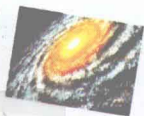


青年必备知识

能源 略说

郑沙等 编

远方出版社



青年必备知识

能源略说

江苏工业学院图书馆
藏书章



远方出版社

责任编辑:张阿荣

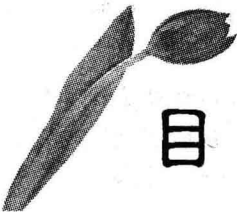
封面设计:冷 豫

青年必备知识 能源略说

编 著 者	郑沙 等
出 版	远方出版社
社 址	呼和浩特市乌兰察布东路 666 号
邮 编	010010
发 行	新华书店
印 刷	北京旭升印刷装订厂
开 本	787×1092 1/32
字 数	4980 千
版 次	2004 年 11 月第 1 版
印 次	2004 年 11 月第 1 次印刷
印 数	1—3000 册
标准书号	ISBN 7—80595—992—7/G·353
总 定 价	1080.00 元(本系列共 100 册)

远方版图书,版权所有,侵权必究。

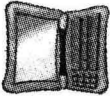
远方版图书,印装错误请与印刷厂退换。



目录



第一章 核能——未来能源的希望	(1)
第一节 核能概述	(1)
第二节 核能利用的形式——反应堆	(8)
第三节 核能利用的前景	(23)
第二章 多姿多彩的太阳能	(26)
第一节 概述	(26)
第二节 太阳能利用的动态	(30)
第三节 我国太阳能利用的现状 & 前景展望	(44)
第三章 古老而年轻的风能	(48)
第一节 概述	(48)
第二节 风能利用的发展	(51)
第三节 风能利用的前景	(61)



第四章 丰富干净的海洋能 (63)

第一节 海洋能的发展利用 (63)

第二节 海洋能开发利用的前景 (80)

第五章 前程似锦的生物质能 (82)

第一节 生物质能利用的发展 (82)

第二节 生物质能的发展前景 (96)

第六章 深藏不露的地热 (100)

第一节 如何开发地热 (100)

第二节 世界及中国的地热利用动态 (106)

第三节 地热能开发利用的前景展望 (109)

第七章 氢能的现状与未来 (111)

第一节 氢能的应用发展 (111)

第二节 氢能的发展前景 (123)

第一章 核能——未来能源的希望



第一节 核能概述

一、核能的发现

早在 1934 年,居里夫妇发现人工放射性元素镭时,意大利的青年物理学家费米(原子能理论的创立者之一,原子弹的主要设计者)决定做一个改变原子核结构的实验。他通过复杂的仪器用中子轰击铀的原子核,结果得到了一些无法精确分析的放射性物质。

后来,德国柏林威廉研究所的放射化学家哈恩等人也重复了类似的实验。然而,他们发现:获得的生成物并不是质量和铀靠近的元素,而是与铀相去甚远的钡。这种现象使他们百思不得其解。后来,哈恩把这种现象告诉了奥地利的女物理学家梅特纳。梅特纳和她的侄子、在丹麦玻尔实验室工作的弗雷士反复讨论,终于发现一个中子轰击铀



核使之分裂为两个原子核,并放出大量能量和两个中子;这两个中子又打中另外两个铀核产生能量,再放出四个中子来;这四个中子又打中另外四个铀核……以此类推,就会放出比相同质量的化学反应大几百万倍的能量,这就是所谓的“链式反应”。从此,这种“原子能的火花”给世界带来了新的光明,人类获得了一种新的能源——核能。

二、原子弹的威力

人们真正认识到核能的巨大威力开始于广岛上空的一声爆炸。美国在广岛上空投下的人类第一颗原子弹摧毁了整座城市,无情地夺走了几十万人的生命。

自从 1938 年科学家发现了铀核裂变以后,人们就立即转向了核能利用的研究。尽管美国在 1942 年建成了第一座核反应堆,但当时并不能从反应堆中取得有用的能量,要将原子核释放出来的巨大能量有控制地加以利用,尚需解决许多工程技术问题。二战期间,几个国家又将全部精力放在研制核武器上,对核能的和平利用未予重视。在战后的几十年间,美苏两超级大国竞相发展核武器,所拥有的核弹足以把地球毁灭几千次。不过,在核武器的研制过程中所积累的经验亦对核能和平利用的技术发展起到了很大的推动作用。

三、核能走上能源舞台

巨大的核能来自何处呢？原来，原子核内有三种不同的能量：原子核内粒子的动能；粒子之间电磁相互作用而产生的电势能；以及强大的核力产生的引力势能。这第三种能量就是原子核的结合能。当原子核经过变化后，形成结合能更大的新核时，就会放出原子核内的能量——核能。

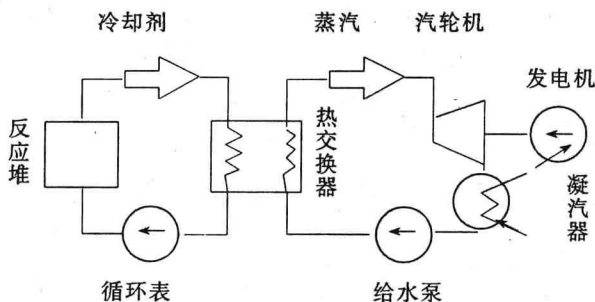
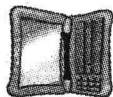


图 2-1 压水堆核电厂示意图

原子弹是核能在瞬间全部释放出来，因此具备很大的破坏性。但反应堆中的核能在一系列控制作用下能慢慢地把巨大的能量释放出来，从而产生热量，使流经反应堆的冷却剂温度升高。冷却剂带出反应堆的热量去加热二回路的水，产生蒸汽推动汽轮机发电。图 2-1 是标准压水堆核电厂的示意图。



由于核燃料资源丰富,运输和贮存方便,核电站又具有对环境污染小、发电成本低等优点。自 50 年代初建立了第一座商用核电厂以来,核能发电越来越为人们所重视。许多国家和地区先后建造和发展了核电厂。

核能发电作为一种新型的能源,发展迅速。从出现第一座核电厂到 90 年代,40 年的时间几乎走完了常规电厂 100 多年的发展历程。到 1994 年 6 月底,世界上已运行的核电厂有 414 座,发电容量约为 3.6 亿千瓦;正在建造的有 98 座,装机容量为 0.58 亿千瓦。到 20 世纪末,核电装机容量可达 5 亿千瓦,发电量占世界总发电量的 20% 左右。世界核电厂的统计值见下表。

世界核电机组一览表

根据国际原子能机构报道,截至 1994 年 12 月 31 日,全世界运行中和建造中的核电机组共 480 套,比 1993 年 12 月 31 日的多 2 套。下表按国家逐一列出运行中和建造中的核电机组数、核发电量及其在总发电量中的份额。

国 家	运行中 机组数	建造中 机组数	总发电量 (TWh)	核电份额 (%)
阿根廷	2	1	7.68	13.77
比利时	7	0	38.20	55.77
巴西	1	1	0.04	0.01
保加利亚	6	0	15.33	45.63
加拿大	22	0	101.73	19.07
中国	3	0	13.50	1.49
捷克	4	2	12.13	28.22

国 家	运行中 机组数	建造中 机组数	总发电量 (TWh)	核电份额 (%)
芬兰	4	0	18.33	29.51
法国	56	4	341.80	75.29
德国	21	0	143.00	29.33
匈牙利	4	0	13.23	43.73
印度	9	5	4.32	1.37
伊朗	0	2	0	0
日本	49	5	258.3	30.70
哈萨克斯坦	1	0	0.38	0.58
韩国	10	6	55.92	35.48
立陶宛	2	0	6.63	76.37
墨西哥	2	0	4.28	3.22
荷兰	2	0	3.70	4.86
巴基斯坦	1	1	0.52	1.01
罗马尼亚	0	5	0	0
俄罗斯	29	4	97.83	11.39
南非	2	0	9.69	5.69
斯洛代克	4	4	12.13	49.05
斯洛文尼亚	1	0	4.39	38.01
西班牙	9	0	52.80	34.97
瑞典	12	0	70.20	51.13
瑞士	5	0	22.98	36.84
英国	34	1	79.40	25.79
乌克兰	15	6	68.85	34.20
美国	109	1	639.36	21.98
总计	432 *	48	2130.13	

* 包括在中国台湾省运行中的 6 套机组(总发电量 33.48TWh;核电份额:31.72%)

从已运行的核电厂装机容量来看:美国居首位,其核电装机容量约 1 亿千瓦,占世界的 1/3。其次是法国、日本、德国、俄罗斯、加拿大、美国、瑞典。

从发展速度来看:法国、日本、德国发展最快。特别是法国政府于 1974 年就决定停止建造火电厂,以核电逐步代替火电。目前法国核电已占本国总发电量的 75.29%,立陶宛更是高达 76.37%,其次是比利时 55.77%,瑞典 51.13%。

从发展趋势看:在今后 30 年内世界上将有更多国家和地区拥有核电厂。据国际原子能机构统计,至 21 世纪初,将有 58 个国家和地区拥有或建造核电厂,电厂的总数将达到 1000 台,装机容量将超过 8 亿千瓦,核发电量占总发电量的 35%以上。由此可见,在 21 世纪相当长的一段时间内,核电将成为电力工业的重要支柱。

核能除用于发电外,近年来还发展建造了核供热站,如前苏联、加拿大等国建造的低温核供热站,利用低温反应堆的热量生产低温蒸汽或热水,供工厂和居民区作工业热源或生活供热。法国、德国等国建造的发电和供热联合机组核热电厂,通过抽气旁路将蒸汽提供给工业使用,更进一步提高了核能利用的效率。

此外,核能还可作为火箭、宇宙飞船、人造卫星、太空探测器等的动力能源。由于核能动力不需要空气助燃,因此它可以胜任地下、水中、太空中等缺乏空气环境下的特殊动

力。目前,正在运行的人造卫星中有许多就安装了长寿命的核电池,专家们还在十分认真地考虑建造海底核电厂来作为人类开发海底资源的理想动力。

四、核电的优越性

核电之所以发展如此迅速,是因为它比火力发电具有更多的优越性。



首先:核电厂能量高而燃耗却很少。核裂变释放的能量,要比任何一种化学反应释放的能量大几百万倍。一座100万千瓦的核电厂一年仅需30吨铀的燃料,而同等规模的火电厂一年要燃煤300万吨,相当于每天用一艘万吨轮来运燃料。核电将大大减少燃料的运输和贮存。尤其是对于缺乏煤、石油和水力资源、交通运输又很紧张的地区,核电就更有吸收力了。

其次:核电厂又是一座特殊的核燃料生产工厂。核燃料在反应堆内燃烧过程中还可使一部分原先不能利用的铀—238或钍—232转化为新的可裂变的核燃料钚—233和铀—233。

裂变产物经过加工处理后可重新入堆使用。利用反应堆的这种特性,使自然界蕴藏的大量铀、钍矿藏得以充分利用。

再次:大多数国家的核电成本要比火力发电低。电厂的发电成本是由建造投资费、燃料循环费和运行维修费三大部分组成的,其中主要是建造投资和燃料循环。虽然核



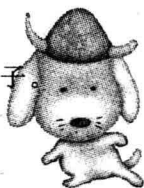
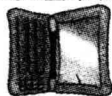
电厂的基建费用高于火电厂,但燃料费用要比火电厂低得多。综合比较发电成本,核电已普遍低于火电约 15%~50%。

最后:核电是一座安全可靠而且清洁的能源。核电厂严格按国际安全标准规范设计,电厂所产生的放射性物质一般不允许泄漏到环境中去。目前一般运行的核电厂在正常工况下向环境排放物质的放射性总剂量率约为 $1.2 \times 10^{-17} \text{SV/KW} \cdot \text{h}$,而燃煤的电厂排放粉尘的放射性总剂量率却达 $3.52 \times 10^{-17} \text{SV/KW} \cdot \text{h}$ (1SV=1J/kg,即每千克质量物质从辐射吸收了 1 焦耳的能量)。因此,即使是从放射性来看,核电厂对环境的污染也比火电厂少。此外,大气环境污染主要表现为以 SO_2 和颗粒物为代表的煤烟型污染。据联合国统计,1973 年到 1990 年,人类因为发展核电而少向环境排放 134 亿吨 CO_2 、1.9 亿吨 SO_2 、4800 万吨氮氧化物,从而减缓了环境污染的程度。相比之下,核电是更为清洁的能源。

第二节 核能利用的形式——反应堆

一、什么是反应堆

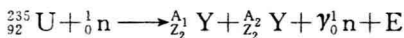
什么是反应堆呢? 其实也就是“烧”核燃料的炉子。



通常我们所说的核电厂是一个以核反应堆、冷却剂回路、二次回路及其辅助系统组成的大系统。其中核反应堆是核电厂中的关键设备,好比火电厂中的锅炉,为整个电厂生产提供热源。

核反应堆是以铀或钚作核燃料,可控制一定数量的核燃料发生自持的链式裂变反应,并不断地把裂变能量带出作功的一种装置。反应堆内设置有能实施链式反应的核燃料和可控制核裂变反应速率以达到启动,正常运行,或停堆的控制设备。

在反应堆中不断地进行着如下的核反应:



注: ${}_0^1\text{n}$ 是中子, ν 是裂变反应产生的中子数, X, Y 是裂变产物, 随反应条件不同而有所不同, E 是裂变反应放出的能量。

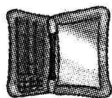
那么反应堆是如何实现反应速率的控制呢? 烧过煤炉的人都知道, 当把炉子下面的通风口关小一点, 使进入炉膛的空气少一些, 火势就会弱下来。如果把反应堆内的核燃料比作是蜂窝煤的话, 那么上面反应式中的 ${}_0^1\text{n}$ 就是空气了。反应堆就是通过控制堆内的中子数量来控制反应速率。正常运行情况下, 反应堆内核反应消耗掉的中子数和产生的中子数相等, 这称为有效增殖数, 也就是 ν 等于 1。此时, 反应堆处于临界状态, 链式反应能以恒定的速率进行。如果这时把控制棒(由能强烈吸收中子的物质, 如镉制成)插进堆芯一些, 中子数减少, 有效增殖系数小于 1, 处于次临界状态, 系统内的核反应速率将随时间不断减小, 链式

反应不能自持。相反地,如果把控制棒拔出来一些,则有效增殖系数大于1,处于超临界状态,系统核反应速率升高,放出裂变能的速率也越来越快。

在反应堆的控制中最注意的就是不能让反应堆老处于超临界状态,否则反应堆的功率越来越大。超过了额定功率以后,反应堆内的裂变热不能有效地被冷却剂带出,就会造成堆芯因温度过高而熔化,酿成恶性事故。

在第一次启动人类自己制造的反应堆时,人们的谨慎小心是可想而知的。为了防止反应堆失控时发生危险事故,紧急停堆用的控制棒一端挂了块重物,另一端用绳子系在栏杆上。有一个人拿了一把斧子站在旁边,以便必要时砍断绳索,使水平放置的紧急停堆用控制棒,能借助于重物的重力,迅速插入堆芯。即使如此,人们仍然担心控制棒由于某种意想不到的原因万一卡住,以致无法进入反应堆。因而还有3个人各拿一桶镉盐站在堆顶,以便一旦控制棒失灵时,将能强烈吸收中子的镉盐倒进反应堆,中止链式反应。

在今天的现代化反应堆中,上述的这种安全保护措施已经远远不适用了。各种先进的监测、控制设备能及时提醒操作人员对不正常情况做出反应,并且能在危险情况下自动把反应堆关闭。



二、主流堆型——压水堆



核反应堆是核电厂的关键设备,反应堆堆型的研究促成了核电厂的进一步发展。从核电厂问世以来,经过 40 多年大量的试验研究工作,以及随着核电厂的商业化和标准化的进展,根据经济、安全和技术上的可行性,逐步形成了目前核电厂中以轻水堆(包括压水堆和沸水堆)、重水堆和钠冷快中子增殖堆为主要堆型的局面。其中压水堆的装机容量占绝对优势。在已运行的 400 多座核电厂中,压水堆就占了 60%;在建的 100 余座核电厂中,压水堆占 76%。目前,我国已建成的两座核电厂——秦山核电厂和大亚湾核电厂也都属于压水堆电厂。

核电厂压力堆是在核潜艇压水堆的基础上发展起来的。所谓压力堆(Pressure Water Reactor)就是指反应堆一回路的水冷却剂的压力很高,一般高达 150 个大气压。因为常压下水冷却剂到了 100°C 就会开始沸腾,对反应堆的运行不利(沸水堆因为结构上的特殊设计,允许一回路冷却剂沸腾)。加大水的压力,使水在 300°C 时仍不产生汽化现象,因而热效率较高。但是系统压力高也给设备带来了相应的要求,对铀资源的利用率较低则是压力堆需要克服的弱点。

压水堆之所以成为主流堆型,是由于它的一系列技术、经济和社会历史原因决定的。压水堆由于采用工业上熟悉



的水作为冷却剂和慢化剂,因而技术成熟、结构紧凑,加上具有广泛的运行经验,使得它在 21 世纪仍有较大的发展前途。

更为重要的是,在目前运行的几种堆型中,压水堆具有较好的自稳特性。我们看到过不倒翁。由于它重心低,当人们企图推倒它时,由于位置变化所产生的重力力矩,使不倒翁又能回复到原来的平衡状态。而一些重心高的物体,当外界的扰动使物体的倾斜超过一定的限度时,由于倾斜引起的重力力矩会使物体进一步倾斜。在不倒翁的例子中,外界扰动引起的变化能使这种扰动产生的效果减弱,使系统恢复平衡,我们称这种情况为负反馈;如果外界扰动引起的变化,使扰动产生的效果加强,系统进一步偏离平衡,我们称这种情况为正反馈。只有具备负反馈的系统才是自稳的。

反应堆是各种矛盾的统一体,其反馈效应复杂得多。压水堆由于种种原因引起的负反馈作用较大,使得它具有自稳特性,这是压力堆作为主流堆型能保证安全的重要原因。而像切尔诺贝利核电厂运行的是只有前苏联才有的石墨沸水堆,它与压水堆的一个显著区别就是,当功率低于满功率的 20% 时,反应堆是正反馈。由于正反馈,当功率扰动时,就容易出现功率陡增。如果处理不当,就会酿成恶性事故。压水堆则总是处于负反馈中,大大地降低了控制系统的复杂性。1986 年的切尔诺贝利事故之所以十分严重,长时间得不到控制,主要就是由于这种堆型有着很多与压力堆不同的特点造成的。