

我国工程物理学的历史篇章

——为中国工程物理研究院建院 50 周年而作

杜祥琬

(中国工程院 北京 100088)

1 历史的回眸

工程物理一词源于苏联. 半个多世纪前, 原子能科学技术是一个敏感的领域, 苏联学者用工程物理来称呼原子能这个领域. 这一表述在学科上也是有道理的, 原子能是以核物理为核心, 又包括相关工程技术的一个大科学领域.

新中国的原子能事业, 最有标志性的源头是 20 世纪 50 年代中央关于研制核武器的决策. 在这一决策下, 启动了有关的工业项目和科学研究, 1958 年组建了我国的核武器研究院, 现称中国工程物理研究院. 回眸过去的 50 年, 值得用历史的眼光对我国核武器事业的意义进行再认识, 从中国历史发展的轨迹来认识它的战略地位. 大家知道, 中国古代的历史曾经很辉煌, 经历长时间封建社会后落伍了. 19 世纪至 20 世纪多国列强入侵, 中国人经历了深重的灾难, 战争连绵不断. 1820 年, 中国的国民生产总值(GDP)曾占全世界的 1/3, 而 1949 年, GDP 只占 4%, 100 多年间大大落后了. 在这样的情况下, 新中国站起来了, 但是很脆弱, 刚刚打完朝鲜战争, 国内经济非常困难, 脚跟还没有站稳.

在这样一个历史背景下, 中央为什么决策搞核武器? 现在回头重新认识, 它是中国由衰败走向振兴、从受人蹂躏走向独立自主的历史性决策, 是中国发展史上非常重要的战略步骤. 由支离破碎的旧社会走向新社会, 新中国面临生存问题; 而我们要从经济上强大起来, 路程很漫长. 当时, 有的大国对中国不止一次进行核讹诈、核威胁, 扬言“要对中国动用核武器”. 中国要站稳脚跟, 必须有一定的国际地位! 中央经深思熟虑后决定搞核武器, 是国际战略大背景下意义重大的政治决策.

在这个历史大背景下, 有了核武器研究院的建立. 核武器的发展和成功是中国由衰败到振兴的一个里程碑. 50 年的努力, 我国的核武器事业有了很大的发展, 在建国 15 周年时, 1964 年成功爆炸了第一颗原子弹, 从中央决策到研制成功只用了 6 年时间; 又经

两年零两个月, 成功进行了氢弹原理试验, 成为在比较短的时间里成功掌握核武器的国家. 中国有了一个受人尊重的地位, 从历史作用上看不但站起来了, 而且也挺起了腰杆, 这是件意义深远的事. 接着我们又通过次数有限的核试验, 独立自主实现了核武器的小型化, 掌握了中子弹设计技术, 研制成功多个型号的导弹核武器并装备部队, 走出了一条中国特色的核武器发展道路.

我国核武器的成功有着双重意义: (1) 我们掌握了核武器, 成为核国家, 提高了国际政治地位, 这是它本身的意义; (2) 更深远的意义是, 核武器在那样困难的情况下做成功, 大大增强了中国人的自信心. 中国人完全可以靠自己的力量干成大事, 咬紧牙关许多困难可以克服. 几百年受人凌辱的中国人, 因此大大增强了对自己国家的信心. 2000 年, 中国工程院组织国内 600 位专家评选了 20 世纪中国 25 项最重要科技成果, “两弹一星”评为第一位, 定为中国历史上最有标志性的成就之一. 还需要提及的是, 我国发展核武器的“一点几方针”非常英明, 要做成但决不多做. 美苏核武器做得太多了是个包袱, 我们只搞一点, 花钱不多, 掌握了此技术, 又没对国家经济建设造成影响.

这个事业是全国支援的结果, 特别是人才支援. 当年从全国调进精兵强将到院内工作, 如从中国科学院和高等院校调人. 一大批从事核地质、核材料、核试验场建设、核试验测量的人们为事业奉献了青春乃至终身; 还有原子能院等单位在基础研究方面作出了贡献. 50 年的事业, 靠全国大协作, 靠几代人的努力, 是集体智慧的结晶; 更多的是无名英雄, 这是时代的特色. 其实各核大国都有这样一批人, 有名无名地在历史上留下深深而坚实的脚印. 我曾题词给战友们: “草原山沟戈壁, 留下坚实足迹, 中华富强史册, 写入浓重一笔”, 概括了这支优秀队伍干成的事业.

很多好东西都是逼出来的, 外国人告诉你, 你自己必须搞成. 中国人只要有统一的意志和决心, 发挥聪明才智, 完全可以创造条件完成国家交给的重任. 当年的院、所领导多半只有 30—40 岁, 但在我们眼里已是老专家了. 他们带领刚出校门的年轻人工

作,干起来并干成了核武器。“自主创新”这个词在这几年用的比较普遍,那时已是大家的实际行动了,只有靠“自主创新”,才能找到路子,才能做成核武器。

献身核武器事业的几代人,把个人的前途、命运与祖国的兴衰紧密地联系在一起,不仅创造了载入史册的业绩,而且创造了与这一伟大事业相称的“两弹精神”这一宝贵精神财富:“爱国奉献、艰苦奋斗、协同攻关、求实创新、永攀高峰”。而“铸国防基石、做民族脊梁”十个内涵深刻的大字,已成为这支队伍的文化 and 代代传承的价值观。

2 学科的内涵

20 世纪初叶,物理学取得了革命性的进展,其中也包括对原子、原子核、质能关系、核裂变等原创性的发现,为原子能(核能)的应用奠定了基础。由于时代背景的原因,核能的知识首先被用于制造原子弹,为此,还必须突破诸多的关键技术问题^[1],例如:可裂变材料的选取和制备(分离);确定实现链式裂变反应所必须的裂变物质的最小体积(临界体积)或临界质量;达到临界与裂变点火的技术途径;高能炸药研究,爆轰物理规律及其精确的时空控制;将流体力学、中子核物理等耦合在一起的全过程数值模拟计算方法,相应的整套物理参数,以完成物理设计;核部件与非核部件的加工,材料相容性研究及结构工程设计;核试验的方法,核试验诊断理论与测试技术等。

核聚变放能是氢弹的物理基础。但要制成氢弹,还必须在原子弹成功的基础上,创造性地解决一系列困难的问题,例如:必要的热核燃料(如氘和氚或锂等)的制备;两个轻核的聚变不同于中子轰击重核实现裂变,它必须克服库仑位垒,为此需解决如何利用原子弹爆炸的能量产生高温、高压来点燃聚变材料,并使之自持燃烧;掌握辐射输运的规律、辐射流体力学及高温高密度等离子体物理、相应的状态方程、高剥离度原子物理参数等;还必须利用适当的材料和巧妙的构形实现热核爆炸。特殊效应的核武器(如中子弹等)还需进行特殊的设计,这里不再赘述。

综上所述可见,核武器是物理学的基础研究成果转化为应用成果的范例,是物理学与工程技术紧密结合的成功范例。这里说的物理学,涉及到核物理、原子物理、流体力学、辐射流体力学、爆轰物理、等离子体物理、反应堆物理与技术、加速器物理与技术、材料科学、凝聚态物理、结构力学、光学、计算物理与计算数学等,涉及到的工程技术还包括核地质、核材料制备、化学化工、核电子学、光电子学、核测试技术、精密机械加工、自动控制、核试验工程、脉冲功率技术等。所以,核武器的成功是多学科的科学、工程技术专家、系统工程

领导者和管理人员们集智攻关、大力协同的结果。

工程物理学还应该包括核动力(如核潜艇中)的应用和意义重大的原子能的和平利用,特别是核能发电所涉及的大量研究工作。首先是已为洁净能源作出贡献的基于核裂变反应堆的各类核电站,也包括处在前期研究阶段的受控热核聚变能的研究,以及其他核工程技术应用,这可以由一个专门的篇章来展开,本文从略。

总之工程物理学是一个以实现核能应用为主要目的的交叉学科领域,是基础学科与工程技术合奏的交响乐,是 20 世纪人类最有标志性的科学技术进展之一。

在工程物理学的发展历程中,物理学起着明显的引领作用,而工程技术不仅直接创造生产力(战斗力),而且还有着反哺物理学的作用:开拓了新的研究疆域,造就了新的极端研究环境,提供了新的研究手段,从而深化着物理学的研究。例如,核爆炸造就了一个极端物理环境:瞬时的快变的高温高密度等离子体和混合辐射场。核武器物理的研究揭示了高温高密度等离子体的某些特有规律,如随着热核反应的发展,开始时的“平衡点火”,会发展成“非平衡燃烧”,即可以出现离子温度与电子温度的分离,氘核具有离子温度 T_i ,它可远远大于电子温度 T_e 。和辐射温度 T_R ,而热核反应率 $\langle \sigma v \rangle_{DT}$ 是按照 T_i 起反应的,需要用“三温方程”描述这个时候的状态。在一定条件下,辐射场本身也可能是非平衡的,需要从理论上和诊断上弄清“非平衡燃烧”发生的条件,才能进行正确地设计和分析试验结果。再如,一般情况下,可用线性的波尔兹曼方程来描述中子输运过程,但在发生剧烈热核聚变的区域和时间内,聚变产生的高能中子密度极高,达到可与核密度相比较的程度,中子之间的碰撞已不可忽略,于是提出了非线性中子输运方程及其解法。

半个多世纪的核武器物理和工程发展的过程中,还形成了一个新兴的交叉学科——高能量密度物理学。广义地说,“高能量密度”是指能量超过 10^{11} J/m^3 ,或压力超过 1 兆巴,温度超过 400 eV,电磁场强度超过 $3 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$ 的物质状态。而在核武器物理领域,“高能量密度”特指温度超过 10^3 eV ,压力超过 10^7 atm ,高密度的物质状态,这是核爆状态的典型物理环境。进行高能量密度物理研究的装置包括激光惯性约束聚变装置、基于脉冲功率技术的 Z 箍缩装置和研究流体动力学与辐射流体力学的长脉冲(几微秒)功率装置(如美国的 Atlas)。研究的内容包括:材料特性研究(如物态方程、辐射不透明度等);可压缩流体动力学(如高马赫数流、强冲击波现象和高速压缩效应);辐射流体力学(特别是超高

温流物质);惯性约束聚变点火;天体物理(如 γ 射线爆发、超新星爆炸现象)等.这是利用工程技术建设的大科学平台进行物理学基础性研究的典型.

核武器的发展和围绕核武器的国际政治斗争还催生了军备控制的物理学研究.20世纪中叶,美、苏的核军备竞赛,使人类面临核战争的威胁.60年代后期,美、苏核力量的相对平衡又起着相互制约、遏制大战的作用,于是他们在军备竞赛的同时,也把核裁军谈判作为政治斗争的工具.冷战结束后,两个核大国拥有的庞大核武库成为沉重的包袱,关于军备控制的谈判空前活跃起来.无论是禁止核试验条约的谈判、防止核扩散的谈判还是裁减核弹头的谈判,都涉及到大量的科学技术问题.80年后期,中国科技工作者开始进入核军备控制领域,并进行了专门的研究;特别是各种军控条约的核查技术,涉及到核辐射探测、中子物理学、核材料与核弹头的识别、核爆炸的鉴别等物理与技术问题,以及与核武器有效性有关的弹道导弹防御技术、空间武器的控制及应对核恐怖等深层次的问题.

3 新时代的创新发展

在核禁试条件下,保持我国自卫核威慑能力的有效性,根本出路在于加强自主创新能力的建设.为此,中国工程物理研究院实施了核武器的研究重点和研究方式“两个转移”的发展战略,为提高核心竞争力,采取了一系列的措施^[2]:(1)是把工程研究、理论研究和基础性研究结合起来,而且更注重基础性的研究,通过这些现代化的研究手段,支持发展高置信度的数值模拟能力;(2)是把实验和理论结合起来,通过实验研究,为数值模拟、理论研究提供一系列重要参数;(3)是把工程研究和掌握物理规律、研究内在机理结合起来,在提交工程设计报告或实验报告的同时,提供数字仿真计算的分析结果,并对结果作出科学预测.

在新的世纪,国际大国进行了军事战略调整,20世纪是“核霸权”,21世纪是“双霸权——核和非核,核威慑加空间威慑”,军事大国企图让我们处在它的威慑之下.我们必须保卫自己国家的独立性,保持有限核力量的有效性,除核武器外要有一些非核手段,这就是高技术的含义.“863计划”21年发展的历史说明,我们的战略方向选择的很对很准确.

为适应新世纪新形势的要求,工程物理研究院提出了建设“三个基地、一个体制”的新蓝图:建成国际一流的核武器研制与相关科学技术研究基地;国内领先的高新技术武器研制与相关科学技术研究基地;科技领先的军民两用技术产业化促进基地;建立起制度不断完善、机制不断创新的更高水平的军民

结合新体制.为此,对学科发展进行了重大战略调整,建成冲击波物理与爆轰物理实验室、高温高密度等离子体物理实验室、计算物理实验室、强辐射实验室、强激光技术实验室、表面物理与化学实验室等重点实验室和若干军转民工程技术中心,为推动基础研究、应用基础研究、预先研究、军民两用技术研究和人才培养发挥着重要作用.

战略高技术是我国、也是中国工程物理研究院20世纪末开拓的新科技领域,21世纪初更加显示出它的重要性.这也是一支科技队伍不断创新的体现,创新是单位的生命力和价值所在.为国家不断作贡献,不断有新的队伍成长,才能不辜负国家对我们科技工作者的培养.20多年来,由于坚持不懈的奋斗,从理论到试验,从技术到工程,都取得了里程碑意义的重大进展.

高技术的发展,是新时代的特征.我们要继承“两弹一星”精神大力协作,还要善于竞争又善于协同,因为新时代已是“市场经济”年代.作为国家级研究院,首先要着眼国际竞争,面对国际竞争要有思想高度,我们要走到世界的前列,这不只是一个单位的利益,也只有这样才能团结国内多个单位和人才一起干事业.中华民族的历史走到了新的振兴时期,高技术是国家利益的体现,下一步要上新的台阶,谱写新的篇章.开拓高技术领域,是国家的需要,也是中国工程物理研究院自身发展的需要和责任.

展望事业的未来:(1)要在核武器方面不仅保持它的有效性,而且不断有新的认识,储备新的能力.一旦国家需要时,这个领域里有高水平人才继续为国家做工作.现在实验室工作多一些,虽不像当年核试验显示度高,但学科上更加深入更加专业,有点静悄悄的味道.不忙于试验,坐下来进行更深入的研究,更有利于培养人才,继续在核领域保持高水平;(2)在新开拓的高新技术领域,团结全国的专家,继续取得突破进展,创建新的实用的工程技术和装备;(3)从核到高技术的科学技术储备,都对国家经济建设有着重要意义.做好“军转民”,服务于解决国家可持续发展的瓶颈问题.

事业的发展要有大的战略思维,有新的构建;在开放时代有新的创新,不仅是科学技术的创新,也要有管理体制和文化精神上的创新.

参考文献

- [1] 杜祥琬.物理,2005,34:480[Du X W. Wuli(physics),2005,34:480(in Chinese)]
- [2] 赵宪庚,张克俭.国防科技工业,2008,特刊:28[Zhao X G, Zhang K J. Defense science & technology industry, 2008 (Supp):28(in Chinese)]