

俄罗斯核工业面面观

谈成龙

(核工业北京地质研究院, 100029)

俄罗斯是世界五个核大国之一, 拥有完整的、实力雄厚的核工业体系, 在世界核工业界具有举足轻重的地位。由于多种复杂原因, 俄罗斯核工业也存在一系列问题。本文简要介绍了近、中期俄罗斯的核电、核废、铀出口、铀勘查及放射性污染调查等情况。

关键词 俄罗斯 核工业 铀

俄罗斯位于欧亚大陆北部, 地跨北亚、东欧的大部分陆域, 国土面积达 1 708 万平方公里。

从 1991 年 12 月 25 日俄罗斯苏维埃社会主义共和国更名为俄罗斯(联邦)起, 独立的俄罗斯全面继承了前苏联庞大的核工业体系。在这份沉甸甸的核家产中, 除了带有神秘色彩的军工部分之外, 涉及了正在运行的核电反应堆机组近 50 座、在建的 4 座、正在运行的各种研究用反应堆 20 多座、前苏联时期开工而今处于下马状态的核电工程 10 余处、各类核废贮藏库 10 余处、核废加工处置工厂 4~5 家、高放核废物 10 多万吨、查明的含铀区或矿区 15 个、各类铀矿床百余个、生产成本低于 80 美元/kg U 的可靠铀储量 10 余万吨、库存铀约有 200 000~260 000t 左右……。

独联体解体以来的 10 年间, 受政治、经济不稳定等因素的影响, 俄罗斯的核工业步履维艰。然而痛定思痛的俄罗斯有关当局, 仍然制定了一份雄心勃勃的近、中期核工业发展规划, 其基本思路是“以核养核、以铀养铀”。

俄罗斯的核工业何日方能雄起? 人们欲拭目以待。

1 关于核电

俄罗斯的国土大部分位于北纬 45°以北, 气候多属温带和亚寒带大陆性气候, 全俄罗斯大部分地区严冬漫长。春、秋季暂短, 夏季短促。为承担百姓冬日里的取暖及庞大的工业系统用电, 核电理应成为俄罗斯理想的电源, 从铀原料及核发电技术分析, 俄罗斯具备了发展核电的基本条件。

截至 1999 年底俄罗斯正在运行的核反应堆 29 座, 业主均为俄罗斯联邦原子能工业部, 年总发电量 19 843MWe, 核电占全俄罗斯总发电量的 14.41%, 核电年耗铀 3 800t, 耗铀量与年产铀量之间的缺口由库存铀补充。俄罗斯民用和工业用电明显不足, 远低于与俄罗斯同纬度的加拿大及北欧诸国。

为此, 俄罗斯有关当局制定的近、中期核发电目标是: 到 2030 年, 核发电量将占全国总发电量的 30%, 即在未来 30 年里要新建核发电机组 40 台套。初步经费预算为: 2000~2005 年, 需投资 175 亿卢布(约合 5.5 亿美元); 2000~2010 年, 需投资 3 800 亿卢布(约合 120 亿美元)。目前, 俄罗斯境内尚有 12 台套核电机

组是由前苏联时期开工、至今仍未完工的“胡子”工程,若要完成这批工程,资金缺口高达 200 亿美元。

俄罗斯有关当局面对联邦政府的拨款、银行的贷款乏力的现实,正欲实施一项“以核养核”的计划。一方面在接受国际原子能机构监督的条件下,出口核电技术以获取资金。目前俄罗斯的海外核电工程除了中国的田湾核电工程外,还有建于印度 Kudankulam 的 2 个核电机组,建于伊朗 Bushehr 的 3 个核电机组,前苏联时期援建而半途停工,现又重新上马的古巴 Juragua 核电站等。另一方面,俄罗斯正与日本有关方面进行谈判,欲联手在俄罗斯远东地区建造新的核电站。由俄罗斯方面提出的这项核电工程的基本情况是:由日本方面提供建设资金,于 2010~2020 年间,在俄罗斯的远东地区建造一座核发电量达 12GWe 的核电站,核电站建成后俄罗斯方面用发出的电向日方偿还建设资金。从整体利益(铀原料、乏燃料处置与贮藏、环保等)看,该方案对能源、铀资源短缺,又不用承担乏燃料与环保风险的日本来说,颇具诱惑力。按有关部门的测算,建造一座 12GWe 的核电站,在日本建造的费用要比在俄罗斯境内建造高 3.5 倍。

2 关于核废

经历了近半个世纪的核工业活动,俄罗斯境内等待处理的乏燃料约为 15 000t,其中包括 90t Pu 和 140t ^{235}U 。到 2010 年,待处理的乏燃料会增加到 23 000t;到 2025 年,则可达到 33 000t(其中含 240t Pu 和 350t ^{235}U)。目前俄罗斯境内已经过选址工作并开始储存核废的贮存场地有 14 处之多,加工、处置核废的工艺分为湿法和干法两种,贮存核废方式为天然地质岩层和专用特制容器。

在俄罗斯,一个中型核电厂的年经费需求是 0.05~0.1 亿美元,而有关部门的年经费投入只是需求经费的 2/3 左右,尚有 30%~40% 的缺口。于是,提出了一项进口、储存俄罗斯境外核电乏燃料的计划。俄罗斯核工业部门的这项计划欲在未来 10~15 年之内,从俄罗斯境外进口 20 000t 核电乏燃料,以赚取约 210 亿美元,用来改造或新建那些永久性的基地,便于储

存、处置、加工核电乏燃料,以及购置设备、仪器以设置核废储存地的环境安全监测系统,目前急需资金就达 200 亿美元。

已被列入俄罗斯进口核电乏燃料客户名单的有独联体国家的成员(如乌克兰),受地理环境制约而无能力储存核电乏燃料的西欧国家(如瑞士)以及亚洲经济列强中的韩国、中国台湾省,还包括了印度、伊朗等俄罗斯核电技术输出国。

为了在竞争激烈的国际乏燃料储存市场上取得有利的地位,俄罗斯与西方国家展开了价格战。西方国家处置、储存每公斤乏燃料的收费是 1 000 美元,而俄罗斯的收费仅为 285~330 美元。由于历史上的原因,乌克兰是俄罗斯进口核电乏燃料的第一家客户,乌克兰每年从核电厂卸下的乏燃料棒在 560~600 根之间。

3 关于环境

由于上世纪中叶以来的核活动,俄罗斯的环境遭到天然、人为放射性的侵扰、污染及破坏。仅铀的探、采、冶活动使俄罗斯国土上积累的铀尾矿渣就高达 5 000 000 000t。仅产自铀矿开采一项的低放核废料就高达 6 000 000~7 000 000t $\cdot\text{a}^{-1}$,俄罗斯国土受铀采矿活动污染的面积为 600km²,相当于一个新加坡的国土面积。

俄罗斯有关当局为了全面掌握全俄罗斯国土和环境的放射性水平及受污染情况,实施了全俄罗斯 U、Th、K、Rn、Cs 等辐射元素展布的填图工作。参与工作的有俄罗斯原子能工业部、俄罗斯科学院以及日本、美国、欧盟等。经过 6 年多的艰苦工作,俄罗斯国土与环境放射性污染的潜在危害评估工作暂告一段落,共计花费资金 0.553 亿美元,仅各种图件的制作与报告编写,就用了 0.006 3 亿美元。按照国际原子能机构的有关要求,在俄罗斯国土上圈划出了 12 个最不安全区,其中包括位于俄罗斯西北的海军核基地、莫斯科及其周边地区、车里亚宾斯克和克拉斯诺亚尔斯克等地。

俄罗斯历史上的铀矿勘查资料在这次填图工作中发挥了重要作用,如全俄罗斯大地氡辐射图就是以 18 000 万个铀矿勘查测氡数据为

基础编制的;全俄罗斯大地 U、Th、K 分布图则是以铀矿勘查中的航放数据编制的。

此外,俄罗斯治理污染环境的放射性铀尾矿渣的方案是:先用 1.5m 厚的粘土覆盖在铀尾矿渣上,然后再在盖层上植草种树。

对俄罗斯环境核污染威胁的另一大户是俄罗斯北方舰队。该舰队拥有正在服役的核潜艇 50 艘,试运行的核潜艇 110 艘(其中装上核燃料的 72 艘),现有 210t 核潜艇卸下来的乏燃料尚待处置、贮藏。俄罗斯核潜艇污染环境的可能性来自两方面,一是核潜艇一次装料后的航行时间过长(按理,装料后核潜艇在海上航行期为 5 年,此间核潜艇排放的冷却水一般不会对海洋水环境造成污染,而俄制核潜艇在海上的航行期一般为 10~15 年,然后再作例行安全检测);二是核潜艇核动力系统的核堆心体积庞大,而运载废料的专用火车的装载能力与之不匹配,一次仅装 2~3 个堆心,现北方舰队及太平洋舰队码头尚有 370 个堆心亟待运走。核堆心长期堆放在码头,安全就会成问题。

4 关于铀矿业

根据国际原子能机构、国际核能机构及铀协会的资料,在俄罗斯领土上查实的铀矿区及含铀区有 15 个,各类铀矿床百余个,俄罗斯拥有的生产成本低于 80 美元/kg U 的可靠探明储量分别为 127 000、145 000、165 400t 左右。但按国际惯用的经济铀资源评估标准计,则全俄罗斯的铀资源中尚有 75% 的部分是不经济的或欠经济的。虽然受全俄罗斯经济“休克”疗法的波及,但是铀矿勘查者们克服种种困难,查明了外乌拉尔、西西伯利亚、维季姆 3 大可地浸的底部型古河道砂岩铀矿区。此外,俄罗斯南部一线还有 1 700 000t 资源量的铀远景区。连接远景-储量-黄饼的资金投入是巨大的。出于经济及严冬气候环境下的复杂地浸工艺条件方面的原因,俄罗斯近期尚无迹象投巨资开发上述铀资源,其工作重点仍为俄罗斯境内惟一的铀产地——斯特列措夫铀矿田。

斯特列措夫铀矿田位于俄罗斯远东地区的赤塔州。60 年代初,前苏联的铀矿勘查者在一个方圆近 150km² 的地域里查实了 19 个铀矿床,其中斯特列措夫和图鲁库伊矿床规模最大,

储量分别为 60 000 和 35 000t,因此斯特列措夫连同附近建设的濒额尔古纳矿业及化工联合体成为俄罗斯最主要的铀产地,也是亚洲最大的火山岩型铀矿集区,总资源量高达 30 多万吨。从 60 年代末该区露采铀矿投产至 1995 年的近 30 年中,品位在 0.35% 以上的经济铀储量基本枯竭,生产条件日趋变坏。按西方铀矿业界人士的推算,斯特列措夫适于露采的经济铀储量仅为总储量的 31%。从 1996 年起,只能开采品位在 0.2% 的这部分储量,其经济效益大不如前,已基本上处于无利可图的境地。濒额尔古纳矿业及化工联合体在独联体解体前夕的年铀产量是 4 000t,到解体后产量逐年下降,1993 年为 2 300t,1995 年为 2 250t。之后,产量仍逐年下降,但依然可保持年产 2 000t 的水平。为了保证俄罗斯近、中期核电生产与发展对铀资源的需求,俄罗斯原子能工业部最近拟定了一项从现在起到 2010 年的斯特列措夫铀资源再评价计划。俄罗斯将要引进成本核算制,重新确认在目前国际铀市场条件下的可开采铀资源,以便于引进新的铀生产技术,提高濒额尔古纳矿业及化工联合体的生产率。

此外,卖铀换回资金也是俄罗斯铀矿业增强自身“造血”能力的又一措施。1993 年俄罗斯与西方 3 家公司(CAMECO、COGEMA、NUKEM)达成了俄罗斯将核武器用高浓铀 500t 转化为核电厂用低浓铀以供出口的协议。在此后的 20 年里,俄罗斯可获得 110~120 亿美元的出口铀收入。最近俄罗斯国内有关人士对俄罗斯出售给西方的铀的价格提出质疑,认为售价(29 美元/kg U)不公正,希望适当提价,拉平与西方的价格。他们公开抱怨,在 1993~1999 年间,俄罗斯把军用高浓铀稀释为民用低浓铀的成本为 85 美元/kg U,2000 年的稀释成本达到 87 美元/kg U,因此适当提价是完全合理的。据西方铀矿业人士估计,1999 年俄罗斯卖铀的收入约 25 亿卢布,2000 年可能为 39.4 亿卢布。

俄罗斯“以核养核、以铀养铀”的方针已取得了初步的成效,出口核技术和铀产品拉动了俄罗斯国内的核工业及铀矿业,同样推动了世界核工业的发展。

近年来,俄罗斯政治渐趋稳定,经济上出现止跌回升的迹象,然而国民经济实力已无法与

10 余年前的前苏联相比。俄罗斯政府对核工业生存、发展所需资金的投入仍显得力不从心。看来,“以核养核、以铀养铀”的策略也许是俄罗斯核工业在新世纪初谋求生存空间及发展的最佳选择。

参 考 文 献

1 No price increases on Russian uranium. Nuclear Engineering, 2000. 2(1): 8.
2 Russia offers a home to the world's spent fuel. Nuclear

Engineering, 2000. 4(2): 27.
3 Russia may take foreign waste. Nuclear Engineering, 2000. 3(2): 6.
4 US eyes Russian waste. Nuclear Engineering, 2000. 1(1): 39.
5 Contamination map compiled. Nuclear Engineering, 2000. 4(1): 8.
6 Uranium income. Nuclear Engineering, 2000. 3(1): 7.

技术校对 陈祖伊

地浸法采铀过程中副产品铯的回收

铯是一种有用矿产,其工业利用只是最近的事。铯在地壳中的含量很低(据维诺格拉多夫 $A \Pi 7 \times 10^{-8} \sim 8 \times 10^{-6}$),其大规模富集有如凤毛麟角,且大部分铯均以杂质浸染的形式存在,这就决定了铯的开采只能是在有用矿产矿床开采过程中作为副产品回收。工业铯需求的迅速增长促进了铯资源基地研究中的地质工作,其中包括克兹尔库姆矿省的沉积物研究。

自 1978 年,针对铯研究,已对 454 个钻孔进行了取样。化学分析结果已经取得了表内铀矿化范围内的预测铯资源,并查明,南、北布基纳伊矿床矿石中铯的平均含量为 $0.2 \times 10^{-6} \sim 0.6 \times 10^{-6}$ 。矿床上铯品位分布上的差异与其岩性结构有关。

在纳沃伊矿冶联合企业第五矿业局开采的铀矿床上,铯是作为铀的副产品从地浸溶液中回收的。地浸溶液中的铯浓度在 $0.1 \sim 0.5 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均为 $0.25 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在溶液处理过程中,大约 30% 的铯与铀一道被吸附在树脂上。

1981 年进行了铯的吸附研究,用强碱性阴离子交换剂 AM、AMII 和弱碱性阴离子交换剂 AH-21 来吸附地浸溶液中的铯,还研究了如何淋洗这些吸附剂上的铯。试验查明,AH-21 型阴离子交换剂是最具选择能力的吸附剂。在吸附-淋洗期间,在 AMII 铀吸附剂上,铯浓缩了 50~100 倍。

进一步研究的方向是研究用硝酸淋洗液和氨淋洗液提取地浸溶液中的高铯酸氨工艺,然后再萃取含铯淋洗液中的铯。研究了萃取剂(ТБФ、TAA)的性质、水与有机相之比及其接触反应时间的影响,选取了最佳的萃取方案。查明了最有效的萃取剂为 TAA,它能够在二次萃取时使铀和铯完全分离。氨溶液可以用作二次萃取剂。提出了从地浸溶液中回收铯的工艺流程。该流程包括:以阴离子交换剂 AMII 同时吸附铯和铀;用硝酸溶液解吸;用 TAA 萃取;以氨溶液再萃取,二级萃取,以 25% 的氨溶液进行固相再萃取;生高铯酸氨再结晶。开发了有机相、树脂和含铯水溶液中铯的测定方法,还开发出了用电渗析法加工生铯盐的方法。

铁 岭 供稿
陈祖伊 校