



核能应用与核电事故



德国著名化学家哈恩早年从事放射化学研究，在矿物分离等研究过程中，出人意料地发现了放射性钍 Th、镭 Ac 及镤 ^{231}Pa 等；1938 年，哈恩、斯特拉斯曼和梅特纳，在费米、伊伦·居里等人用中子轰击铀核的实验基础上，进行了大量的实验与分析，提出了中子打进铀核，引起铀核剧烈振荡，使铀核发生形变，最后分裂成两个原子核。铀核裂变既放出巨大能量，又释放出中子，每一个铀核裂变，将放出 200MeV 的能量，并且放出 2—3 个中子，这些中子被另外的铀核分别吸收，又再引起铀核裂变，如此继续下去，形成链式反应。

1942 年费米利用核裂变的链式反应，建立了世界上第一个可控的链式反应装置——核反应堆，揭开了人类利用原子能的新篇章。

原子能首先在军事上应用。1945 年美国最先安装了核爆炸装置，制造和爆炸了原子弹。1949 年苏联也研制成功原子弹，打破了美国的核垄断，英国于 1952 年、法国于 1960 年相继试爆原子弹成功。我国也于 1964 年成功爆炸了自己研制的第一颗原子弹。

原子能的重要应用是核能发电和核动力装置。1954 年苏联建成世界上第一个原子能发电站，其功率为 5000 千瓦；1956 年，英国建成 92000 千瓦核电站；1958 年，美国建成世界上第一座工业规模的民用核电厂。现在世界上已有 40 多个国家和地区建成了或正在建造核电站，一些发达国家的核电已占有相当的比例，法国的核电量已占全国总电量的 70%，居各国之首位；比利时核电占全国总电量的 67%；核电最多的国家——美国的核电量也已占全国总电量的 16%。在亚洲，日本的核电已达全国总电量的 27%，并计划到 1995 年达到 35%；印度、巴基斯坦、南朝鲜、中国台湾省等也已建成核电站。在我国，浙江秦山核电站已经建成投入使用，广东大亚湾核电站的建设正在进行。根据调研估计，90 年代，欧洲将有 35% 的电力要靠核电供应；到本世纪末，中国的核电将达到 1000 万千瓦。另外，在核动力方面，美国“鸚鵡累”号已于 1954 年建成下水，苏联“列宁”号破冰船，已于 1959 年航行；60 年代核动力商船也已投入使用。30 多年来，核动力堆、核动力舰船性能大大提高，数量也大大增加，原子能在发电和动力方面已经被广泛应用，发展十分迅速。

一、核能应用的优点与地位

依据能源利用的技术状况，能源可分为两大类，一

类是在现阶段的科学技术条件下，已广泛使用的、技术比较成熟的常规能源，如煤炭、石油、天然气、水能等，另一类是那些还未找到合适使用技术或者使用技术有待于进一步完善的新能源，例如风能、地热能、太阳能、核能等。据各国专家估计，目前世界上的常规能源燃料资源储藏量还可使用几十年，若不开发、利用新能源，到下一世纪中期，世界将面临能源匮乏的严重局面。而在可选择的新能源中，利用核能是最现实、最有前景的，因为核能发电技术已经成熟，而且核能具有许多独特的优越性。

首先是核燃料资源非常丰富，已探明的天然铀蕴藏量，至少有 460 万吨，其能量相当于 4 万亿吨煤，可供人类使用约 200 年，而轻核聚变的原料——氘，在海水中含量约占 1/6000，假如海水中的氘都用于聚变反应，则所释放出来的能量，估计可供人类使用 100 至 200 亿年。

其次是核能发电比较经济。核电站建设成本虽比火电厂建设成本高，但核电燃料费用比火电燃料费用低得多，若以每年运作 6000 小时计算，用煤发电，其燃料费占发电成本的 67%，使用石油发电，其燃料费占发电成本的 80%；而核电燃料费只占发电成本的 20—30%。核电与火电的运行费基本相同。另外，一座 100 万千瓦的发电厂，使用煤作燃料，每年需要消耗

表 1 核电与火电发电成本比较

费用	国家		日本			
	美国			核电	煤电	油电
发电厂类型	核电	煤电	油电	核电	煤电	油电
燃料费(美分/度)	2.08	3.74	8.13	3.16	4.33	6.86
运行费(比例)	1	1	1	1	1	1

300 万吨煤，这要每天用 100 多节火车厢来运输或一艘万吨轮船来运输，这是一项很沉重的运输负担；而使用核燃料发电，则每年只需补充 30 吨核燃料，而且其中只消耗 1 吨 ^{235}U ，其余可以回收，故所需补充的燃料，用一部中型货车运载几趟就够了，这对减轻运输负担和降低发电成本极为有利。

第三，核电是一种清洁的能源。若以 100 万千瓦的电厂为例，核电站对周围环境的污染只限于放射性物质的辐照，在平常运转情况下，每年不到 0.02 毫希；而以煤作燃料的火电厂，通过烟囱排放的烟尘当中，仅钍、镭等放射元素的辐射剂量，每年就接近 0.05 毫希，约为核电站的三倍。不仅如此，火电厂每年还要排放出数万吨二氧化氮、二氧化硫等有毒气体，上百公斤的镉、汞、三四苯并芘等致癌物质，以及数千吨灰烬和其他特殊物质，严重污染环境，对人类带来极大的危害。

据加拿大安大略(省)统计，如果该省用煤炭发电产

表2 核电站与火电厂对环境的影响比较
(电功率: 100万千瓦)

	居民受辐射剂量 毫希/年	氧化氮(NO _x) 吨/年	氧化硫(SO ₂) 吨/年	烟灰和特 殊物质 吨/年
核电站	0.018	0	0	0
煤电厂	0.048	26250—30000	46000—127500	3500

生核电站至今已获得的相同电量总数,它可能释放出600万吨酸性气体进入大气,并产生200万吨煤灰;加拿大所有核电站用过的核燃料只够填满一个冰球场达到半腰的高度,而烧煤时,其煤灰则需要25000倍的空间。西德专家指出,如果西德把所有核电站关闭,改用烧煤发电,则空气中的二氧化氮和含硫量要比现在多一百万吨,从而带来更多的酸雨,导致森林枯死,增加人类皮肤病、哮喘、喉炎等疾病。可见,相比之下,核电是一种清洁的能源。

由于核能发电的这些独特优点,不少发达国家早已积极建设和大力发展核电站,逐步减少对火力能源、水力能源的依赖。据统计,目前全世界已有410多座核电站投入运行发电,总发电量为40万兆瓦,约占世界总发电量的16%。

二、核能应用的前景

世界能源资源调查表明,常规能源资源煤、石油、天然气等石化燃料,不久的将来会逐渐枯竭,煤炭预计可维持约200年,天然气只能维持50年,石油也只能维持70年。面临常规能源资源的枯竭,人类必将研究、采用新能源,发展新能源,以求生产和经济的发展,改善和提高生活水平。在当今探索和利用的新能源中,生物能的研究、利用刚刚起步,还没有进入发电应用的阶段;风能的利用也正在探索中,且很不稳定,还不可能发展应用;太阳能是巨大而极干净的能源,但利用太阳能的技术还存在很大困难,尤其是不同季节、不同地点、不同时间,太阳能的辐射强度极不相同,受自然条件影响极大,而且光能转换效率还很低,若用太阳能发电,需要很大数量的蓄能装置,这使太阳能电站造价高昂,所以在相当时间内还无法大规模应用、发展。而原子核能,则是从30年代起,就开始进行研究,经过50多年的发展,无论在发电、供热和核动力等方面,已有成熟的技术并已大量应用,在地球上核能资源十分丰富,核能利用又有着独特的优点,因此,核能是最有发展前景的新能源。

我国的能源资源分布很不平衡,水力资源的70%分布在西南地区,煤炭的60%分布在华北地区,集中在山西、内蒙等地。而人口集中、工业发达的华南、华东和东北的辽宁省,能源贮存量只占16%,使这些地区能源严重缺乏,远远不能满足其生产和经济发展的需要,若企图采用北煤南运,西电东送,不论从技术上

经济上,都是十分困难和极不经济的,甚至是行不通的。例如前面曾提到的,一座100万千瓦火电站,每年要耗煤300万吨,这要每天用120节车厢来运输,这是很沉重的运输负担;而相同功率的核电站,每年只需30吨左右的核燃料,运输负担是很轻的。因此,就我国国情,发展核电势在必行,而且从我国核技术发展分析,我们完全有条件大规模发展核电,前景十分光明。

三、核电事故分析

核电发展速度,已为人所共知。当今,世界上已有400多座商用核电站在运行,它们日以继夜地为人类释放出惊人的巨大能量。但自有核电站以来,核事故时有发生,在和平利用核能史上,曾经发生过多起核事故。1952年12月12日,在加拿大首都渥太华近郊的乔克里弗实验核反应堆,由于堆顶部操纵杆发生意外移动,致使铀燃料芯部分熔化,尽管这次事故没有造成伤亡,但毕竟是第一次核电站的事故。1957年10月7日,英国利物浦北郊“风级”核反应堆一号铀生产车间,反应堆突然起火,放射性物质污染了200平方英里的地区。1961年1月3日,美国爱达荷福尔斯近郊的SL-1军用核反应堆,发生了毁灭性的蒸气爆炸,三名军工人人员丧命,这是美国核能利用史上第一次死亡事故。1979年3月28日,美国宾夕法尼亚州哈里斯堡近郊的三里岛核电站,由于人为失职和设备故障,核电站二号堆出现堆芯失水和放射性气体从通风系统外逸的重大事故,但由于具有几道安全屏障,在事故的过程中,却无一伤亡;事故发生后,现场观测结果表明,在三里岛核电站80公里以内的200万人口中,平均每人受到的照射,不及一年内天体照射本底的1/50,不及佩带一年夜光表所受的剂量;仅有个别人受到0.7—0.8毫希照射,这仅相当于两次X光的透视。在事故现场,也只有三个人受到略高于一个季度的容许剂量的照射。在事故过程中,有3.7—7.4千亿贝可的碘-131释放到环境中,这比原预计值要小1万倍。这些情况,从严重事故的反面证明了核电的安全性。

1984年4月28日,苏联基辅北部的切尔诺贝利核电站4号反应堆厂房内发生爆炸,厂房顶盖被炸飞,墙被炸倒,石墨起火堆芯熔化,碘¹³¹I和铯¹³⁷Cs等放射性裂变产物冲向天空,污染大气环境,造成31人死亡,近300人受伤送医院治疗,直接经济损失极大(建造一座100万千瓦大型核电机组至少要花10多亿美元),这是核电史上最严重的事故,它结束了和平利用核能发电30多年从未发生过人身伤亡事故的历史。

对这次最严重事故,进行观测和分析表明,从核反应堆释放出来的放射性裂变产物,绝大部分是¹³¹I和¹³⁷Cs,没有发现Pu(核燃料),其中¹³¹I占多数,而¹³¹I的半衰期只有8.2天。因此,放射性剂量在事故后不久就大大下降了,而且这些放射性在空气中得到稀释,人们所担心的基辅湖,第聂泊河也没有发现异常放射



关于原子模型的对话

姜永根

学生：我们学习高中物理的原子结构这部分内容，觉得现代物理知识很新奇，尤其是它的研究方法与力学和电学的研究方法很不相同。

老师：你指的是研究现代物理常用的模型方法吧，那是物理学研究中最重要方法之一。在研究原子结构时，由于我们对微观客体不能直接进行观察，所以必须通过实验获得一定的观测资料进行分析，提出一种假说，即一种原子模型去替代客观原形。模型在提出时首先要履行其解释功能，不论什么模型，它们都要能解释已知的实验现象。比如说，汤姆生模型能解释原子的电中性，卢瑟福模型能解释 α 粒子散射实验。

学生：用模型去解释已知的实验现象，但不一定能解释将来发现的实验现象，这也算一种科学方法吗？

老师：是啊！模型作为一种假说，光能解释已知的实验现象还不够。随着实践的发展，它应该受到实践的检验，履行其判据功能，当它与新的实验结果一致时就被肯定；不一致时就被否定（扬弃）。

学生：但是我总觉得变化太多，关于原子结构，先是汤姆生模型，接着是卢瑟福模型，后来又是玻尔模型，没有一个定论，原子到底是怎样的啊？

老师：一种模型的提出，标志着人们的一个阶段性的认识水平。随着实践的发展，新实验现象的发现，暴露出旧模型的缺点，比如 α 粒子散射实验，暴露出汤姆生的枣糕模型的缺点，卢瑟福提出的核式结构模型能很好地解决这个问题，而在解释原子电中性这一点，它与汤姆生模型是一样的。同样，随着实践的发展，卢瑟福模型也暴露出其缺点，为玻尔模型所取代，而且玻尔模型也能解释 α 粒子散射现象，因为它本身也是一个有核模型。可见，旧模型的修正，新模型的提出是科学发展的必然结果，是人们认识问题不断深入的标志，

性迹象。分析还表明，这次事故的发生，有人为的原因，也有设备本身的原因，例如苏联的石墨沸水堆已经落后，在西方国家已经淘汰了。由于这种堆具有固有的不安全性，又没有设置安全壳，只要发生厂房爆炸，房顶被炸飞，放射性物质就进入大气，污染环境；另外，苏联核电站缺少先进的安全电脑系统，自动控制和监测手段落后，没能及时将事故处理。

这次严重核事故，导致了一场国际性有关核电安全的大辩论，其结果是肯定继续发展核电，而不是废弃核电，但又承认核电有危险性，要采取高度安全措

这就是模型的研究法功能，这在认识论上有重要意义，它使人们的认识不断地向真理迈进。

学生：听了老师这一番论述，使我对模型作用的认识大为深入，但具体涉及玻尔模型，我总觉得它的提出是多么牵强，直到今天，我仍觉得玻尔

模型难以理解。

老师：你这个问题实际上道出了广大高中学生心中的疑虑。人们知道，玻尔模型提出的背景是要解决原子的稳定性以及原子的线状光谱问题。根据经典电磁理论，原子的核外电子绕核运动要辐射电磁波，原子的能量就要减少，那么电子就不能维持原来的轨道运行，旋转半径必将越来越小，很快会坍缩到原子核上，所以原子会是不稳定的，在这个过程中，原子会辐射连续光谱。实际情况不是这样，原子是稳定的，所以玻尔提出了定态的假设：原子系统处于各个特定状态，在每个状态都有相应的能量 E ，在这些状态原子不辐射能量。原子的光谱是线状的，所以提出了跃迁的假设：原子在两个定态之间发生跃迁才会发生光辐射或光吸收，光子能量为两个定态能量之差。这两条假设与经典物理理论相结合，得到氢原子的能量表述

$$E = -\frac{ke^2}{2r},$$

为使氢原子能量 E 取某些特定值，玻尔还提出了轨道的假设：电子绕核运动的轨道不是任意的，只有符合 $mvr = n\frac{h}{2\pi}$ 的轨道才是可能的，玻尔的假设创造性地运用了量子化思想，解决了原子的稳定性及光谱问题。

学生：玻尔模型的确是很成功的，但是我还有一个感兴趣的问题：玻尔的第三条假设到底是怎么想出来的？为什么电子的动量 mv 要与运动半径 r 去相乘，还要与 $\frac{h}{2\pi}$ 去挂钩，他是怎么考虑的？

老师：既然你问到这个深度，那么我必须向你指出，玻尔原先提出的第三条假设叫做对应原理，它是确

施，核电应该在最大限度地保证人与环境安全条件下发展。目前世界上普遍应用的压水堆、沸水堆等都设有安全壳，能够承受意外事故造成的冲击，加上电脑安全系统的监测和控制运行，完全可以确保反应堆的安全。因此，苏联切尔诺贝利核事故后，西方几个主要工业国首脑在日本东京召开会议决定，今后核电生产份额将继续增长，1986年5月15日欧洲会议以压倒多数通过决议，支持继续发展核电；苏联、东欧国家也表示，事故不会影响核电发展；日本政府也宣布，苏联核事故不会影响日本的核电建设规划。