

世界超大型铀矿床的成矿偏在性*

梅燕雄¹, 郑大瑜², 魏然^{1**}, 邹斌¹, 姚鹏³, 张金良⁴, 马晓旻⁵, 叶锦华⁶,
何拥军⁷, 姚永坚⁸, 方平⁹, 谭文娟¹⁰, 熊宽⁹, 王浩琳¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 中国核工业地质局, 北京 100013; 3 成都地质调查中心, 四川 成都 610229; 4 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012; 5 贵州省有色金属和核工业地质勘查局, 贵州 贵阳 550005; 6 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 7 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266237; 8 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075; 9 江西省地质局工程地质大队, 江西 南昌 330029; 10 西安地质调查中心, 陕西 西安 710119)

摘要 尽管世界铀矿床数量众多, 超大型铀矿床却以极少的数量贡献了巨大的铀资源储量, 在世界铀矿生产和供应中具有“关键少数”的重要作用。超大型铀矿床具有成矿类型偏在性, 不整合面型、黑色页岩型和可地浸开采的砂岩型是当前世界铀矿勘查开发的最佳类型。超大型铀矿床在成矿时代、成矿区域、成矿背景等方面也有十分明显的选择性, 元古宙和中新生代是铀矿形成的高峰时期。澳大利亚、加拿大、哈萨克斯坦、俄罗斯、纳米比亚、南非是超大型铀矿床的主要分布区和铀矿勘查开发的主要目标区, 克拉通则是铀矿勘查开发的首要战略选区。

关键词 超大型矿床; 铀矿床; 成矿偏在性; 矿床类型

中图分类号: P619.14

文献标志码: A

Metallogenic preferentiality of superlarge uranium deposits in world

MEI YanXiong¹, ZHENG DaYu², WEI Ran¹, ZOU Bin¹, YAO Peng³, ZHANG JinLiang⁴, MA XiaoMin⁵,
YE JinHua⁶, HE YongJun⁷, YAO YongJian⁸, FANG Ping⁹, TAN WenJuan¹⁰,
XIONG Kuan⁹ and WANG HaoLin¹

(1 MNR Key Laboratory of Mineralization and Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Bureau of Nuclear Geology of China, Beijing 100013, China; 3 Chengdu Geological Survey Center, Chengdu 610229, Sichuan, China; 4 Nonferrous Minerals Geological Survey Center, Beijing 100012, China; 5 Guizhou Nonferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang 550005, Guizhou, China; 6 China Geological Survey Development Research Center, Beijing 100037, China; 7 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266237, Shandong, China; 8 Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, Guangdong, China; 9 Engineering Geology Brigade, Jiangxi Provincial Geological Bureau, Nanchang 330029, Jiangxi, China; 10 Xi'an Geological Survey Center, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract

Despite the fact that there are numerous uranium deposits in the world, the superlarge uranium deposits contribute a majority percentage of the world's total uranium resources with only a small number deposits, playing a crucial role in the production and supply of uranium. The superlarge uranium deposits have the preferentiality of mineralization type, with discontinuous surface-type, black shale-type, and sandstone-type being the best types

* 本文得到中国地质调查局地质调查项目“全国海陆矿产资源图件编制更新”(编号: DD20221696、DD20190368)资助

第一作者简介 梅燕雄, 男, 1962年生, 博士, 研究员, 长期从事区域成矿学、矿产资源勘查开发和矿业经济研究。Email: meiyx@sohu.com

** 通讯作者 魏然, 女, 1983年生, 博士, 高级工程师, 从事矿床学及矿物学研究。Email: weiranyspa@126.com

收稿日期 2024-12-24; 改回日期 2025-01-20。秦思婷编辑。

for uranium exploration and development worldwide. The superlarge uranium deposits also show a clear preference of metallogenic era, region, and background, with the Proterozoic and Meso-cenozoic being peak periods for uranium mineralization, and Australia, Canada, Kazakhstan, Russia, Namibia, and South Africa being the main distribution areas and the main target areas for uranium exploration and development. The cratons are the top strategic choice for uranium exploration and development.

Key words: superlarge deposit, uranium deposit, metallogenic preferentiality, deposit type

涂光炽(1989;1994)在对超大型矿床进行深入剖析后指出,并非各种不同矿床类型都可以形成超大型规模的矿床,不少矿产在超大型矿床的矿床类型上具有强烈选择性。裴荣富等(1994;1998;1999;2001;2004;2009;2013)认为,超大型矿床的产出具有一定规律可循,它们偏爱产在某一特定地质背景、成矿环境和它们现存的构造位置上,它们对矿产种类、矿床类型、成矿时代、成矿背景等均具有十分明显的选择性,将其称之为成矿偏在性。成矿偏在性研究不仅有助于深化对大型超大型矿床成矿特征和成矿规律的认识,而且对大型超大型矿床的找寻和勘查具有重要的指导作用(梅燕雄等,1997)。

近年来,国际原子能机构(International Atomic Energy Agency(简称IAEA))编辑出版了《Geological Classification of Uranium Deposits and Description of Selected Examples(铀矿床地质分类及典型矿床实例)》《World Uranium Geology Exploration Resource and Production(世界铀地质勘探资源与生产)》《Map of World Uranium Deposits(UDEPO), 1:35 000 000(1:3500万世界铀矿床分布图)》,有助于人们更加全面、更加深入地了解世界铀资源状况和主要铀矿床类型。IAEA UDEPO数据库录入的铀矿床数量从2009年的1413个扩充至2020年的4543个,极大地方便了人们的统计分析。

由于各国不同程度地将铀资源数据列为国家秘密,并将铀矿床视为商业秘密,IAEA UDEPO数据库未能提供反映铀矿床地质背景的主岩岩性、成矿时代等更详细的信息,所提供的资源量和品位数据仅表述为相当粗略的区间值,作者等进行了适当的补充,整理出91个超大型铀矿床简要特征表(表1,图1)。本文对世界超大型铀矿床进行了统计分析,初步总结其成矿偏在性。

1 超大型铀矿床在世界铀资源格局中的地位

据国际原子能机构数据,世界铀矿累计查明资

源储量为4691.8万吨,其中91个铀资源量大于5万吨的超大型铀矿床的铀资源储量为2857.1万吨(国土资源部信息中心,2016;IAEA et al.,2022)。超大型铀矿床数量仅占铀矿床总数的2%,而铀资源储量却占总资源储量的61%。超大型铀矿床在世界铀资源格局中的地位举足轻重,其经济价值及战略意义巨大。

2021年世界天然铀总产量为47 500吨(IAEA et al.,2022),其中,依托超大型铀矿床而建成的16个千吨级铀矿山产量高达34 272吨(表2),约占世界天然铀总产量的72.2%,充分展示了超大型铀矿在铀资源与产量方面的高度集中和规模优势。

在世界超大型铀矿床中,处于开采(含在建和运营)、勘查状态的矿床47个,处于闭坑(含关闭和资源枯竭)、停产状态的矿床44个,世界铀资源勘查开发呈现出相对均衡、有序、健康的发展态势。

2 成矿区域偏在性

世界超大型铀矿床分布于除南极洲外的六大洲和27个国家(地区)。亚洲和非洲的世界超大型铀矿床最多,约占总数的59.3%,其次是北美洲、欧洲及大洋洲、南美洲。拥有超大型铀矿床最多的国家是南非、美国、中国,其次是摩洛哥、加拿大、澳大利亚、哈萨克斯坦、纳米比亚和俄罗斯,这9个国家拥有60个超大型铀矿床,约占总数的65.9%。巴西、瑞典、伊拉克、德国、格陵兰、尼日尔、沙特阿拉伯、乌克兰、阿尔及利亚、埃及、爱沙尼亚、波兰、博茨瓦纳、蒙古国、坦桑尼亚、乌兹别克斯坦、西班牙、约旦18个国家和地区拥有31个超大型铀矿床,仅占总数的34.1%。

从资源储量、铀矿山产量及出口量来看,澳大利亚、加拿大、哈萨克斯坦、俄罗斯、纳米比亚、南非均占有重要地位,尼日尔、乌兹别克斯坦、巴西、乌克兰也很重要。美国、中国既是重要的铀资源国和生产国,也是重要的铀消费国及进口国(佟术敏等,2023;李子颖等,2024)。

表1 世界超大型铀矿床简表

Table 1 Brief table of the world's super large uranium deposits

编号	矿床名称,英文名称	国家	洲	铀资源储量/吨	类型	成矿时代	大地构造单元
1	泰贝萨, Tebessa	阿尔及利亚	非洲	120000	磷块岩型	新生代	西非霍加尔地盾
2	尼罗瓦利, Nile Valley	埃及	非洲	118500	磷块岩型	新生代	北非卡拉通
3	巴尔托斯坎迪亚, Baltoscandia	爱沙尼亚	欧洲	5667000	黑色页岩型	古生代	东欧地台
4	伊利里, Yeelirrie	澳大利亚	大洋洲	55600	表生型	新生代	伊尔冈克拉通
5	奥林匹克丹姆, Olympic Dam	澳大利亚	大洋洲	2171359	IOCG型	元古宙	高勒克拉通
6	卡拉帕蒂纳, Carrapateena	澳大利亚	大洋洲	184000	IOCG型	元古宙	高勒克拉通
7	贾比卢卡, Jabiluka	澳大利亚	大洋洲	119882	不整合面型	元古宙	澳北地台
8	兰杰1号, Ranger 1	澳大利亚	大洋洲	51861	不整合面型	元古宙	澳北地台
9	兰杰3号, Ranger 3	澳大利亚	大洋洲	179792	不整合面型	元古宙	澳北地台
10	伊塔泰亚, Itataia	巴西	南美洲	121800	变质岩型	元古宙	弗朗西斯科克拉通
11	拉戈阿利尔, Lagoa Real	巴西	南美洲	100770	交代岩型	元古宙	弗朗西斯科克拉通
12	皮廷加, Pitinga	巴西	南美洲	150000	侵入岩型	元古宙	亚马逊地盾
13	卡塔劳, Catalao	巴西	南美洲	72125	侵入岩型	中生代	圣弗朗西斯科克拉通
14	卢宾, Lubin	波兰	欧洲	144000	黑色页岩型	古生代	东欧地台
15	戈尔贡梅因, Gorgon Main	博茨瓦纳	非洲	51667	砂岩型	古生代	科普瓦瓦克拉通
16	科瓦内湾, Kvanefjeld	格陵兰	北美洲	141611	侵入岩型	元古宙	凯蒂利德造山带
17	施密尔舟, Schmirchau	德国	欧洲	73410	黑色页岩型	古生代	波希米亚克拉通
18	尼尔德斯雷玛, Niederschlema	德国	欧洲	84658	花岗岩关联型	古生代	海西造山带中间地块
19	艾尔康, Elkonskoye	俄罗斯	亚洲	62400	变质岩型	中生代	阿尔丹地盾
20	塞弗诺耶, Severnoye	俄罗斯	亚洲	61526	变质岩型	中生代	阿尔丹地盾
21	库朗, Kurung	俄罗斯	亚洲	54850	变质岩型	中生代	阿尔丹地盾
22	德鲁日诺耶, Druzhnoye	俄罗斯	亚洲	95840	变质岩型	中生代	阿尔丹地盾
23	斯特列尔特索夫, Strel'tsovskoye	俄罗斯	亚洲	62166	火山岩关联型	中生代	西伯利亚地台
24	索伦森, Sorensen	格陵兰	北美洲	62370	侵入岩型	元古宙	凯蒂利德造山带
25	尼兹内伊犁, Nizhneylyskoye	哈萨克斯坦	亚洲	60000	褐煤型	中生代	滨里海平原
26	敏库杜克伊斯特, Mynkuduk East	哈萨克斯坦	亚洲	127000	砂岩型	中生代	楚萨雷芬盆地
27	布登诺夫2号, Budennovskoye 2	哈萨克斯坦	亚洲	60269	砂岩型	中生代	楚萨雷芬盆地
28	英凯桑斯, Inkai South	哈萨克斯坦	亚洲	56840	砂岩型	中生代	楚萨雷芬盆地
29	布登诺夫3-4号, Budennovskoye 3-4	哈萨克斯坦	亚洲	56800	砂岩型	中生代	楚萨雷芬盆地
30	敏库杜克中确, Mynkuduk Central	哈萨克斯坦	亚洲	50400	砂岩型	中生代	楚萨雷芬盆地
31	丹尼森, Denison	加拿大	北美洲	185000	古石英卵石砾岩型	元古宙	加拿大地盾
32	巴纳纳雷克, Banana Lake	加拿大	北美洲	51436	古石英卵石砾岩型	元古宙	加拿大地盾
33	麦克阿瑟瑞夫, McArthur River	加拿大	北美洲	261000	不整合面型	元古宙	加拿大地盾
34	西加雷克, Cigar Lake	加拿大	北美洲	135038	不整合面型	元古宙	加拿大地盾
35	阿罗, Arrow	加拿大	北美洲	77456	不整合面型	元古宙	加拿大地盾
36	诺申格瑞特普雷因斯, Northern Great Plains	美国	北美洲	2000000	褐煤型	新生代	北美克拉通
37	查塔努加谢尔, Chattanooga Shale	美国	北美洲	2000000	黑色页岩型	古生代	阿巴拉契亚造山带
38	弗斯弗利亚夫梅甸, Phosphoria Formation	美国	北美洲	2000000	磷块岩型	古生代	科迪勒拉造山带
39	伊斯特佛罗里达, East Florida	美国	北美洲	550000	磷块岩型	新生代	阿巴拉契亚造山带
40	诺斯伊斯特佛罗里达, Northeast Florida	美国	北美洲	550000	磷块岩型	新生代	阿巴拉契亚造山带
41	桑斯佛罗里达, South Florida	美国	北美洲	120000	磷块岩型	新生代	阿巴拉契亚造山带
42	诺斯佛罗里达, North Florida	美国	北美洲	90000	磷块岩型	新生代	阿巴拉契亚造山带
43	安布罗西亚雷克, Ambrosia Lake	美国	北美洲	64967	砂岩型	新生代	科迪勒拉造山带中间地块
44	卓夫契放包, Zoovch Ovoo	蒙古国	亚洲	54640	砂岩型	中生代	额尔古纳造山带中间地块
45	塔尔法雅, Tarfaya	摩洛哥	非洲	6400000	黑色页岩型	中生代	北非克拉通
46	提玛迪特, Timahdit	摩洛哥	非洲	2100000	黑色页岩型	中生代	北非克拉通
47	奥拉德阿布都因, Oulad Abdoun	摩洛哥	非洲	3220000	磷块岩型	中生代	阿特拉斯褶皱带
48	梅斯卡拉, Meskala	摩洛哥	非洲	2043000	磷块岩型	新生代	阿特拉斯褶皱带
49	甘图尔, Gantour	摩洛哥	非洲	1206000	磷块岩型	新生代	阿特拉斯褶皱带

续表 1-1

Continued Table 1-1

编号	矿床名称,英文名称	国家	洲	铀资源储量/吨	类型	成矿时代	大地构造单元
50	奥乌德埃达哈布, Oued Eddahab	摩洛哥	非洲	57000	磷块岩型	新生代	阿特拉斯褶皱带
51	推亥内特, Twihinate	摩洛哥	非洲	118500	侵入岩型	中生代	雷吉巴特地盾
52	兰格海因里希, Langer Heinrich	纳米比亚	非洲	66605	表生型	新生代	刚果克拉通
53	玛瑞尼卡, Marenica	纳米比亚	非洲	53130	表生型	新生代	刚果克拉通
54	罗辛桑斯2号带, Rossing South-Zone 2	纳米比亚	非洲	81620	侵入岩型	古生代	刚果克拉通
55	罗辛桑斯1号带, Rossing South-Zone 1	纳米比亚	非洲	80426	侵入岩型	古生代	刚果克拉通
56	罗辛, Rossing	纳米比亚	非洲	110240	侵入岩型	古生代	刚果克拉通
57	弗里斯泰特戈得尔德, Free State Geduld	南非	非洲	277450	古石英卵石砾岩型	元古宙	德兰士瓦克拉通
58	瓦尔里弗斯, Vaal Reefs	南非	非洲	195645	古石英卵石砾岩型	元古宙	德兰士瓦克拉通
59	多米尼宁利夫, Dominion Reefs	南非	非洲	96525	古石英卵石砾岩型	元古宙	德兰士瓦克拉通
60	埃祖尔韦尼, Ezulwini	南非	非洲	94200	古石英卵石砾岩型	元古宙	德兰士瓦克拉通
61	弗雷迪, Freddie	南非	非洲	93330	古石英卵石砾岩型	元古宙	德兰士瓦克拉通
62	哈特比斯特方丹, Hartebeestfontein	南非	非洲	82570	古石英卵石砾岩型	元古宙	德兰士瓦克拉通
63	波切夫斯特鲁姆, Potchefstroom	南非	非洲	62810	古石英卵石砾岩型	元古宙	德兰士瓦克拉通
64	里特凯尔, Rietkuil	南非	非洲	51711	古石英卵石砾岩型	元古宙	德兰士瓦克拉通
65	斯普润博克弗勒茨, Springbok Flats	南非	非洲	81920	褐煤型	古生代	科普瓦拉克拉通
66	伊穆乌拉伦, Imouraren	尼日尔	非洲	276200	砂岩型	中生代	西非克拉通
67	维肯, Vicken	瑞典	欧洲	447755	黑色页岩型	古生代	斯堪的维亚地盾
68	哈根, Haggan	瑞典	欧洲	308000	黑色页岩型	古生代	斯堪的维亚地盾
69	纳克, Narke	瑞典	欧洲	257000	黑色页岩型	古生代	斯堪的维亚地盾
70	兰斯塔德, Ranstad	瑞典	欧洲	254000	黑色页岩型	古生代	斯堪的维亚地盾
71	乌姆乌尔, Umm Wuai	沙特阿拉伯	亚洲	112500	磷块岩型	新生代	阿拉伯地台
72	贾拉米特, AL Jalameed	沙特阿拉伯	亚洲	80000	磷块岩型	新生代	阿拉伯地台
73	尼奥塔, Nyota	坦桑尼亚	亚洲	55135	砂岩型	中生代	多多玛克拉通
74	诺沃克斯田提尼夫, Novokostyantynivskoye	乌克兰	欧洲	93630	变质岩型	元古宙	乌克兰地盾
75	辰特拉尔尼, Tsentralne	乌克兰	欧洲	61800	变质岩型	元古宙	乌克兰地盾
76	乌其库杜克, Uchkuduk	乌兹别克斯坦	亚洲	96000	砂岩型	中生代	天山造山带中卡兹库姆隆起
77	伊斯特埃布罗, East Ebro	西班牙	欧洲	102000	褐煤型	新生代	伊比利亚克拉通
78	斯瓦布, Swab	伊拉克	亚洲	245000	磷块岩型	新生代	阿拉伯地台
79	杜伊玛, Dwaima	伊拉克	亚洲	193000	磷块岩型	新生代	阿拉伯地台
80	玛尔巴特, Marbat	伊拉克	亚洲	148000	磷块岩型	新生代	阿拉伯地台
81	舍得埃, Al Shedeeye	约旦	亚洲	83000	磷块岩型	新生代	阿拉伯地台
82	垂珀尔, Triple	加拿大	北美洲	54001	不整合面型	元古宙	加拿大地盾
83	达萨, Dasa	尼日尔	非洲	64680	砂岩型	中生代	西非克拉通
84	大营-纳岭沟	中国	亚洲	76000	砂岩型	中生代	华北地台
85	钱家店, Qianjiadian	中国	亚洲	52000	砂岩型	中生代	华北地台
86	伊犁, Yili	中国	亚洲	53000	砂岩型	新生代	天山造山带
87	巴彦乌拉, Bayanwula	中国	亚洲	64000	砂岩型	新生代	华北地台
88	相山, Xiangshan	中国	亚洲	51000	火山岩型	中生代	华南造山带
89	下庄, Xiazhuang	中国	亚洲	52000	花岗岩型	中生代	南华准地台
90	华阳川, Huayangchuan	中国	亚洲	65000	交代岩型	中生代	秦岭造山带
91	努和庭, Nuheting	中国	亚洲	55000	砂岩型	新生代	华北地台

注:据IAEA,2018;2020整理补充。

3 成矿类型偏在性

世界上已发现的铀矿床赋存于各类不同的地质

环境之中,铀矿床类型的多样性主要是铀元素活跃的地球化学性质和巨大而又紧迫的社会需求双重作用的结果。超大型铀矿床的类型亦较多,在国际原子能机构划分的15种铀矿床类型中,超大型铀矿床

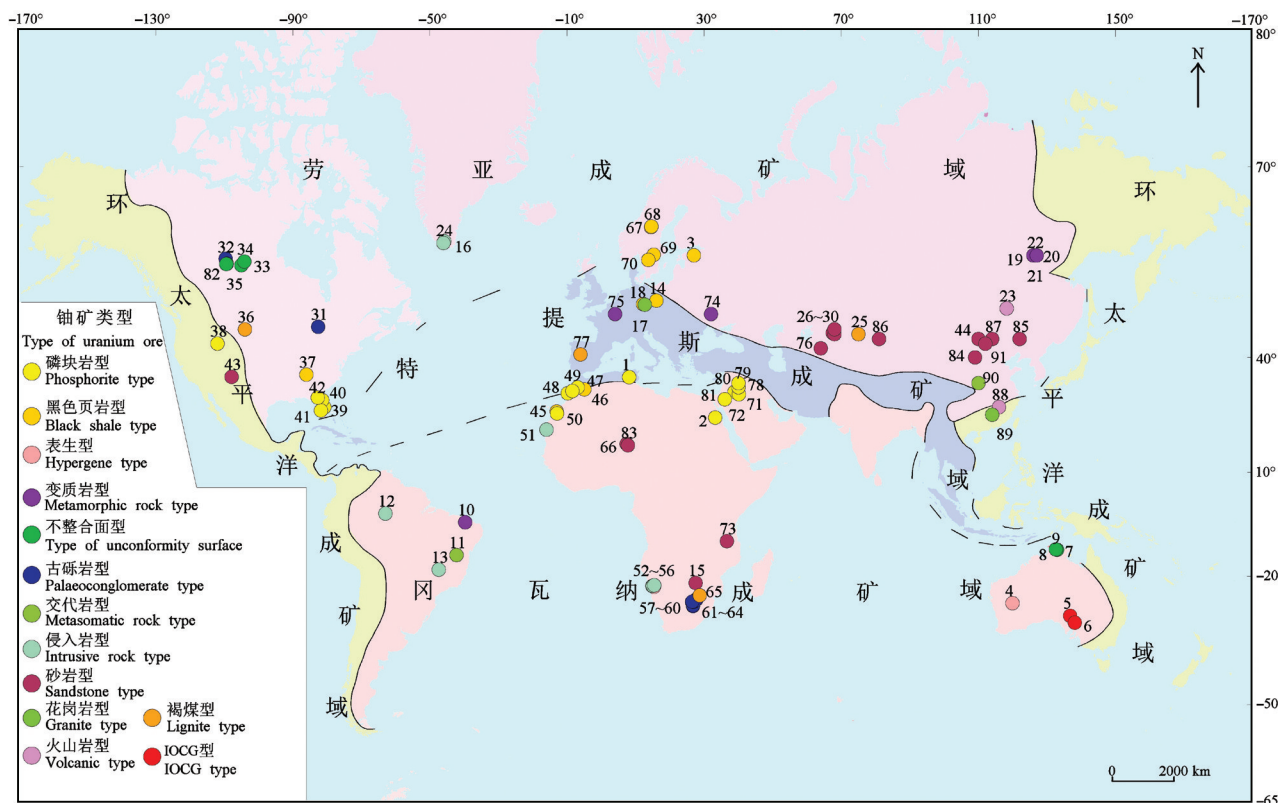


图 1 世界超大型铀矿床分布略图

Fig.1 Map of the distribution of super large uranium deposits in the world

表 2 2021 年世界超大型铀矿天然铀产量

Table 2 Natural uranium production of world-class super large uranium mines in 2021

序号	国家	矿山名称	开采方式	产量/吨	
1	哈萨克斯坦	Muyunkum/Tortkuduk 铀矿	原地浸出	2846	
2	哈萨克斯坦	Inkai 铀矿	原地浸出	3462	
3	哈萨克斯坦	Budenovskoye2 铀矿	原地浸出	2577	
4	哈萨克斯坦	South Inka 铀矿	原地浸出	1615	
5	哈萨克斯坦	Budenovskoye1,3,4 铀矿	原地浸出	1539	
6	哈萨克斯坦	North Kharasan1 铀矿	原地浸出	1577	
7	哈萨克斯坦	North Kharasan2 铀矿	原地浸出	1231	
8	哈萨克斯坦	Western Mynkuduk 铀矿	原地浸出	808	
9	哈萨克斯坦	Central Mynkuduk 铀矿	原地浸出	1577	
10	哈萨克斯坦	Eastern Mynkuduk, Kanzhugan 及 Central Moinkum 铀矿	原地浸出	1500	
11	纳米比亚	中广核湖山铀矿	露天开采	3308	
12	纳米比亚	中核总罗辛铀矿	露天开采	2462	
13	加拿大	Cigar Lake 铀矿	地下开采	4693	
14	加拿大	奥林匹克坝铜铀矿	露天开采	1923	
15	俄罗斯	Priargunsky 铀矿	地下开采	1154	
16	尼日尔	SOMAIR (Arlit) 铀矿	地下开采	2000	
超大型铀矿产量				5 国 16 个超大型铀矿	34272
世界铀矿总产量				15 个产铀国	47500

注:据 IAEA et al.,2022 整理。

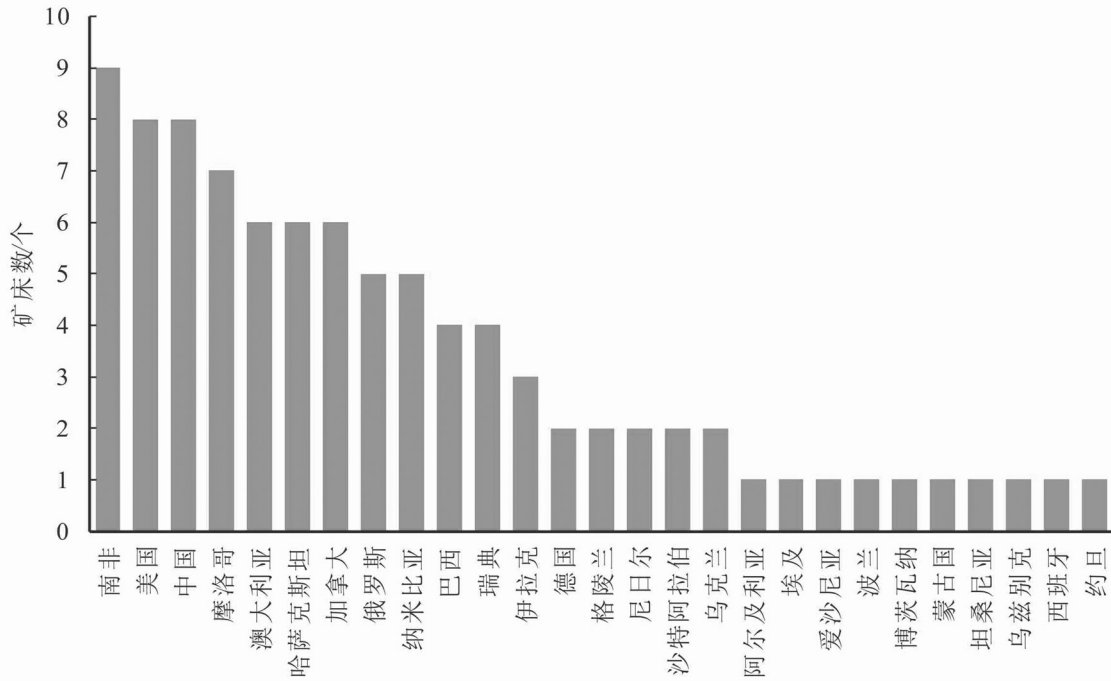


图2 世界超大型铀矿床在各国的分布

Fig.2 Distribution of the world super large uranium deposits in different countries

类型覆盖了除碳酸盐岩型、塌陷角砾岩型外的13种,但不同类型超大型铀矿床的数量分布并不均衡(IAEA,2018)。

超大型铀矿床的主要类型是磷块岩型、砂岩型和古砾岩型、黑色页岩型、侵入岩型、变质岩型、不整合面型,这7种类型的超大型铀矿床数量约占总数的84.6%,其次是褐煤型、表生型、IOCG型、花岗岩型、火山岩型、交代岩型等。磷块岩型铀矿床主要是形成于大陆架海相磷块岩中的铀矿床,主要分布于摩洛哥、美国、伊拉克等国家。含铀磷块岩主要与黑色页岩、碳质泥岩或砂岩、碳酸盐岩、白云岩等共生,铀通常作为磷酸盐生产的副产品回收利用(李治兴等,2020)。砂岩型铀矿床主要是形成于陆相河湖相及滨浅海相砂岩中的铀矿床,是世界最早发现的铀矿类型之一(王正邦,2002;王飞飞等,2017),主要分布于哈萨克斯坦、中国等国家。该类矿床主要赋存于含油气或聚煤盆地中,矿石质量好、品位中等,产状稳定,易于开采和选冶。

在91个超大型铀矿床中,单铀型矿床约占总数的29.7%,主要涉及砂岩型、侵入岩型、不整合面型铀矿床。大多数超大型铀矿床具有多种共伴生组分及组合:一是铀与磷、稀土共伴生,磷块岩型铀

矿床通常伴生有磷、稀土,侵入岩型铀矿床除与稀土及磷共生外,还可以伴生有铌、钽、钷、钍、铯、铷、锆、镍等矿产;二是铀与金、钍共伴生,古砾岩型和不整合面型、变质岩型铀矿床通常与金伴生,IOCG型、黑色页岩型铀矿床除金外,还与铜及银、铂、稀土共生;三是铀与钼、镍、钷共伴生,黑色页岩型铀矿床通常与钼、镍、钷及铯、铷、稀土共生,表生型铀矿床通常呈现铀钷组合;四是褐煤型铀矿床中铀、煤共生。

超大型铀矿床的资源储量规模变化于50 400~6 400 000吨。百万吨级超大型铀矿床约占10.1%,其类型主要为黑色页岩型、磷块岩型。十万吨级超大型铀矿床约占34.1%,矿床类型除黑色页岩型、磷块岩型外,还有不整合面型、侵入岩型及古砾岩型、砂岩型等。十万吨级的超大型铀矿床类型则以砂岩型和古砾岩型、侵入岩型、磷块岩型、变质岩型为主。

超大型铀矿床的品位变化很大,相差悬殊。铀品位大于1%的超大型铀矿床仅占总数的4.4%,均为不整合面型铀矿床;铀品位在0.1%~0.5%之间的超大型铀矿床占总数的19.8%,主要类型为变质岩型及不整合面型、黑色页岩型、花岗岩型、火山岩型

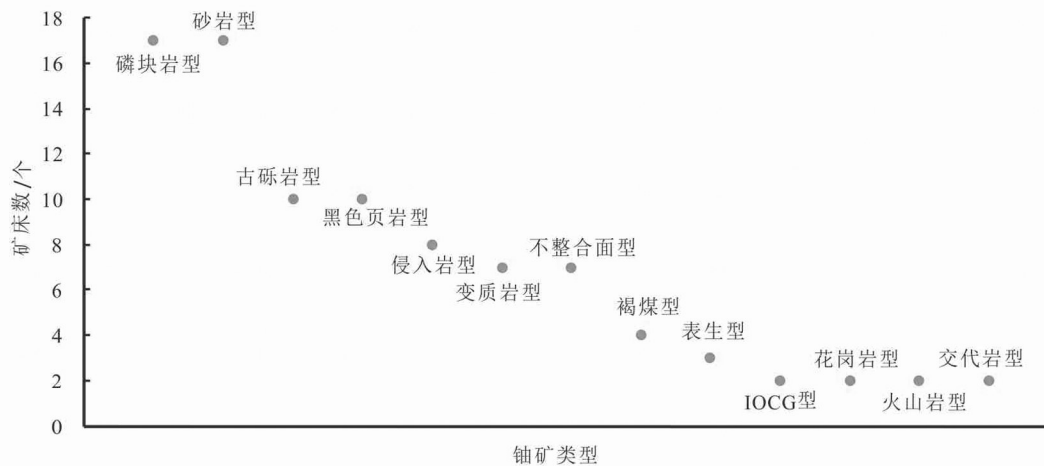


图3 世界超大型铀矿床的矿床类型

Fig.3 The deposit types of the super large uranium deposits in the world

等;大多数超大型铀矿床的品位介于0.010%~0.098%,铀矿床类型主要是砂岩型、磷块岩型、侵入岩型、黑色页岩型、古砾岩型等,部分磷块岩型、黑色页岩型铀矿床的品位小于0.01%。

超大型铀矿床规模和品位的巨大差异为铀资源勘查开发带来了挑战和机遇。一方面,这种差异增加了勘探风险和不确定性;另一方面,也为寻找高品位、低成本的铀资源提供了可能性。

4 成矿时代偏在性

世界超大型铀矿床的地质时代分布广泛,从太古代到第四纪均有产出,相对集中分布于元古宙和中新生代,特别是古元古代—中元古代和侏罗纪—白垩纪、白垩纪—古近纪更是铀矿形成的高峰时期。这是非常值得探讨的重要科学问题,显然与地球的地质演化历史有密切关系。

古元古代—中元古代主要形成古砾岩型、不整合面型以及侵入岩型、变质岩型、IOCG型铀矿床,寒武纪—奥陶纪主要形成黑色页岩型、侵入岩型铀矿床,侏罗纪—白垩纪主要形成砂岩型以及黑色页岩型、火山岩型、侵入岩型铀矿床,白垩纪—古近纪主要形成磷块岩型以及褐煤型铀矿床,新近纪—第四纪则主要形成磷块岩型和表生型铀矿床。

5 成矿背景偏在性

由于各国对于大地构造单元的划分很不统一、

采用的术语差别较大,本文暂将其归纳为克拉通、地台、造山带3类构造单元。

世界超大型铀矿床主要分布于克拉通及地台,其次是造山带。克拉通产出的铀矿床类型众多,主要是古砾岩型和黑色页岩型、变质岩型、侵入岩型,其他类型尚有不整合面型、砂岩型、褐煤型、表生型以及磷块岩型、IOCG型、交代岩型等。地台区产出的铀矿床类型较克拉通少,主要是磷块岩型、砂岩型、不整合面型以及黑色页岩型、花岗岩型、火山岩型。造山带产出的铀矿床类型亦较少,主要是砂岩型和磷块岩型,其次是侵入岩型、火山岩型等。

从全球成矿单元来看,世界超大型铀矿床主要分布于劳亚和冈瓦纳2大成矿域,拥有的超大型铀矿床数量约占世界总数的86%,其构造背景主要为地块(含地台和克拉通)。特提斯、环太平洋成矿域的超大型铀矿床数量较少,其构造背景为显生宙造山带(裴荣富等,2009;梅燕雄等,2009)。

6 结论和讨论

(1) 超大型铀矿床数量仅占世界铀矿床总数的2%,铀资源储量却占世界铀总资源储量的61%,依托超大型铀矿床建成的16个千吨级铀矿山产量约占世界天然铀总产量的72.2%,突出地显示了超大型铀矿床在世界铀资源储量格局中的地位举足轻重、在世界铀矿生产和供应中具有“关键的少数”的

战略性决定作用。铀矿资源勘查开发工作应当将探寻和开发超大型铀矿床作为战略目标,推动核能发展,确保世界能源安全。

(2) 超大型铀矿床具有成矿类型偏在性。从矿床数量、资源储量、品位吨位及有用组分综合分析,不整合面型、黑色页岩型和可地浸开采的砂岩型是当前世界铀矿勘查开发的最佳类型,侵入岩型、变质岩型、古砾岩型、磷块岩型也是很重要的铀矿类型。而花岗岩型、火山岩型、碳泥页岩型及砂岩型铀矿床是具有中国特色的“四大类型”,与国外主要铀矿类型存在重大差别。为了更好地“走出去”开拓铀矿勘查开发新领域,有必要进一步深化对此“差别”的认识和研究。

(3) 超大型铀矿床在成矿时代、成矿区域、成矿背景等方面也有十分明显的选择性。元古宙和中新世,特别是古-中元古代和侏罗纪—白垩纪、白垩纪—古近纪,是铀矿形成的高峰时期。澳大利亚、加拿大、哈萨克斯坦、俄罗斯、纳米比亚、南非是超大型铀矿床的主要分布区和铀矿勘查开发的主要目标区,在铀矿生产和供应中处于重要战略地位,摩洛哥、尼日尔、乌兹别克斯坦、巴西、乌克兰也很重要。美国、中国既是重要的铀资源国和生产国,也是重要的铀消费国及进口国。克拉通中产出的铀矿床数量和类型最多、资源储也最大,是铀矿勘查开发的首选战略区。

References

- IAEA. 2018. Map of world uranium deposits(UDEPO), 1:35 000 000[R]. IAEA Vienna. 1-66.
- IAEA. 2020. World uranium geology exploration resource and production[R]. IAEA, Vienna. 50-98.
- IAEA and NEA. 2022. Uranium resources, production and demand[R]. IAEA Vienna.1-199.
- IAEA-TECDOC-1842. 2018. Geological classification of uranium deposits and description of selected examples[R]. IAEA-TECDOC-1842, Vienna. 1-199.
- Information Center, Ministry of Land and Resources. 2016. World mineral resources annual review[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-86(in Chinese).
- Li Z X, Qin M K, Qi F C, Wang W Q, Wang J, Yi L S, Li G C and Han H Z. 2020. Research status and prospect of uranium-bearing phosphorite deposits[J]. Uranium Geology, 36(6): 520-528(in Chinese with English abstract).
- Li Z Y, Guo Q, Qin M K, Cai Y Q and Guo J. 2024. Collision-uplift evolution of Qinghai-Tibetan Plateau and sandstone-hosted uranium metallogeny in Northwest China and its adjacent Central Asia region[J]. Mineral Deposits, 43(6): 1336-1359(in Chinese with English abstract).
- Mei Y X, Zhu Y S and Ye J H. 1997. Statistical characteristics of super large ore deposits in China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 18(4): 358-366 (in Chinese with English abstract).
- Mei Y X, Pei R F, Yang D F, Dai Z X, Li J W, Xu C R and Qu H Y. 2009. Global metallogenic domains and districts[J]. Mineral Deposits, 28(4):383-389(in Chinese with English abstract).
- Pei R F and Wu L S.1994. New advances in the study of metallogenesis preferentiality of giant ore deposits[J]. Mineral Deposits, 13 (2): 155-180(in Chinese with English abstract).
- Pei R F, Wu L S, Xiong Q Y. 1998. Metallogenic preferentiality and metalotect convergence of unique ore deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-120(in Chinese).
- Pei R F and Xiong Q Y. 1999. Metallogenic preferentiality and metalotect convergence of unique ore deposits in China[J]. Mineral Deposits, 18(1):37-46(in Chinese with English abstract).
- Pei R F, Ye J H, Mei Y X and Yin B C. 2001. Discussion of some issues of exceptional large ore deposits[J]. Geology in China, 28(7): 9-21(in Chinese with English abstract).
- Pei R F, Mei Y X and Li J W. 2004. Exceptional large ore deposits and anomalous ore-forming process[J]. Earth Science Frontiers, 11(2): 323-331(in Chinese with English abstract).
- Pei R F, D.V. ронквист, Mei Y X, S.V. черкасов, J. Delconte, E. Zabutini, Zhang J L, Dai Z X, Ye J H, Li J W, Qu H Y, Qiu X P, Gong Y F, Zhu G C, Wu D W and Zhang F J. 2009. 1:25 000 000 map of the world's large super-large deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-99(in Chinese).
- Pei R F, Mei Y X, Qu H Y and Wang H L. 2013. New recognized intellect for prospecting large-superlarge mineral deposits[J]. Mineral Deposits, 32(4): 661-671(in Chinese with English abstract).
- Tong S M, Feng Z B, Zhang T T, Ning J, Jiang S, Yang W D, Liu D L and Zang Y H. 2023. Conditions and prospecting direction of uranium metallization in Sifangtai Formation in West of Kailu depression, Songliao basin[J]. Mineral Deposits, 42(6): 1247-1265 (in Chinese with English abstract).
- Tu G Z. 1989. On the exploration for super-large ore deposits and related theoretical researches[J]. Mineral Resources and Geology, 3 (1): 1-3(in Chinese with English abstract).
- Tu G Z. 1994. Recent progresses on the studies and searches for super-large mineral deposits[J]. Earth Science Frontiers, 1(3):45-53(in Chinese with English abstract).
- Wang F F, Liu C Y, Qiu X W, Guo P, Zhang S H and Cheng X H. 2017. Characteristics and distribution of World's identified sandstone-type uranium resources[J]. Acta Geologica Sinica, 91(9): 2021-2046(in Chinese with English abstract).
- Wang Z B. 2002. Current status and prospects of uranium geology developments of foreign in-situ leachable sandstone type uranium deposits[J]. Uranium Geology, 18(1): 9-21(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 国土资源部信息中心. 2016. 世界矿产资源年评[M]. 北京:地质出版社. 1-86.
- 李治兴, 秦明宽, 漆富成, 王文全, 王健, 衣龙升, 李国臣, 韩慧姿. 2020. 含铀磷块岩型矿床研究现状和未来展望[J]. 铀矿地质, 36(6): 520-528.
- 李子颖, 郭强, 秦明宽, 蔡煜琦, 郭建. 2024. 青藏高原碰撞隆升与中国西北及中亚邻区砂岩铀成矿作用[J]. 矿床地质, 43(6): 1336-1359.
- 梅燕雄, 朱裕生, 叶锦华. 1997. 中国超大型矿床的若干统计特征[J]. 地球学报, 18(4): 358-366.
- 梅燕雄, 裴荣富, 杨德凤, 戴自希, 李进文, 徐丛荣, 瞿泓滢. 2009. 全球成矿域和成矿区带[J]. 矿床地质, 28(4): 383-389.
- 裴荣富, 吴良士. 1994. 特大型矿床成矿偏在性研究的新进展[J]. 矿床地质, 13(2): 155-180.
- 裴荣富, 吴良士, 熊群尧, 等. 1998. 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场[M]. 北京:地质出版社. 1-120.
- 裴荣富, 熊群尧. 1999. 中国特大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛场[J]. 矿床地质, 18(1): 37-46.
- 裴荣富, 叶锦华, 梅燕雄, 尹冰川. 2001. 特大型矿床研究若干问题探讨[J]. 中国地质, 28(7): 9-21.
- 裴荣富, 梅燕雄, 李进文. 2004. 特大型矿床与异常成矿作用[J]. 地学前缘, 11(2): 323-331.
- 裴荣富, D.V. 荣奎斯特, 梅燕雄, S.V. 契尔卡索夫, J. 德尔康特, E. 扎布提尼, 张金良, 戴自希, 叶锦华, 李进文, 瞿泓滢, 邱小平, 龚羽飞, 朱谷昌, 吴德文, 张凤杰. 2009. 1:25 000 000 世界大型超大型矿床成矿图[M]. 北京:地质出版社. 1-99.
- 裴荣富, 梅燕雄, 瞿泓滢, 王浩琳. 2013. 大型超大型矿床找矿新认知[J]. 矿床地质, 32(4): 661-671.
- 佟术敏, 封志兵, 张婷婷, 宁君, 姜山, 杨文达, 柳东良, 臧亚辉. 2023. 松辽盆地开鲁拗陷西部四方台组铀成矿条件及找矿方向[J]. 矿床地质, 42(6): 1247-1265.
- 涂光炽. 1989. 超大型矿床的找矿和理论研究[J]. 矿产与地质, 3(1): 1-3.
- 涂光炽. 1994. 超大型矿床的探寻与研究的若干进展[J]. 地学前缘, 1(3): 45-53.
- 王飞飞, 刘池洋, 邱欣卫, 郭佩, 张少华, 程相虎. 2017. 世界砂岩型铀矿探明资源的分布及特征[J]. 地质学报, 91(9): 2021-2046.
- 王正邦. 2002. 国外地浸砂岩型铀矿地质发展现状与展望[J]. 铀矿地质, 18(1): 9-21.