山岩中,其余产于滨太平洋铀成矿域的中生代陆相中酸性火山岩中。

3.3.3 砂岩型铀矿

砂岩型铀矿床主要分布在中新生代陆相盆地中,砂岩型铀矿床的形成常常是地壳演化某一阶段的产物,是多种地质作用的结果,它受中新生代盆地所在地区区域地质发展历史及盆地沉积特征等因素的控制(王盟等,2013;陈正乐等,2010;韩效忠等,2008)。

砂岩型铀矿的成矿时代跨度大,从190Ma(J_1)到1Ma(Q)(陈祖伊等,2010)[3],但高峰期为白垩纪和新生代(图4),以西部主成矿期是始新世和中新世,次成矿期为上新世以来,与喜马拉雅造山运动强烈和含矿层位抬升剥蚀相关;中部成矿年龄较老,主成矿期为早白垩世和晚白垩世,期后叠加了中新世的后生改造;东部砂岩型铀矿成矿年龄范围变化最小,主成矿期为晚白垩世。

砂岩型铀矿集中分布于北方大中型盆地,其中鄂尔多斯盆地、伊犁盆地、吐哈盆地、二连盆地、松辽盆地和巴丹吉林—巴音戈壁盆地等六大盆地预测铀资源量占砂岩型铀矿预测总资源量的75%,准噶尔盆地、塔里木盆地、库米什盆地、柴达木盆地、潮水盆地及走廊盆地群、敦密盆地群等的预测资源量占砂岩型铀矿预测资源总量的13%;南方盆地主要是衡阳盆地、四川盆地、腾冲盆地群、临沧盆地群和十万大山盆地群等,其预测资源量仅占砂岩型铀矿预测总量的15%。

另外,砂岩型铀矿床的主岩、矿化类型有着由西向东逐渐变化的规律,即:主岩从J_{1-2}变化到J_2(新疆盆地),再到K_1(二连盆地),最后到K_2(松辽盆地)。矿化类型从以层间氧化型为主到古层间氧化型,再到沉积—成岩叠加层间氧化型。

3.3.4 碳硅泥岩型铀矿

我国典型的海相碳硅泥岩主要形成于晚震旦世至早二叠世,其中晚震旦世至早寒武世碳硅泥岩分布最广,主要分布于湘、赣、粤、川、黔、桂等地(赵凤民等,2009),志留纪碳硅泥岩主要分布于南秦岭地区,泥盆纪、石炭纪、二叠纪碳硅泥岩主要分布于华南地区。扬子陆块东南缘、华北陆块南缘含矿主岩的形成时代为晚震旦世至早寒武世(500~700Ma),但铀成矿年龄却相对集中(一般均小于140Ma),且都比主岩是形成时代要晚得多,二者之间存在着360 Ma的年龄差值。南秦岭地区含矿主岩形成时代与铀成矿年龄之间存在着280 Ma的年龄差值,华南地区含矿主岩形成时代与铀成矿年龄之间存在着110~340 Ma的年龄差值。沥青铀矿的铀—铅同位素年龄及矿石全岩样品的铀—铅同位素等时线年龄数据表明,除成岩型铀矿床外,铀成矿作用主要发生在白垩—第三纪。铀成矿作用主要始于约140Ma,一直延续至7Ma,其中140~65Ma、67~55Ma、48~35Ma、30~22Ma、14~7Ma是主要铀成矿期(张待时,1994;赵凤民等,2009)(图4)。沉积—淋积型及热液改造的碳硅泥岩型铀矿床的铀成矿时代均远晚于主岩时代,且都集中在燕山—喜马拉雅期。

4 中国铀矿成矿系列

自20世纪70年代程裕淇等(1979)全面提出矿床的成矿系列概念以来,我国的广大地矿工作者在应用成矿系列观点指导找矿勘探,总结区域成矿规律方面作了大量工作,取得显著的成绩(陈毓川等,1994,1998,1999,2006,2007;翟裕生等,1999,2004)。它将在一个区域中与某一地质成矿作用有关,在空间、时间、成因上有联系的一组矿床,作为一个整体加以研究(陈毓川等,2007;应立娟,2014,2015)。

矿床成矿系列是指在一定的地质历史时期或构造运动阶段,在一定的地质构造单元及构造部位,与一定的地质作用有关的一组具有内在成因联系的矿床的自然组合(陈毓川,2006;王成辉,2014)。与其他矿床成矿系列研究相比,铀矿床成矿系列的研究处于起步阶段。黄净白等(2010)[5]初步划分了中国东部3个中生代燕山期火山岩型铀矿成矿系列,即华北地台北缘与燕山期中酸性岩浆侵入—喷发活动有关的Au、Ag、Pb、Zn、Mo、U矿床成矿系列、长江中下游与燕山期中酸性岩浆侵入—喷发活动有关的Fe、Cu、Pb、Zn、Mo、U矿床成矿系列以及东南沿海与燕山期火山—侵入活动有关的Fe、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、W、Sn、U矿床成矿系列。陈祖伊等(2010)[3]按照矿床类型将砂岩型铀矿划分为沉积—成岩成因矿床系列、潜水氧化成因矿床成矿系列和层间氧化成因矿床成矿系列。

本次潜力评价结合铀矿床时空分布特征,依据同一大地构造单元(个别跨界情况按实际成矿地质

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

背景考虑）、同一成矿时代（先时间后空间）、同一主要成因（外生、内生和复合成因）和同一元素组合（相似元素和矿物组合）四大原则，初步建立了中国 U—多金属成矿体系，划分了全国铀矿床成矿系列（图 5），较完整地反映了铀矿床和金属矿床成矿系列的关系，有利于综合分析铀的区域成矿规律。总体而言，在全国范围内共划分了 20 个铀成矿系列，包括古元古代铀成矿系列 1 个、古生代铀成矿系列 2 个

（1）松辽盆地与白垩纪沉积作用有关的 U、石油、油气、天然气、油页岩矿床成矿系列。该矿床成矿系列的成矿时代为中—新生代，产出于天山—兴蒙造山系松辽地块内。产出的矿床涉及：①与上白垩统河流相砂质辫状河砂体有关的复合成因的砂岩型铀矿（如钱家店）；②与沉积作用有关的石油、天然气和油页岩矿床。

（2）大兴安岭南端—华北陆块北缘与燕山期中

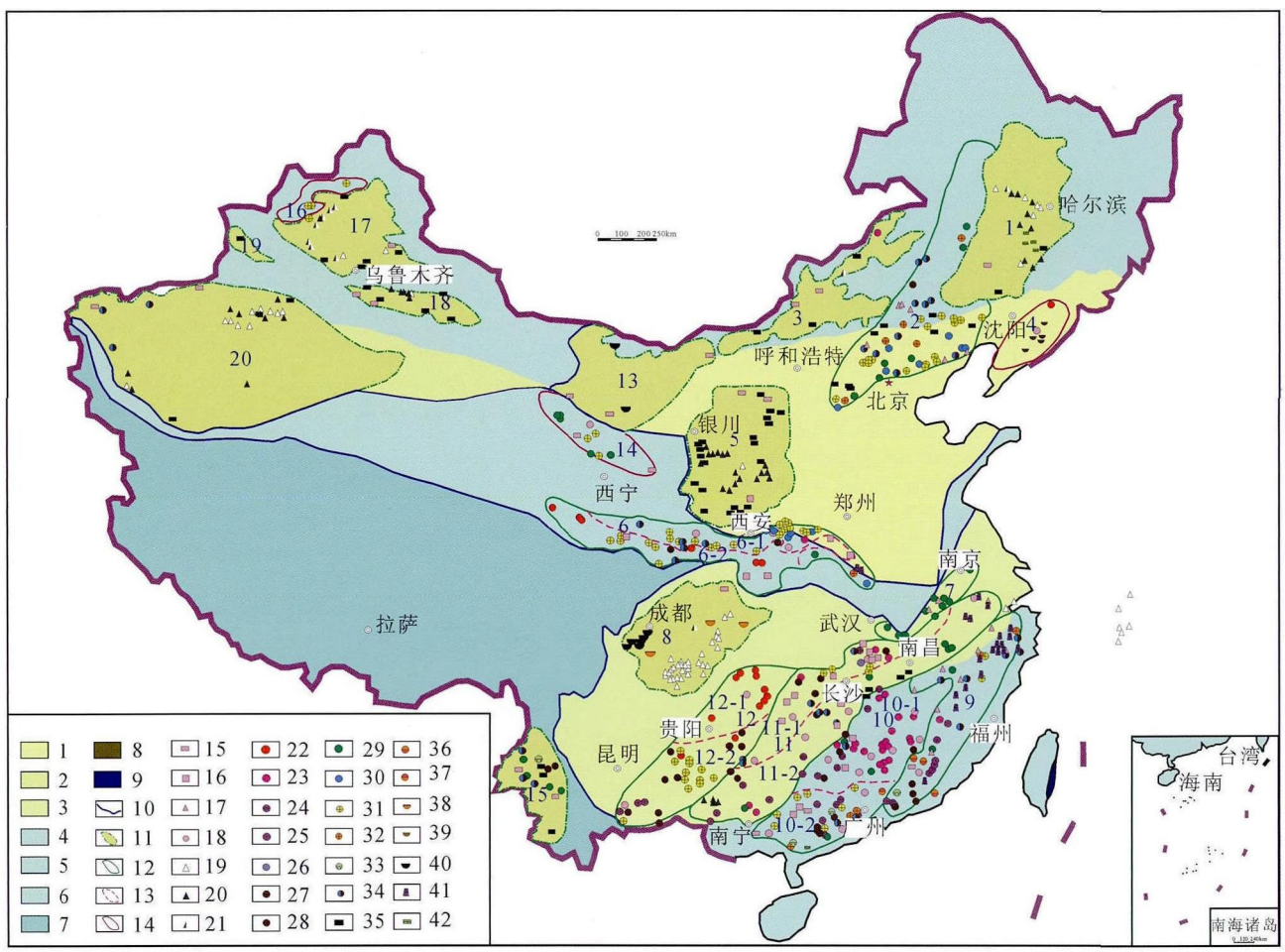


图 5　中国铀成矿系列分布图

Fig. 5　Distribution Profile of U metallogenic series in China

1—华北陆块；2—塔里木陆块；3—扬子陆块区；4—天山—兴蒙造山系；5—秦祁昆造山系；6—武夷—云开—台湾造山系；7—西藏—三江造山系；8—印度陆块区；9—菲律宾造山系；10—构造域界线；11—中生代沉积型铀成矿系列；12—中生代热液型铀成矿系列；13—古生代热液型铀成矿系列；14—古元古代热液型铀成矿系列；15—砂岩型铀矿；16—碳硅泥岩型铀矿；17—火山岩型铀矿；18—花岗岩型铀矿；19—天然气；20—石油；21—油气；22—汞；23—钨钼；24—钼矿；25—锰；26—锂；27—锡；28—锑；29—铜铍；30—钼；31—金；32—银；33—钛铁矿；34—铜钼；35—煤；36—重稀土；37—轻稀土；38—石盐；39—硼；40—芒硝；41—萤石；42—油页岩

1—North China block; 2—Tarim block; 3—Yangtze block; 4—Tianshan-Xingmeng Orogen; 5—Qin Qi Kun Orogen; 6—Wuyi-Yukai-Taiwan Orogen; 7—Tibet-Sanjiang Orogen; 8—India block; 9—Philippines Orogen; 10—Structural domain boundaries; 11—Mesozoic Sedimentary type uranium mineralization series; 12—Mesozoic hydrthermal type uranium mineralization series; 13—Paleozoic hydrthermal type uranium mineralization series; 14—Neoproterozoic hydrthermal type uranium mineralization series; 15—sandstone－type uranium; 16—C-Si-pelite-type uranium; 17—vocanic-type uranium; 18—granite-type uranium; 19—gas; 20—oil; 21—oil and gas; 22—Hg; 23—W-Mo; 24—molybdenum; 25—Mn; 26—Li; 27—Sn; 28—Sb; 29—Cu, Be; 30—Mo; 31—Au; 32—Ag; 33—limenite; 34—Cu-Mo; 35—Coal; 36—HREE; 37—LREE; 38—salt; 39—B; 40—reussin; 41—fluorite; 42—oil shale

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 7 中国主要铀矿床成矿系列

Table 7 Major metallogenic series of uranium deposits in China

编号	成矿时代	成矿类型	成矿系列	成矿亚系列与矿产种类		
1	中新生代	沉积型	松辽盆地与白垩纪沉积作用有关的U、石油、油气、天然气、油页岩矿床成矿系列	U、石油、油气、天然气、油页岩		
2	中新生代	热液型	大兴安岭南端—华北陆块北缘与燕山期中酸性—碱性侵入岩—喷出岩有关的U、Au、Ag、Cu、Mo、Sn、Pb、Zn、稀有金属矿床成矿系列	U、Au、Ag、Cu、Mo、Sn、Pb、Zn、稀有金属		
3	中新生代	沉积型	二连盆地与白垩纪陆相碎屑岩—泥质岩—火山碎屑沉积岩有关的U、煤、油气矿床成矿系列	U、煤、油气		
4	古元古代	热液型	华北陆块东北部与古元古代沉积—变质后期热液改造作用有关的U、硼、Cu、Pb、Zn、Mo矿床成矿系列	U、硼、Cu、Pb、Zn、Mo		
5	中新生代	沉积型	鄂尔多斯盆地与中新生代陆相碎屑岩—泥质岩有关的U、石油、煤、天然气、油页岩矿床成矿系列	U、石油、煤、天然气、油页岩		
6	中新生代	热液型—沉积型	秦岭—大别与海西—燕山期构造—岩浆—沉积作用有关的U、Au、Ag、Mo、Cu、W、Pb、Zn、Sn矿床成矿系列	6～1	与沉积岩热液成矿有关的碳硅泥岩型U矿、Au、Hg、Sb矿床成矿亚系列	U、Au、Ag、Mo、Cu、W、Pb、Zn、Sn
				6～2	与岩浆作用有关的花岗岩型U、Au、Ag、Cu、Mo、Cu、Mo、Pb、Zn、萤石矿床成矿亚系列	
7	中新生代	热液型	长江中下游与燕山期壳幔源侵入—喷出岩有关的U、Cu、W、Mo矿床成矿系列	U、Cu、W、Mo		
8	中新生代	沉积型	四川盆地与侏罗纪—白垩纪陆相碎屑岩—泥质岩有关的U、天然气、芒硝、石盐矿床成矿系列	U、天然气、芒硝、石盐		
9	中新生代	热液型	赣杭—武夷山与燕山期火山—侵入活动有关的U、Sn、Pb、Zn、Nb、Ta、W、Mo、Au、Ag、Cu、萤石、重稀土矿床成矿系列	U、萤石、Sn、Pb、Zn、Nb、Ta、W、Mo、Au、Ag、Cu、重稀土		
10	中新生代	热液型	桃山—诸广燕山期与中浅成花岗岩类有关的U、W、Mo、Sn、Nb、Ta、Au、Cu、钛铁、稀土矿床成矿系列	10～1	赣南隆起U、W、Mo、Sn、Pb、Zn、Cu、Nb、Ta成矿亚系列	U、W、Mo、Sn、Na、Ta、Au、Cu、钛铁、稀土
				10～2	云开隆起Au、Ag、Mn、Sn、Pb、Zn、U、钛铁矿成矿亚系列	
11	中新生代	混合型	幕府山—苗儿山与燕山期中浅成花岗岩类有关的U、Au、Cu、W、Mo、Pb、Zn、Sb、Mn、萤石、银多金属矿床成矿系列	11～1	江南隆起震旦—寒武纪碳硅泥岩型U与Au、Pb、Zn、Sn、Hg成矿亚系列	U、Au、Cu、W、Mo、Pb、Zn、Sb、Mn、萤石、Ag多金属
				11～2	江南隆起泥盆—二叠纪碳硅泥岩型铀矿、花岗岩型铀矿、砂岩型铀矿与Au、Pb、Zn、Sn、Mn、W、Mo成矿亚系列	
12	中新生代	热液型	武陵山与燕山期岩浆岩有关的U、Au、Mn、Hg、Sb、Sn、W银多金属矿床成矿系列	12～1	扬子陆块南部碳酸盐台地—东南缘被动边缘盆地U、Hg、Sb成矿亚系列	U、Au、Mn、Hg、Sb、Sn、W、Ag多金属
				12～2	南盘江—右江前陆盆地U、Au、Sb、Hg、Mn、Sn、Ag多金属成矿亚系列	
13	中新生代	沉积型	巴丹吉林—巴音隔壁盆地群与白垩纪陆相碎屑岩—泥质岩—火山碎屑沉积岩有关的U、芒硝矿床成矿系列	U、芒硝		
14	古生代	热液型	柴北缘—祁连与海西期岩浆—沉积作用有关的U、Cu、Au矿床成矿系列	U、Cu、Au		
15	中新生代	热液型	滇西与中新生代岩浆岩有关的U、Sn、Pb、Zn、Cu、Be、Hg、As、Ge矿床成矿系列	U、Sn、Pb、Zn、Cu、Be、Hg、As、Ge		
16	古生代	热液型	雪米斯坦与早古生代中酸性火山岩—深成岩有关的热液型U、Au矿床成矿系列	U、Au		
17	中新生代	沉积型	准噶尔盆地与中新生代陆相碎屑岩—泥质岩有关的U、石油、煤、天然气矿床成矿系列	U、石油、煤、天然气		
18	中新生代	沉积型	天山东部与中新生代山间盆地陆相沉积—蒸发作用有关的U、石油、天然气、煤矿床成矿系列	U、石油、天然气、煤		
19	中新生代	沉积型	天山西部与中新生代山间盆地陆相沉积—蒸发作用有关的U、煤矿床成矿系列	U、煤		
20	中新生代	沉积型	塔里木盆地与中—新生代陆相碎屑岩—泥质岩有关的U、石油、天然气、煤矿床成矿系列	U、石油、天然气、煤		

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

酸性－碱性侵入岩－喷出岩有关的 U、Au、Ag、Cu、Mo、Sn、Cu、Mo、Pb、Zn、稀有金属矿床成矿系列。该矿床成矿系列地跨两大构造环境,即天山－兴蒙造山系与华北陆块区;产出的矿床主要包括:①与燕山晚期中酸性火山岩有关的火山岩型铀矿床(如红山子铀矿床)以及发育在中生代晚期陆相断陷火山盆地中的火山岩型铀矿床(如张麻井铀矿床);②华北陆块北缘与中酸性火山－侵入岩有关的金厂峪、东坪、金厂沟式金矿床,牛心山式银矿床,撒岱沟门、兰家沟、杨家杖子式钼矿床,蔡家营式铅锌矿床,通化二密式铜矿床;③大兴安岭与燕山期中酸性－碱性侵入岩－喷出岩有关的孟恩陶勒盖式银矿床、白音诺尔式铅锌矿床、莲花山式铜银金矿床、黄岗式铁锡矿床以及巴尔哲稀有金属矿床。

(3)二连盆地与白垩纪陆相碎屑岩－泥质岩－火山碎屑沉积岩有关的 U、煤、油气成矿系列。该矿床成矿系列的大地构造环境为天山－兴蒙造山系,产出的矿床主要包括:①与白垩纪陆相碎屑岩－泥质岩有关的努和廷式砂岩型铀矿床以及白彦花式煤矿;②新生代产出的油气田(如二连煤气田)。

(4)华北陆块东北部与古元古代沉积－变质后期热液改造作用有关的 U、硼、Cu、Pb、Zn、Cu、Mo 矿床成矿系列。该矿床系列产出时代为古元古代(Pt_1－中条旋回),位于华北陆块区胶辽裂谷带内;产出的矿床主要包括:①与碱交代有关的连山关式花岗岩型铀矿床;②与含硼火山－沉积岩系和厚层白云岩变质作用有关的沉积变质型高台沟、后仙峪式硼矿床、大栗子式铁矿床(菱镁矿)以及大横路式钴铜矿床。

(5)鄂尔多斯盆地与中新生代陆相碎屑岩－泥质岩有关的 U、石油、煤、天然气、油页岩矿床成矿系列。该矿床成矿系列产出于华北陆块鄂尔多斯盆地内,为中新生代成矿系列,其中,成矿时代为中生代的有:①与陆相碎屑岩有关的砂岩型铀矿床(如皂火豪、店头铀矿床);②产出于鄂尔多斯盆地西缘的太西式煤矿、东北部延安式和瓦窑堡式煤矿;③产出于盆地南部的黄龙式、铜川式煤矿,长庆式石油以及油页岩(如张洪、铜川油页岩矿床);此外,该成矿系列中还分布有新生代时期成矿的安塞式、天池式油气田(如刘家庄、吴旗油气田)。

(6)秦岭－大别与海西－燕山期构造－岩浆－沉积作用有关的 U、Au、Ag、Mo、Cu、W、Pb、Zn、Sn 矿床成矿系列。该矿床成矿系列总体展布于秦祁昆造山带成矿域内,成矿时代为燕山期。根据铀矿床成因类型的差异又划分了两个矿床成矿亚系列,即与沉积－热液成矿有关的碳硅泥岩型 U、Au、Hg、Sb 矿床成矿亚系列,该亚系列中产出的矿床主要包括:①与西秦岭浅成中酸性侵入岩、低温热液有关的大水、忠曲与坪定式金矿床;②与南秦岭三叠系及更老碎屑岩和碳酸盐岩有关的崖湾、高岭沟式锑矿床,苦海－穆黑、马家山、公馆式汞矿床;③碳硅泥岩型铀矿床(如诺尔盖铀矿田、黑沟与桂坪铀矿床)。)与岩浆作用有关的花岗岩型 U、Au、Ag 、Cu、Mo、W、Pb、Zn、萤石矿床成矿亚系列,该系列中产出的矿床主要有:①花岗岩型铀矿床(如蓝田等);②秦岭中部与燕山期深源岩浆活动有关的李坝、八卦庙、双王、马鞍桥式金矿床以及铅锌矿床(如厂坝－李家沟);③小秦岭－熊耳山与构造岩浆活动有关的祁雨沟、星星阴式金矿床,金堆城、雷门沟、南泥湖式钼矿床以及三道湾钨钼矿床;④北秦岭与中生代岩浆活动有关的秋树湾式铜钼矿床;⑤桐柏－大别山与中生代岩浆活动有关的老湾式金矿床,皇城山式银矿床以及尖山式萤石矿床(如周庄、尖山、华河萤石矿床)。

(7)长江中下游与燕山期壳幔源侵入－喷出岩有关的 U、Cu、W、Mo 矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于下扬子陆块区,其西部与秦祁昆造山系的大别－苏皖微地块相结合,属于稳定地块向造山带过渡的部位,成矿时代为燕山期。该成矿系列中所产出的铀矿床主要有:①与富钾、富碱多旋回火山岩浆活动有关的丁家山火山岩型铀矿床;②鄂东南火山盆地与壳幔源中酸性火山－侵入活动有关的铜录式、封山洞式铜矿床及龙角山－阮家山式铜钼矿床;③九江－铜陵－安庆断陷带与壳幔源花岗岩有关的城门山、凤凰山、铜官山、狮子山式铜矿;④庐枞－宁芜火山盆地与壳幔源中基性－中酸性－碱性火山岩有关的安基山式铜铅锌矿床。

(8)四川盆地与侏罗纪－白垩纪陆相碎屑岩－泥质岩有关的 U、天然气、芒硝、石盐矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于上扬子陆块区川中前陆盆地内,属于中新生代矿床成矿系列。该矿床成矿系列包括如下矿床:①砂岩型铀矿床(如范家山、花台寺、松溪、毛坝铀矿床);②四川盆地西缘与三叠系海相碳酸盐岩、海陆交互相碎屑岩有关的大为式石膏矿床、威西式盐矿以及芒硝矿(如金华、金藏、白塔等);③四川盆地东南缘的天然气。

(9)赣杭－武夷山与燕山期火山－侵入活动有关的 U、萤石、Sn、Pb、Zn、Nb、Ta、W、Mo、Au、Ag、

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Cu、重稀土矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于武夷－云开－台湾造山系内，成矿时代为燕山期。矿床成矿系列内产出的矿床主要有：①赣杭构造火山活动带赋存于火山角砾岩筒内的毛洋头式火山岩型铀矿床（如尖山、蒋村、古石背铀矿床），受火山构造、断裂构造和次火山岩体联合控制的横涧式铀矿床（如大桥坞、齐村）；受构造和岩性控制的盛源式、白面石式、查干式层间破碎带型火山岩铀矿床（如马荃），以及沿赣杭构造带展布的萤石矿床（如南山坑、后树等）、金矿床（如治岭头金矿床）和银矿床（如金田寺、后岸银矿床）；②浙南闽北与燕山晚期晚阶段与火山岩有关的五部羊平鸟式铅锌矿床以及萤石矿床（如花街、后树等）；③闽粤赣与燕山晚期早阶段与侵入岩有关的莲花山式钨矿（如洋塘、羊耳障钨矿床），博罗式铌钽矿床，长浦－西岭式锡矿床、厚婆式锡铅锌银矿床，紫金山式铜金矿床、白石嶂式钼矿床、重稀土矿床以及新生代成矿的锰矿床和萤石矿（低陂坜矿床）；④赣南－粤北－闽西与燕山期花岗岩类有关的行洛坑式钨矿床。

（10）桃山－诸广与燕山期中浅成花岗岩类有关的 U、W、Mo、Sn、Nb、Ta、Au、Cu、钛铁、稀土矿床成矿系列。该矿床成矿系列产出于武夷－云开造山系的罗霄－云开弧盆系，成矿时代为燕山期，根据矿产种类的该矿床成矿系列又可划分为两个亚系列，即赣南隆起 U、Cu、Sn、W、Mo、Ta 成矿亚系列和云开隆起 Au、Ag、Mn、Sn、Pb、Zn、U 钛铁矿成矿亚系列。其中：赣南隆起 U、W、Mo、Sn、Pb、Zn、Cu、Nb、Ta 成矿亚系列主要成矿构造环境为罗霄岩浆弧，产出的矿产主要有：①以桃山、诸广南部、鹿井、草桃背和下庄矿田为代表的花岗岩型铀矿床，涉及硅化带型的希望矿床式（如鹿井、桃坑、江湾等矿床）、矿脉与暗色岩墙交点型的下庄矿床式（如大塘、隘高等矿床）等典型矿床，此外还包括有碳硅泥岩型铀矿（如金银寨、坌头铀矿床）；②赣南－粤北－闽西与燕山期花岗岩类有关的岩背式锡矿、西华山式、漂塘式和行洛坑式钨矿、大吉山式钨铌钽矿、焦里式钨银矿、新坊式钨钼矿以及足洞式稀土矿；③湘粤桂海西坳陷区域燕山期花岗岩类有关的柿竹园式钨锡钼铋萤石矿、香花岭式锡铅锌矿、珊瑚式钨锡矿、黄莎坪式铅锌矿和宝山式铅锌矿；④大宝山铜矿以及尖峰岭、雅山和金竹垄铌钽矿；⑤ 新生代成矿的锰矿（如后江桥等）。云开隆起成矿亚系列所在的大地构造环境包括云开岛弧、六万大山－大荣山岩浆弧以及残余和盆地，产出的矿产主要有：①花岗岩型（如里洞、古佰铀矿床）、砂岩型（盐砂口铀矿床）和碳硅泥岩型铀矿（马鞍肚、伟杨铀矿床）；②与古生界碎屑岩容矿及构造作用有关的古袍－南乡式金矿、龙头山式金矿；③与燕山期中－酸性侵入岩有关的长坑式金矿、天堂式铅锌矿、石录－黑岗式铜－硫铁矿以及银岩等锡矿；④中苏、望天洞银矿，林湾、坡仔湾金矿；⑤新生代矿产主要富湾银矿、木圭等锰矿、平定钛铁矿、茂名油页岩（油）以及三水油气、山岗油。

（11）幕府山－苗儿山与燕山期中浅成花岗岩类有关的 U、Au、Cu、W、Mo、Pb、Zn、Sb、Mn、萤石、银多金属矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于上扬子古陆块区，主要成矿时代为燕山期，可进一步划分了两个成矿亚系列。其中，江南隆起震旦－寒武纪碳硅泥岩型 U、Au、Pb、Zn、Sn、Hg 成矿亚系列，其中，碳硅泥岩型铀矿床主要有麻池寨、老卧龙和铜湾等；金矿床主要有黄金洞、沃溪等；钨矿床主要有香炉山、湘西等；铅锌矿主要有白云铺、桃林等；锑矿主要有锡矿山、渣滓溪矿床以及传梓源锂铍矿床。

江南隆起泥盆－二叠纪不同类型铀矿与其他贵金属、有色金属组成的成矿亚系列，包括：①花岗岩型铀矿。有苗儿山矿田、全州矿田、砂岩型铀矿有大浦矿田，碳硅泥岩型铀矿为杨柳塘矿床；②萍乡－乐平滨海盆地与三叠系海陆过渡相碎屑岩、泥质岩有关的安源式煤矿（如丰城、高安、英安岭、上栗、胡家坊和高坑）；③萤石矿主要有凤行山、白茅岭以及庾山等，铜矿主要有铜厂、富家坞、朱砂红和两江，锑矿主要有五圩和罗城，钨矿主要有大明山和高田等，水溪庙铌钽矿以及金竹源稀有金属矿产；④新生代的矿产包括百色式油（气）（如江泽、雷公和上法等）以及下雷、东平等锰矿。

（12）武陵山与燕山期岩浆岩有关的 U、Au、Mn、Hg、Sb、Sn、W、Ag 多金属矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于上扬子古陆块区，主要成矿期为燕山期，可进一步分为两个亚系列。其中，扬子陆块南部碳酸盐台地－东南缘被动边缘盆地 U、Hg、Sb 成矿亚系列，包括：①碳硅泥岩型铀矿（如金沙岩孔、白马洞和大鱼塘铀矿床）和桃树林花岗岩型铀矿；②与古生界碳酸盐岩、碎屑岩以及前寒武系浅变质岩有关的丹寨水银厂式汞矿、苗龙式汞锑矿、雷山开屯式和独山半坡式锑矿。南盘江－右江前陆盆地铀多金属成矿亚系列，包括：①普雄花岗岩型铀矿床；②与二叠系、三叠系碳酸盐有关的紫木凼式、戈塘式、板其式、高龙式金矿，大厂式、马雄式锑矿以及滥木厂式汞矿；③与燕山期壳源花岗岩有关的个旧式与都

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

龙式锡矿、白牛厂式银多金属、洗马塘锑矿、老君山钨矿以及斗南等锰矿。

(13)巴丹吉林－巴音隔壁盆地群与白垩纪陆相碎屑岩－泥质岩－火山碎屑沉积岩有关的 U、芒硝矿床成矿系列。该矿床成矿系列的大地构造背景包括天山－兴蒙造山系的额济纳－北山弧盆系与华北陆块区的阿拉善陆块，成矿时代为中生代；该矿床成矿系列的矿产种类只有两种，即砂岩型铀矿(如碱泉、大红山等铀矿床)与芒硝矿(如哈林贺休与中泉子芒硝矿床)。

(14)柴北缘－祁连与海西期岩浆－沉积作用有关的 U、Cu、Au 矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于秦祁昆造山系中的北祁连弧盆系，成矿时代为海西期；该矿床成矿系列中包括如下主要矿产种类：①花岗岩型铀矿(如扁都口，红石泉等铀矿床)，砂岩型铀矿(如红岩湾、白水铀矿床)；②铜矿(如红沟、天鹿等铜矿床)；③金矿(如松树南沟、童子坝等金矿床)。

(15)滇西与中新生代岩浆岩有关的 U、Sn、Pb、Zn、Cu、Be、Hg、As、Ge 矿床成矿系列。该矿床成矿系列的大地构造背景为西藏－三江造山系的三江、拉达克－冈底斯弧盆系和保山地块，成矿时代跨越中新生代。该矿床成矿系列产出有腾冲和临沧砂岩型铀矿田，此外，按时代产出的其他矿产主要有：①中生代的锡矿床(如小龙河、铁厂等)；②新生代铅锌矿床(如老厂、鲁子园等)、铜矿床(如灰窑、铜厂街等)、黄莲沟式铍矿、茅草坡等汞矿、板桥钛铁矿等。

(16)雪米斯坦与早古生代中酸性火山岩－深成岩有关的热液型 U、Au 矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于天山－兴蒙造山系，属东－西准噶尔弧盆系，为早古生代矿床成矿系列。该矿床成矿系列中主要包括如下矿床：①西准与海西中晚期造山阶段韧性剪切－破碎带有关的布尔克斯岱式金矿床和以及与海西中期二长花岗岩、钾长花岗岩有关的齐依求Ⅰ号金矿床；②与偏酸、富碱、高铀含量的上古生代中－酸性次火山岩有关的白杨河式火山岩型铀矿床。

(17)准噶尔盆地与中新生代陆相碎屑岩－泥质岩有关的 U、石油、煤、天然气矿床成矿系列。该矿床成矿系列地跨天山－兴蒙造山系内的准噶尔－吐哈地块和东西准噶尔湖盆系，成矿时代为中新生代；该矿床成矿系列中包括的矿床主要为含铀煤砂岩型铀矿(如大庆沟铀矿床)、和什托洛盖式煤矿以及独山子式油气和克拉玛依式石油；此外，还发育有天然气(如呼图壁、火南)。

(18)天山东部与中新生代山间盆地陆相沉积－蒸发作用有关的 U、石油、天然气、煤矿床成矿系列。该矿床成矿系列地处天山－兴蒙造山系的准噶尔－吐哈地块之中，成矿时代为中新生代。东南天山(吐哈盆地)产出的与侏罗纪陆相沉积岩有关的十红滩式含铀煤型铀矿(如十红滩、阿拉沟铀矿床)、柯尔碱式煤矿以及新生代鄯善式油气构成了该矿床成矿系列。

(19)天山西部与中新生代山间盆地陆相沉积－蒸发作用有关的 U、煤矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于天山－兴蒙造山系中的伊宁－中天山陆块，大地构造环境为伊宁裂谷；该系列中产出有蒙其古尔式砂岩型铀矿床以及西天山与侏罗纪陆相沉积建造有关的伊宁式煤矿。

(20)塔里木盆地与中－新生代陆相碎屑岩－泥质岩有关的 U、石油、天然气、煤矿床成矿系列。该矿床成矿系列位于塔里木陆块区，从中生代至新生代均有成矿。该矿床成矿系列中包括如下主要矿产种类：①塔里木盆地北缘与侏罗系陆相碎屑岩、泥质岩有关的萨瓦布其式、巴什布拉克式砂岩型铀矿与煤矿；②塔里木盆地南缘新生代柯克亚式油气－气矿床，北缘大宛奇式油气－气矿床；③盆地西缘产出于三叠及白垩纪的铅锌矿床。

5　讨论

5.1　我国产铀区与世界主要产铀区成矿地质构造背景探讨

我国主要产铀区与各国铀成矿地质构造背景很不一样。欧亚大陆古生代褶皱带主要铀矿类型是热液脉型和砂岩型，其次是黑色页岩型，该成矿域贯穿于中国西北部和北部。滨太平洋中新生代大陆边缘活动带发育热液脉型铀矿和砂岩型铀矿，该成矿域贯穿于中国的华东南地区和东北地区。北美陆块(地台)包括加拿大和美国，发育特大规模的石英卵石砾岩型铀矿床和不整合面型铀矿床；北美陆块南部也是中新生代滨太平洋活动带的一部分，产出陆相砂岩型铀矿。澳洲陆块在东北部太古代地块边缘早元古代裂陷带内发育不整合面型铀矿床，在东南部早—中元古代裂谷中发育角砾杂岩型的奥林匹克坝型铀矿床，在南部伊尔岗克拉通内新生代盆地中发育钙结岩型铀矿床。非洲陆块主要发育太古代晚期石英卵石砾岩型铀矿床、晚元古代砂岩型铀矿床和古生代石炭纪砂岩型铀矿床。巴西陆块在东部克拉通周边发育与晚元古代构造－岩浆活动有关的碱

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

交代型铀矿床,克拉通南部也见有低品位石英卵石砾岩型铀矿床。因此,澳、加、非、南美主要是古老的早前寒武纪稳定大型陆块的产铀地质构造背景,西欧、乌克兰、中亚、俄罗斯等主要是欧亚大陆古生代褶皱系的产铀地质构造背景(俄罗斯还具有西伯利亚大型克拉通的产铀地质构造背景),我国主要是地质时代较新的中新生代大陆边缘活动带、古生代褶皱系和华北板块类似鄂尔多斯盆地的产铀地质构造背景。

5.2 世界主要类型铀矿床的分布与我国铀矿的优势类型

世界主要类型铀矿床的分布很不均衡。不整合面型主要产于加拿大和澳大利亚。石英卵石砾岩型主要分布在北美和南非。角砾杂岩型主要产于澳大利亚、北美和非洲。砂岩型(包括地浸及非地浸砂岩型):中新生代砂岩型主要产于中亚哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦、美国西部,其次为西欧、俄罗斯和蒙古及中国,古生代砂岩型主要见于北非尼日尔,元古代砂岩型主要见于西非加蓬。热液脉型(包括花岗岩型、火山岩型、碱交代型):古生代热液脉型主要产于欧亚大陆中纬度地带,如法国、德国、乌克兰、哈萨克斯坦等国;中生代热液脉型主要产于环太平洋西岸大陆边缘活动带,如中国、俄罗斯等国。岩浆岩型(伟晶白岗岩型):主要产于西非纳米比亚,中国北秦岭和龙首山有所发现。钙结岩型主要产于西澳大利亚。黑色页岩型主要产于北欧瑞典、德国和亚洲的中国。由此看出,中国目前探明的铀矿类型主要以热液脉型(花岗岩型、火山岩型)、中新生代砂岩型和黑色页岩型(碳硅泥岩型)为优势类型,世界其他产铀大国的不整合面型、石英卵石砾岩型、角砾杂岩型、钙结岩岩型等类型的大型、超大型铀矿矿床对于我国还是稀缺类型。最近,从我国内蒙地轴和北秦岭的太古代老地层也发现有较好铀矿的情况看,可能是由于以往工作程度太低,导致其铀资源潜力没有引起足够的重视。

5.3 我国铀矿资源的特点和优势分析

与世界主要产铀国对比可以看出,我国铀矿床也有自身的特点和优势。以往多将我国铀矿床与铀资源禀赋条件优越的澳、加等国的大型、超大型铀矿床相比进行评价,认为我国铀矿床属于"小、贫、散",这有客观的一面,国外最大的铀矿床超过 10 万吨,甚至几十万吨,最高品位超过 10%。但是,类似澳、加等国的大矿、富矿毕竟在全球范围内是罕见的,是特定地质成矿条件下的产物,很难代表全球铀矿产出的一般特征。由于中国大陆是由一些小克拉通、众多微陆块和造山带复合而成的复合大陆,在地质历史上处于特殊的构造域,导致多旋回复合造山带、多旋回叠合盆地、多旋回构造-岩浆-成矿作用及晚期成矿对早期成矿的叠加改造作用等特征都十分突出,铀成矿作用也受到上述整体地质构造背景和环境的重要影响。具体分析我国铀矿床的特点,其实是"小而多、贫而可用、散而相对集中",即我国铀矿资源的区位优势是:"矿床数量多、矿石性能较好、产出相对集中、资源较为丰富"。上述所说的"小而多",不仅是矿床数量多,而且铀矿类型多、成矿地质时代多、矿床成矿期次多、分布区域多等。尤其是矿床数量多,其它国家很难与我国相比,据最新资料,目前除中国之外全世界能检索到的铀矿床数为 1698 个,我国铀矿床数为 350 多个。"贫而可用"是指我国铀矿资源储量虽然以中低品位为主,但矿石类型普遍较好,水冶加工性能良好,大多在技术上可行,可以经济利用。"散而相对集中"是指铀矿床的产出相对集中,普遍"扎堆"和"群居",单个矿床的规模虽小,但主要集中在数十个矿田和矿化集中区,而且小中有大,以大带小,往往有大中型规模的骨干矿床,随着勘查工作的不断深入,最近 10 多年在北方沉积盆地已陆续探明一些 3~5 万吨级的矿床,今后可能还会发现更大规模的矿床。一个矿田或矿化集中区的面积大多在 200~400 平方千米范围,便于整体规划和开发,比较经济。如著名的相山铀矿田在方圆十多公里范围内已探明 20 多个矿床 3 万多吨资源储量,预测未探明的潜在总量超过 5 万吨。除上述情况外,我国铀矿与多种元素矿产共伴生产出的现象较为普遍,既给开发利用带来难度,又是潜在的综合优势。即本来单一开发铀时,同时还要考虑铀与其它元素的分离,增加了工艺技术的难度,而且往往是欠经济的,但如果转变为综合开发共伴生矿产,可能就有很好的经济效益。这也是中国成矿地质背景的一大特色,主要原因是一组(族)元素群多期多次受共同地质事件的作用,一次大规模成矿作用会同时造就铀及其它多种元素的富集。

6 结论

(1)我国铀资源较为丰富,铀矿床类型多。本文系统建立了 4 大类 9 类 21 亚类型铀矿床类型,4 大类即为岩浆型、热液型、陆相沉积型(广义砂岩型)和海相沉积型(广义碳硅泥岩型)。

(2)综合考虑铀成矿的地质背景(构造单元)、成

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿区带、成矿时代和矿化类型等要素，厘定中国铀矿预测类型 50 个，包括花岗岩型 14 个、火山岩型 11 个、砂岩型 12 个以及碳硅泥岩型 13 个。

(3)认为我国铀矿床空间分布特征不均匀、时间跨度大但又相对集中于白垩纪和新生代；空间上，位于划分出的 29 个铀成矿区带和 20 个铀成矿远景区带；时间上，古元古代一直到新生代均有铀矿床产出，但绝大多数铀成矿集中在白垩纪和新生代。

(4)结合铀矿床时空分布特征，初步建立了 20 个中国 U—多金属成矿系列，包括中—新生代沉积型铀成矿系列 10 个、热液型铀成矿系列 7 个，古生代热液型成矿系列 2 个及古生代热液型铀成矿系列 1 个；该成矿系列较完整地反映了铀矿床和金属矿床成矿系列的关系，有利于综合分析铀的区域成矿规律。

致谢：感谢全国矿资源潜力评价项目对铀矿资源潜力评价的支持与帮助，感谢陈毓川院士、叶天竺研究员、王登红研究员在铀成矿规律、成矿系列方面的指导。

注　释

❶《中国核工业》2014 年第 12 期，20～23.

❷ 王从周在花岗岩型铀矿学术讨论会上的发言，发表于“放射性地质”.

❸ 陈祖伊，陈戴生，古抗衡主编的《中国铀矿床研究评价 第三卷 砂岩型铀矿床》.

❹ 刘兴忠《铀矿地质论文集》中 1981 年 12 月在铀矿地质学会代表大会上的发言.

❺ 黄净白，谢佑新，方锡珩主编的《中国铀矿床研究评价 第二卷 火山岩型铀矿床》.

参　考　文　献

陈戴生，蔡煜琦. 2001. 砂岩型铀矿分类探讨. 铀矿地质，17(5)：285～289.

陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列. 地学前缘，1(3)：90～99.

陈毓川，裴荣富，宋天锐，邱小平. 1998. 中国矿床成矿系列初一论. 北京：地质出版社，1～104.

陈毓川. 1999. 矿床成矿系列与成矿预测. 见陈毓川主编，当代矿产资源勘查评价的理论与方法. 北京：地震出版社，19～25.

陈毓川(主编)和朱裕生(副主编). 1999. 中国矿床成矿系列图. 北京：地质出版社.

陈毓川，裴荣富，王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题. 地质学报，80(10)：1501～1508.

陈毓川，常印佛，裴荣富，任纪舜，汤中立，朱裕生. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京：地质出版社，1～1005.

陈毓川，王登红，陈郑辉，徐志刚，李健康，芮宗瑶，盛继福，徐珏，袁忠信，白鸽，朱明玉，李厚民，高兰，李华芹，屈文俊，陈文，王彦斌，张永生，叶会寿，应立娟，王成辉，刘善宝，付旭杰，等. 2010. 重要矿产和区域成矿规律研究技术要求. 北京：地质出版社.

陈毓川，王登红，李厚民，熊先孝，高兰，徐志刚，盛继福，徐珏，袁忠信，白鸽，朱明玉，芮宗瑶，叶会寿，刘喜方，张长青，陈郑辉，王成辉，王永磊，应立娟，张建等. 2010b. 重要矿产预测类型划分方案. 北京：地质出版社，1～222.

陈正乐，鲁克改，王果，陈柏林，王国荣，郑恩玖，崔玲玲，丁文君. 2010. 准噶尔盆地南缘新生代构造特征及其与砂岩型铀矿成矿作用初析. 岩石学报，26(02)：0457～0470.

程裕淇，陈毓川，赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报，1(1)：32～58.

陈肇博，谢佑新，万国良，季树藩，王灿林，方锡珩. 1982. 华东南中新生代火山岩中的铀矿床.

韩效忠，李胜祥，蔡煜琦，郑恩玖，陈正乐，张子龙，刘权. 2008. 伊犁盆地南缘隆升剥蚀及其盆地南部的沉积响应—利用磷灰石裂变径迹分析. 岩石学报，24(10)：2447～2455.

黄净白，黄世杰. 2005. 中国铀资源区域成矿特征. 铀矿地质，21(3)：129～138.

童航寿. 2014. 我国铀矿床类型分类研究(一). 世界核地质科学，31(1)：1～9.

王登红，陈毓川，徐志刚，盛继福，朱明玉，刘喜方，张长青，王成辉，王永磊. 2013. 矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用. 吉林大学学报(地球科学版)，43(4)：1092～1110.

王盟，罗静兰，李杪，白雪晶，程辰，闫辽伟. 2013. 鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿源区及其构造背景. 岩石学报，29(8)：2746～2758.

王成辉，徐珏，黄凡，陈郑辉，应立娟，刘善宝. 2014. 中国金矿资源特征及成矿规律概要. 地质学报，88(12)：2315～2325.

徐志刚，陈毓川，王登红，陈郑辉，李厚民，等. 2008. 中国成矿区带划分方案. 北京：地质出版社，1～138.

应立娟，陈毓川，王登红，唐菊兴，陈郑辉，王成辉 . 2014. 中国铜成矿规律概要. 地质学报，88(12)：2217～2226.

翟裕生，邓军，李晓波. 1999. 区域成矿学. 北京：地质出版社，1～287.

翟裕生，彭润民，邓军，王建平. 2000. 成矿系统分析与新类型矿床预测. 地学前缘，7(1)：123～132.

翟裕生，彭润民，向运川，王建平，邓军. 2004. 区域成矿研究方法. 北京：中国地质大学出版社，1～183.

张待时. 1994. 中国碳硅泥岩型铀矿床成矿规律探讨. 铀矿地质，10(4)：207～211.

张金带，李友良，简晓飞. 2008. 我国铀资源勘查状况及发展前景. 中国工程科学，10(1)：54～60.

张金带. 2012. 适应新形势，办好《铀矿地质》. 铀矿地质，26(6)：317～318.

张金带，李子颖，蔡煜琦，郭庆银，李友良，韩长青. 2012. 全国铀矿资源潜力评价工作进展与主要成果. 铀矿地质，26(6)：321～326.

赵凤民. 2009. 中国碳硅泥岩型铀矿地质工作回顾与发展对策. 铀矿地质，25(2)：91～97.

周维勋，刘兴忠，王祖邦. 中国铀矿分类刍议. 铀矿地质，7(1)：1～15.

Boyle D R. 1982. The information of basal-type urnium deposits in South Central Britishi Columbia. Economic Geology, 77: 1176～1209.

Cawood P A, Memchin A A, Strachan R, Prave T, Krabbendam M. 2007. Sedimentary basin and detrital zircon record along East Laurentia and Baltica during assembly and breakup of Rodinia. Journal of the Geological Society, 164: 257～275.

Cuney M, Brouand M, Cathelineau M, Derome D, Freiberger R, Hecht L, Kister P, Lobaev V, Lorilleux G, Peiffert C, Bastoul A M. 2003. What parameters control the high grade-large tonnage of the Proterozoic unconformity related uranium

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

deposits? Uranium Geochemistry 2003, International Conference, Nancy, France, April 2003, Proceedings, 123～126.

Cuney M, Kyser T K. 2008. Recent and not-so-recent developments in uranium deposits and implications for exploration. Mineralogical Association of Canada, Short Course 39, 161～219.

Cuney M. 2010. Evolution of uranium fractionation process through time: Driving the secular variation of uranium deposit types. Economic Geology, 105: 553～569.

Dahlkamp F J. 1993. Uranium Ore Deposits. Springer-Verlag, Berlin, 460.

Holk G J, Kyser T K, Chipley D, Hiatt E E, Marlatt J. 2003. Mobile Pb-isotopes in Proterozoic sedimentary basins as guides for exploration of uranium deposits. Journal of Geochemical Exploration, 80, 297～320.

Islam E, Paul D, Sar P. 2014. Microbial diversity in Uranium deposits from Jaduguda and Bagjata Uranium mines, India as revealed by Clone Library and Denaturing Gradient Gel Electrophoresis analyses. Geological biology Journal, 3110.

Jefferson C W, Thomas D J, Gandhi S S, Ramaekers P, Delaney G, Brisban D, Cutts C, Portella P, Olson A. 2007. Unconformity associated uranium deposits. In: Goodfellow W. D. (ed) Mineral Resources of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, 273 ～ 306. Mineral Deposits Division of the Geological Association of Canada.

Kyser T K, Hiatt E, Renac C, Durocher K, Holk G, Deckart K. Diagenetic fluids in Paleo-and Meso-Proterozoic sedimentary basins and their implications for long protracted fluid histories. In: Fluid and Basin Evolution (ed. T. K. Kyser). Mineralogical Association of Canada. 2000, Short Course 28, 225～262.

Leroy J L, George-Aniel B. 1992. Volcanism and uranium mineralization: the concept of source rock and concentration mechanism. Journal of Volcanic Geothermal Research, 50: 247～272..

Luo J C, Hu R Z, Fayek M, Li C S, Bi X W, Abdu Y, Chen Y W. 2014. In-situ SIMS uraninite U-Pb dating and gensis of the Xianshi granite-hosted uranium deposit, South China. Ore Geology Reviews, 65(4): 968～978.

Martin-Izard A, Arribas A, SrArias D, Ruiz J, Fernandez F J. 2002. The Fe deposit, West-Central Spain; tectonic-hydrothermal uranium mineralization A with transpressional faulting of Alpine age. Canadian Mineralogy, 40, 1505～1520.

McMurray J M. 2006. Worldwide uranium resources and production capacity - the future of the industry. In: Uranium production and raw material s for the nuclear fuel cycle - Supply and demand, economics, the environment and energy security. IAEA-CN-128, IAEA, Vienna, 27～35.

Min M Z, Luo X Z, Du G S, He B A, Camphell A R. 1999. Mineralogical and geochemical constraints on the genesis of the granite-hosted Huangao uranium deposit, SE China. Ore Geology Reviews, 14: 105～127.

Min M, Xu H, Chen J & Fayek M. 2005. Evidence of uranium biomineralization in sandstone-hosted roll-front uranium deposits, Northwestern China. Ore Geology Reviews, 26: 198～206.

Min M Z. 1995. Carbonaceous-siliceous-pelitic rock type uranium deposits in southern China: Geologic setting and metallogeny. Ore Geology Reviews, 10: 51～64.

OECD/NEA-IAEA. 1986. Uranium 1985: Resources, Production and Demand, 1985 Red Book. OECD, Paris, France.

OECD/NEA-IAEA. 2000. Uranium 1999: Resources, Production and Demand, 1999 Red Book. OECD, Paris, France.

OECD/NEA-IAEA. 2006. Uranium 2005: Resources, Production and Demand, 2005 Red Book. OECD, Paris, France.

OECD/NEA-IAEA. 2008. Uranium 2007: Resources, Production and Demand, 2007 Red Book. OECD, Paris, France.

OECD/NEA-IAEA. 2012. Uranium 2007: Resources, Production and Demand, 2011 Red Book. OECD, Paris, France.

OECD/NEA-IAEA. 2014. Uranium Resources, Production and Demand, 2013 Red Book. OECD, Paris, France.

Plant J A, Simpson P R, Smith B, Windley B. 1999. Uranium ore deposits-products of the radioactive Earth. In: Burns, P. C., Finch, R. (eds) Uranium: Mineralogy, Geochemistry and the Environment. Reviews in Mineralogy, 38, 255～319.

Reeve J S, Cross K C, Smith R N, Oreskes N. 1990. Olympic Dam copper-uranium-gold-silver deposit, Melbourne. Australasian institute of Mining Metallurgy Monograph, 14: 1009～1035.

Richard A, Mark A, Kendrick, Cathelineau M. 2014. Noble gases (Ar, Kr, Xe) and halogens (Cl, Br, I) in fluid inclusions from the Athabasca Basin (Canada): Implications for unconformity-related U deposits. Precambrian Research, 247: 110～125.

Rogers J W. 1996. A history of continents in the past three billion years. Journal of Geology, 104: 97～107.

Ruzicka V. 1982. Notes on mineralogy of various types of uranium deposits and genetic implications. Geological Survey Canadian Paper, 82: 341.

Sanford R. 1994. Hydrogeology of Jurassic and Triassic wetlands in the Colorado Plateau and the origin of tabular sandstone uranium deposits. U. S. Geological Survey Professional Paper, 1548

Shatalov V V., Takhanov A V., Boldyrev V A., Knyazea O I. 2006. Analysis of uranium world resources and ways of their extension. In: Uranium production and raw materials for the nuclear fuel cycle - Supply and demand, economics, the environment and energy security. IAEA-CN-128, IAEA, Vienna, 103～110.

Sibbald T I I, Quirt D. 1987. Uranium deposits of the Athabasca Basin. Geological Association of Canada, Annual Meeting, Saskatoon, 1987. Field trip guidebook. Trip 9: Saskatchewan Research Council Publication R－855－1－G－87.

Song H, Zhang C J, Ni S J, Xu Z Q, Huang C H. 2014. New evidence for genesis of the Zoige Carbonate-Siliceous-Pelitic Rock Type Uranium Deposit in Southern Qinling: Discovery and significance of the 64 Ma intrusions. Acta Geologica Sinica (English Ediction), 88(6): 1757～1769.

Tack L, Wingate M T D, Liegeois J P, Fernandez-Alonso M, Deblond A. 2001. Early Neoproterozoic magmatism (1000～910 Ma) of the Zadinian and Mayumbian groups (BasCongo); onset of Rodinia rifting at the western edge of the Congo Craton: Assembly and breakup of Rodinia. Precambrian Research, 110: 277～306.

Thomas D J, Matthew R B, Sopuck V. 2000. Athabasca Basin (Canada) unconformity type uranium deposits: Exploration model, current mine developments and exploration directions.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

In: Geology and Ore Deposits 2000: The Great Basin and Beyond. Geological Society of Nevada Symposium, Reno, Nevada, May 15－18, 2000, Proceedings, 1, 103～126.

Velichkin V I, Kushnerenko V K, Tarasov N N, Andreeva O V, Kiseleva G D, Krylova T L, Donikova O A, Golubev V N, Golovin V A. 2005. Geology and formation conditions of the Karku unconformitytype deposit in the Northern Ladoga region (Russia). Geology of Ore Deposits, 47: 87～112.

Wenrich K J, Van Gosen B S, Finch W I. 1995. Solution-collapse breccia pipe U deposits; Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models. USGS Open File Repost, 95－0831, 244～251.

Yulia A, Uvarova T, Kyser K, Geagea M L, Chipley D. 2014. Variations in the uranium isotopic compositions of uranium ores from different types of uranium deposits. Geochinica et Cosmochimica Acta, 146(1): 1～17.

Ying Lijuan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Tang Juxing, Chen Zhenghui, Wang Chenghui. 2015. A Preliminary Review of Metallogenic Regularity of Copper Deposits in China. Acta Geologica Sinica(English Edition), 89(1): 251～269.

Zhao G, Cawood P A, Wilde S A, Sun M. 2002. Review of global 2. 1 ～ 1. 8 Ga orogens; implications for a pre-Rodinia supercontinent. Earth Science Reviews, 59: 125～162.

Outline of Uranium Resources Characteristics and Metallogenetic Regularity in China

CAI Yuqi[1], ZHANG Jindai[2], LI Ziying[1], GUO Qingyin[2], SONG Jiye[1], FAN Honghai[1], LIU Wusheng[1], QI Fucheng[1], ZHANG Minglin[1]

1) *Key Laboratory of Uranium Resource Exploration and Evaluation Technology, Beijing Research Institute of Uranium Geology, CNNC, Beijing*, 100029; 2) *China Nuclear Geology Bureau, Beijing*, 100013

Abstract

Uranium, as one of twenty-six kinds of important minerals in China, is strategic resources and energy mineral, which has been thoroughly investigated in the project of National Potential Evaluation of Uranium Resources. During the implementation of this project, the authors summarized the metallogenic regularity of uranium resources in China systematically, through the researches of geological characteristics of uranium resources, uranium deposits type (genetic and prediction type), temporal and spatial distribution, and metallogenic series. Based on the investigation of present situation and progress in uranium exploration, this paper proposes the uranium deposits in China can be divided into 4 classes, 9 types, 21 subtypes in genetic, and 50 types in prediction; suggests to divide China into 29 uranium metallogenic belts and 20 uranium prospective area, and constructs 20 uranium-polymetallic metallogenic series, through summarizing temporal and spatial distribution characteristics and metallogenic regularity of uranium deposits in China. The above research is beneficial to the comprehensive analysis of regional uranium metallogenic regularity, and will guide the uranium exploration in the future.

Key words: uranium deposit; uranium deposit type; uranium metallogenic regularity; uranium metallogenic belt; uranium metallogenic series

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net