

样的颜色时,在一定的照明条件下将试样与色卡进行目视比较,与试样颜色一样的那块色卡的标号就代表该试样的颜色.要科学地和准确地制造一套色序系统是十分困难的.现在最常用的孟塞尔(Munsell)系统是美国光学学会花了6年时间,经过几百万人次的测定、观察和判断,对旧孟塞尔图册修订后出版的.瑞典创立的NCS(自然色系统)系统国际上也已广泛采用.还有很多种色序系统为特定行业所应用.色序系统的困难是色块不可能做得很多,但它的建立大都依赖于目视实验,没有过多的假设,这是

其他系统无法比拟的.

现在 CRT 颜色显示的快速发展和普及,有可能成为一种新的颜色信息交流的工具.人们希望传递一张软盘,便可准确直观地完成颜色信息交流.现在已有人致力于这方面的研究.

### 参 考 文 献

- [1] Alan R. Robertson, *Physics Today*, 45-12(1992), 24.
- [2] G. Wyszecki, *Color 73*, Adam Hilger, (1973), 21—51.
- [3] R. W. G. Hunt, *Measuring colour*, Ellis Horwood, (1992).
- [4] P. A. Rhodes et al., *Displays*, 13-12(1992), 89.
- [5] 汤顺青,色度学,北京理工大学出版社,(1991).

## 核动力与核武器扩散问题\*

张 会 杜祥琬

(北京应用物理与计算数学研究所,北京 100088)

**摘 要** 核武器的扩散日益成为一个重要的国际安全问题.阻止核扩散最重要的途径就是控制裂变材料的生产和利用.由于裂变材料在核动力和核武器方面均有着重要的作用,因而核动力的发展可能引起核扩散.本文主要讨论核动力引起的核扩散问题及安全保障措施.着重分析各种浓缩技术可能引起的核扩散及转移高浓缩的可能途径;还讨论了民用核动力系统中铀的扩散问题;最后,研究了如何加强国际安全保障的问题.

**关键词** 核动力,核武器扩散,核安全保障

控制核武器的扩散是当今国际社会的一个重要问题.由于核燃料铀-235和钚-239可同时用于制造核武器和核动力(指在核工业中,利用裂变聚变能提供动力)工业,这就使从核动力工业中转移生产核武器用裂变材料成为可能,因此加强对核动力系统的安全保障,对于阻止核武器扩散是十分必要的.

### 1 原子能的双重性及其意义

原子能不仅能用于和平目的,造福于人类,而且还能用于制造核武器.核武器的超常杀伤能力,引起了国际社会极大关注.一方面是和平利用原子能,另一方面是控制核武器的扩散.这

两方面的矛盾以及人们对和平利用核能日益增长的兴趣导致了1957年国际原子能机构(IAEA)的建立.该机构的主要职能之一是执行保障措施以确保用于和平目的的核材料和设备不用于军事目的.另外自1945年美国拥有原子弹之后,到60年代末,苏联、英国、法国和中国也相继爆炸了核武器.为了防止核武器进一步扩散,导致《不扩散核武器条约》(NPT)于1970年生效.其主要宗旨是,防止核武器或其他核爆炸装置的扩散;保证无核武器国家的和平核活动不转变成生产核武器或其他核爆炸装置;促进和平使用核能.

\* 1995年4月17日收到初稿,1995年7月3日收到修改稿.

然而,民用核动力与核不扩散问题的矛盾始终存在.核动力工业的存在对核武器的扩散是有一定促进作用的,它在一定程度上可使某个国家掌握生产核武器所需的技术.如:(1)提供必要的核科学技术基础;(2)拥有一批从事核能技术利用的科技人员;(3)在核动力计划中,不可避免地要解决有关裂变材料问题;(4)在核动力系统中的一些核设施(浓缩设施、反应堆、后处理厂等)可用来生产武器用裂变材料.因此,随着核动力技术的广泛传播,核扩散问题已成为“谁想获得核武器”,而不是“谁具有制造核武器的能力”.一个国家是否想获得核武器主要取决于其政治动机<sup>[1]</sup>.一个国家一旦决定制造核武器,其最重要的技术手段是生产一定量的裂变材料.这可以通过两个途径来实现.一种是直接进行核武器研制计划,秘密建造核设施,以生产武器用裂变材料.随着核不扩散体制的加强以及探测手段的提高,这种途径将变得越来越困难.另一种是从民用核动力计划中转移生产裂变材料.这正是本文要讨论的主要问题.选择第二种途径主要的政治上的优势是,核动力计划可为其核活动提供一个合法的掩护.否则将易于被发现,招致国家社会的反对.借助于核动力计划,可以“合理”地训练核技术人员、获得裂变材料以及建造核设施.而这些均可迅速地转用于核武器的制造.利用民用核燃料循环转移生产武器用裂变材料有如下几种方式.

## 2 铀-235 的扩散

铀是最基本的裂变材料,然而天然铀中,易裂变同位素铀-235 的丰度仅占 0.7%.为了实现自持的裂变链式反应,铀-235 的丰度必须达到一定的值.铀燃料的临界质量随着铀-235 丰度的降低而迅速增加.当丰度低于 20% 时,其临界质量变得非常大,以致不能用于核武器(见图 1)<sup>[2]</sup>.铀-235 丰度低于 20% 的为低浓铀(LEU).商业动力堆的铀-235 丰度为 2—6%;铀-235 丰度高于 20% 的为高浓铀(HEU),它可直接用于核武器.一般武器级裂变材料要求

铀-235 丰度大于 90%.要想得到上述的浓缩铀,必须通过同位素分离技术,即铀浓缩技术.

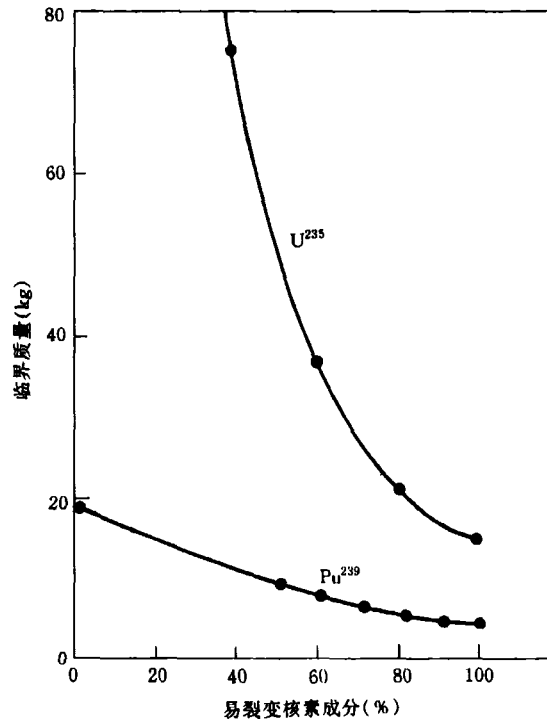


图 1 铀和钚的临界质量与易裂变核素成份的函数关系  
(注:这里假设裂变芯由中子反射层包围)

### 2.1 铀浓缩技术的扩散<sup>[3]</sup>

铀浓缩技术的发展始于二战.美国为了尽快获得足够的 HEU 以制造原子弹,最早用回旋加速器来分离铀同位素,同时发展了气体扩散法.之后,气体扩散法成了铀浓缩工业的主要方法.自 70 年代,在与气体扩散技术竞争的基础上,相继提出了各种浓缩技术,这也同时增加了铀-235 扩散的机会.

#### 2.1.1 气体扩散法

历史上,五个有核武器国家大都利用气体扩散法生产武器级的高浓铀.目前,该方法仍支配着铀浓缩工业,不过,该方法不适于小规模核武器计划.主要原因是:(1)分离系数很小,由此为生产一定量的产品需很多分离级,这样使一般气体扩散厂占地面积很大;(2)能耗大.单位分离功的耗电量约 2300—3000 kWh/kgSWU.(3)平衡时间较长,总滞留量较大.为

从天然铀生产武器级的 HEU, 其平衡时间至少一年, 这对于秘密生产 HEU 是极其不利的. 同时也使分批再循环获得 HEU 难以实现. 上述原因使得气体扩散过程规模大、投资高和耗电量大. 另外, 还有一些工艺上的难度, 如要求设备具有良好的耐腐蚀性等. 这对阻止核扩散是有益的.

### 2.1.2 气体离心法

该技术在铀浓缩工业中已开始应用. 与气体扩散法相比, 气体离心法主要有以下几个特点: (1) 分离系数大, 为获得一定丰度的浓缩铀产品, 级联所需级数比气体扩散法要少得多. 现在利用几百个离心机, 每年就能够生产出几枚核武器所需的 HEU. 这样的设备仅占几千平方米. 因此其规模和占地面积较小; (2) 耗电少, 比气体扩散法的小一个量级; (3) 平衡时间极短, 总滞留量很小. 因此可用一个小的离心机进行分批再循环生产 HEU. 由于上述这些特点, 气体离心法很容易被用于生产武器级核材料.

### 2.1.3 喷嘴法

该技术曾得到一定的发展, 但目前无实际应用. 其主要特征为: (1) 每级分离系数稍大于

气体扩散法, 但远小于离心法; (2) 其单位分离功能耗很大, 甚至大于气体扩散法; (3) 工厂的尺度、总滞留量和平衡时间一般处于气体扩散法和离心法之间. 由此, 该法比离心法具有较小的核扩散性.

### 2.1.4 激光分离同位素法

自 70 年代早期, 人们就期望激光浓缩技术将为下一代浓缩设施提供基础. 该法的主要特点是: (1) 浓缩系数很高; (2) 分离单元的尺寸较小, 由此小了总滞留量和平衡时间; (3) 能耗小; (4) 生产工厂的投资较气体扩散和离心法小, 而且有可能利用气体扩散厂和离心厂的尾料作为原料进行分离; (5) 利用其浓缩级很容易通过分批再循环获得 HEU. 原则上, 在一个较小的仓库内, 利用一个分子激光设施每年能够生产几枚弹头所需的 HEU. 因此, 如果激光分离同位素技术在商业上可行的话, 核扩散问题是相当严重的. 不过, 所发展的 AVLIS 和 MLIS 两种激光浓缩技术目前仍处在研究和发

展阶段. 总之, 在现存的铀浓缩技术中, 气体离心法具有较大的核扩散性, 应将其视为特别敏感的技术, 加强对它的控制和管理.

表 1 各种浓缩技术的特征<sup>(4)</sup>

浓缩技术	单位分离系数	级联的级数 (堆级铀)	级联的级数 (武器级铀)	能 耗 (kWh/SWU)	级滞留时间 (s)	面积 (acre)	技术状况
气体扩散法	1.0040—1.0045	≈1200	≈4000	≈2400	5—10	≈60	工业上应用
气体离心法	1.3—1.6	≈13	≈100	≈250	10—15	≈20	工业上应用
喷嘴法	≈1.015	≈450	—	≈3000	≈2	—	无实际应用
激光分离同位素法	5—15	≈1	≈3	10—15	—	1—8	研究阶段

## 2.2 转换生产高浓铀的途径

从现存的生产民用堆级核燃料的浓缩设施转换生产武器级高浓缩铀有几种可能的途径: (1) 从理论上讲, 对于一定的分离功, 可选择任何供料、精料和尾料的丰度, 此时, 相应的物料流量将发生改变; (2) 分批再循环. 首先由天然铀作供料, 来生产堆级燃料, 然后利用再循环, 用堆级燃料作供料, 来生产高浓铀, 值得注意的是, 分批再循环时, 需要停止级联运行, 并

清除干净其内部滞留的核燃料以使用已浓缩的铀燃料重新填满级联. 这对于平衡时间较长和总滞留较大的浓缩过程(如气体扩散法)是很耗时和昂贵的, 因此是不适合的. 利用离心法或分子激光设施, 分批再循环过程相当容易、便宜和快速, 因此这些方法是可行的; (3) 增加级数. 对于现存的设施, 可通过增加级联的数目来提高精料的丰度, 这可以构造一个额外的级联连接在商业级联的顶部. 在这种情形下, 离心法是最

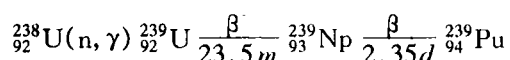
适当的选择;(4)回流.根据级联理论可知,在回流情况下,对于给定数目的分离级,产品的提取率越小,则产品的浓度越高.

### 3 钚-239 的扩散<sup>[5]</sup>

钚-239 是另一主要的武器用裂变材料,而且有着比铀-235 材料更大的扩散危险性.为获得武器用高浓铀需要技术比较复杂的浓缩过程.而以铀作燃料的核动力堆中将伴随产生大量的钚,而且钚没有“失性”的特性.研究表明,任何级别的分离钚均是武器可用材料<sup>[6]</sup>.当钚-239 浓度降低时,钚材料的临界质量只增加一倍左右(见图 1).另外,分离钚的获得是通过对乏燃料进行化学分离进行的,这比浓缩技术要简单.

#### 3.1 动力反应堆

钚-239 在自然界的存量极微.但在以铀为燃料的动力堆中,铀-238 在堆内经中子照射可转换生成大量的钚-239:



随着燃料在堆内受中子照射时间增长,通过连续中子捕获或(n, 2n)反应还可产生其它钚同位素:钚-240,钚-241,钚-242(量依次减小).钚的偶数同位素(钚-240,钚-242)对于核武器的设计是不利的.这主要是因为它们的自发裂变,导致“提前点火”而降低爆炸威力.对于武器设计来说,钚-239 的浓度越高越理想,应尽量降低钚-240,242 的含量.人们常将钚-240 含量小于 7% 的钚定义为武器级钚;钚-240 含量介于 7—18% 的钚定义为燃料级钚;钚-240 含量大于 18% 的钚定义为堆级钚.大约 8 公斤钚可制造一枚核武器.提高武器用钚材料质量的一个重要途径是降低燃料的燃耗,即减少燃料在堆中照射时间.为达到这一目标,燃料仅在堆内照射几周就迅速移出.然而对于民用动力堆,为从一定量裂变材料中获得较多能量,其燃耗较高,其换料时间约为 1 年.

由于在各种动力堆处,均存放有铀燃料和

积累着一定量的钚,因此动力堆具有一定的核扩散性.下面从核扩散角度来考察各种动力堆的特征及转移方式.

#### 3.1.1 轻水堆

目前运行的大多数动力堆是轻水堆.所用的核燃料为 LEU(2—6%),且不含钚.因此新燃料不能直接用于武器;核燃料是分立状态的燃料组件,这有利于查数;其换料周期约为一年,换料时,反应堆需关闭并保持 4—6 周,这比较容易进行安全保障.因为堆芯只有在关闭时才可接近,并且乏燃料的卸出时间是相对可预言的,而且换料次数并不频繁.这样 IAEA 可封记反应堆压力缸以确信在没有视察员在场时没被开启,同时可安排视察员现场监督换料的情况.因为乏燃料中存在有钚,因此对乏燃料的安全保障较为重要.封隔/监视系统可实现对乏燃料的安全保障.目前,对轻水堆的安全保障是比较成功的,轻水堆是一种防核扩散功能较强的动力堆.

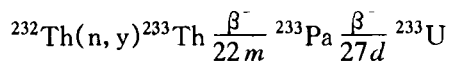
#### 3.1.2 负载装料动力堆

与轻水堆需关堆换料情况相反,还有一些反应堆(如 Candu 型堆)可在运行的情况下连续换料.这种堆的特点是换料时不需停堆,其商业优点是可连续发电.但从核扩散角度说,由于换料时间不像轻水堆那样确定,较频繁等,使安全保障较为困难.另外,它可迅速卸出被照射的燃料棒以降低燃耗,提高钚的质量,以用于武器制造.同时又不大影响反应堆的动力输出.从理论上讲,从这种堆转移武器级钚是可能的.此外,该类堆主要是以天然铀作燃料,乏燃料棒中包含较多的钚.因此,这类堆比轻水堆具有较大的核扩散性,应加强安全保障.

#### 3.1.3 增殖堆

为了充分利用核燃料资源,人们研究发展了增殖堆.在这种堆内,每消耗一个易裂变材料(如<sup>235</sup>U)的原子核,平均生成的新易裂变材料(如<sup>239</sup>Pu)的原子核多于一个.对于铀-钚燃料循环来说,将需要钚的后处理,并使分离钚作为动力堆的新燃料.钚的再循环使核燃料循环中的许多核设施、后处理设施、燃料元件加工设施和

反应堆中存有大量武器可用的裂变材料,因此增加了钚扩散的途径<sup>[5]</sup>。另一可能发展的方案是钍-铀燃料循环,易裂变核素<sup>233</sup>U可由<sup>232</sup>Th在堆内经中子照射而获得:



象<sup>239</sup>Pu一样,<sup>233</sup>U燃料也很适合用作武器材料,并且临界质量约为<sup>235</sup>U的1/3,也需要后处理过程。不过<sup>233</sup>U有着重要的稀释“失性”特征(象<sup>235</sup>U)。由此,人们曾提出“失性”的钍-铀燃料循环,即用<sup>238</sup>U稀释<sup>233</sup>U,以使其不能直接用于武器。如果想用于武器,必须再经过浓缩。因此该方案比钚的再循环方案的扩散性要小。不过,对钍-铀燃料循环的扩散性和安全保障问题仍需进一步研究。

### 3.2 后处理问题

一个典型1GW的轻水堆每年大约产生250公斤钚。不过,这些钚与其他裂变产物一起存在于乏燃料之中。此时的钚不能直接用于武器。另外,钚与具有高放射性的裂变产物混合在一起,这本身已具有一定的实体安全保护特性,使盗贼难以接近。因此,乏燃料中的钚具有一定的防扩散性。然而,为了使这些钚作为燃料再循环或用于武器,需用化学分离过程将这些钚与其他裂变产物分离开。分离钚的过程是在后处理厂利用普雷克斯流程进行的。

由于分离的钚可直接作为武器用裂变材料,因此操作大量分离钚的后处理厂成为核武器扩散者的主要目标。从核扩散的角度来说,后处理厂的主要特征是:(1)核材料以及大多数包含裂变产物的设备在加工过程中是不可接近的。这为秘密转移核材料提供了机会;(2)由于分离钚的过程一般需要连续数小时甚至数天的工作,加工钚的过程很复杂和各阶段所操纵的大量的钚均可直接用于武器,因此增大了钚转移的可能性。(3)目前,国际核安全保障系统对于后处理厂的保障措施并不能有效地阻止裂变材料的转移。正在发展的近实时材料衡算系统等新措施可望改善这种情况。然而,要想达到所要求的测量标准,而又不打扰工厂的正常操作,

这将是非常困难的。

由于分离钚具有较大的核扩散性以及能够提供核动力,人们日益关心是否该继续对乏燃料进行后处理的问题。提倡后处理的最初的主要动机是由于60年代和70年代过高地估计了世界范围的民用核动力增长情况,因而对可用的铀资源估计过低,这样势必考虑到利用钚来代替不足的铀,导致了人们对钚再循环的研究和兴趣。从能源利用角度说,也应当利用钚的能源。然而目前的情况表明:世界核动力的发展并不象估计的那样高,铀资源并不短缺。此外,目前关于钚的再循环与轻水堆一次性燃料循环在经济方面的比较仍有争议。从核不扩散角度看,存在于乏燃料中的钚比分离的钚具有较小的扩散性。如果对乏燃料进行后处理,以使钚再循环,那么钚将存在于后处理厂、钚燃料加工厂、用钚作燃料的反应堆以及上述各设施之间的运输之中,这将增加钚扩散的机会。钚的后处理和再循环的另一核扩散危险是,它实际上使得任何拥有核动力的国家已掌握了大量武器用裂变材料钚,更加缩短了从“无核”武器到“有核”武器间的距离。同时,民用钚的后处理和再循环可使一个国家有借口来掩盖其发展核武器的动机。加强控制钚的后处理和再循环,对于防止核扩散是有利的。

目前,国际社会正在积极讨论对已分离钚的处置问题。随着美、俄战略核武器的削减,在下个十年内将有约150—200吨武器级钚从核弹头中拆卸下来,为了使其不再返回到核武器库中,这些剩余武器级钚需要处置。另外,全世界核动力系统已累大量的分离钚<sup>[7]</sup>,而这些钚也是武器可用的材料,从核不扩散的角度说,这些民用钚与从弹头中拆卸下来的钚同样重要,应当一起考虑其处置问题。分离钚的处置将取决于核不扩散、经济、环境和能源利用等因素。由于各国所处的环境不同,所以对分离钚处置的方案有所不同。人们已提出多种方案<sup>[8]</sup>:

- (1)将分离钚作为轻水堆或增殖堆等的核燃料;
- (2)作为核废物处理:将分离钚加入高放废物中,玻璃化后储存或深埋;在无高放废物的特种

玻璃中固化,处理后深埋;(3)在轻水堆或新设计的燃钚堆中“一次通过”式地烧掉钚;(4)在特别设计的加速器中照射钚,可将钚转变成较短寿命的放射性核素或不具有扩散性的元素;(5)长期储存.此外,还有空间处置、海底处置等方案.对这些方案的评价应从核扩散、经济、环境和能源利用等多方面综合考虑.美国一些科学家从强调核不扩散角度出发,认为将分离钚玻璃化的处置方案是比较可行的.

#### 4 国际核安全保障措施

由于核动力的发展在一定程度上促进了核武器的扩散,因此,国际社会发展了一系列核安全保障措施,以确保用于和平目的的核材料和设备不转移用于军事目的.安全保障的主要技术目标是“及时探测”“有意义量”的裂变材料从已申报的核设施中转移到武器的利用或其他未指定的利用;并通过探测的威胁来遏制这种转移.IAEA关于“有意义量”定义为制造一枚核武器通常所需给定材料的重量;“及时”定义为利用给定的材料制造一枚核武器通常所需的时间<sup>[9]</sup>(见表2).

表2 “有意义量”的铀和钚

核材料	有意义量	“及时探测”标准
低浓铀	3% <sup>235</sup> U	2500
	10% <sup>235</sup> U	750
高浓铀	25% <sup>235</sup> U	100
	90% <sup>235</sup> U	27.5
钚	武器级	8
	堆级	8
MOX	*	1—3周
乏燃料	*	1—3周

#### 4.1 安全保障的方法和技术

现在用于探测材料转移情况的安全保障方法主要以材料衡算作为基本方法,以封隔和监视作为重要的辅助手段.

##### 4.1.1 材料的衡算

该措施根据物质守恒原理,来确定一个材料平衡区域处核材料存量的变化.IAEA通过独立测量实物存量和检查帐面存量可确定“不

能说明原因”(MUF)的核材料损失.MUF是安全保障系统中确定存量差异以及评估材料转移情况的一个关键因素.

IAEA为了进行材料衡算和核查,发展了多种测量技术.为了核查所申报的裂变材料的性质、数量和组分等,常将样品送回分析实验室,以进行化学分析.该方法测量的结果一般比较准确,但费用较高,并且3—5周后才能见到结果,这对于及时探测核材料的转移是不利的.非破坏性方法(NDA)则能在现场及时地对裂变材料进行分析,同时无需破坏物品的完整性.该方法通过测量裂变材料释放或吸收的特征能量的 $\gamma$ 射线和中子来确定核材料的种类、质量等.NDA技术主要包括:主动分析法和被动分析法.主动分析包括用中子或 $\gamma$ 射线照射核材料样品,使其诱发裂变,然后通过测量其放出的中子或特征 $\gamma$ 射线来确定裂变材料的质量;被动分析则通过直接测量样品自然放出的 $\gamma$ 射线或中子来确定裂变材料的性质、数量等.目前IAEA结合利用中子符合探测技术和 $\gamma$ 特征线探测技术可充分分析和确定包含特殊核材料的一般特性,这对于安全保障核材料是必要的.为了进一步改进材料衡算方法的精度,人们还研究发展了近实时材料衡算系统.不过该方法仍有些问题需要解决.

##### 4.1.2 封隔和监视

封隔措施是利用实物障碍以限制接近核设施内部的核材料,如反应堆的压力壳、材料储存区的围墙、安全门以及容器的外壳,由此防止核材料的秘密转移.为了这个目的,IAEA发展了各种封记技术(如超声标签、电子标签),来密封各种包含核材料的容器.IAEA人员可简单地通过检查这些封记的状况来确信材料是否转移.

监视措施主要是利用自动照相机、摄像机或其他电子设备以探测任何核材料的转移或受安全保障的项目是否被干扰.如利用卷片照相设备或闭路电视来监视储存在反应堆或后处理厂处乏燃料的运动情况.为了提高闭路电视的监视能力,人们正在研究新的微控闭路电视系

统.此外,为了更可靠地利用封隔和监视设备,人们提出了遥作连续核查技术 RECOVER 来控监视这些设备的操作状态.

总之,IAEA 为了更有效地支持材料衡算、封隔/监视措施,发展了一系列监控装置、测量技术和视察程序.

#### 4.2 加强安全保障措施

目前,IAEA 对民用核动力活动的安全保障仍存在问题,如:IAEA 对后处理厂、燃料加工厂还没有一个十分有效的安全保障措施;当事国常依据入侵其主权和工业泄密等借口来限制对一些核设施的安全保障和相关的视察活动.

为了更有效地防止民用核动力的核扩散性,人们还需从技术方面加强国际核安全保障措施.为了改进传统安全保障系统的有效性并使其费用效率更高,主要研究应包括:(1)提高衡算系统的测量精度;(2)进一步提高封隔/监视系统的监视能力,如利用各种先进的传感探测器;(3)发展一些费用效率更高的保障措施;(4)广泛研究和发展新的仪器设备,如利用全自

动核实系统以减少视察工作量;应用数字图像传输技术,进行远程监测等.

最后需要指出的是,加强社会体制方面的措施也是十分必要的.特别是加强对未申报、秘密发展的核活动的安全保障措施.

#### 参 考 文 献

- [1] OTA, Nuclear Proliferation and Safeguards, New York: Praeger, (1977), 94.
- [2] D. Hafemeister, Physics and Nuclear Arms Today, New York, (1991), 218.
- [3] 张会、杜祥琬,中国核科技报告,CNIC-00946, (1995).
- [4] F. Barnaby, Nuclear Energy and Nuclear Weapons Proliferation, New York, (1979).
- [5] 张会、杜祥琬,中国核科技报告,CNIC-00947, (1995).
- [6] J. Mark, *Sci. and Global security*, No. 4(1990), 1.
- [7] D. Albright et al., World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium, (1992).
- [8] National Academy of Science, Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium, Washington D. C.:1994.
- [9] IAEA Safeguards: An Introduction, IAEA, Vienna, (1981).

### 1996 年第 8 期《物理》要目预告

反氢和反原子(夏元复);  
微重力科学进展(胡文瑞);  
纳米尺度的光学成像与纳米光谱(朱 星);  
面对 21 世纪机遇与挑战的高功率固体激光(吕百达);  
X 射线激光器——新兴的短波长相干光源(张毓泉);  
量子阱中的玻色凝聚(王恩哥);  
磁性流体的法拉第旋转(董国君);  
生物磁技术在食用菌栽培中的应用(刘银春);

卡文迪什实验室与现代科学革命(阎康年);  
同步辐射——化学研究的一种强有力工具(巨 新);  
一种新型的物质结构分析手段——同步辐射 XAFS 方法(谢亚宁);  
超热负载 SR 束斑位置的探测方法(夏绍建);  
一个新型的全面的表面分析装置——同步辐射光电子能谱实验站(刘凤琴).