

有很深的造诣,对重大关键技术问题的解决、大型工程方案的决策、指挥及组织实施发挥了重要作用。50年代末,在我国涉及火箭技术相当多的学科和技术领域都处于空白状态下,他主持突破了液体战略导弹控制系统的仿制和改型设计难关,解决了远程、多级火箭的液体晃动、弹性弹体稳定、级间分离及各种制导、稳定方案的理论和工程技术问题,使我国液体战略导弹控制技术达到了新的水平。70—80年代,在没有任何外国实物和资料可借鉴的情况下,以独立自主、自力更生的精神,主持研制我国第一个潜地和地地固体机动战略导弹并获得成功,突破了水下发射、三轴稳定平台在运动基座上的调平及瞄准、导弹射击诸元的适时计算和装订、陆上机动车的研制及冷发射、高海情下导弹出水大姿态控制等一系列关键技术。

程开甲 (1918—) 核武器技术专家,中国科学院院士。现任中国人民解放军总装备部科技委顾问。

我国第一颗原子弹研制的开拓者之一,我国核武器试验事业的创始人之一。在国内第一个计算出原子弹爆炸的弹心温度和压力,其内爆机理研究解决了原子弹的关键问题,为原子弹爆炸威力、弹体结构设计提供了重要依据。他创建了核试验研究所,成功地设计和主持了首次原子弹、氢弹、导弹核武器和增强型原子弹等不同方式的几十次核试验,推动了核武器设计、改进和试验技术协调发展。他是核试验总体技术的设计者,及时提出了向地下核试验方式转变的建议并在较短的时间里组织实现了大气层试验向平洞与竖井试验的转变。也创立我国自己的系统核爆炸及其效应理论,为我军的核武器应用奠定了基础。开创了核爆炸的测试研究,对武器的研制及改进、效应及其防护研究起到重要作用。开创了抗核加固技术新领域并完成首次抗加试验。

彭桓武 (1915—) 物理学家,中国科学院院士,皇家爱尔兰科学院院士。1947年回国后任中国科学院近代物理研究所研究员、副所长,1972年任中国科学院高能物理研究所副所长,1978—1983年任中国科学院理论物理研究所所长。现任中国科学院理论物理研究所研究员。

领导并参加原子弹、氢弹的原理突破和战略核武器的理论研究、设计工作。在中子物理、辐射流体力学、凝聚态物理、爆轰物理等多种学科领域取得了对实践有重要指导意义的一系列理论成果,并为中国核事业培养了一批优秀人才。

(以上姓名按笔划排序)

* 大科学工程 *

开发聚变能 造福全人类

——HT-7 和 HT-7U 超导托卡马克核聚变实验装置

万元熙*

(等离子体物理研究所 合肥 230031)

摘要 核聚变能是最理想的清洁新能源。等离子体研究所已建成的中国第一个、世界第四个超导托卡马克 HT-7 核聚变实验装置,其上实验研究取得了重大进展,并正着手建设国家“九五”重大科学工程 HT-7U 大型超导托卡马克装置。在实际使用纯聚变能之前,建造托卡马克型的稳态聚变-裂变混合堆,是发展我国洁净核能系统的重要一步。等离子体研究所将为聚变能的开发及其前期利用做出贡献。

关键词 核聚变,超导托卡马克,聚变-裂变混合堆

1 核聚变能是最理想的清洁新能源

能源是社会发展的基础。迄今为止,化石能源一直是人类主要的一次性能源。化石燃料储量有限,随着社会的发展,能源消耗将急速上升,预期 200 多年后,整个人类将面临一次性能源枯竭的危机。此外,化石燃料是宝贵的化工原料,如仅用做燃料,资源的利用极不合理,还对环境造成严重污染。

核聚变可释放出巨大能量,太阳的巨大能量就是来源于核聚变反应。氢弹的成功爆炸表明,在地球上通过氘氚聚变也可释放出巨大能量。氢的同位素氘存在于海水中,储量十分丰富;氚可从锂不断再生,锂在地球上的储量也十分丰富。如果实现可控热核氘氚聚变反应,这一新能源至少可供人类使用数十亿年。聚变过程不产生二氧化碳和二氧化硫等有害气体,也不产生长寿命的放射性废物,反应产物是无放射性的惰性气体氦,因此,聚变能将是人类实现可持续发展最理想的清洁而又取之不尽的新能源。

2 磁约束聚变研究在托卡马克装置上取得了突破

聚变反应需要数亿度的高温条件,在极高温下所有物质都变成完全电离的气体——等离子体。利用强磁场可以约束带电粒子的特性,构造一个特殊的磁容器,在容器中将可聚变燃料加热至数亿度高温,将实现聚变反应。磁约束聚变研究的最终目标,就是建成聚变反应堆。经

* 等离子体物理研究所所长,研究员

收稿日期:1999 年 9 月 29 日

过国际聚变界近 60 年的不懈努力,磁约束聚变已在托卡马克类型的装置上取得了突破性进展:

(1)聚变燃料已可被加热到 2 亿—4 亿度的高温。在日本最大的托卡马克 JT-60U 上表征聚变反应率的最重要参数,温度 \times 密度 \times 能量约束时间(即聚变三重积)已达到 $1.5 \times 10^{21} \text{Kev} \cdot \text{M}^{-3} \cdot \text{S}$ 。这一重要参数在过去 20 年内提高了 1 万倍,目前离聚变堆的要求只差 20 倍左右。

(2)在美国最大的托卡马克 TFTR 和欧洲的 JET 上,峰值聚变输出功率已分别达到 10.7 兆瓦和 16.1 兆瓦。与此同时,观测到了相当可观的 α 粒子加热效应。靠 α 粒子加热,聚变堆才能自持燃烧。

(3)表征聚变输出功率(获得)和装置的输入功率(消耗)之比的 Q 值在 TFTR 和 JET 上已接近 1,在日本的 JT-60U 上等效 Q 值已超过 1,达到 1.25。

上述突破性进展表明,建造托卡马克聚变堆的科学可行性已被证实。托卡马克领先于所有其它途径(包括惯性约束聚变)至少 20—30 年,它最有可能率先建成聚变反应堆。

3 超导托卡马克已成为磁约束聚变研究的前沿领域

上述突破性进展都是在普通托卡马克脉冲放电条件下获得的,由于脉冲运行和约束效率低,装置十分庞大,在普通托卡马克的基础上不可能建成高效、安全和经济的托卡马克商用聚变堆。超导托卡马克可以实现稳态运行,特别是具有非圆小截面的超导托卡马克,不仅可以实现稳态运行,还可在稳态运行条件下进行改善约束的研究。因此,建造超导托卡马克并在其上进行稳态先进托卡马克商用聚变堆物理和技术基础的研究,已成为当今磁约束聚变研究前沿领域。

4 我国超导托卡马克 HT-7 的实验研究取得重大进展

从 60 年代开始,世界上已建成了近百个普通托卡马克。但直到 1980 年,俄罗斯库尔恰托夫研究所才建成世界上第一个超导托卡马克 T-7;随后,法国的 Tore-supra、日本的 Triam、俄罗斯的 T-15 三个超导托卡马克相继建成。除 T-15 由于经费等原因一直没能正常运行外, Tore-supra 和 Triam 不仅成功运行,而且在物理实验研究方面也不断取得重大进展。这说明超导技术可以用到以稳态运行为目标的大型托卡马克装置上。

1990 年,俄罗斯库尔恰托夫研究所表示,愿意将已完成工程试验任务的 T-7 超导托卡马克赠送我所。我所决定接受 T-7 装置,并计划把它改建成适合做物理实验的超导托卡马克 HT-7。这一决定得到了科学院的批准。等离子体所的科技人员,连续奋战了近四年,仅用 1 500 万元事业经费,就完成了该装置的全部搬迁和改建。随后几年,又克服重重困难,不仅使 HT-7 能稳定地运行,而且物理实验研究取得了重大进展:

(1)建成国内最大的低温液氮系统,实现了大型超导托卡马克装置连续数月稳定运行的最佳纪录;

(2)通过一系列改进和调试,特别是等离子体控制技术的改进,实现了长达 5.7 秒国内最长的长脉冲放电;

(3)实现了托卡马克等离子体电流完全由低混杂波驱动并稳定维持时间长达 3 秒的国内最好纪录;