

核爆聚变电站——人类未来能源的希望

彭先觉, 刘成安, 陈银亮, 郭勤,
尹文华, 白云, 陈小伟, 屈明

(中国工程物理研究院, 四川绵阳 621900)

[摘要] 详细介绍了核爆聚变电站的基本概念、组成、发展简史; 提出了解决核爆炸实施安全、烧氘型核装置设计、核燃料生产回收等一系列问题的技术途径; 对电站的技术可行性进行了分析论证, 并比较了各种作为人类未来能源核能方案的前景。

[关键词] 核爆聚变电站; 爆洞; 喷钠; 烧氘型核装置; 核燃料循环

[中图分类号] TL62; TM623 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2008)01-0039-08

1 前言

随着工业化的进程和人口的增长,人类已面临自然资源短缺和环境持续恶化的严重问题,其中尤以化石能源的日益枯竭和大量使用化石能源对环境造成的破坏令人类深感危机的严重性。能源是维持人类现代文明最重要的物质基础。长期以来,科学家们为此作出了艰苦的努力,提出了种种解决能源问题的设想和方案,总的来说利用核能是比较现实的选择。

核能方案可分为裂变能和聚变能两大类。其中,裂变能方案又主要分为热中子反应堆和快中子反应堆。热中子堆主要是以U-235或Pu-239作核燃料,而快中子堆则可实现烧U-238或Th-232。由于受资源的限制,它们都难以实现对人类能源的长期支持。以目前世界商用能源功率15 TW(每年消耗约 1.6×10^{10} t标准煤)和世界可用铀资源量 4.8×10^6 t(按IAEA最新估计,陆地可采铀加现存的铀,铀总量约 4.8×10^6 t。海水中有大量天然铀,每千吨海水中含铀0.15~1.6 g,但提取困难,成本很高)计,热中子堆单独为人类供能的时间不到20 a,快中子堆也不到1 000 a。聚变能方案也分为磁约束和惯性约束两类,前者如托克马克,后者如激光驱动ICF和

Z-Pinch驱动ICF等。但作为商用能源,技术上都还有很长的路要走,即使能走得通,能够维持人类的供能时间也有限,初步估计只有300~400 a,并不如人们所宣传的那么长。因为现有的各种技术途径中都是利用氘、氚聚变反应获得能量。氚是放射性元素,半衰期12.3 a,自然界不存在,主要要用中子轰击Li-6来制备。陆地锂可采储量约 6.0×10^6 t,锂元素中Li-6的同位素丰度为7.42%,故Li-6总量只有 4.5×10^5 t左右,只能生产出 2.25×10^5 t氚。海水中有锂,但海水中含Li-6仅12 g/kt左右,提取成本很高,需消耗的能量很大,用提取海水中的Li-6来实现聚变,能量上将得不偿失。因此还必须探索新的能源途径。这里建议采用核爆聚变电站方案,该方案可把人类能源供给的时间延长至数万年。下面将详细介绍核爆聚变电站的基本概念,并对其可行性作初步的论证。

2 基本概念和电站组成

2.1 基本概念

所谓核爆电站就是利用核装置爆炸释放的能量来发电。而核爆聚变电站所使用的核装置属于“干净型”,即它所释放的能量中聚变能占绝大部分。核装置的设计原理与氢弹基本相同,但它所使用的

[收稿日期] 2007-09-10

[作者简介] 彭先觉(1941-),男,湖南湘潭县人,中国工程院院士,中国工程物理研究院研究员,从事核物理及应用研究

热核燃料是氘而不是氘化锂。烧掉 1 kg 氘，可以获得约 80 kt TNT 当量的能量。氘在水中含量很高（天然水中重水约占 0.015 %），海水中含有的氘达 10^{13} t，可以说是取之不尽用之不竭。核爆能量的裂变部分可以来自 U-233，也可来自 Pu-239。前者由 Th-232 吸收中子而生成，后者由 U-238 吸收中子而生成。因此可以利用地球上的钍和铀来作核燃料，当然必须在爆炸的同时实现钍→铀和铀→钷的转换。地球上钍、铀资源量大致相当，而裂变能仅占总能量的 10 % 或更少，故从核燃料资源看，这种能源方式可以单独支持人类能源供给数万年。

核爆炸的能量是瞬时释放的，而且能量巨大。如何把核爆炸的能量安全地转变成可以利用的热能和电能，是一个技术难度极高的课题。设想中的电站，核装置在一个巨大的洞室（也称爆洞）中爆炸，爆炸之前往洞中喷液态金属钠，并使钠在爆炸时刻在爆炸核装置周围形成一定的分布，钠一方面大量吸收爆炸的能量，同时还可有效降低爆炸冲击波对爆洞壁的作用强度。爆炸后，把加热的钠从洞中抽出，与电站第二回路进行热交换。

电站要持续运行，还必须很好解决核燃料的生产和回收问题。Th-232 和 U-238 要变成 U-233 和 Pu-239 需要中子，若在核反应堆中来生产，其成本将极高，而且要消耗大量 U-235，这从资源上讲是不可能的。故铀、钷核燃料必须由爆炸来生产，并要保证生产的量远大于消耗的量。这一点本身是不难实现的，因爆炸产生的中子很多，只要精心设计就可以达到目标。但是，爆炸产物都混进到大量的液态钠之中，要回收这些核燃料也是一项新的技术挑战。

2.2 电站组成和核爆实施过程

基于上述考虑，设想中的电站应由四部分组成，即爆洞、发电厂、核装置生产厂和核燃料回收处理厂。

爆洞 它的半径 60~80 m，可置于山体内也可置于地下。洞壁内衬一定厚度的防钠腐蚀的不锈钢，在内衬与岩体之间填充耐冲击的预制件。洞内把空气抽掉，充入惰性气体氩，目的是防止金属钠与氧的化学反应。在爆炸的全过程中，爆洞都必须做到很好密封，既防止洞外空气进入，也要防止洞内含有放射性的气体溢出。

发电厂 核爆聚变电站的发电厂原则上与快堆电站的发电厂无异，只是可能要求它的发电能力更大。因为一个爆洞可能具有 1~4 GW 的发电能力。

核装置生产厂 假定：核装置的爆炸威力为

10 kt TNT 当量，电站的热电转换效率为 40 %，则一座 1 GW 电站每天需要爆炸 5~6 个核装置。如果希望电站的发电能力越大，则需要生产的核装置就越多。因此，核装置生产厂必须实行流水生产线作业，必须具备一定的规模。

核燃料回收处理厂 它的任务是回收金属钠中的裂变核燃料铀、钍和钷，气体中的聚变核燃料氘和氚；同时要清除金属钠中的其他杂质，并回收其有用部分，以便核装置制造时再利用；此外也要清除气体中的杂质，包括气体中的放射性杂质，以保持一回路运行中的安全。

由于将来可能把几个爆洞放在一起形成爆洞群，故核装置生产厂和核燃料回收处理厂可以共用。

2.3 爆炸实施过程

爆炸实施过程如图 1 所示：图 1(a)为爆洞及第一回路；图 1(b)为爆炸装置放入洞中；图 1(c)为喷钠，并使钠在洞中形成一定的分布；图 1(d)为装置爆炸；图 1(e)为爆后迅速将热钠放入热介质库，并与第二回路进行热交换，继续喷入一定量的钠，让爆洞冷却。

3 发展简史

20 世纪 60 年代，美国核武器科学家就提出和平利用核爆能的设想。在 LANL 提出的 Pacer^[1-4] 计划中，曾设想氢弹在大盐洞中爆炸，威力 100 kt TNT 当量级。但由于爆炸威力过高，使得工程难度过大，又未提出解决核燃料循环问题的技术方案，可实施性不强，再加政治原因，研究未能继续进行下去。

20 世纪 80 年代末至 90 年代初，美国 LLNL 的 A. Szoke, R. W. Moir 提出了新的和平利用核爆炸能源概念^[5]：爆炸装置威力 2 kt TNT 左右，聚变份额约 80 %^[6-9]，用熔盐作工作介质，并可实现核燃料的循环^[10-14]。该方案具有较强的可实施性，但爆炸核装置主要靠烧氘，且爆炸威力偏小，爆炸次数太多，不能充分显示出核爆炸能方式的优越性；以熔盐作工作介质，由于其熔化温度太高，也会给工程实施带来一定的困难。

前苏联科学家在核爆炸和平利用方面做了大量的工作，比如开矿山、挖运河、增产石油天然气等，为此还进行了 100 多次核爆炸试验。他们在这个过程中还研制成功了一种烧氘核装置。利用核爆炸发电的想法在 20 世纪 70 年代就已提出。到 1997 年俄罗斯技术物理研究院还出版了一本专著《核氘能能源学》，并与包括美国在内的多国科学家交

换过意见。他们宣称，只要政府从政策上支持，实验型爆炸燃烧锅炉方案可以在 5 a 内实现。从分析

他们公布资料看，他们拥有的核装置威力偏大 (25~50 kt TNT)，聚变份额也不算太高。

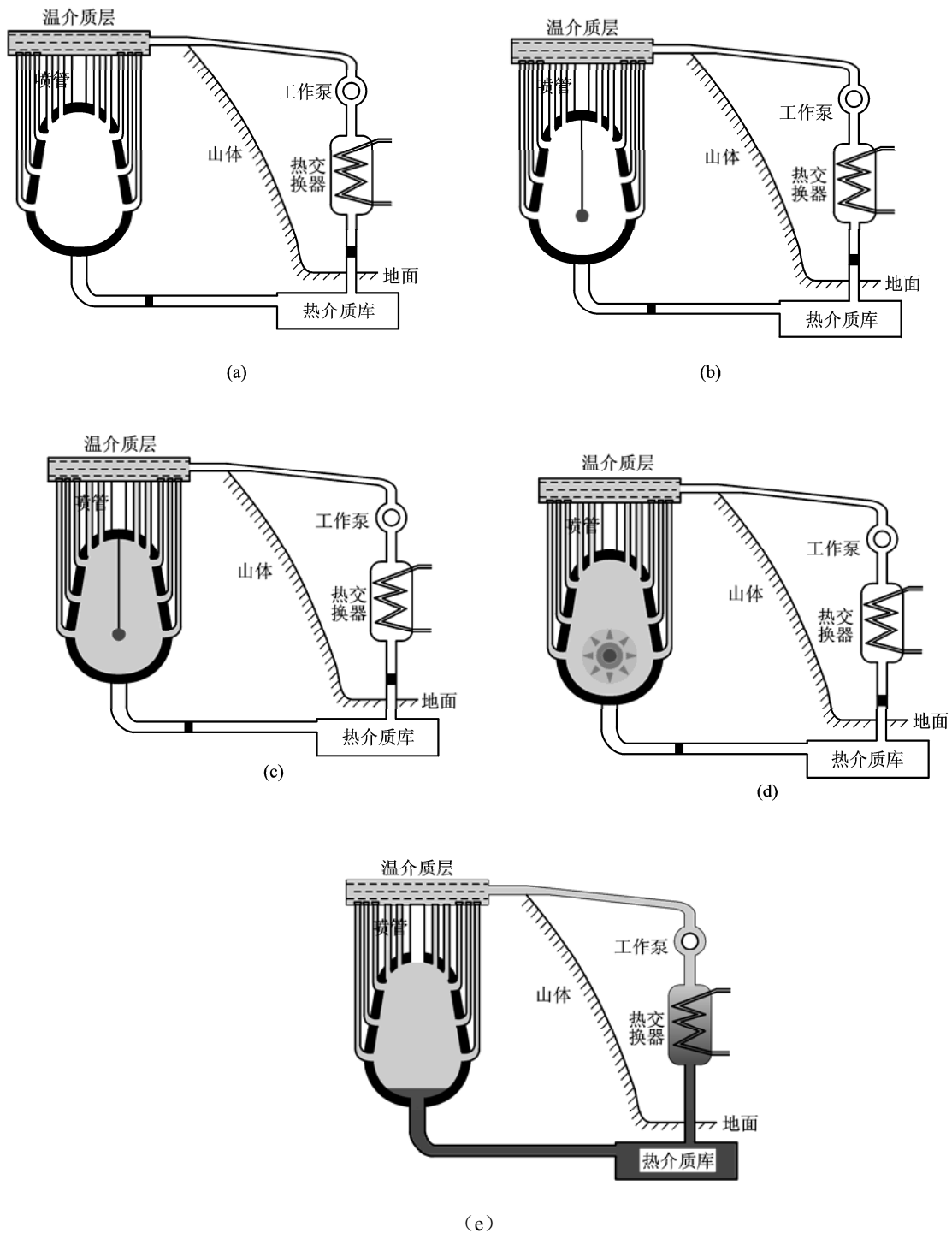


图 1 爆炸实施过程示意图

Fig.1 The sketch map of explosion implement process

1993 年，我国在 A. Szoke 等人的启发下，开始对核聚变电站进行研究并形成了初步概念^[15]。1996 年初在中俄核武器专家讨论“核爆炸和平利

用”会议上作了交流。提出了以液态钠作工作介质，通过喷钠减弱爆炸冲击波对洞壁的作用强度，实现核燃料循环等概念。而《核爆氦能能源

学》的技术途径与我国的概念很相似。近年来，在中国工程物理研究院的支持下又取得了一系列重大进展，形成了系统的概念和较明确技术路线。

4 技术可行性讨论

4.1 爆洞安全问题

4.1.1 爆洞建造要求 为使爆洞能长时间安全运行，并使电站具有较好的经济性，提出其建造要求如下：

1) 有足够的尺寸，能大幅度降低爆炸冲击波对洞壁的作用强度；

2) 洞壁及洞外结构在高温（150~200℃）下仍有足够的强度，并能经受高温钠长期（10 a 以上）的腐蚀；

3) 工程量不宜过大，不能使用太多的非常规材料；

4) 能经受约 100 000 次核爆炸冲击，即要求强度上有较大的安全余量。

4.1.2 工作介质的选择 核爆炸的能量是瞬时释放的，为了能够利用这一能量，必须有工作介质，让其吸收并储存爆炸能量，然后与第二回路进行热交换。在核爆电站中，希望工作介质具有如下性质：

- 1) 熔点低，热容量大，沸点不能太低；
- 2) 不对结构材料造成严重腐蚀；
- 3) 不溶解铀、钍、钚材料，以便于核燃料的回收；
- 4) 容易获得，价格便宜；
- 5) 不产生大量长寿命放射性物质，以利于系统的操作、控制和设备的维修。

经分析，符合上述要求的物质有金属锂和钠，但比较起来，钠更为合适。下面列出钠的主要相关性质：

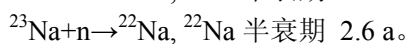
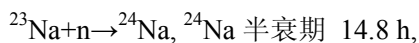
1) 金属钠的熔点是 97.82℃，溶化热为 113.04 J/g，沸点是 881.4℃，汽化热为 3 876.96 J/g。液态金属钠的密度和热容量都随温度 t 变化而变化，其表示式为

$$\text{密度 } \rho = 0.9453 - 0.2241 \times 10^{-3} t \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

热容量

$$C_p = 1.4371 - 5.8065 \times 10^{-4} t + 4.6241 \times 10^{-7} t^2 \text{ (J/g} \cdot \text{°C)}$$

2) 钠的中子反应道



^{23}Na 的高能中子反应截面如表 1 所示。

表 1 ^{23}Na 的高能中子反应截面

Table 1 The reaction section of ^{23}Na with high energy neutron

En /MeV	10	12	13	14
σ_t/b	1.6	1.7	1.7	1.7
σ_{2n}/mb	0	0	3	20

3) 钠与各种材料的相容性。作为工作介质，一个重要问题是它对洞壁和管道材料会不会造成严重腐蚀。有些材料，如镍、铬钢（如 300 号系列的不锈钢和含铌的 347 型不锈钢）等则适宜于在高温钠环境中使用；陶瓷和金属陶瓷有较好的抗钠腐蚀的能力；铀、钚等材料基本不溶于钠，即不会与钠形成合金，这一性质对铀、钚等材料的回收十分重要。

此外，钠在空气中会燃烧，因而爆洞中应把空气完全抽掉，换成惰性气体 Ar。

4.1.3 实现爆炸安全的主要技术途径 确定的主要技术途径如下：

1) 爆洞半径 60~80 m，洞高 180~200 m，洞壁内衬厚度 10 cm 左右的钢壳（钢壳内层应为耐钠腐蚀的不锈钢，如 304 钢）；在钢壳与岩体之间，填充钢与水泥或钢与岩石等制成的预制件，以增强爆洞的抗冲击强度，并有效减少钢材用量；

2) 爆炸之前，往洞中喷液态金属钠，并使钠在核装置周围形成一定的分布，吸收爆炸能量，以期大大减弱爆炸冲击波和核辐射对爆洞壁的破坏。

3) 爆炸后以较快的速度（20 min 内）放出爆炸形成的高温钠（700~800℃），并存放热介质库（见示意图），然后慢慢抽出与第二回路进行热交换；同时继续喷钠，把爆洞温度降低至 200℃ 以下，以使爆洞在下次爆炸时有足够的结构强度。

4.1.4 核爆炸作用在爆洞壁上的冲击波强度 选爆炸威力为 10 kt TNT 当量。在乔登江所著《核爆炸物理概论》一书中，列出了 1 kt TNT 当量核爆炸在离爆心不同距离上的冲击波超压强度 p_1 ，而冲击波超压基本正比于爆炸威力，数据见表 2。

4.1.5 爆洞壁在冲击载荷作用下的物理图像 用 LS-DYNA 程序对爆洞壁在冲击载荷作用下的物理图像进行了模拟计算，假定洞的半径为 R ，钢壳厚度为 δ ，钢壳外为 2 m 厚的水泥，水泥外为岩石，如图 2 所示。

表 2 冲击波强度随距离变化

Table 2 The law of shockwave strength on the variation of distance

R/m	40	50	60	70	80
p_1 /Mpa	6.35	3.3	1.47	1.26	0.89
p_{10} /Mpa	63.5	33	14.7	12.6	8.9
$p_{反}$ /Mpa	381	198	118	76.8	53.4

表中： R 为爆洞半径， p_1 为1 kt爆炸在 R 处产生的超压， p_{10} 为10 kt爆炸在 R 处产生的超压， $p_{反}$ 为10 kt爆炸冲击波在洞壁上反射后形成的压力， $p_{反} = ap_{\lambda}$ ，对单原子气体而言， $a = 6$ 。

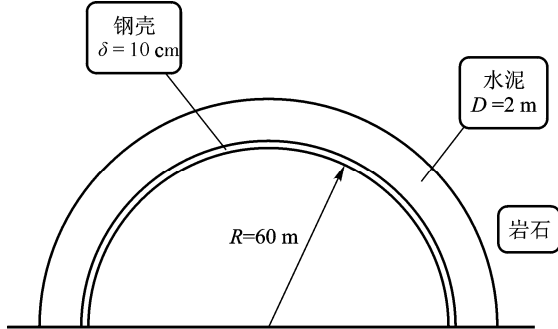


图 2 爆洞结构示意图

Fig. 2 The sketch map of explosion cavity

计算了几种工况，其计算结果见表 3。

表 3 冲击波作用于爆壁计算结果

Table 3 The calculation result of explosion wall under shock loading

工况	R/m	δ /m	$P_{反}$ /GPa	钢杨氏模量/MPa	钢内径 向应力/MPa	水泥内 应力/mm	水泥位 移/mm
1	60	0.1	80.3	60	76.07	14.0	10.39
2	60	0.1	80.3	150	76.00	14.0	10.34
3	60	0.2	80.3	60	75.60	12.5	9.95
4	60	0.1	8.03	60	7.69	1.8	3.69
5	80	0.1	36.4	60	34.67	5.0	5.91
6	80	0.1	3.64	60	3.41	0.8	2.44

从结果看，水泥中的应力比钢壳中的应力要低几倍，这主要是冲击波由钢进入水泥时阻抗变小所致。

为了提高水泥的抗冲击能力(主要是位移引起的横向拉伸断裂)，把它作成块状预制件，如长方体，长方体尺寸为 0.5 m × 0.5 m × 2 m，两端可为 0.5 m × 0.5 m × 0.01 m 的钢板或铝板，中间用钢柱支撑，如图 3 所示。当然，也可把水泥换成花岗岩制

块或其他介质，其强度性能将会更好。显然，这种结构没有横向断裂问题，在径向又有很好的弹性，估计能经受多次爆炸的冲击(这可以由实验室实验来验证)，而且即使有损坏，也便于修复更换。

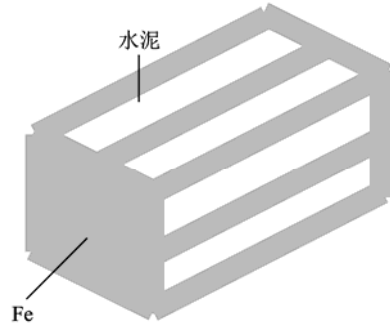


图 3 抗冲击波预制件示意图

Fig.3 The sketch map of the impact-proof prefabricated components

4.1.6 喷钠对减弱冲击波强度作用的定性研究 为此，模拟计算了一个一维球形简化模型，其初始状态为

模型结构	0 (Na)	15 m (空气)	60 m (钢)	61 m
密度/ $g \cdot cm^3$	0.6	0.001 25	7.85	
温度/K	2 000	300	300	
质量/t	8 470	1 113		
能量/t TNT	2 200			
压力/MPa	433.5			

模型中，洞的半径是 60 m，钠区半径 15 m，并假定已完全汽化。由于 8 470 t 钠的汽化热约为 7.8 kt TNT 当量，故此模型实际加入的能量约 10 kt TNT 当量。汽化后的钠，视之为单原子气体。由流体力学程序计算出的结果如下：

t_s /ms	r_s /m	p_s /MPa
7	30.3	3.50
10	35.9	3.14
15	46.0	2.65
20	52.7	2.35
25	60.0	10.0

冲击波在 25 ms 时刻到达洞壁处并反射，压力由 2 MPa 左右上升至 10 MPa。如果选爆洞半径为 80 m，则反射冲击波的强度将降至 4~5 MPa，这比不喷钠时要小一个量级以上，也比水泥预制件能承受压力要小一个量级。由此可以看出，让钠汽化是非常重要的。要使有足够的钠气化，则与喷钠方式(如钠最好呈雾状或雨滴状，以及钠在空间的分

布等)有关。

4.1.7 喷钠可能性估计

1) 钠的喷入量估计

令爆炸威力为 10 kt TNT, 要求爆炸时有 50% 的能量转化成钠的热能, 则每次爆炸需喷入钠约 25 kt。由于爆炸后还需喷入一定的钠, 一方面为了降低爆洞温度, 另一方面要让大量被气化的钠凝固, 加上管道中循环的钠, 总的用钠量将达 40~50 kt。

为了减少喷钠量或更大地减弱爆炸冲击波的强度, 应设法使较多的钠汽化。

爆炸瞬时钠分布于核装置周围还有一个重要作用, 就是防止爆炸产生的热辐射和中子对洞壁的直接作用。

2) 喷入可能性估计

令钠柱喷高 60 m, 则液钠从下到上再从上到下所需时间约 7 s, 喷的初始速度约 35 m/s, 以此可估计出在 7 s 时间内喷出钠 2×10^4 t 左右(希望有 5 000 t 以上被汽化)所需的喷口面积约 80 m²。若每个小喷口为直径 2 mm 的圆孔(小喷口是为了获得小液滴), 则需要的小喷口数约 2.6×10^7 个。取一个圆柱形喷头内径 30 cm, 长 1.5 m, 在朝上面积部分, 令孔的面积占 1/5, 则每个喷头的喷口面积约为 0.015 m²。故需喷头总数约 5 000 个。假定爆洞半径 80 m, 每米一个喷头, 则一圈可放约 500 个, 总共需放 10 圈。当然, 在洞的上部还可以布置足够多的喷头。因此, 要在爆炸前 7 s, 以雨滴状喷出 2×10^4 t 的钠, 这在设计上是完全有可能的。

总的来看, 当选取核装置的爆炸威力 10 kt TNT, 爆洞半径 80 m 时, 在采取了种种措施之后, 完全有可能把作用在爆洞壁上的冲击波强度降至 10 MPa 以下, 把爆洞的最大位移(即弹性振动的振幅)控制在 5 mm 以内。因此, 爆洞是安全的, 而且将会有足够的安全余量, 并能经受得起多次核爆炸的冲击。

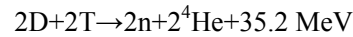
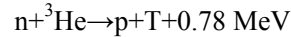
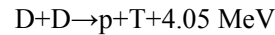
4.2 烧氘型核装置

用于电站的核爆炸装置作用有三: 放能、生产核燃料、消除长寿命核废料。

首先, 核装置应是聚变份额大于 90% 的“干净型”氢弹。其目的: 一是大大减小放射性特别是长寿命放射性物质的生成量(长寿命放射性物质主要来自重核裂变); 二是要尽可能地延长人类的供能时间。从我们探索研究的情况看, 在总威力 10 kt TNT 的条件下, 可以实现烧氘, 且可做到裂变威力 ≤ 1 kt

TNT。这种装置不必用 Li-6 造氘就可实现氘的循环和增殖。实现烧氘, 这只有在核爆炸装置中才能做到, 因此烧氘是核爆聚变电站最为重要的优势。

烧氘核装置中主要发生的核反应如下:



整个反应过程, 消耗 6 个氘核, 放出 43.3 MeV 能量和 2 个 14.1 MeV 高能中子。

烧氘型核装置的一大特点是产生的中子数特别多。一次 10 kt TNT 级的聚变放能, 同时可释放出约 1.2×10^{25} 个高能中子。原则上不能让大量的高能中子逃出弹体而进入钠中, 否则, 高能中子将会与钠原子核发生 (n, 2n) 反应, 生成大量的长寿命 Na-22(半衰期 2.6 a), 这对爆洞和第一回路的安全运行是很不利的。必须把这些中子很好地利用起来, 其中最最重要的就是要利用它来生产核燃料。已找到一种方法, 可以把中子的利用率提高至 40%~50%, 即一次爆炸可生成约 2 kg 的 U-233 或 Pu-239。而一次爆炸本身消耗的铀或钚仅 50 g 左右, 因此核爆聚变电站除提供能源以外, 还可以大量生产核燃料。所生产的核燃料可供同等功率的 4~5 个热中子电站来用, 这将大大延长热中子反应堆能源方式的生命期。

在核装置使用上, 更倾向于走铀—钍—铀循环的路线。这样电站中将不会有钚产生, 也不会由于钚的强化学及放射性毒性而带来电站运行的困难。更重要的是铀—钍—铀循环还可对核燃料回收和核装置的生产带来极大的便利。

最后, 也可利用核爆炸产生的大量中子来处理长寿命放射性同位素, 这一方面将使电站本身不会有大量长寿命放射性核产生, 减少电站对环境可能造成的不利影响; 另一方面也可以用来处理核反应堆生成的核废料。

4.3 核燃料回收

核爆电站需回收的分别是气体燃料氘、氚以及固体燃料铀、钍和钚等。

4.3.1 气体核燃料的回收和氦的净化

气体燃料回收的方法有二, 一是冷冻法, 二是金属吸附法。所谓冷冻法, 就是爆后将洞中气体抽出, 冷却至氦的液化温度以下, 此时只剩下氦和氢的同位素为气态, 很方便加以分离。金属吸附法, 是利用某些金属如

Ti, LaNi₅, U, Zr 等的吸氢特性,把氢的同位素与其他气体分离开来。这些方法都很成熟,主要是工程实施问题。什么时候对爆洞气体进行净化和核燃料回收,需根据爆洞中氘、氚及放射性气体的浓度来定。

4.3.2 固体燃料的回收和钠的净化 固体燃料回收的方法可基本与快堆钠净化方法相同。核爆炸后,铀、钍、钷等元素将混入钠液之中,但它们不与钠形成合金,因此冷却后将逐渐沉淀下来。可以在温介质流经的管道和温介质库中对沉淀物进行收集,然后送至后处理工厂进行元素分离(可用高温精炼法)。与核电站的核燃料后处理回收相比,核爆电站的回收由于放射性较弱,并可连续进行,因而实施起来将更容易。

在固体核燃料回收时,还可以利用爆炸使钠气化的现象。由于钠的气化温度低,不到 1 000 °C,钍、铀、钷等气化点则高至 4 000 °C 以上。故当钠气化时,其他金属还是固态或液态,造成了钠与其他金属的分离,气态钠会在空中停留一段时间,固态或液态金属则会较快地沉降至洞底。这也为提取核材料提供了方便。

5 结语

经过上述的分析认为:

1) 核爆炸在一定条件下也是可控的,关键是条件的创造。现代技术完全可以实现对 10 kt TNT 级核爆炸进行有效的控制。

2) 核爆聚变电站物理上可行。目前来看,采用现有成熟技术,就可以解决爆洞的安全、高性能核装置的设计制造、核燃料的生产和回收等一系列问题,也不需要许多特殊材料,工程上也没有重大障碍,初步估计造价与一般核电站相当。因此,它将是一种最为现实的聚变能源。

3) 与未来的磁约束或惯性约束电站相比,它物理上直观、技术简明、易于控制、利于实施,具有更好的商业价值。同时可以烧氘,供能时间成量级增加。

4) 与快堆相比,它的聚变份额达 90 % 以上,能充分利用钍及天然铀资源,能够在万年甚至更长的时间内充分满足人类对能源的需求。同时,它不像快堆要受初始核燃料量的制约,可以较快形成能源规模。

5) 可以利用核爆炸产生的大量中子来生产核

燃料和进行核废料处理,能够更好地发挥热中子堆的作用。

6) 能源对社会经济的发展十分重要。核爆电站是清洁能源,可大大减少对环境的污染和影响。有了充足的电能和热能,就会有充足的氢能和干净的水,人类就可以在地球上长期生存下去。

7) 该设想主要受制于核不扩散条约。但中国是能源消耗大国,如果能实现能源自给自足,在国际上应该受到欢迎,而且此项技术对人类未来有重要意义。

8) 能源问题是制约中国发展的大问题,是十分重要的战略问题。我国应尽早筹谋,走出一条自主创新、自主发展的道路。

参考文献

- [1] Engineering with Nuclear Explosives [A]. Proc.3rd Plow-share Symp [C]. Oak Ridge,Tennessee; TID-7695,U.S>Department of Energy/office of Scientific and Technical Information, 1964
- [2] Hubbard H W,et al.Project PACER Final Report [R]. RDA-TR-4100-003, R&D Associates,1974
- [3].Hammond R P,et al. Practical fusion power [J]. Mech.Egn, 1982,104:34
- [4] Seifritz W. PACER:A grand design for fusion power [J] Fusion, 1980,4:22
- [5] Ralph W.Moir. Pacer revisited [J] .Fusion Technology ,1989, 15 : 1114~1118
- [6] Szoke.A and Moir,R.W. A realistic,gradual and economic approach to fusion power [J].Fusion Technology, 1991,20:1012
- [7] Abraham Szoke ,Ralph W.Moir. A practical route to fusion power [J].Technology Review , 1991,20~27
- [8].Sahin S, Sarer .Assessment of the neutron leakage spectrum of an enhanced radiation warhead for peaceful applications [J].Kerntechnik , 1993,5:58
- [9] Charles J, Call, Ralph W.Moir. A novel fusion power concept based on molten-salt technology: PACER revisited [J]. Nuclear Science and Engineering 1990,104:364~37
- [10] Sahin S,Moir W. Neutronic investigation of a power plant using peaceful nuclear explosives [J]. Fusion Technology,1994,26: 1311~1324
- [11] Steven J.Piet. Approaches to achieving inherently safe fusion power plants [J] Fusion Technology ,1986,10: 7~30
- [12] Sebahattin Unalan and S.Orhan Akansu. Neutronic and thermal analysis of a peaceful nuclear explosion [J]. Reactor , 2003,43 :110
- [13] Sebahattin Unalan and S.Orhan Akansu .Determination of main reactor parameters for FLIBE(Li₂BeF₄)cooled peaceful nuclear explosive

reactors(PACER) [J]. The Arabian Journal for Science and Engineering , 2004,291A:27

[14] Selahaddin Orhan Akansu and Nafiz Kahraman .Investigation of neu-

tronic performance of a peaceful nuclear explosive reactor(PACER) evaluating UF₄ and ThF₄ nuclides [J] Sadhana , 2004,29:401

[15] 彭先觉, 朱建士. 物理 [J],1997, 26 (8) :48

Nuclear Explosion Fusion Power Plant—the Hope of the Mankind Future Energy

Peng Xianjue, Liu Cheng'an, Chen Yinliang, Guo Qin, Yin Wenhua,
Bai Yun, Chen Xiaowei, Qu Ming

(*China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China*)

[Abstract] In this article, the basic concept, constitution and brief development history of nuclear explosions fusion power plant are introduced. A series of technique is put forward to solve the implementing safety of nuclear explosion. The design of deuterium-type nuclear device and the reclamation of nuclear fuel are put forward. The technique feasibility of power station is analyzed, and the prospects of all kinds of nuclear energy project to provide energy for the mankind in the future are compared.

[Key words] nuclear explosion fusion power plant; explosion cavity; spray Na; burn-deuterium-type nuclear installation; nuclear fuel cycle