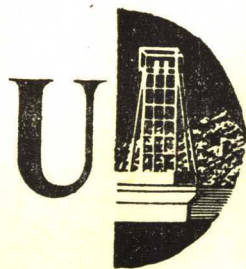


铀矿工业与环境

B·H莫西涅茨 M·B洛里亚兹诺夫 著



中国核学会铀矿冶学会

一九八五年二月

В.Н.МОСИНЕЦ М.В.ГРЮЗНОВ

УРАНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

МОСКВА • ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ • 1983

发行 中国核学会矿冶科技咨询服务部

印刷 核工业部印刷厂

目 录

绪 言	(1)
第一章 工业发达国家资源利用发展的总趋势和前景	(3)
1. 矿山生产与自然资源	(3)
2. 矿物资源生产和消费的某些自然趋势	(3)
3. 开采有用矿物时的几个环境保护问题	(6)
4. 环境保护的基本原则	(8)
5. 核能动力是有效地利用燃料动力资源的基础	(9)
第二章 工业发达国家的核动力与生态问题的决策	(12)
1. 核能动力的形成和发展的主要阶段	(12)
2. 核能动力在解决生态问题中的作用	(14)
3. 核能动力和能源革命	(15)
4. 当代核原料基地	(16)
第三章 金属载能体及其在环境污染中的作用	(23)
1. 自然界中的铀和钍	(23)
2. 电离辐射——环境的天然组成部分	(28)
3. 放射性矿床开采中的电离辐射	(30)
4. 核燃料循环各个阶段中的放射性核素对环境的污染	(31)
第四章 核能动力的原料资源	(33)
1. 铀矿石和钍矿石的工业矿床	(33)
2. 铀矿工业的当前发展阶段	(40)
3. 铀矿床开采的工艺特点	(45)
4. 开采放射性矿石中科学技术进步的主要方向	(46)
5. 铀矿开采成本的一些指标	(53)
第五章 开采放射性矿床对环境的破坏	(55)
1. 开采放射性矿石对环境影响的特点	(55)
2. 铀矿山和水冶厂对环境的污染	(57)

3. 开采放射性矿床对土地的破坏·····	(61)
4. 铀矿床开采区域内的水文动态破坏·····	(62)
第六章 放射性矿石开采时环境保护的主要方向·····	(65)
1. 矿山工程所破坏土地的复垦·····	(65)
2. 地下铀矿山的关闭·····	(71)
3. 废物少的无矿井铀矿开采方法·····	(72)
4. 矿井水除铀和除镭·····	(74)
5. 铀水冶厂尾矿库的封存·····	(77)
第七章 开采放射性矿石时环境的辐射安全·····	(85)
1. 放射性矿石开采和加工所产废物利用中有关辐射安全的主要方向·····	(85)
2. 矿工的辐射安全及劳动保护·····	(87)
3. 保证铀矿开采辐射安全的主要方向·····	(93)
结 论·····	(98)
参考文献·····	(100)

绪 言

根据苏联共产党中央委员会经济政策规定的本国燃料动力部门的发展要超前于其他生产行业的基本原则。在1965~1980年期间国民经济总收入增加了1.3倍,而电力生产和消耗却增加了1.7倍、石油1.6倍、天然气2.4倍。1981~1985年期间国民收入计划增长18~20%,发电量规定则要增加23~25%。从世界经济的发展也可观察到能源资源的生产量的趋势^[15];到20世纪末当全球人口增加3倍时,物质消耗量将增加8倍,而能源消耗量则将上升11倍。照这样下去摆在人类面前需要克服的巨大困难是目前已知的燃料动力资源的结构与能源需求结构严重不相适应。就目前已知的能源总储量中煤占88%,石油占10%,天然气占2%;而需要量却是:石油占45%,煤31%,天然气16%,核能、水力、泥煤、木柴和其他非传统能源约占2%*。两者就是这样不相适应。在这样的消费结构下,已知的石油和天然气的储量到本世纪末将开采完,到那时,唯一有机燃料资源就只剩下煤了,而煤的开采却又困难重重(既要保证劳动力和运输,又要保证煤田大气不受废气污染,还要制造矿山设备)。

原子核动力与当今燃料动力平衡结构相比具有许多突出的优点。发展原子核动力是当今工业发达国家优化燃料动力平衡结构的公认的方针。这个方针近几年来已在苏联贯彻执行。只要提到下面一点,就足以说明问题,即在第十个五年计划期间规定建设新装机容量13~15百万千瓦核电站,而到第十一个五年计划将会有24~25百万千瓦的设备容量的核电站投入运行,其发电量将增至2200~2250亿度,将占苏联总发电量的14~15%左右^[2]。

核燃料循环各个阶段的环境保护问题是实现该计划的路程上的障碍之一,作者对核燃料循环各阶段的环境放射性污染所做的分析表明:整个核燃料循环将占放射性污染的96%,核电站则约为4%,只要在最最重要的有关放射性废物处理和存放的阶段中放射性污染不超出整个标准的0.1,那么,在放射性矿石开采和加工阶段放射性污染则不会超过标准的0.04%或 4.15×10^{-5} 。因此,在核动力资源的开采和加工过程中,主要应从固体、液体、气溶胶、气态废物量的总体对环境污染来加以考虑,实际上这些废物的放射性不会对自然环境造成重大影响。故创造工作场所的安全条件和舒适的环境具有重大的意义。

虽然，放射性原料的开采和加工过程与其他任何工业生产一样对环境的放射性污染没有重大影响，但是，对人们的居住环境却有污染作用，而降低居住环境的污染丝毫也不会比降低核燃料循环各主要阶段的污染更为简单。

作者编写本书的目的是根据个人的经验和公开发表的资料给铀矿企业对环境综合影响做些分析，并说明降低或防止这种影响的现行的和可能的方法。作者希望书中所引的资料将有助于在生产和编制设计时采取必要的措施来降低铀矿床开采对环境的影响。

作者对关心本书并对其中所涉及的重要问题给予指正和建议者表示谢忱。

在本书审定过程中，苏联国家奖金获得者技术科学副博士 Н·И 捷斯诺柯夫曾提出许多宝贵意见和建议，已在最后审校中全部采纳，为此，谨向他表示深深地感谢。

• 原文数字可能有误——译者

第一章 工业发达国家资源 利用的总趋势与前景

1. 矿山生产与自然资源

矿业是工业发达国家最重要的国家财富。为满足对自然资源不断增长的需求,采矿工业对所有工业生产上层起着保证作用。因此,采矿工业的特点就是产量要以极高速增长,为人口增长速度的2~3倍。

世界采矿工业产品的生产实际上集中在二十个国家。有用矿物的开采主要集中在苏联和美国,两国分别占世界开采量的27~28%和22~24%。因此,美国和苏联的矿物资源的开采趋势是很接近的。

工业发达国家矿物资源基地的发展具有以下趋势:

1.发现了一系列大型的但很贫的矿床。如果说,1955年世界铜矿的平均品位约为1.3~1.5%,那么,到1980年包括新发现的矿床在内,平均品位却降到0.5~0.6%,但与此同时,矿石和金属的总储量却增长2~4倍。铝、金、汞、锑和其他金属矿床,以及放射性矿床在矿石品位下降1/3~1/2时,储量却趋向于增加1~2倍;

2.足能形成矿山生产高度集中的特大型矿床的储量急剧增长。可以这样说,五十年代初世界铜的储量是集中在115个矿床中,而八十年代则集中到12个世界最大型矿床中。放射性矿石的开采也具有集中在世界最大型矿床的特点;

3.矿床开采条件特别是地下开采的矿床,除铁和铝矿床外,其矿山技术条件、矿山地质条件和水文地质条件趋向于复杂化;

4.共生矿的开发越来越多。这不仅在采掘、运输和选矿阶段需要分别开采、选别回收,而且在下步加工阶段也要选别回收。

5.在深部陆台下的非传统围岩中出现有用矿物矿床,发现了规模巨大的有色金属、稀有金属和放射性金属的水生矿床;

6.发现了处于边远地区的矿床,这类矿床从勘探结束到矿山企业的建成相隔时间很长,需要大量基建投资,因而给开发矿山造成许多技术困难。

上述条件对改进有用矿物采掘过程方面提出了艰巨的任务;

(1) 进一步扩大和发展现有的和新建矿床的露天开采,建立和发展海洋采矿事业;
(2) 综合利用矿物资源。对一切副产脉石、矿坑水和气体等均应加以利用;
(3) 综合加工矿物资源。充分利用废物,建立无废弃物的工艺过程。这样至少可以增加现有矿产品总产值20~25%;

(4) 优化基建投资结构、建立部门和地区间矿物资源平衡;凡是通过改造现有矿山可以从副产上得到的矿物,就要控制基建投资,不再新建矿山企业;完善经济管理机构,提高基建投资效益;

(5) 根据分别回采有用矿物的原则,实现采矿工作集中化,生产综合机械化和自动化、劳动高度组织化,以提高最终国民经济指标的效益。

(6) 考虑到资源普遍减少和矿床的开采品位日益降低的趋势,需要定期重新审批各类有用矿物的工业标准;

(7) 研究回收有用矿物的新方法——地下浸出、堆浸、地下熔炼、钻孔水力开采等(例如、美国现在从表外铜废石中回收的铜已约占铜总生产量的33%,就是这个方针取得成效的有力证明);

(8) 对被露天和地下开采破坏的土地经常不断的进行复垦,并纳入国民经济安排使用;

(9) 利用剥离下来的脉石生产碎石、砾石、回收矿渣副产品,利用矿坑水。

开发原子能技术的原料基地也具有上述开发燃料、黑色、有色和稀有金属同样明显性质的特点。近年来,对矿物资源的生产和消费有明显新的上升趋势。

2. 矿物资源生产和消费的某些自然趋势

只有当工业化生产所需的矿物资源有了保证,工业化生产上的科学技术进步才有可能。仅就最近一百年(1876~1975年)来看,从地下已采出了铁矿石250亿吨,煤1370亿吨,石油470亿吨、天然气20万亿米³、肥料矿物和建筑材料数十亿吨,铜、铅、锌、铝数千万吨,其他有色和稀有金属数十万吨、金数万吨^[15]。这些矿物大半是在1951~1975年内生产和消费的。在上述矿物中不论就产值还是就产量来看,燃料动力资源的矿物约占85%,金属矿石(主要是黑色金属)约占12%,建筑材料和肥料矿物仅占3%。由于燃料动力原料的开采量首先取决于矿物原料的总开采量,所以,只有在用核燃料代替有机燃料时,才能大幅度减少矿物的开采量(因为核燃料的单位发热量比热量最高的有机燃料高一百万倍),从而,减轻主要构成部分对环境污染的压力。

尽管由于生产工艺的改革出现了动力资源和矿物资源消费降低的趋势,但作者对矿物资源的生产和消费的基本趋势和前景所做的分析^[15]表明,到2000年以前世界为满足

工业化生产的不断增长的需要量,需要开采金属 290~300 亿吨,燃料约 2300 亿吨,其中:煤约 850~900 亿吨,石油 760~800 亿吨、页岩和泥煤 600~700 亿吨,天然气约 70 万亿米³,非金属矿物 6450~6500 亿吨,即总共约需开采矿物资源 9050~9100 亿吨。

同前一段时期开采量的资料相比可以看出这个采掘量的宏伟规模:在未来的年代里,各种矿物的开采量,其中主要是燃料动力资源将增长 0.5~1 倍,这说明有必要从能够大幅度减轻对环境的压力的原子能方面来重新审查燃料动力平衡结构。

考虑到有用矿物的品位和回采系数的下降,矿石和煤的允许损失率和贫化率及其他回采指标的降低,为保证在 1975~2000 年期间开采出 9050~9100 亿吨有用矿物,需要进行的剥离、矿山基建和矿山采准工作量分别为:为开采金属 290~300 亿吨需要采出矿石 1500 亿吨,废石 4500 亿米³;为开采煤、页岩和泥煤 1400~1500 亿吨,需要采出矸石 2000 亿米³;为开采非金属有用矿物 6450~6500 亿吨,需要采掘废石 3000~3500 亿米³。到 2000 年,为总计开采有用矿物 9050~9100 亿吨,需要多采出废石约 9500 亿米³,这不仅在经济上不合理,而且对环境有不良影响。

就当前世界上所处的局面来看要求对资源的综合利用问题从根本上加以解决,不仅要提高有用矿物的回采系数,而且要提高矿石加工过程中的回收系数;要降低有用矿物的贫化率和损失率;要改善资源的保有储量。

由于已探明储量有限,必须从根本上解决远景保有储量问题。目前工农业上开采利用的 87 种矿物资源中,到 2000 年只有 25 种矿物的储量保证为消费量 9 倍以上: N、Be、Ga、Hf、Si、Mg、Th、Cl、Ar 和多种建筑材料;另 45 种有用矿物的原料资源,可保证其储量为消费量的 1~10 倍: B、V、Fe、I、Co、Li、Mn、As、稀有金属和贵金属、多种有色金属,建筑材料和肥料;有 17 种矿物甚至到 2000 年前都没有资源储量保证: Ba、Br、Bi、Ge、In、Ag、F、Zn、石棉、石膏、石墨、硅藻土、云母、天然气、石油、氮。当然,这是假设现有工艺的动力消耗量和材料消耗量保持不变的情况下而做出的预测,没有考虑某些矿物原料可能人工合成,或者用一种资源取代另一种资源的因素。

开发埋藏在非传统条件下的曾认为无远景的新矿床,顺利进行矿物原料的合成工作或研制塑料代用的工作,改革当前工业生产的工艺,力求减少其材料、动力消耗量,才能从本质上改变现在的复杂局面。

根据人类在各个领域活动的成就,科学院院士 A、B 西多连柯^[25]建议将矿物资源划分为物理衰竭极限、生态衰竭极限和经济枯竭极限。其含意是:物理衰竭极限等于地球里某一元素已完全用尽;生态衰竭极限等于地球的某些地区内的某些元素的开发达到了应当停止回采的程度,如继续回采这些元素,就会开始给环境和人类带来威胁;经

济枯竭极限由经济、工艺和社会因素结合起来确定,此时如继续进行一些元素的开采,经济上是不合理的。如果说物理衰竭极限具有一定的实际意义的话,那么,制定某些生态的或经济性质的限制用于生态衰竭极限和经济枯竭极限则更加合理,这些限制由一系列主客观因素确定,包括国家社会制度的不同,其作用既可能具有永久性质(即为衰竭极限),也可能具有临时性质(直到采取某种措施为止)。美国某些州对煤矿停止露天开采^[15]直到被破坏的土地垦复后才能复工,可以作为这种限制的实例。

物理衰竭极限对那些稀有矿物可能最为现实:如自然金、银、汞、天然压电石英、光性萤石、刚玉、孔雀石和其他主要以集中形式存在于地壳中的有用矿物。对不太集中的分散的有用矿物来说,物理衰竭极限缺乏实际意义,如Si, Fe, Ca, Al等元素及其化合物,以及铀和它的化合物在大多数矿岩和海水中都能遇到。如果说,铀很少集中积聚,那么,呈分散状的铀则是地壳中最普遍的元素之一,它的物理衰竭可能性就不存在。

矿物资源开发的生态限制由于地壳矿物资源正以高速度回采和运输的原故可能会比预计的还要大大提前出现。到2000年要从地下回采9050~9100亿吨矿产,9500亿米³废石,加上以前已从地下采出有用矿物5000亿吨、废石5600亿米³就可能由于占用了面积庞大的土地,由于废石对土壤、水和大气影响所导致的地球化学异常的分布以及地球化学自然平衡的破坏而给矿产开采造成相当复杂的条件。不管怎样,在地球的某些区域内(主要指北半球),在最近制订永久性或临时性的生态限制已是有可能的了。这就要求对技术和工艺做极其重大的改变,以建立不排弃废物的有用矿物开采法。

是否要实行开采矿物资源的经济限制取决于解决“费用效益”问题的结果,因为随着被采矿物储量的减少和质量(品位)的下降,回采可能成为经济上无利可图。但是,提高某些矿产品的价格将会刺激吸引开发更贫的矿床或赋存于恶劣矿山技术和矿山地质条件下的矿床,以前开发这些矿床是无利的。这样,就可大大增加有用矿物资源,并将使原料开采经济限制的必要性往后推移。近几年来,在铀的开采和生产方面出现了类似情况,在较短的一段时间内铀的价格上涨几倍,因而把较贫的矿石也扩大到开发行列里来。

3. 开采有用矿物时的几个环境保护问题

环境保护问题已成为工业发达国家的主要而紧迫的问题之一。为更深入了解和实际应用人类和自然界相互关系的基本规律,只研究人们在生产活动过程中所发生的那些破坏环境的事情,并将其消除掉是不够的。对待这个问题必须作为地球和社会发展共同问题的一部分,采取有充分科学依据的态度。从工程设计及生产活动对环境影响的后果预测开始,都要为解决这个问题而有所反映。必须遵照一切客观现实规律的发展,其中包

括采矿业生产的发展去解决环境保护问题。

当前世界上每年要采出有用矿物120~140亿吨,废石150~180亿米³,到本世纪末每年将采出有用矿物400~450亿吨,废石700~800亿米³,当代采矿业这一宏伟生产规模会使地球上许多世纪以来已确定的地球化学平衡受到严重破坏。

若缩减采掘生产量则与达到其目标任务——满足对能源不断增长的需要量,是互相矛盾的。为减少矿山生产对环境的不良影响,需要对发达国家的燃料动力平衡结构作本质上的改变,要由有机燃料的开采和消耗转为核燃料的开采和消耗。进一步发展原子核动力可以降低矿物能源资源生产量几十倍到几百倍,可以减少煤、石油、天然气的运输量,减少矿井、采场、废石场和尾矿库的占地面积。如果发达的工业化社会转用核动力,实现燃料动力平衡结构的优化,就可以把在有用矿物开采量中占据最高比例(85%)的燃料开采量降低。

有效地和充分地利用矿产资源是减轻环境压力的第二个重要方针。在目前,矿床开采时回采率很低,例如:煤的回采率仅占60~70%,石油和天然气占40~45%,有色金属和黑色金属占70~75%。

矿石和煤的贫化率达25~30%,经过选矿之后需要占据大块面积的土地用作尾矿库。近几年来由于矿石中金属品位不断下降,再过20~25年开采同等量的金属,其矿石的采掘量和加工量需要增加一倍以上,显然,需要更高的投资额、营业费用和劳动力费用,这就增大了国家总产值中的采矿生产费用。

为此,寻找经济上合理的采矿方法,采用新工艺开采有用矿物来降低损失率和贫化率是环境保护的极其重要的方针。

矿山生产中环境保护必需的第三个条件是把废弃物当作辅助产品或副产品,实现任何矿业生产都不生产废弃物的规定。的确,比如在开采有用矿物时把采准或剥离下来的脉石看作是废物,那么,对建筑材料生产来讲却是一种原料;再如把从矿井中抽出的水看作矿山开采生产中的废物,那么在选矿过程中对它加以利用时,这种废水则又成了原料,如此等等。但只有在审批储量时,不仅仅审批有用矿物的储量而且要审批现在看来是废物的一切附带采出的原料(脉石、水和气体等等),那时这种关于无废物或废物很少的生产系统的概念在法律上才是合法的。将废物列入有用矿物等级,并对其储量和利用工艺做相应地审批,可在新的原则基础上解决矿物原料开采和加工中出现的一切环境保护问题。

此时,综合解决这些问题比以往任何时候都重要,因为,净化矿坑水费用占环境保护费的80%左右,如将未净化的矿坑水用于选矿和加工、胶结充填料制备、热电厂发电机组和空压机冷却等工艺过程上,或用于其他国民经济目的,这样,废物利用问题则迎

刃而解。

利用当代科学技术进步上取得的成就来研究和应用新的重大工艺过程是有效地解决环境保护问题的最重要的条件。这些新工艺过程如：金属矿石的地下浸出；地下熔炼采硫；有用矿物的钻孔水力开采；地下矿山或矿井的中段开拓不是按习惯方法自上而下，而是采用自下而上的开拓方法，就可以将大部分固体废物立刻填入采空区，而不致污染地表^[26]；露天金属矿和煤矿的剥离不是采用堑沟，而是堆砌运输-废石坝，筑坝时最有效的做法是把废物堆在露天采场内，不送出场外地面；建立无废物采矿工艺，以地下浸出方法处理崩落的矿石和围岩；以及其它许多工程技术方案。

4. 环境保护的基本原则

由于各种工艺过程的影响，现已确定在排放入环境中的有害污染物质之中的二氧化碳、放射性核素、各种载热体、重金属、一氧化氮、人工合成有机物、肥料和有毒化学制品会带给自然界极其严重的危害。这些物质的特点是具有在自然界中积聚的能力。天然放射性核素是主要污染物。在开采和加工放射性矿石时形成的放射性核素属于有毒物质或有毒的重金属，这些放射性核素同时又是天然游离辐射源。

众所周知，重金属的无控制扩散对生物界有害。但并非大家都知道，生物链中的碳、氮、磷和硫等元素的扩散会给环境带来很大危害。上述元素的扩散失去控制能危及气候、植物群和动物群，发生全球性变化。因此应当指出，在开展采掘工作之前，不仅要对企业附近而且要对离企业很远的地方的影响做出最大限度的准确预测。此时，考虑到改造现有企业和规划新企业生产时所采取的措施，至少可分为三组控制参数：1) 必须降到或低于极限允许浓度水平的参数，不论与此有关的费用多少（例如重金属、放射性元素、含氰化合物对大气、水和土壤的污染）；2) 只在特殊情况下允许达到或超过极限浓度水平的参数；3) 极限允许浓度水平未加限制的参数。

当然，当今世界上所采用的法律和各种环境保护措施，并非精确地研究了生命相互关联的结果。

实施环境保护措施的目的在于为人类造成在某种程度上无害的劳动条件和生活条件。

苏联党和政府对环境保护一贯予以极大的重视，环境保护事业已于1977年载入法典（立法）——苏联宪法第18章中写道：“为了苏联当代和后代人的利益，苏联采取保护和有科学根据地合理地利用土地及其地下矿产、水资源、植物界和动物界的必要措施；保持空气和水清洁的必要措施；保证自然财富再生产和改善人类环境的必要措施”^[1]。

5 核能动力是有效地利用燃料动力资源的基础

当今世界能源不足要求迅速而又正确地解决能源供应问题，其中包括一些新能源的开发利用问题。

核能动力已成为现实，它的发展速度正在逐年上升。

谈到核能动力的发展前景时专家们通常的出发点——核能比其他各种能源在经济上生态上优越，是不容置疑的。近些年来，许多专家进行了这方面的比较，并论证了核电站比其他种电站的优越性，因为核电站的运行对从事核燃料循环的工人的危害，对空气和水的污染仅为热电站的数百分之一，其放射性活度不会超过本底。

核电站在用于建设和运行所占土地面积上、在对空气和水的污染程度上，同燃烧煤、石油和天然气的电站相比较，具有一系列不容置疑的优越性。

正是由于核电站具有比热电站、水电站非常明显的优越性，首先就是对能源资源的需要量大幅度减少。所以不久将来，核电站的容量将会剧增，象列宁格勒这样一座核电站每年就可发电近130亿度。这样，每年可节省煤炭约400~450万吨，不仅能大幅度地降低运输量，而且还可大大减轻环境负荷。

核能动力发展的基本趋势，可以欧洲经济共同体成员国发展核能动力作为实例进行深入研究。七十年代中期做出的最初的预测，至1985年核电站的装机容量应为540百万千瓦左右，至1990年为1090百万千瓦左右等等（图1）。但是，在1978年初这个计划就调低到1985年只能达到装机容量278~368百万千瓦，到1990年达到500~700百万千瓦等等。1981年的预测更加悲观：到1985年总共仅能达到227百万千瓦、到1990年为335~350百万千瓦。这样就大大减慢了铀的开采和加工速度。因为，绝大部分投入运行的新的动力设备需要用石油，许多热电站将要从用石油改成烧煤，而新建热电站绝大部分则要用煤。但即使在核能发展速度放慢的情况下，核电站建设和运行的规划如实现，到2000年煤的消耗量则比热电站下降约30亿吨，如按现今各种燃料的生产水平折合成煤计算则几乎低三分之一。要增加如此众多的煤产量无论是时间上还是数量上都是不可能的。

核电站的建设速度减慢有下面几个原因：建设核电站的单位和总的基建投资猛增；位于边远地区的矿床采出的矿石越来越贫而使铀的价格上涨；一些国家和地区由于实行严格的节约制度对电能需要

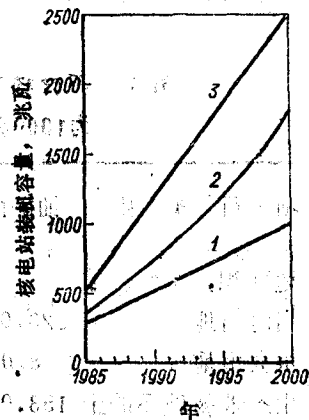


图1 欧洲经济共同体中核能发展的国家预测

- 1——现有发展速度；
- 2——加速发展；
- 3——70年代中期的预测。

量下降；核电站的设计、施工和投产周期拖长。

鉴于核能具有的无可辩驳的优越性，必须迅速和从根本上解决上述问题。根据资料^[27]，开采能量相等的铀甚至比最便宜的露天方法采出的煤还可以减少工人人数1/2、占地面积82.5%、降低水耗量1/3、运输费用99.9%、环境保护总费用97%。开采和运输煤对矿山企业人员健康的不良影响为开采和粗加工同等能量铀的几十倍。还应考虑从热电站排出废料中主要进入生物圈的元素是那些积极参与植物、动物和人类生物链的元素（氮、碳和硫等），而核电站排入生物圈的废料主要是惰性物质（氙、氪等等），并不参与以后的生物链活动。

核电站是核燃料循环的主要环节。为它服务的有一系列生产过程，而每一生产过程、其中包括矿山企业、水冶厂、铀浓缩厂、燃料元件制造厂和核燃料再生厂对环境都有不同程度的影响。

八氧化三铀到六氟化铀（铀浓缩前）的转化生产和核燃料再生后的放射性废物储存也都属于核燃料循环。所有这些生产过程对环境影响的研究结果列于表1^[30]。从表列数据中可以看出，再生工厂是核燃料循环中最有害的生产厂（反应堆除外）。其他生产过程的放射性废物影响小，实际上可以忽略不计。核燃料循环生产上的所有其他废物对环境的影响都比普通热电站要小得多。

从排入环境的放射性物质中同位素⁸⁵Kr，氙，¹²⁹I和¹³¹I应予以特别注意。新的核动力设备投入运行后这些同位素对全世界的居民都会增加长期的放射性负荷。

此时，应当记住，一座工厂将为几十座核电站服务，这就能够将放射性尤其是将放

表1 不含核电站的核燃料循环对环境的影响（取相当于容量为1000兆瓦的水-水堆核电站年耗铀的生产量）

项 目 类 别	铀 矿 山	水 冶 厂	U ₃ O ₈ 至 UF ₆ 转化 厂(车间)	铀 浓 缩 厂	元 件 制 造 厂	再 生 厂
占地面积, 米 ²						
临时用地	223,000	2,000	10,000	3,200	800	16,000
永久用地	8,000	10,000	80~100	0	0	120~150
生态未被破坏的土地 地面积	153,000	800	9,000	24,000	640	15,000
生态被破坏的土地 面积	70,000	1,200	800	800	160	1,000
水耗, 米 ³	450,000	250,000	100,000 ~230,000	340,000	20,000	35,000
能 耗:						

接上表

项 目 类 别	铀矿山	水 冶 厂	U ₃ O ₈ 至 UF ₆ 转化 厂(车间)	浓缩铀厂	元件制造厂	再 生 厂
电力, 兆瓦小时	200~500	2,700	210	310	1,700	450
天然气, 米 ³	—	—	870,000	—	—	—
有害物质排出量, 吨						
氧化硫	3	37	29	4,300	23	6.2
氧化氮	0.9	16	10	1,100	6	7
烃	0.009	1~1.5	0.2	11	0.06	0.02
一氧化碳	0.02	0.3	—	28	0.15	0.04
固体尾泥	—	90,000	40	—	—	—
各种固体废物	—	—	—	30	25	—
废 液	—	—	—	—	—	7
废物的放射性活度: 贝 可						
天然放射性气体	—	2.74×10^{12}	3.7×10^9	3.7×10^9	3.7×10^9	3.7×10^9
铀及其衰变产物 (固体物质)	—	4.44×10^{13}	—	—	—	—
铀及其衰变产物 (液体)	—	7.4×10^{10}	3.7×10^9	7.4×10^8	7.4×10^8	—
气体的放射性活度: 贝 可						
氚	—	—	—	—	—	5.55×10^{14}
⁸⁵ 氙	—	—	—	—	—	1.29×10^{16}
¹²⁹ 碘	—	—	—	—	—	9.25×10^7
¹⁸¹ 碘	—	—	—	—	—	9.25×10^8
超铀元素	—	—	—	—	—	1.48×10^8
衰变产物	—	—	—	—	—	3.7×10^{10}
液体放射性活度: 贝可						
氚	—	—	—	—	—	9.25×10^{18}
放射性固体物质, 贝可	—	—	—	—	—	5.55×10^{10} ~ 8.51×10^{10}
散热 千焦耳	—	60~70	30~35	30~35	$(10 \sim 12) \times 10^8$	60~65

射性气体制约在一个小区域内。从而, 可补充投资改进气体回收设备, 以保证工作更加高度安全。

上述的核能动力优越性为苏联的核能动力高速发展创造了条件。

第二章 工业发达国家的核能动力 与生态问题的决策

当代工业生产的高速发展没有先行的能源作保证是不可思议的。由于主要燃料动力资源的自然储藏量有限，而天然燃料动力资源（主要是有机原料）的采掘费用提高又使能源价格上涨，加上这些资源集中在远离能源的主要消费地区，都给实现科学技术进步的发展速度造成一定的困难。唯有加速发展核能动力才能有助于这些问题的解决，因为核能动力就其主要质量和数量参数来看都可以消除当代生产发展中已发现的能源资源需求的比例失调。

1. 核能动力的形成和发展的主要阶段

世界各国动力消耗量从1900年至1970年增长了3.5倍以上。在这段时间里作为动力资源的煤已开始被石油和部分的天然气（仍然是有机燃料）所取代。本世纪最后二十五年的预测明确地指出，在动力需要量以中等速度增长的情况下，到2000年全世界有机燃料年耗量也将为70年代末采掘量的2倍以上。仅仅靠石油和天然气是不能满足对资源的不断的需要量的，煤炭不可避免地应重新占据石油和天然气的位置。假使问题确实是这样解决的话，那么，到2000年世界至少将要再建设3500座热电站（每座容量1000兆瓦）和一批年总生产能力为45~50亿吨的采煤企业。不言而喻，这将对自然界、对人类产生多么大的影响。

因此，崭新的前景展现在核能动力面前。象太阳能、风能、海水能、地热能——人们称之为“替代能源”的研究工作在这段时间内还不足以解决问题，所以，只能留待将来考虑，唯有核可以保证能源增长的需要量，而且，在其生产过程中对环境不致造成严重污染。

核能动力本身的发展业已经过了科学研究、实用工艺研究、工业性试验和最后生产实践阶段。

1954年世界上第一座核电站于苏联奥博宁斯克市投入运行，从而开始了核能动力时代。

众所周知，前二十年核能动力主要由于其经济效益低而发展速度缓慢，只是从1973年开始，由于世界能源市场危机和石油提价，核能动力才得到蓬勃发展。

目前,在世界核能动力的发展速度和比例上产生了一定的差距,这种差距来自各国铀储量的自然分布不同和经济发展程度有异。最早列入先进的国家行列里的有苏联(包括与其他社会主义国家合作)、美国、加拿大和法国这样一些拥有天然铀储量和原子能工业生产基地的国家,不久的将来瑞士将接近这类国家。第二类国家是有发达的工业基础,有独立开发的能力或已有核能动力,但是,没有或几乎不具有自己核动力资源(铀、钍)的国家如德意志联邦共和国、日本、英国和一些其他国家。第三类是虽拥有丰富的天然铀(钍)资源,但是,依靠自己的工业基础没有发展或没有能力发展核能动力的国家和地区如澳大利亚、南非、尼日尔、纳米比亚、加蓬。随着发展中国家对本国地质研究的深入,这类国家即供铀国的数量将会增多。其他一切经济上发达或发展中的国家,拥有或缺乏天然铀(钍)资源的国家统属第四类,这类国家在发展本国的核能动力中可以借鉴第一、第二类国家的经验,还可以依靠第三类国家的核资源供应。

可以推测认为,这个分类今后会发生变更。例如,第二类国家由于掌握了从含铀量较高的海水或岩石中提取铀的经济效益良好的方法,可以进升为第一类。象澳大利亚这样的国家也可以转为第一类。可能还会有其他变更,变更的原因可能是多方面的。苏联虽然按投产的核电容量的绝对值落后于美国,但是,核能动力发展速度则远远超过美国。

党的决议规定从第十个五年计划开始优先发展核能动力(将完成建设总容量为一亿千瓦核电站的计划),水力发电和烧廉价煤的火力发电,我国的能源潜力将会增大。在第十个五年计划中已有库尔斯克、契尔诺贝利斯克、列宁格勒、别洛雅尔斯克、亚美尼亚、毕利宾斯克这一类巨型核电站或投入运转或补充了新的动力机组。南乌克兰、斯摩棱斯克、加里宁、查波罗什、赫米尔尼茨基、罗斯托夫等地核电站开始了建设。他们将安装单机容量 $1\sim 1.5$ 百万千瓦的反应堆。近期远景规划将建设容量为 $400\sim 800$ 万千瓦,也可能更大的核电站,它们将装备单机容量为 $150\sim 240$ 万千瓦的反应堆。不久将来,核电站每年增长的新容量应为 $600\sim 800$ 万千瓦。业已提出一项任务——研究和着手建设原子核热电站和锅炉房,以便给主要在苏联欧洲部分的大城市集中供热。

在国外,特别是由于能源危机,对发展核能动力给予极大的关注,从1965年开始,定期发表关于扩大核电站原料基地和建设核电站的预测报告。参与编制预测报告的有国际组织、私营公司和一些预测学者。通常编制中期预测和长期预测,前者考虑核电站的实施计划,后者反映世界能源包括核能的总的发展趋势。在大多数情况下,预测时给出最高和最低两种估计,前者反映传统发展速度,后者预测加速发展的速度(见图1)。根据经济合作发展组织的核能机构(WEAEOECD)编制的最近预测报告,尽管预计增长速度降低,到2000年发电量仍将增长 $1\sim 3$ 倍,到2025年则将增长 $3\sim 9$ 倍^[9]。核电站的装机容量应分别增加 $10\sim 21$ 和 $24\sim 75$ 倍,相当于各类电站总装机容量的 $32\sim 33\%$