

达到 3600 万千瓦左右,这个速度相当于每年建一座“大亚湾”。从配套发展角度来看,核电的发展将带动核燃料各个环节,包括铀矿的勘探、开采,铀矿石的加工和精制,铀同位素的分离,各种各样燃料元件的制造,放射性废物的处理等多方面能力和规模的巨大发展,必将为国家带来丰厚的经济利益,同时也将有效地解决资源及环境问题,产生良好的社会效益。它对一次能源(即天然能源,如煤炭、石油、天然气、核燃料、风能太阳能、地热能、海洋能和潮汐能等)缺乏的东南沿海地区实现可持续发展,推进节能减排,加快能源结构调整更是具有十分重要的意义。

二、核电的安全性

核能发电就是利用反应堆中核裂变链式反应所释放的热能发电。作为一种能源,核电的确有着不可比拟的魅力。它是目前最新式、最干净,且单位成本最低的一种电力资源;它稳定性高、寿期长、低污染,在解决资源紧缺,改善环境质量方面具备明显优势;它可以促进经济发展并协调经济发展与环境建设的关系,是可持续发展的重要能源。但是不可回避的是,在过去的近半个世纪中,核能也曾给人类带来过巨大的伤害,“核泄漏”这一“隐患”就如一颗定时炸弹埋在了人们心里。历史上曾发生过的核泄漏事故,都造成了相当的危害,最严重的一次要数 1986 年发生在前苏联的切尔诺贝利核泄漏事故。

1986 年 4 月 26 日,前苏联加盟共和国乌克兰切尔诺贝利核能发电厂发生有史以来最严重的核电事故,造成核燃料严重外泄。事故导致 31 人当场死亡,外泄的辐射尘埃随着大气飘散到前苏联的西部地区、东欧地区、北欧的斯堪地维亚半岛。此事故引起了大众对于核电厂安全性的广泛关注。2005 年一份国际原子能机构的报告认为当时有 56 人丧生——47 名核电站工人及 9 名儿童患上甲状腺癌,并估计大约 4000 人最终将会因这次意外所带来的疾病而死亡。

正是这种巨大的危害性使得许多人对核电站谈虎色变。在许多国家,“反对派”激烈的抗议和阻挠使核电事业的发展放慢了脚步。但实际上,核电站的核反应堆不是原子弹,即便是切尔诺贝利核泄漏也不是发生核爆炸。

核反应堆不是原子弹 1939 年,德国科学家奥托·哈恩发现了元素铀的同位素铀-235 原子核在中子的轰击下可以发生核裂变并同时放出能量(如

图 1),很多重核同位素,如铀-233、钚-239 等,都能产生核裂变反应。

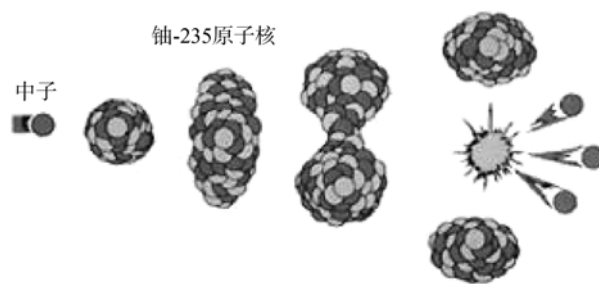


图 1 ^{235}U 裂变反应示意图

如图 1 所示,铀-235 原子核在裂变后生成裂变碎片并同时放出 2~3 个中子(n),如果新产生的中子能够轰击其他的铀-235 原子核并导致新的核裂变,裂变反应就可以不断持续下去,我们将这个过程形象地称做“链式反应”。在不断的链式反应下,核能被源源不断地释放出来。

铀-235 裂变反应式为: $\text{铀-235} + \text{n} \rightarrow \text{裂变产物} + (2\sim 3)\text{n} + \text{裂变能}$ 。

核反应堆不是原子弹首先表现在,原子弹的制造需要几乎纯净的具有临界质量的铀-235,它的富集度高达 80%以上,中子引起铀原子核裂变只需百万分之一秒,在高富集度的铀-235 中一个中子在瞬间就可使几亿个铀原子核分裂,从而释放出巨大的能量,这也就是原子弹威力巨大的原因;而民用核电反应堆铀-235 的富集度仅 3%,民用核电反应堆内 97%的铀是铀-238,铀-238 对慢中子的轰击不产生裂变反应,而是吸收中子,另外,在民用核电反应堆中还加入了吸收中子能力很强的“中子毒物”(硼或镉),这样一部分中子还来不及轰击铀-235 就已经被吸收了。如果在核反应堆设计时使中子数目保持不变,核能的释放就会被人为地控制起来,核裂变时释放的能量就会按设计要求缓慢、有序地进行,这就是核反应堆的设计原理。

其次,制造原子弹高富集度的铀-235 是在复杂的分离浓缩操作过程中提炼出来的,是在特殊工厂内制造的,建造这种工厂需要很长的时间和专用的设备,在民用核电站即使想造也不可能造出来。因此,核电站根本没有核爆炸的可能性。

第三,民用核反应堆的设计目的是通过精心控制产生热量,即使在最坏的情况下,堆芯过热使反应堆被熔化(像切尔诺贝利核泄漏事故)也不可能发生核爆炸。在切尔诺贝利核泄漏事故中,由于

核反应失去控制，导致反应堆产热过多，冷却水被迅速汽化导致蒸汽系统发生爆炸。因此，这里的所谓爆炸实际上是高压蒸汽将反应堆外壳炸开，导致了核燃料的外泄。

核电反应堆与核辐射 我们生活在各种各样的辐射之中，有紫外辐射、红外辐射、雷达波辐射、电视辐射、手机辐射、 α 射线辐射、 γ 射线辐射、X射线辐射等等，但我们却全然不知。这些辐射对我们的健康没什么危害，甚至我们还离不开它们，比如紫外线可以促进人体对钙的吸收，从而强健我们的骨骼；电磁波可以使我们收看电视等。我们时刻呼吸的空气中存在放射性氡元素、大地中含有铀元素，所以我们呼吸、饮食无不被放射性所包围。不仅如此，人体内部本身就具有放射性。实际上，我们所接受的全部辐射中几乎有一半是我们自己产生的，这主要是由于人体中钾元素的天然放射性所致，钾是人体中非常重要的一种元素。

核反应同样产生辐射线，这就是核辐射。原子弹爆炸时，产生大量的放射性裂变产物，量大到足以对环境产生巨大破坏，杀伤或杀灭环境中的生命体。而核电站反应堆形成的放射性裂变产物却被严格封闭在反应堆内，既不会对工作人员造成辐射，也不会对附近居民或环境造成危害。从一座运行完好的核电机组逃逸出来并进入环境的放射性剂量实际上比天然状态下存在的放射性剂量还要小很多，因此完全不必对它的辐射产生担心。

核电是安全能源 核电反应堆的安全指标用“堆·年”来表示。一座反应堆运行一年叫做一个“堆·年”。从1954年第一座实验核电站问世到2000年，全世界约500多座核电反应堆合计运行约10000堆·年。在这10000堆·年的运行历史中，仅发生过2起堆芯熔化的严重事故，即1979年美国三哩岛核电站事故和1986年前苏联切尔诺贝利核电站事故。其中，仅切尔诺贝利核电站事故造成了放射性物质大量外泄的严重事故。而三哩岛核电站事故由于安全壳的良好屏蔽作用，对周围环境基本没造成任何影响。然而，这两次事故引起了国际核能界的极大震动，开始促使人们高度重视对严重事故的分析，制定出相应的应急对策，对控制室设计、运行规程和人员培训进行了重大改进，从而提高了核电站的安全性。

实际上，核电不仅是清洁能源，而且也是安全

能源。从整个发电的燃烧链（即从采矿到发电的所有环节）考虑，有数据显示每吉瓦（ 10^9 瓦）发电装机容量每年的死亡人数煤电燃烧链为37人[即37人/（ $\text{GW}\cdot\text{a}$ ）]，而核电燃烧链仅为3.5人/（ $\text{GW}\cdot\text{a}$ ），而且基本是由铀矿开采引起的。显然，核电燃烧链比煤电燃烧链更为安全。这种高安全的运行纪录，在能源发展史上，包括常规电厂、煤矿、油井、水坝等，都是绝无仅有的。

三、我国核电站安全保障

核电站建设和运营取得良好业绩 自1991年我国第一座核电站——秦山一期并网发电以来，我国有6座核电站共11台机组906.8万千瓦先后投入商业运行，8台机组790万千瓦在建（岭澳二期、秦山二期扩建、红沿河一期）。截至目前，我国核电站的安全、运行业绩良好，运行水平不断提高，运行特征主要参数好于世界均值；核电机组放射性废物产生量逐年下降，放射性气体和液体废物排放量远低于国家标准许可限值。秦山一期核电站已安全运行14年，最近一个燃料循环周期还创造了连续安全运行400天的新记录。大亚湾核电站近年的运行水平与核能发达国家的水平相当，运行业绩进入了世界先进行列。

核电站建设和运营的安全保障 我国核电站的高安全性凭的是高质量的技术保障和严格的监督管理体系，二者一体，形成“纵深防御体系”，从而将核泄漏概率降至最低。

技术上，中国核电站有4道安全屏障。只有4道安全屏障同时失效，放射性物质才有可能泄漏，但这个概率是极低的。

监管体系上，自1984年中国建造第一座核电站开始，国家对核安全的重视就从未松懈过，制定了一套完整的核安全监督管理体系——成立专门的核安全监管机构；建立完全与国际接轨的核安全法规标准体系；对所有核电站实施安全许可证制度，安全许可证发放后，继续对核电站的设计、建造、运行实施全程安全监督；中国核安全局在中国的四个地区建有监督站，对所有运行或在建的核电站实行24小时现场监督。

另外，我国经过20多年的发展，核电站的设计、运行、维护的经验不断增加，这也是核安全得到保障的重要基础。

（中国核电工程有限公司河北分公司 050021）