

离心机之惑

赵小青 米仪琳

近一段时间以来，伊朗的核问题始终是国际社会关注的热点。特别是2012年2月15日伊朗高调宣布其核计划取得重大进展，称已经研发出由碳纤维制成的“第四代超音速离心机”，并已为其浓缩铀工作新增了3000台离心机，加上之前正在运转的6000台离心机，现共有9000台离心机运转工作，它们将使伊朗的铀浓缩能力提高3倍。一时间，各种猜测此起彼伏，甚至有分析说，伊朗可能在两个月内制造出核弹。为什么有关离心机的一则消息会使国际社会如此紧张？回顾以前有关伊朗核问题，一般也是有关离心机的问题。离心机在核能的开发利用中究竟有何重要的作用？答案就在原子核裂变反应的基本原理中。

核能是原子核进行核反应时释放出的能量。而核反应有裂变反应和聚变反应，重原子核在中子的轰击下分裂成两个中等的原子核，被称为原子核的裂变反应；两个较轻原子核在一定条件下结合成一个重原子核，被称为原子核的聚变反应。即重核裂变，轻核聚变。不管是裂变反应还是聚变反应，反应前后原子核的质量会产生亏损，因此将有能量释放出来。如果能让数量巨大的原子核参加核反应，就可以获得巨大的能量。由于核聚变反应需要高温高压的条件，而核裂变反应的条件较容易实现，所以目前核电站获取核能的途径是通过裂变反应。而核武器即使是氢弹也需要裂变反应作为扳机，引发聚变。因此，目前核能的开发就是利用原子核裂变反应。

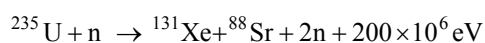
原子核的裂变反应是利用中子轰击重原子核而产生的，但并不是所有重原子核受到中子轰击都能发生核裂变反应。目前在核能开发中使用的裂变材料主要是铀和钚，而伊朗核能开发中使用的核燃料就是铀。

铀在地壳中的平均含量为百万分之四，比金、银、铂的含量都高，海水中铀的总量高达45亿吨，所以铀并不是稀有元素。天然铀是铀234、铀235、铀238三种同位素的混合物，其中铀238占99.3%、铀235占0.7%、铀234占0.0065%。显然，铀238在天然铀中所占的比例最大，但是它却不能直接用

作裂变材料。因为铀238有个毛病，它对中子的“食欲”极强，大约为4000靶恩（“靶恩”是原子核吸收入射中子的作用截面的单位），即它可以疯狂地吞食中子，但却是个白吃货。铀238将中子白白吃掉却不发生裂变，而是变成钚239。

铀235是自然界中存在的唯一的，可以大量用于工程使用的易裂变原子核。那是否可以直接将天然的铀矿石作为裂变材料，这就要了解一下铀核裂变进而产生巨大能量的过程。

铀核裂变的方式虽有多种，但大多数情况下，只要铀核被中子打中，立刻分裂成重量大致相等的2个核。例如，分裂成氙原子核和锶原子核



铀核裂变后除了产生200MeV的能量，更重要的是同时会放出几个中子，这些中子就是打开核能宝库的钥匙。一个铀核裂变的能量是有限的，想要获得巨大的能量，就要让核裂变持续不断地发生。因此每个铀核裂变产生的那些新中子中，至少要有有一个或一个以上的中子能够击中铀核，使之发生裂变，从而释放出能量并再次产生新的中子，这些中子又去打击铀核，如此下去，裂变反应就可以持续不断地进行，核能就可以源源不断地释放出来。这种持续不断的裂变反应被称为“链式裂变反应”。链式裂变反应有两种情况，第一种情况是可控链式裂变反应，它通过控制使每次裂变反应产生的中子刚好只有一个能引起下一代的原子核发生裂变（图1），使裂变得以长期维持并持续释放能量。这被称为可控链式裂变反应，用于核电站、核潜艇的反应堆中。

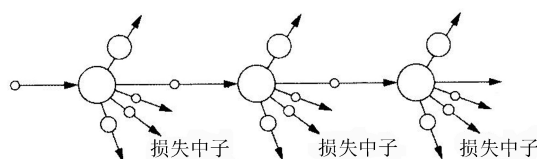


图1 可控链式裂变反应示意图

第二种情况是，每次裂变反应放出的能够引起下一代裂变的中子数目都会增值，参加裂变反应的中子和参加裂变的原子核呈雪崩式发展，裂变反应的规模越来越大，这被称为“不可控链式裂变反应”

(图2)。由于中子从产生出来到被下一个铀核吞掉的时间最长也不过 0.001 秒, 50 代才 0.5 秒。所以短时间内能量骤然增长, 最后发生爆炸。核武器利用的就是这种不可控的链式裂变反应原理。

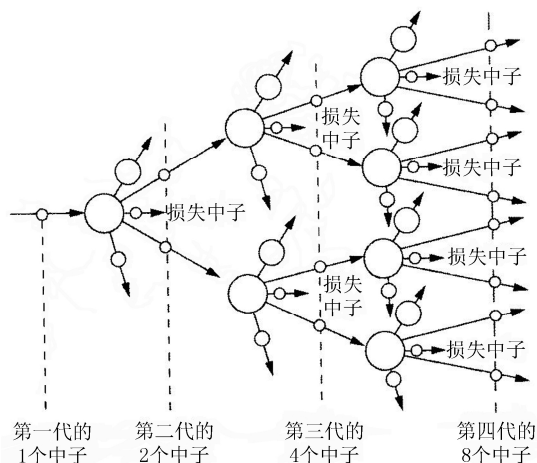


图2 不可控链式裂变反应示意图

综上所述, 不论是核反应堆还是核武器, 要使裂变反应持续不断地进行下去, 必须要保持参与裂变的中子数倍增。但是, 铀 235 在自然状态下只占 0.7%, 它处在为数众多的铀 238 的包围之中, 中子很难冲破重重包围而幸存下来被铀 235 所吸收。所以, 需要从天然铀中对铀 235 进行浓缩。核电站使用的核燃料铀 235 的丰度需达到 3% 左右, 而核武器级的铀的丰度需要达到 90%。这就是说, 原来在 1000 个天然铀原子中, 只含有 7 个铀 235 原子, 而经过浓缩, 则可以提高到 30 个甚至 900 个。这样一来, 发生核裂变的概率会极大地增加, 这对于中子的增值非常有利。

铀浓缩就是从天然铀中把铀 238 除掉, 以增加铀 235 的含量。但是, 这种分离却是一件非常困难的事情。因为铀 235 和铀 238 是同位素, 它们的化学性质完全相同, 所以不能借助化学反应进行分离。幸好, 铀的同位素的物理性质存在微小的差别, 所以可以采用物理方法进行同位素分离。目前, 常用的方法有电磁分离法、气体扩散法、离心机分离法和激光分离法。这样看来, 伊朗获取浓缩铀的方法采取的是离心机分离法。

离心分离法, 其原理和洗衣机的甩干功能相似, 就是根据质量不同的物体, 做相同角速度的圆周运动时, 所受到的离心力不同, 因而抛洒的落点不同的原理对物体进行分离。原则上, 它有很高的效率。

然而, 铀以金属的形式无法进行分离, 必须把铀转变成气体的化合物。研究发现, 氟化物为最好的形式, 所以采用了六氟化铀。将天然铀制成氟化物时, 即可得到两种六氟化铀分子的混合气体。一个是含有铀 235 的六氟化铀分子, 另一个是含铀 238 的六氟化铀分子, 这两种六氟化铀分子的重量, 分别为 349 和 352。虽然都是胖子, 但其质量毕竟不同, 铀 238 稍重些, 故可以采用离心分离法。如图 3 所示, 在高速旋转的离心机中, 含铀 238 的六氟化铀分子较重, 受到离心力大, 落点靠近外围; 含铀 235 的六氟化铀分子较轻, 受到离心力较小, 则聚集在轴线附近。从外周和中心分别引出气流, 就可以实现同位素的初步分离。但是, 经过一次分

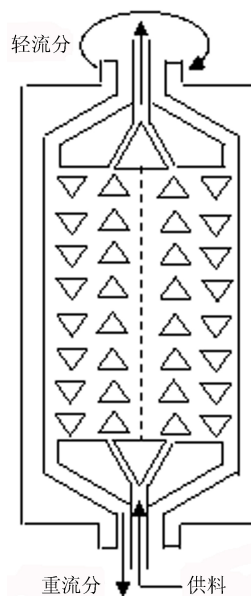


图3 离心分离法原理图

离, 铀 235 的丰度只能提高百分之零点几。所以必须将数量庞大的离心机串联起来, 经过无数次的分离, 最后才能得到丰度达标的浓缩铀。因此从离心机的数量可以推断浓缩铀的丰度。

回到伊朗问题, 至此不难明白, 国际社会为何如此关注伊朗的离心机数量了。

(北京北方工业大学理化教研室 100144)

~~~~~  
(上接 48 页) 先生”时, 索末菲才赞许地回答说: “你的德语进步很快啊。”

但不管怎么说, 在索末菲的学生之中, 有六人获得过诺贝尔奖, 几十人成为第一流的教授, 他们的名字足可铺成一条 20 世纪物理学的星光大道。索末菲本人虽从未得过诺贝尔奖, 却是一位无冕之王, 是物理史上最伟大的教师之一, 他在让泡利敬重的物理学家中拔得头筹是实至名归的。

### 作者简介

卢昌海, 本科毕业于上海复旦大学物理系, 后赴纽约哥伦比亚大学从事理论物理学习及研究, 并获物理学博士学位。现旅居纽约。个人主页: <http://www.changhai.org/>