

全球铀矿资源分布以及对中国勘查开发建议

李文¹, 许虹¹, 王秋舒², 刘陟娜¹, 曾祥婷¹, 李梅梅¹

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要: 本文介绍了全球铀矿资源分布的总体情况, 铀矿床类型和大型铀矿公司, 分国别介绍了排列前5位的铀矿资源丰富的国家, 包括资源总量、地质简况、铀矿勘查开发情况。结合地缘政治、投资环境, 以及我国自身特点等因素, 建议我国在全球铀矿资源勘查开发活动中, 加大国内铀矿资源勘查力度, 充分利用国内铀矿资源, 建立铀资源储备; 加快实施“走出去”战略, 应重点放在周边国家, 关注非洲、北美洲铀资源, 积极参与大洋洲的铀勘查开发合作; 关注世界大型铀矿公司及其铀矿项目; 提高自身技术水平, 以技术换资源。

关键词: 铀矿资源; 勘查开发; “走出去”战略

中图分类号: F416.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-4051(2016)06-0001-06

Global uranium resources distribution and proposals for China

LI Wen¹, XU Hong¹, WANG Qiu-shu², LIU Zhi-na¹, ZENG Xiang-ting¹, LI Mei-mei¹

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Development Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: This paper introduces the general situation of uranium resources around the world(except China), the type of the uranium ore deposit and the large-scale uranium mining companies, including the amount of uranium resources, geological outlines, and information about uranium exploitation of the top-5 uranium-rich countries. Considering the geopolitics, investment policies, and the characteristic of China, the authors suggest that exploration investment must be intensified, domestic uranium resource must be used sufficiently, a uranium reserves must be established; China's "going overseas" strategy must be taken steps to speed up, we should keep focus on the neighboring countries, pay closer attention to African countries and North America, play an active part in the cooperation of the uranium exploration in Oceania; pay attention on the large-scale uranium ore companies and their uranium ore; increase our own technical level, exchange technology for resources.

Key words: uranium resource; uranium exploration; "going overseas" strategy

铀矿资源是国防建设和核能发展的战略资源。根据当前核电的发展速度和规模来看, 未来我国需

要储量巨大的铀资源作保障^[1]。而当今全球铀矿资源消费量持续走高, 我国的铀资源供应依然存在较大缺口, 因此, 研究全球铀矿资源的分布情况和勘探发现现状, 有利于促进我国铀矿产业蓬勃发展。

1 全球铀矿资源分布和生产概况

1.1 资源分布概况

铀资源按资源类别可分为两大类, 即已查明资源(identified resources)和待查明资源(undiscovered resources)。根据《Uranium 2014: Resources, Production and Demand》^[2]和WISE 2015年3月23日最新资料^[3]统计数据显示, 全球已查明资源量在逐年增长。

在全球范围内已探明的铀资源十分丰富, 同时

收稿日期: 2016-01-27

基金项目: 中国地质调查局地质调查评价专项“全球主要矿产资源分布与潜力分析研究”资助(编号: 1212011120327); 中国地质调查局地质调查评价专项“境外地质矿产信息综合研究与开发利用”资助(编号: 12120114018901)

作者简介: 李文(1990—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士研究生, 地质工程专业。E-mail: 402128604@qq.com。

通讯作者: 许虹(1958—), 女, 教授, 研究方向为成因矿物与找矿矿物方向。E-mail: HongXu88@126.com。

铀矿资源潜力依然巨大。迄今为止,全球范围内已查明的铀矿资源分布在 43 个国家,确定的主要铀成矿省约有 24 处:北美洲 4 处、南美洲 3 处、欧洲 2 处、非洲 3 处、亚洲 9 处和大洋洲 3 处^[4]。其中北美洲的加拿大、美国,中亚的哈萨克斯、俄罗斯、乌兹别克斯坦等国均富含铀矿床,此外,非洲大陆中的

尼日尔和纳米比亚等国也是铀矿资源大国。世界铀资源主要分布在澳大利亚、哈萨克斯坦、俄罗斯、加拿大、尼日尔等国,其铀资源量均在 10 万 t 以上,合计超过世界铀资源量的 98%(表 1)。随着近几年全球铀矿勘查开发力度的加大,世界诸多国家铀矿资源量均有增加。

表 1 世界主要国家查明铀资源分布

国家/地区	合理可靠铀资源/t				推断铀资源/t			
	≤40美元/ kg	≤80美元/ kg	≤130美元/ kg	≤260美元/ kg	≤40美元/ kg	≤80美元/ kg	≤130美元/ kg	≤260美元/ kg
澳大利亚	NA	NA	1174000	1208000	NA	NA	532100	590300
尼日尔	0	14800	325000	325000	0	600	79900	79900
哈萨克斯坦	20400	199700	285600	373000	68900	316000	393700	502500
加拿大	256200	318900	357500	454500	65600	99400	136400	196000
纳米比亚	0	0	248200	296500	0	0	134600	159100
美国	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
俄罗斯	0	11800	216500	261900	0	30500	289400	427300
巴西	137300	155100	155100	155100	0	73600	121000	121000
南非	0	113000	175300	233700	0	69300	162800	217100
中国	51800	93800	120000	120000	13900	54800	79100	79100
乌克兰	0	42700	84800	141400	0	16900	32900	81300
乌兹别克斯坦	41700	41700	59400	59400	24700	24700	31900	31900
印度尼西亚	0	1500	6300	6300	0	0	0	1700
印度	NA	NA	NA	97800	NA	NA	NA	22100
蒙古	0	108100	108100	108100	0	33400	33400	33400
世界总量	507400	1211600	3698900	4587200	175500	745100	2204000	3048000

注:①NA 表示数据不可获得;②世界总量包括表内未列出的其他国家资源量。

数据来源:根据 WISE 数据整理,2015。

1.2 矿床类型及分布

通过对世界范围内铀矿床成矿规律的研究,前人将铀矿床主要划分为不整合面型、砂岩型、脉型、侵入岩型、火山岩型、石英-卵石砾岩型、塌陷角砾岩筒型和黑色页岩型等类型铀矿床,个别铀矿床的形成还与生物作用有关。其中,世界上 1/3 的铀资源来源于不整合面型铀矿床;存在于内陆或海相沉积盆地的砂岩型矿床也是主要的产铀矿床类型;脉型铀矿床产出的铀占世界铀总量的 10%。而我国铀矿床类型也很多样,大体分为岩浆型、热液型、陆相沉积型、海相沉积型 4 大类^[5]。

1.3 产量分布

全球有超过 20 个国家进行铀生产,其中世界最

大的三个铀生产国为哈萨克斯坦、加拿大和澳大利亚^[6]。2014 年上述三国铀矿产量占全球总产量的三分之二(表 2)^[7]。

1.4 开采公司及产量

根据“国际商业咨询机构 SNL”^[8](以下简称“SNL”)2015 年统计数据,全球前十大铀矿公司分别是加拿大矿业能源公司(Cameco Corp.)、哈萨克斯坦能源公司(Natl Atomic Co. Kazatomprom)、俄罗斯国有铀资源公司(ARMZ Uranium Holding Co.)、阿海珐集团(AREVA S. A.)、必和必拓公司(BHP Billiton)、阿伊尔矿业公司(Somair SA)、帕拉丁公司(Paladin Energy Ltd.)、罗辛铀矿有限公司(Rössing Uranium

Ltd.)、一号铀业公司(Uranium One)以及澳能源资源有限公司(Energy Resources of AU Ltd.) (表 3)。其中在当今世界核电产业勘探开采领域中加拿大矿业能源公司、哈萨克斯坦能源公司、

俄罗斯国有铀资源公司、阿海珐集团、必和必拓公司、帕拉丁公司、一号铀业公司、力拓矿业集团(Rio Tinto)、纳沃伊公司(Navoi)以及索伯帕文公司(Sopamin)占有主导地位^[9]。

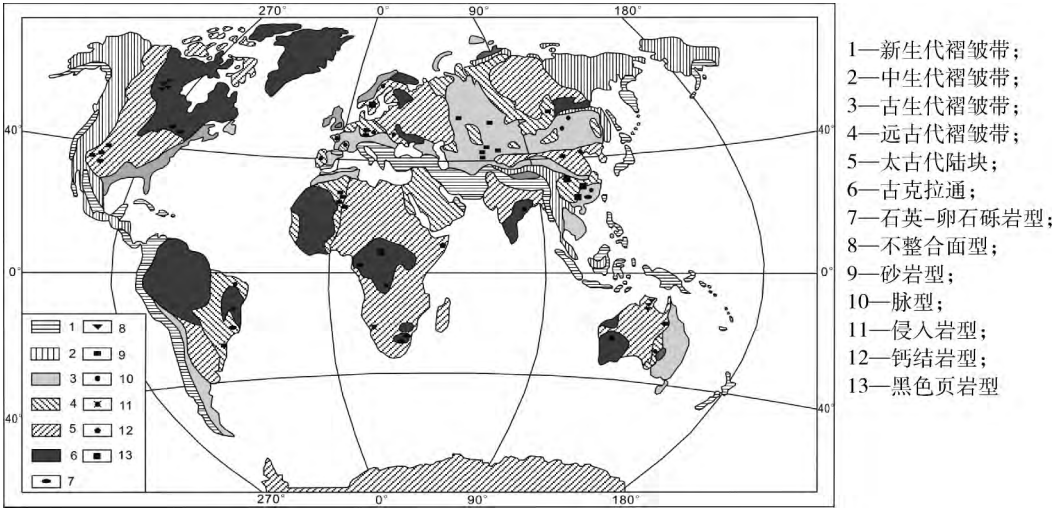


图 1 世界大型铀矿床分布简图

(数据来源:根据《中国铀矿资源特征及成矿规律概要》整理(蔡煜琦等,2015))

表 2 2007~2014 年各国矿山产量(t U)

国家	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2013 年与 2014 年对比/%
哈萨克斯坦	6637	8521	14020	17803	19451	21317	22451	23127	+3.0
加拿大	9476	9000	10173	9783	9145	8999	9331	9134	-2.1
澳大利亚	8611	8430	7982	5900	5983	6991	6350	5001	-21.2
尼日尔	3153	3032	3243	4198	4351	4667	4518	4057	-10.2
纳米比亚	2879	4366	4626	4496	3258	4495	4323	3255	-24.7
俄罗斯	3413	3521	3564	3562	2993	2872	3135	2990	-4.6
乌兹别克斯坦	2320	2338	2429	2400	2500	2400	2400	2400	0
美国	1654	1430	1453	1660	1537	1596	1792	1919	+7.1
中国	712	769	750	827	885	1500	1500	1500	0
乌克兰	846	800	840	850	890	960	922	926	+0.4
南非	539	655	563	583	582	465	531	573	+7.9
印度	270	271	290	400	400	385	385	385	0
马拉维			104	670	846	1101	1132	369	-67.4
巴西	299	330	345	148	265	231	231	231	0
捷克共和国	306	263	258	254	229	228	215	193	-10.2
罗马尼亚	77	77	75	77	77	90	77	77	0
巴基斯坦	45	45	50	45	45	45	45	45	0
德国	41	0	0	8	51	50	27	33	+22.2
法国	4	5	8	7	6	3	5	3	-40.0
总量	41 282	43 764	50 772	53 671	53 493	58 394	59,370	56,217	-5.3
总产量/世界需求量/%	64	68	78	78	85	86	92	85	-

注:哈萨克斯坦包括斯捷普诺戈尔斯克。

资料来源:World Nuclear Association 数据整理。

表3 2014年全球前十铀矿生产企业产量及占全球总产量的份额

公司	国家	产量- U_3O_8 /lbs	占全球总产量/%	累计占全球产量/%
加拿大矿业能源公司	加拿大	23394994	16.002	16.002
哈萨克斯坦能源公司	哈萨克斯坦	16258963	11.121	27.123
俄罗斯国有铀资源公司	俄罗斯	15882504	10.864	37.987
阿海珐集团	法国	13016606	8.903	46.890
必和必拓公司	澳大利亚	8792035 ^e	6.014	52.904
阿伊尔矿业公司	尼日尔	6062712	4.147	57.051
帕拉丁公司	澳大利亚	5530249 ^e	3.783	60.833
罗辛铀矿有限公司	纳米比亚	3401000	2.326	63.160
一号铀业公司	加拿大	3242000 ^f	2.228	65.377
澳能源资源有限公司	澳大利亚	2569000	1.757	67.134

注:e表示估计数值;f表示预测数值。

数据来源:SNL Top Producing Companies,2015。

2 铀矿资源丰富的国家

世界铀矿资源分布不均匀,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^[10]。根据铀资源分布及产出情况,从地质概况、铀资源勘查开发情况、矿业政策等方面分析铀矿资源量排名世界前五的国家的投资环境。

2.1 澳大利亚

澳大利亚拥有回收成本低于130美元/kg的铀资源量总计170.6万t,占世界铀矿总资源量的31%,居世界第一位。2014年共产出5000tU,仅次于哈萨克斯坦和加拿大,为世界第三大生产国,目前其产出的铀均用于出口。澳大利亚的含铀矿床多为砂岩型矿床,最近几年的铀矿开采主要集中在西澳大利亚州(Western Australia),南澳大利亚州(South Australia),北部地区(Northern Territory)和昆士兰州(Queensland)^[11]。澳大利亚最主要的铀矿勘查开采公司为必和必拓公司(BHP Billiton)。该公司最主要的铀矿床为世界最大的铀矿床——奥林匹克坝(Olympic Dam)铀矿床。

澳大利亚矿产开发历史悠久,在勘探、开采、运输等方面都形成了完整的体系。在澳大利亚进行矿业投资具有社会政局稳定、管理规范透明、开发技术先进、开采条件优良、矿产资源丰富等多个优越条件^[12]。澳大利亚对发展中国家还实施关税优惠政策,这更有利于对奥进行矿产投资。而其存在的问题也很多,其中包括土地及环保问题、原住民权问题、成果认可问题以及签证问题等^[13]。

2.2 哈萨克斯坦

哈萨克斯坦已查明的现存回收成本低于130美元/kg的铀矿资源量为67.9万t,占世界铀矿资

源的12%,居世界第二位。哈萨克斯坦为当今世界第一产铀国,2014年产铀2.31万t,较2001年涨幅超过10倍,2015年的预期目标为2.34万t。哈萨克斯坦铀矿床划分为内生铀矿床和外生铀矿床两大类^[14],共划分了5个铀成矿省,分别是北哈萨克斯坦铀矿省(Northern province)、巴尔喀什铀矿省(Balkash province)、楚萨雷苏铀矿省(Chur-Sarysu)、伊犁铀矿省(Ili province)和近里海铀矿省(Caspian province)^[15]。哈萨克斯坦全国现有17个铀矿矿床,其中最大的地浸矿床为因凯矿床(Inkai mines)。哈萨克斯坦能源公司为该国第一大铀矿公司,2013年该公司产出9402tU,占世界产量的16%^[16]。

哈萨克斯坦为发展中国家,吸引外资是其进行矿业发展必然需要。从矿业投资环境角度分析,其有利因素包括政治因素稳定、拥有较清晰、透明、符合国家通行规则的矿业法、税制相对合理、地质研究和矿产勘查程度较高;不利因素包括法律制度更迭频繁、税法取消了对外攫取行为等^[17]。

2.3 俄罗斯

俄罗斯探明的铀资源量占有全球总量的9%,铀资源给俄罗斯带来了巨大的经济效益。在俄罗斯领土查明的铀矿区及铀矿化点共计15个,各类铀矿床百余个。从成矿类型来看,俄罗斯已发现的铀矿主要分为热液型和古河道砂岩型。热液型铀矿床的代表矿床为斯特列措夫铀矿田。俄罗斯经济型铀矿的找矿工作现趋向于勘查与不整合面有关的铀矿床以及砂岩型铀矿床等类型的铀矿床,此外,还着力于寻找新矿床并对早期已探明矿床进行重新圈定和资源量评估。俄罗斯铀矿的开采主要

来源于俄罗斯国有铀资源公司下属的三个铀矿中心。

中国对俄直接投资起步较晚但增长速度很快。在俄投资具有以下几方面优势:俄罗斯政局稳定,矿业法律完善;中俄地理位置毗邻,政治关系良好;俄部分地区矿业勘查程度较低,因此具有长期投资潜力;上和组织的银联合作机制对我国在俄投资矿业提供支持。同时也存在不利因素:俄内部腐败现象严重、勘查许可证的获取时间较长、俄对铀矿等战略矿产项目限制外资进入^[18]。

2.4 加拿大

加拿大曾是世界最大的铀产出国,2008年加拿大的铀矿产量占全球总产量的22%,铀产品产量占到世界总产量的18%^[19],2009年被哈萨克斯坦取代其铀产量世界第一位置。加拿大铀矿床多为不整合面型,典型的铀矿床存在于太古代基底花岗片麻岩穹窿,早元古代含石墨泥质-半泥质岩和反应大陆裂谷地质-构造环境的中元古代陆相红层的不整合面间^[20]。加拿大最主要的铀矿开采公司是加拿大矿业能源公司和阿海珉集团。加拿大最大的铀矿床麦克阿瑟河铀矿床(McArthur River uranium mine)是世界上年产量最大的铀矿床, U_3O_8 储量可达17.5万t。

加拿大具有坚实的经济基础、良好的金融体系、完整的市场体制和比较优惠的税收政策,而且加拿大的矿业管理法律制度和外商投资法律体系均比较系统,政府不断出台法律法规和政策用来吸引外来投资。当今,加拿大国内的矿业投资环境较好,融资市场较为成熟,其矿业基础设施均比较完备。于此同时,也存在勘查开发成本较高,环境保护条件较为严格,当地土著民族意识较强的阻碍因素^[21]。

2.5 尼日尔

尼日尔是世界第四大产铀国。2011年产出4351tU,在此之前,直到2010年已经累计产出114346tU。其中大约62000tU来源于地下,52000t是露天开采^[22]。尼日尔所有的铀矿床都位于靠近阿尔利特(Arlit)-阿札奥亚河(Azaoua)断层的Tim Mersoï盆地中。铀矿床主要范围是在首都尼亚美东北900km,沙哈拉沙漠边境南部及阿伊尔高原的西侧。尼日尔主要的铀矿生产商是阿科达矿业公司(COMINAK)和阿伊尔矿业公司(SOMAIR),分别经营尼日尔北部的阿库塔(Akouta)地下矿和阿尔利特(Arlit)露天矿。其他重要的矿业公司包括加拿大矿业能源公司和中国核工业集团公司,澳大

利亚和印度的公司对于尼日尔铀矿开发也跃跃欲试^[23]。

中国与尼日尔的经济合作涉及多个领域,尼日尔政府2006年就已经向中国核工业集团颁发了在尼日尔北部沙漠地带勘探和开采铀矿的许可证。中国对非洲国家的矿业投资一直是我国战略发展的一部分,而且尼日尔铀矿资源储备十分丰富,但尼日尔政治局势不稳定,投资风险相对其他非洲国家还是较大的。

3 中国铀矿开发建议

3.1 挖掘国内铀矿潜力

我国适合产生铀矿床的地质环境很多,了解我国铀矿成矿环境特点,合理制定铀矿地质勘查规划及铀矿资源的相关政策是十分必要的。当今世界各铀矿国家都积极勘查开发本国铀矿,我国也应针对我国本土特有的铀矿床成矿特点,坚持“系统勘查,整体评价”的铀矿找矿思路,加大国内铀资源勘查力度,加快区域性铀资源潜力评价,积极开辟潜在的铀成矿区带,对重点地区进行重点评估,对已有铀矿区进行科学合理可持续的开发利用,切实提高国内铀资源的保障能力。

3.2 加大国内铀矿勘查力度

当今世界铀产量低于需求量,但由于美国、俄罗斯、日本等国建立起充足的铀矿资源储备,稳定了本国甚至全球的铀供给平衡。我国现阶段还未出现铀资源供不应求的局面,但我国铀需求量日益增大,加大国内铀矿勘查力度,谋求更多的铀矿资源是十分必要的。在当今国际铀价不高,而在未来预期价格上涨的情况下,应提早做好准备,在全球铀需求量大幅增长之前,应扎实进行国内铀矿勘查开发工作,以备未来战略需求。

3.3 加快铀资源勘探开采“走出去”的步伐

中国进行海外铀资源开发起步很晚,落后欧美日等国家三四十年。近年来中国海外铀资源开发步伐正在加快。“立足国内,开拓国外”是我国铀矿勘查开发的基本方针,开拓国外铀矿资源十分重要。

3.3.1 选择理想合作国家,关注大型铀矿项目

针对铀矿的分布特点和各国的不同资源政策,我国应从铀资源、品质、产量、消费情况、矿业投资环境等角度进行综合分析,以世界上铀资源禀赋条件优越的国家为优先考虑对象,获取有利成矿远景区块的探矿权,优先选择铀资源比较丰富的周边亚洲国家;保持并扩大与大洋洲的澳大利亚、北美的加拿大的铀资源合作;对于非洲国家应考虑其政治局势,有甄别的进行投资。

应有针对性的关注各国典型铀矿项目,增持股份,签订购买合同,利用好与友好国家的合作关系,应努力谋求获取世界上主要铀成矿聚集区的铀矿探矿权,开展铀资源区域评价和矿床勘查工作,为建立国外天然铀生产基地提供后备资源,同时为不断拓展国外铀矿资源勘查开发奠定基础。

3.3.2 通过技术换取资源,扩大铀矿利用范围

当今世界还有很多国家铀矿资源丰富,但由于矿石品位较低,开采深度较深,处理矿性较为复杂,冶炼难度较大,而生产技术水平比较落后,开发利用率较低,产量并不乐观。如南非铀矿资源量世界排名第六,而2014年产量却排名世界第十一,可见其铀矿资源开发利用程度。这对我国铀矿开发战略是一个利好消息,我们可以提高自身技术水平,与这样的国家进行战略合作,对其提供技术支持以换取我国所需的铀矿资源。

加快提高我国铀矿资源潜力探测开发的技术水平,扩大铀矿资源的开发利用范围。提高铀矿勘查、开发、冶炼技术、更新冶炼工艺、开发应用新设备,与技术薄弱国合作开发利用铀矿资源,将大量品位低、难处理的边际经济、次边际经济的铀矿资源利用起来,拓展可供开发提取的铀资源量。

参考文献

- [1] 张金带. 适应新形势 办好《铀矿地质》——庆祝《铀矿地质》创刊50周年[J]. 铀矿地质, 2012(6): 317-318.
- [2] OECD (NEA)/IAEA. Uranium2014: Resources, Production and Demand [M]. Paris: OECD, 2014.
- [3] WISE. Uranium Maps and Statistics [EB/OL]. <http://www.wise-uranium.org/umaps.html>.
- [4] 达淦, 仁贵, 培荣. 铀资源地质学教程[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2007.
- [5] 蔡煜琦, 张金带, 李子颖, 等. 中国铀矿资源特征及成矿规律概要[J]. 地质学报, 2015(6): 1051-1069.
- [6] International Atomic Energy Agency. Uranium 2014 report: Red Book Highlights Continuing Growth Trend. [EB/OL]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/uranium-2014-report-red-book-highlights-continuing-growth-trend>
- [7] 伍浩松. 2011年全球铀矿开采概况[J]. 国外核新闻, 2012(6): 19-22.
- [8] SNL Financial LC. SNL. Top Producing Companies. [EB/OL]. <https://www.snl.com/SNLWebPlatform/Content/Commodities/Mining/TopProducingCompanies.aspx>.
- [9] 在世界核电产业勘探开采领域居于主导地位的是十大超级铀资源采矿公司. [EB/OL]. <http://www.doc88.com/p-0897232122250.html>.
- [10] 张金带, 李友良, 简晓飞. 我国铀资源勘查状况及发展前景[J]. 中国工程科学, 2008(1): 54-60.
- [11] World Nuclear Association. Australia's Uranium. [EB/OL]. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/Australia/>.
- [12] 王天刚, 姚仲友, 汪传胜, 等. 中资企业在澳大利亚矿业投资总体形势与前景[J]. 地质通报, 2014(S1): 342-347.
- [13] 张华. 澳大利亚矿业投资环境分析[J]. 中国矿业, 2001, 10(1): 75-78.
- [14] 李月湘, 田建吉, 衣龙升, 等. 哈萨克斯坦与新疆北部古生代火山岩型铀矿成矿条件对比[J]. 世界核地质科学, 2012(3): 130-134, 141.
- [15] 朱夏, 徐旺. 中国中生代沉积盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [16] World Nuclear Association. Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan [EB/OL]. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Kazakhstan/>.
- [17] 陈良玺, 陈超. 哈萨克斯坦共和国矿业投资环境分析[J]. 地质与勘探, 2013(4): 791-796.
- [18] 陈良玺, 陈正, 金玺, 等. 俄罗斯联邦矿业投资环境分析[J]. 中国矿业, 2013, 22(7): 37-41.
- [19] World Nuclear Association. Uranium in Canada. [EB/OL]. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/Canada-Uranium/>.
- [20] 陈祖伊, 杜乐天. 加拿大、澳大利亚铀矿勘查活动的特点及其成功经验[J]. 铀矿地质, 2006(1): 1-9, 28.
- [21] 付水兴, 赵仕玲. 浅议中国地勘单位在加拿大的矿业投资[J]. 矿产勘查, 2013(2): 117-120.
- [22] World Nuclear Association. Uranium in Niger. [EB/OL]. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Niger/>.
- [23] 张桂平, 王淑玲. 尼日尔矿产资源开发现状[J]. 地质与资源, 2012(6): 571-576.