

文章编号 1001-8166(2006)11-1134-06

# 我国铀地勘业可持续发展的战略思考

叶柏庄

(核工业 230 研究所 湖南 长沙 410011)

**摘要:**以国家能源、矿业、铀和核电政策为依托,讨论、分析了我国未来核电用铀趋势及铀地勘业发展的机遇和挑战。我国铀资源潜力深远,地质勘查程度相对较低,地域辽阔,资金投入尚少。宏观上看,铀矿找矿周期与国际水平相当,而找铀装备、方法存在差距,铀矿经济评价体系和理念亟待建立。为了确保国家核电安全运行,未来 15 年是我国铀地勘业十分关键的时期。

**关键词:**能源,矿业,核电,政策,铀地勘业

**中图分类号:**G353 **文献标识码:**A

能源与矿业是国家的基础产业,核电则是这个产业中一种高效、清洁、安全的能源。为确保核发电能持续安全地运行,我们需要拥有足够的铀原料作保障。全面认知我国的能源、矿业、核电政策和铀资源的现状,找矿潜力,将更有助于铀地勘业的良性发展。根据国家核能发电规划以及核电用铀燃料的勘查、生产等特点,本文认为从现在起到 2020 年将是我国铀地勘业极为关键的 15 年。

## 1 我国的能源、矿业、铀资源政策与未来发展目标

### 1.1 中国的能源政策

从国家对能源产业所制定的政策来看,主要是推广和强化节约及高效利用的政策导向,坚持节约优先、立足国内、煤为基础、多元发展,构筑稳定、经济、清洁的能源供给体系。以大型高效机组为重点,优化发展煤电,在保护生态环境的基础上有序开发水电,积极发展核电,加强电网建设,扩大西电东送<sup>[1]</sup>等工程。

### 1.2 中国的矿业政策

矿产开发,要加强重要矿产资源的地质勘查,增加资源地质储量,规范开发秩序,实行合理开采和综合利用,健全资源有偿使用制度,推进资源开发和利

用技术的国际合作<sup>[1]</sup>。

我国矿产勘查工作应紧紧围绕全面建设小康社会的宏伟目标,坚持科学发展观,以国内短缺的重要矿产为主攻矿种,兼顾部分优势矿产,充分利用已有的工作基础,依靠科技进步,继续加强国土资源大调查,尽快实施危机矿山接替资源的找矿计划,逐步构筑全球资源配置体系,以提高矿产资源对我国经济社会可持续发展的保障能力。

“十一五”期间,国家对矿业政策的加强使得与之相关的行业特别是地勘业有了新的转机 and 变化,中国地质调查局的重点科技攻关项目的安排要向重点矿种、重点成矿区(带)的重大地质问题倾斜;要进一步加强有望形成新的大型资源基地的大型煤炭基地、重要成矿区(带)的煤炭、铀、铁、铜、铝、铅、锌、锰、镍、钨、锡、钾盐、金等重要矿产的新一轮普查工作,尽快形成一批重要的矿产后备资源基地,有效地缓解资源瓶颈压力,突出加强煤炭、铀、铁、铜、铝土矿等对国家经济建设具有重大意义的重要矿产资源勘查,并择优开展必要的详查<sup>[2]</sup>。

### 1.3 中国的铀资源政策

我国的能源政策已确定把核能作为重要的补充能源,2006 年 2 月 12 日,中华人民共和国国务院 4 号文件“关于加强地质工作的决定”公布,《决定》给出了国家铀资源政策——“加强铀矿勘查,尽快探

收稿日期:2006-06-29,修回日期:2006-09-26。

作者简介:叶柏庄(1947-),男,上海市人,副研究员,长期从事核地质科技情报研究工作 E-mail:chsh230ye@yahoo.com

明一批新的矿产地”。这是中华人民共和国成立 50 多年来,首度公开发布国家的铀资源政策。

1.4 中国的核电政策及近中期发展目标

核电作为一种清洁、安全、技术成熟、供应能力强的发电方式,随着我国政治、经济、社会等各方面的高速发展,政府和各界对国家加快发展核电已形成了共识。如今,核电发展的定位和路径已发生转变。中国核电发展正由早期的“适度发展”期,进入“加快推进”期。立足国内,做到自主设计、自主制造、自主建设、自主运营<sup>[3]</sup>。

到 2020 年,核电要由现在占全国电力总量的 2% 提高到 4%; 据我国规划的核电建设规模,到 2020 年前,我国要新建设近 30 座原子能反应

堆<sup>[3,4]</sup>,届时,投入运营的核电装机容量将达到 4000 万千瓦<sup>[5]</sup>。在未来 15 年里,我国年平均要增添 2 座核反应堆。

2 核燃料制造与铀矿开发若干问题

2.1 核燃料制造过程中要消耗多少铀?

依照铀浓缩过程,所有的核燃料需要经过天然铀的地质勘查、矿冶处理加工。从仅含 0.711%  $U^{235}$  的天然产出的铀矿石加工成  $U^{235}$  含量达 4% 的浓缩铀产品,同时剩下  $U^{235}$  含量约为 0.3% 的尾料。根据浓缩过程,生产 0.45kg 用于核燃料元件制造的浓缩铀产品 (EUP),大致上要求 4.5kg 天然  $U_3O_8$ <sup>[6]</sup>。典型核燃料循环如图 1 所示:

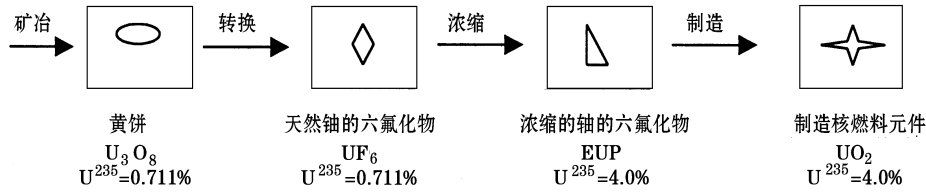


图 1 典型核燃料循环示意图

Fig.1 Generalized map of typical nuclear fuel cycle

2.2 勘查、开发一座铀矿床需要多少时间?

铀矿床从发现到开发所需要的时间是一个相当复杂的问题,这个过程涉及到矿床的类别、找矿方法和技术的综合运用、矿床开发工艺、环境保护、投资、勘查理念、铀的市场价格等诸多因素。

国际原子能机构 2004 年发行的《红皮书》中根据 5 个国家,16 个不同类型铀矿床的统计认为<sup>[7]</sup>,通常铀矿床从发现到开发所需要的时间平均为 10 ~20 年(表 1)。

表 1 铀矿床从发现到开发所需要的时间(国外)

Table 1 The lead-time from the discovery uranium deposit to development of new uranium production (abroad)

国家	矿床/矿山(铀生产方式)	勘查起始年度	矿床发现年度	投产年度
澳大利亚	贝弗利(地浸)	1968	1970	2000
	霍尼穆恩(地浸)	1968	1972	尚未宣布
	贾比卢卡(地下)	1968	1971	尚未宣布
	奥林匹克坝(地下)	20 世纪 70 年代初	1976	1988
	兰杰(露天)	1968	1969	1981
巴西	拉戈雷尔	1974	1976	2000
	雪茄湖	1969	1981	2006 年前不投产
加拿大	凯湖(地下)	1968	1975/1976	1983/1989
	麦克阿瑟河(下)	1981	1988	1999
	麦克莱恩湖(下)	1974	1979	1999
哈萨克斯坦	英凯(地浸)	1976	1979	2001
	嵌茹甘(地浸)	1972	1974	1982
	蒙库杜克(地浸)	1973	1975	1978
	乌伐纳斯	1963	1969	1977
尼泊尔	阿库塔(露采)	1956	1972	1978
	阿尔利特(露采)	1956	1965	1970

在国内,对勘探程度较高的华南某产铀大省的统计(表 2)表明,不同时期铀矿床勘查周期不尽相同。在 20 世纪 50~60 年代,铀矿勘查处于起步阶段,地表露头矿或浅埋藏矿的找矿周期相对短些,70 年代以后,找矿难度渐渐增大,找矿周期相应加大,一些地区的找矿工作出现了几进几出的“拉锯”现象。有近 1/4 的矿床勘查周期长达 11 年以上。

表 2 铀矿床发现所需要的时间(国内)  
Table 2 The lead-time of discovery uranium deposit(domestic)

勘查周期	5 年以内		
	6~10 年	11 年以上	
发现铀矿床数目占全省已发	41	35	24
现矿床总数的百分比(%)			

表 1 和表 2 所列的数据可以表明,我国铀矿找矿所需的时间与国际水平十分接近。因此,在更合适的条件下,有一定的资金投入和科学的找矿技术,我们完全有理由能找到更多、更经济的铀矿床,以满足核电用铀立足国内的愿望,确保国家核电运行的安全。

诚然,随着出露地表、近地表铀矿的逐一被发现,找矿难度势必加大,投入与风险也将会变大,未来铀矿勘查所需的时间可能会更长。

### 2.3 铀矿床的勘查周期所需的粗算资金

一座铀矿床的勘查工作大致上要花费多少资金?目前,以规模大、品位富的与不整合有关的铀矿床,可以用原地浸出工艺开发的砂岩型铀矿床,用露天方法开采的浅埋藏大矿量的砂岩型铀矿床,以露采结合就地堆浸的有多金属伴生产出的角砾杂岩型铀矿床等为世界 4 种最重要的经济类铀矿床。以世界铀矿石的主要来源——与不整合有关的铀矿床为例,该类型铀矿床的主产地为加拿大的阿萨巴斯卡盆地(近年来在澳大利亚、俄罗斯等地也有重要发现),在 20 世纪末的 9 年时间里,该盆地总共发现 9 个互不联系、且有经济价值的与不整合有关的铀矿床,总的投入约为 7000 万美元。平均每年发现一座,每座矿床的发现成本不超过 800 万美元。

## 3 中国铀地勘业发展的机遇

国防科工委副主任、国家原子能机构主任孙勤在核工业地质局成立 50 周年大会上指出:到 2020 年,核电要由现在占全国电力总量的 2% 提高到 4%,据我国规划的核电建设规模,到 2020 年,每年

消耗的天然铀将达到数千吨,需要上万吨地质储量来保证<sup>[4]</sup>。

据国内学者的分析,中国目前正在运营的核电机组共 9 个,总装机容量为 6.70 Gwe,年消耗的天然铀资源大约是 1.670 万 t。到 2010 年和 2020 年时,核发电将消耗愈来愈多的铀资源(表 3)<sup>[8]</sup>。

表 3 中国未来核电需铀量预测  
Table 3 Prospective of China nuclear power demand and uranium in future

年份	核电装机容量 (Gwe)	需用的天然铀资源(tU)	需要的地质储量
2010 年	16	4000	4 万多吨地质储量
2020 年	40	10000	10 多万吨地质储量

据国外专家对中国核发电及反应堆年需铀量的分析和预测<sup>[7]</sup>,为了满足经济发展和提高人民生活水平的需求,未来中国核电发展势头强劲,对铀的需求也会随之增加。

由此,国外专家对中国铀生产能力的分析和预测<sup>[7]</sup>为:短期内,铀还能满足核发电的需要,而中、长期则有缺口。

由表 4、5 所列数据可见,中国核电所需铀成品量和铀生产量之间存在较大缺口。在未来 15 年里,我国铀地勘业需要寻找并提交近 20 多万吨的铀矿地质储量,方能满足核电的需要。这个 20 多万吨铀矿地质储量就是一份实实在在的“预定单”,也可说是中国铀地勘业未来发展的极好机遇。

表 4 中国反应堆及反应堆年需铀量的分析和预测  
Table 4 Analyses and prospective of China reactor and related uranium requirements

年份	2002	2003	2005	2010		2015		2020	
				低	高	低	高	低	高
核发电装机容量 (MWe)	4400	6100	8700	12700	14700	13900	15600	13900	15600
反应堆年需铀量 (tU)	790	1100	1570	2290	2650	3240	4140	3960	5760

## 4 对中国铀地勘业发展的挑战

经历了半个多世纪的铀地勘事业,尽管我们已经在全国各地探明了 10 余种工业类型的铀矿床数百个,全部储量的 74% 集中分布在粤、赣、湘、桂等能源相对短缺的省区,然而这些矿床的单个矿床的规模偏小(全球已知的、储量规模在 500 万 t 以上的 582 个矿床中我国仅占 10 余个,在全球 26 个大于

表 5 中国铀生产能力预测  
Table 5 Prospective of China uranium production capability

年 度	2003	2004	2005	2010	2015	2020
铀生产能力(吨/a)						
现有的和在建的生产中心的可回收的可靠资源和附加资源-1为基础的生产能力	850	850	850	1050	1050	1050
现有的、在建的、计划的和预测的生产中心的可回收的可靠资源和附加资源-1为基础的生产能力	850	850	1050	1560	1560	1650

50 000 吨的矿床中仅占 1 个), 矿石品位以中—低品位居多, 铀矿储量数和矿床数量间的相关系数高达 86.6%。铀矿床类型虽然很多(花岗岩型为 35.93%、砂岩型为 21.30%、火山岩型为 19.90%、碳硅泥岩型为 14.81%) ,但是属于当今世界 4 种经

济效益好的铀矿床(以规模大、品位富的与不整合有关的铀矿床、可以用原地浸出工艺开发的砂岩型铀矿床、用露天方法开采的浅埋藏砂岩型铀矿床、以露采结合就地堆浸的角砾杂岩型铀矿床)的数目较少, 欠经济和不经经济的矿床占有相当份额。

今后, 在新的铀资源接替基地和老的矿山接替资源的查找, 南方突破“第二富集带”的方法与技术, 新的经济型铀矿的探索能力, 地浸砂岩型铀矿床勘查工作的战略与战术等方面尚有大量的工作要做<sup>[11, 12]</sup>。

与此同时, 我们清楚地看到, 中国综合国力还不够强大, 2004 年中国的 GDP(19 317 亿美元) 仅为同期美国 GDP(117 000 亿美元) 的 1/6 上下, 人均 GDP 仅名列世界 150 位之后。铀矿从业人员的收入与美国铀矿从业人员的待遇(年薪 31 250 ) 差距较大。我国铀矿勘查程度较低等都是对我国铀矿地勘业发展的挑战(表 6)。

表 6 我国西北地区与世界其他地区已知铀资源的分配额

Table 6 The distribution proportion of known resources of northwest of China and other desert areas of world

地 域	欧 洲	澳 大 利 亚	北 美 洲	亚 洲	亚 洲	非 洲	俄 罗 斯	南 美 洲	中 国 西 北
已知资源分配额 (吨/km <sup>2</sup> )	0.1407	0.1252	0.0676	0.0498	0.0124	0.0372	0.0226	0.0156	0.0055

注: 包括哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和蒙古; 不包括哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和蒙古

由表 6 数据可见, 我国西北地区与世界其他地区已知铀资源的分配额的差异不能简单地归咎于中国的地质环境不利于铀成矿, 国外的地质环境对铀成矿有利。事实上, 由于经济、技术等诸多原因, 西欧、北美、澳大利亚铀矿勘查投入高、勘查力度大是这些地区铀矿“发现率”高于其他地区的重要原因之一。多年来, 我国铀矿工作投资不足、勘查程度低下、找矿战略与战术的选择欠缺等原因都是发展我国铀地勘业值得考虑的深层次的问题。

### 5 中国铀地勘业发展前景

综上所述, 我国的铀矿找矿所花费的时间与国际水平是十分接近的, 而铀矿勘查程度较低的事实说明, 今后适当加大地勘投入, 提高勘查程度, 科学合理地运用各种找矿方法, 我国未来的铀矿勘查工作是大有希望的。

据 2004 年发行的《红皮书》披露的资料<sup>[7]</sup>, 我国的可靠资源(RAR)、附加资源(EAR-1)虽然算

不上殷实, 但也够得上“小康”水平(表 7)。我国的可靠资源(RAR)中的 <40 吨/kgU 部分在参与排名的 43 个国家中名列第 10 位, 我国的估计附加资源(EAR-1)中的 <40 吨/kgU 部分在参与排名的 37 个国家中也跻身前 10 位。

诚然, 铀的可靠资源(RAR)、附加资源(EAR-1)再多, 而不加以可持续性的地质勘查, 沉睡在地下的铀资源只能是奢望而不可及。在世界上拥有核电的国家和地区里, 除俄罗斯等极少数国家外, 大多数国家的核电用铀燃料奉行“多元化”来源的方针。从这个视角来看, 出现一定程度上的核电用铀压力并不可怕, 可怕的是没有合理的对策而使一定程度上的核电用铀压力变大、变复杂。因此, 立足国内, 加快对我国铀资源总体潜力的调查评价, 加大勘查力度, 确保核电运行有安全的铀燃料保障, 寻找与落实更多的大型铀资源基地, 尽快摸清“家底”, 为国家制定核电发展的更长远规划提供依据具有十分重要的现实意义。

表 7 中国的可靠资源(RAR)在世界上的位置  
Table 7 Reasonably assured resources (RAR)

国家	铀 价				
	<40 /kgU	40 ~80 /kgU	>80 /kgU	80 ~130 /kgU	>130 /kgU
澳大利亚	689 000	13 000	702 000	33 000	735 000
加拿大	297 264	36 570	33 834	0	33 834
哈萨克斯坦	280 620	104 005	384 625	145 835	53 046
南非	119 184	112 480	231 664	83 666	315 330
尼日尔	89 800	12 427	102 227	0	102 227
乌兹别克斯坦	61 510	0	61 510	18 110	79 620
纳米比亚	57 262	82 035	139 297	31 235	170 532
俄罗斯	52 610	71 440	124 050	18 970	143 020
巴西	26 235	59 955	86 190	0	86 190
中国	26 235	8 825	35 060	0	35 060

表 8 中国的估计附加资源(EAR-1)在世界上的位置  
Table 8 Estimated additional resources (EAR)-category 1

国家	铀 价				
	<40 /kgU	40 ~80 /kgU	>80 /kgU	80 ~130 /kgU	>130 /kgU
澳大利亚	276 000	11 000	287 000	36 000	323 000
哈萨克斯坦	131 220	106 560	237 780	79 380	317 160
尼日尔	125 377	0	125 377	0	125 377
加拿大	86 560	18 150	104 710	0	104 710
纳米比亚	57 142	16 418	73 560	13 525	87 085
南非	49 313	17 627	66 940	13 400	80 340
乌兹别克斯坦	31 760	0	31 760	7 080	38 840
俄罗斯	15 860	18 400	34 260	86 960	121 220
蒙古	8 250	7 500	15 750	0	15 750
中国	5 890	8 800	14 690	0	14 690

## 6 结 语

综上所述,作为世界核大国的中国不是贫铀大国,铀矿勘查水平(找矿周期)亦与世界水平不相上下,由于铀矿勘查程度低(中国已知铀资源的分配额明显低于世界其他地区),所以铀矿找矿潜力十分巨大。除此之外,由于近年来我国能源发展的核心——石油,“向外发展”空间受到限制的经历,必然会成为铀矿行业中关于“充分利用 2 种资源,大力开辟两个市场”这一设想的“前车之鉴”。国际铀市场的脆弱性与不确定性,也是市场经济条件下各核电运营商在购买铀产品时不得不慎重考虑的问题。

国防科工委副主任、国家原子能机构主任孙勤在核工业地质局成立 50 周年大会上指出:“认清形势,把握机遇,努力提高铀矿勘查能力和资源保障水平是核地质面临的光荣使命和艰巨任务。核地质部门要立足国内,积极落实‘三个保有’(保有地质储

量、保有技术水平、保有工作能力),确保我国核燃料体系发展战略的顺利实施”<sup>[4]</sup>。政策、目标、方向都有了,那么,求真务实地工作,是使我国铀矿资源的供给体系愈来愈壮大,也越发安全的根本。

### 参考文献(References)

- [1] Suggest of The Central Committee of The Chinese Communist Party Concerning establishment the Eleventh Plan of Five—Years for National Economic and social development[M]. Beijing: People Press, 2005. [中共中央关于制订国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议[M].北京:人民出版社,2005.]
- [2] “十一五”矿产勘查突出七个重点[N].中国核工业报,2005-11-16.
- [3] 关于加强地质工作的决定[N].中国国土资源报,2006-02-12.
- [4] 胡钰.加快推进我国核电自主开发建设的进程[N].科技日报,2005-04-22.
- [5] Sun Qin. To get a clear understanding of the recent situation, to seize the opportunity and to make efforts to elevate the safeguard level of China's uranium resources[J]. Uranium Geology, 2005, 21(4): 193-195. [孙勤.认清形势 把握机遇 努力提高我国铀资源保障水平[J].铀矿地质,2005,21(4):193-195.]

- [ 6 ] Leaderette of column of Uranium Geology[ J ] . Uranium Geology , 2005 , 21( 3 ) : 129 . [ 铀矿地质专栏编者按[ J ] . 铀矿地质 , 2005 , 21( 3 ) : 129 . ]
- [ 7 ] James J. Graham , Nuclear energy industry-Past , present and future Mining Engineer March[ R ] . 2002 : 26-30 .
- [ 8 ] Uranium 2003 : Resources , Production and Development OECD [ R ] . 2004 .
- [ 9 ] Hu Shaokang . Analysis on development nuclear power and ensure uranium resources in China[ C ] Collection of articles of Uranium Geology Branch of China Nuclear Society Annual Beijing Research Institute of Uranium Geology . Beijing , 2005-12 . [ 胡绍康 . 我国核电发展与铀资源保障分析[ C ] 中国核学会铀矿地质分会年会核工业北京地质研究院论文集 . 北京 , 2005-12 . ]
- [ 10 ] Gou Runxiang , et al . Study on current status and developing feasibility of uranium resources in northwest of China[ C ] Collection of articles of Uranium Geology Branch of China Nuclear Society Annual . Beijing : 2005-12 . [ 苟润祥 , 等 . 中国西北部铀资源现状与开发可行性研究[ C ] 中国核学会铀矿地质分会年会论文集 . 北京 , 2005-12 . ]
- [ 11 ] Lu Yinxing , et al . Considerations on several problem concerning the new round uranium prospecting[ C ] Collection of articles of Uranium Geology Branch of China Nuclear Society Annual . Beijing , 2005-12 . [ 卢映新 , 等 . 对新一轮铀矿勘查几个问题的思考[ C ] 中国核学会铀矿地质分会年会论文集 . 北京 , 2005-12 . ]
- [ 12 ] Shen Feng . Depending on scientific and technological progress to prospect for superlarge uranium deposits—across-century target for uranium resources exploration work in China[ J ] . Uranium Geology , 1995 , 11( 1 ) : 6-10 . [ 沈锋 . 依靠科技进步寻找超大型铀矿床[ J ] . 铀矿地质 , 1995 , 11( 1 ) : 6-10 . ]
- [ 13 ] Guidebook to accompany IAEA : World distribution of uranium deposits , IAEA , Vienna[ R ] . 1996 .

## Strategy of Sustainable Development of Uranium Exploration Professional Trade in China

YE Bai-zhuang

( Research Institute No. 230 , CNNC , Changsha 410011 , China )

**Abstract :** This paper is based on China's policy for the following 4 fields . Energy sources , mineral , uranium exploration and nuclear power . The situation for the nuclear power consumption using uranium in the future and the opportunities and challenges that uranium explorations pose will be discussed and analyzed within the paper . Uranium potential resources are huge for China . Geological exploration has not been extensive and there is an extremely vast amount of land to yet be explored , also a lack of funds has been an additional problem . China's ability to make full use of the uranium resources is equal to that of other major international countries . However , to date our equipment and methods need to be improved upon . The evaluation system and concept for uranium exploration still awaits establishment . In order to ensure national nuclear power safety to be in motion , the next fifteen years are extremely important for our uranium exploration development .

**Key words :** Energy ; Mineral ; Nuclear power ; Policy ; Uranium exploration .