

弘扬两弹精神 铸就神光之魂

师智全

张惠鸽

聚变是指两个轻核子结合成中 Z (原子序数) 核, 同时释放大量的能量。聚变释放能量的大小由著名的质能方程 $E=\Delta m_0c^2$ 决定。其中 E 、 Δm_0 、 c 分别为聚变释放的能量、质量亏损和光速。核聚变放能是宇宙能源的主要来源之一, 太阳就是

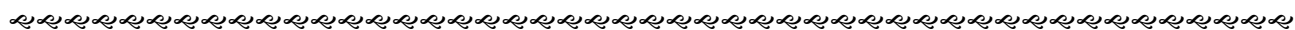


以其巨大的轻核聚变, 源源不断地为地球送来宝贵的能源。而聚变反应又分为可控聚变反应和不可控聚变反应。我们知道要发生聚变反应, 第一步必须使轻核处于等离子体态, 即进入物质第四态。等离子体是一种充分电离的、整体呈电中性的气体。在等离子体中, 由于高温, 电子已获得足够能量摆脱原子核的束缚, 原子核完全裸露, 为核子的碰撞准备了条件。第二步必须使轻核处于高温状态, 因为只有等离子体的温度达到几千万甚至几亿摄氏度时, 原子核才能克服斥力聚合在一起, 彼此才可频繁碰撞, 产生大量聚变。第三步如果还能保持等离子体足够的密度和足够长的热能约束时间, 这样聚变反应就可以稳定地持续进行, 这种可以人为参与进行等离子体温度、密度、约束时间控制的热核反应就是可

控热核反应。而诸如氢弹爆炸瞬息之间发生, 反应顷刻之间完成的核聚变, 是人们无法控制的, 这种不可控制的瞬间能量释放只会带来灾难。因此必须实现可控核聚变, 解决能源危机。

目前实验室研究实现可控核聚变主要采用两种方式。磁约束聚变和惯性约束聚变。磁约束聚变主要依靠强有力的磁场将低密度、高温等离子体约束足够长时间以使氘氦等离子体达到核聚变反应需要的时间。惯性约束聚变则是利用高功率激光(或粒子束)均匀辐照热核燃料组成的微型靶球, 极短时间内靶丸表面在高功率激光的辐照下会形成包围靶丸的高温等离子体。等离子体膨胀向外喷发的反作用力会产生极大的向心聚爆压力, 这个压力约相当于地球上大气压的 10 亿倍。在这么巨大的压力作用下, 热核燃料被压缩到极高密度和极高温度(相当于恒星内部的条件), 引起氘氦燃料的核聚变反应, 反应释放能量与驱动内爆的能量比为增益, 只有增益大于 1 时, 惯性约束聚变才可能有实用价值。通常我们把由激光驱动的惯性约束聚变称为激光聚变。

与神经和关节的依存关系, 以及颈部脊椎、小器官、毛细管的功能深感兴趣。他同时还被齿轮和杠杆所吸引, 这些都是他许多机器草图的重心, 包括早期脚踏车、直升机、起重机、自动旋转烤肉叉、自动车, 以及像弹弓、飞弹、多管机关枪、手榴弹、追击炮或甚至现代坦克前身等武器的原型。



他对当时是动力主要来源的水很着迷, 导致他设计出先进的水车、蒸汽动力大炮, 以及测量大气湿度的仪器。他也构想出漂浮的雪鞋, 让人在水中行走; 可漂浮的救生用具; 在水底攻击船只, 使其沉没的装置; “不会沉的”双壳船, 以及清理海湾和运河的挖泥船。

1513 年, 他的健康状况逐渐走下坡, 于是搬到罗马居住。3 年后, 他担任法国弗朗西斯国王(一

个超级的崇拜者)的首席画家、建筑师和技师。1519 年 5 月 2 日, 达·芬奇病逝于法国 Cloux, 享年 67 岁。

达·芬奇在他的时代是一个异数, 他强调直接观察、反复测试的科学研究方法, 而这一直到 19 世纪仍是研究科学的主要原则。例如, 他进行鸟飞翔的系统研究, 并试图将其应用在他所设计的飞行器上。就此而论, 达·芬奇可以说在否定科学、高度迷信的中世纪时常以哲学而非科学方式来解决科学问题, 与后来世代的经验主义之间建立起沟通的桥梁。

(本文转载自 2008 年 4 月《物理双月刊》, 网址: <http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/index.php>; 萧如珀, 自由业; 杨信男, 台湾大学物理系, Email: snyang@phys.ntu.edu.tw)

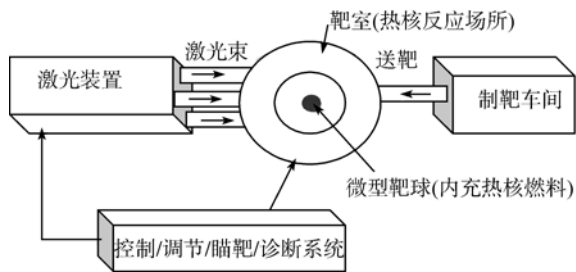


图1 激光聚变四个不完全独立系统组成

激光聚变最大的优势是将驱动部分（激光器）和聚变反应堆部分在空间上分离开来，由于两部分功能不同，所以空间上分开、互不干扰。这样各部分就可单独加速发展。体现在核聚变研究领域就是可以独立发展微球制靶和加工技术、激光驱动技术。而激光装置用于提供满足要求的空间分布和时间波形的脉冲式激光束能量，并把该能量作为驱动内爆的输入能量。

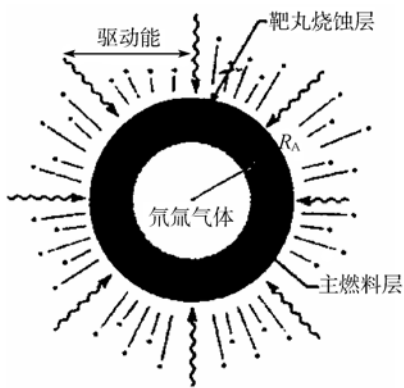


图2 激光驱动下的微型靶球

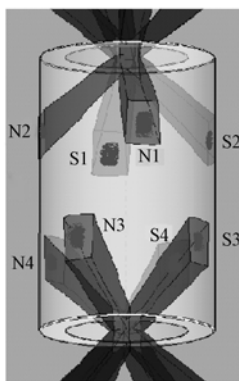


图3 腔靶中激光弹着点分布

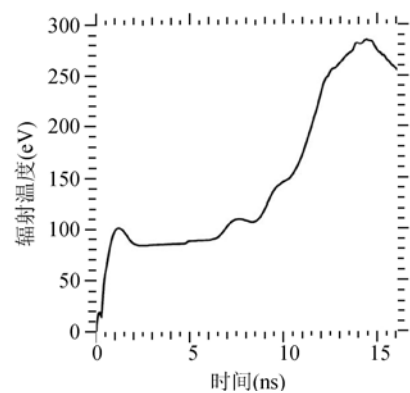


图4 激光整形脉冲下辐射温度时间演化

导，系统研究了激光惯性约束聚变的基础理论，并结合核武器物理与工程技术发展的要求，不断推进激光聚变研究，并与上世纪 90 年代根据其自身国防发展的要求，制定了国家点火装置（NIF）的研制计划，试图在实验室创造近似核爆的极端条件，在禁核试条件下继续开展相关研究，确保其核大国的地位。

十年浩劫带给国内的满目疮痍却使理论设想在先的激光聚变研究走在了发达国家之后。十年动乱结束后，我国奋战在激光聚变研究领域的科学家们在王老思想理论的指导下，充分学习国外激光聚变技术的先进理论知识，借鉴其建造激光装置的先进经验，先后在国内建立了一系列激光装置：上海“六路装置”、星光、星光、神光，并在激光惯性约束聚变领域取得了一系列研究结果，但这些装置输出能量和功率距离需要仍存在较大距离。而预计

图 1 所示为激光装置、反应堆、制靶、辅助设备四者之间相互作用发生核聚变反应的流程图。激光装置提供整个反应过程所需的驱动能源，该能源是核聚变反应发生的必要条件。图 2 为微型靶球在激光驱动能作用下的结构示意图，图 3 为八束激光同时入射腔靶的弹着点分布。图 4 则为激光整形脉冲下，黑腔辐射温度的时间演化图。

由上可知，离开激光装置，激光聚变反应根本无从谈起。因此很长一段时间在研究发明激光器。而在人类第一台激光器问世不久，苏联科学家、诺贝尔奖获得者 Basov 院士在 1963 年和我国著名物理学家王淦昌院士于 1964 年，先后独立提出了用高功率激光实现聚变的设想，由此揭开了人类激光聚变研究的序幕，也使我国在这一领域研究中站在了时代的前沿。然而，十年动乱使我们耽误了宝贵时间。以美国为首的发达大国，以 Basov 院士的思想为指

2010 年投入使用的神光系列激光驱动器的研制与建设无疑于将加强我国在相关科学领域的研究步伐，将持续增强我国在新时期的国防实力。神光系列激光驱动器的研制与建设也是我国迈向国际激光惯性约束聚变领域前沿的重要一步。

直面困难 逆水行舟

2000 年，中国工程物理研究院激光聚变研究中心（以下简称中心）承担了神光原型装置的研制任务。神光高功率激光驱动器是一项技术密集、研制规模大、投资强度高、建设周期长、工程风险高的大型科学工程。其研制与建设分为两个阶段进行：第一阶段集中国内优势单位与专家，在解决主要关键技术的基础上，研制神光原型装置，为神光主机装置的工程建设提供必需的科学技术与工程支撑。第二阶段完成神光主机工程建设。第一

阶段的原型装置是一台设计输出八束激光、脉冲能量高达万焦耳的高功率激光驱动器，同样也是连接关键单元和系统技术预研与神光 主机装置工程建设必不可少的关键环节，具有“承上启下”的重要意义。承担着全面演示、考核神光 主机装置的关键技术与元器件、服务于我国核武器物理实验的光荣任务。原型装置具有输出峰值功率高、结构复杂、规模巨大、精度极高的基本特点，研制如此庞大与复杂的科学装置，在我院及我国都尚属首次，因此必需的科学技术基础和研究性科学工程的组织管理都是装置研制过程中必需解决的基本问题。

他山之石、可以攻玉，承传辟新、重在创新。中心在原型装置研制项目启动初期，就按院领导与资深专家的要求，研究确定了“任务目标牵引、科技进步推动”，以及“任务目标牵引、任务实施与能力建设并举”的基本思路，始终把研究、解决原型装置主要科学技术与工程问题放在首位，始终坚持外学 NIF、内学神光（即神光 激光装置）。

同时中心以学习、吸收、借鉴神光 装置的工程与技术经验为起点，多批次派出年轻的科研人员参与神光 激光装置总体集成调试和实验，强化培训大科学工程项目的实战经验。中心还在认识和了解国际高功率激光科学技术发展的基础上，不断客观地认识自我，认清自身的发展状况，强化了整个团队对高功率激光科学技术与工程问题的认识和理解。在学习、吸收、消化和再创造过程中，培养了一批擅于学习、勤于学习的科研技术骨干，为神光装置的建设奠定了基础。

承传创新 挺胸亮剑

当今世界，层出不穷的高新技术壁垒逐步取代了以往的经济壁垒，发达国家对我国从事国防建设高端技术引进，更是层层设卡。核心技术是买不来的，必须靠自己的能力，去攻关、去突破，去承传、去创新。

在神光 原型装置研制过程中，中心科研人员面对各种困难敢于亮剑，克服了一道道技术难关，谱写了中国高功率激光驱动器发展史的新篇章。中心深入研究并掌握了以“方形光束+组合口径+多程放大技术”为主要标志的第二代高功率激光驱动器总体技术路线。中心系统研究了第二代高功率激光驱动器的核心与关键技术，并成功应用于原型装置，全面奠定了设计、建设、运行和维护第二代高

功率激光驱动器的科学技术与工程基础。中心突破了 300mm 方形口径、高性能光学元件的一系列制造技术与工艺，既支撑了原型装置工程研制，又为进一步完善第二代高功率激光驱动器光学元件研制与批量制造体系建设提供了宝贵经验。……太多艰辛难以述清，太多奋斗难以表达，他们凝练出中心不畏艰难、勇于攀登的决心和意志，凝练出神光人的不屈之魂。

创业小成 再谱新篇

神光 原型装置研制历经 8 年风雨路程，终于研制成功。为党和国家交上了一份完满答卷。如今回首，喜悦犹然。



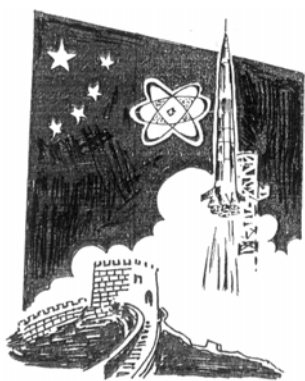
图 5 神光 原型靶场

2003 年 9 月 30 日是值得中心人难忘的日子，我们完成了神光 原型装置工程主体部分的建设，实现了装置首束通光；12 月 3 日实现了首束出光，达到项目预定的阶段目标，并于 12 月中旬顺利通过了 XXX 主题阶段评估，为后续工程建设奠定了坚实基础。

2004 年在系统研究并解决一系列相关科学技术问题的基础上，实现了基频光全面达标目标，3ns 最高能量输出 3.7kJ/束，1ns 最高能量输出 3.0kJ/束，实验验证了原型装置总体设计方案的可行性和合理性。在三倍频实验过程中群策群力，基本解决了“类+ 类”三倍频技术方案的实时调整技术问题，初步验证了技术方案的可行性，实现了国内 1.2kJ/束三倍频最高能量输出。

2005 年是“十五”最后一年，全体职工克服重重困难，出色完成了“十五”任务。八束三倍频激光出光和全系统低通量试运行，标志着神光 原型装置工程建设全面完成。

2006 年，中心全面完成了神光 原型装置总体



艰辛之路 辉煌之绩

——贺神光Ⅲ原型装置^①达标验收通过

张惠鸽

物理之域，原子分子，冠以结合，性质迥异，故成以万千变换。

物态世界，以众所知，不外乎三，固液气者，微观辨之，亦难逾原子分子之界。然等离子体，虽界乎其中，秉性之现，超乎常理。分子分解，原子剥离，质量不减，然脾性大变，故谓其物质第四态。

富饶之蜀，清秀之域，科学之城^②，聚变中心，英才齐聚。纳院士、正研、高工、技师之文韬武略，选博士、硕士、本科、中职之多谋智策，达为共识，乃众心齐归，众望所向之受控激光核聚变^③。然聚变之精华无外等离子体之研究。等离子体者，贵为物质第四态，虽具运筹帷幄之势，尚需燎原之力。原型装置，应运而生，取天时之利，集人和之气，聚众之睿智，历八年有余，赫然而立。输近万焦之能，限纳秒之脉宽，八路齐打，共聚靶丸，靶之尺寸，针尖之限。此类指标，何以得验？以求国家之信。

聚变物理，理论在先，计算模拟，反复论证。以其高能，聚焦靶丸，定使物质离化，金属靶丸，当成第四态之状，等离子体也。然物质作用，机理无尽，玄机无穷，聚变产物，携其奥妙，四散而开。以理论之证，测产物之性，若二者相合，装置性能达之。

然言之轻松，理之在道，测之谈何之易？粒子

射线，眼不见踪，形不见影，躲闪折转，无以触及。然世之道，奇异之物，以奇招降之。诊断物理，乃为之而生，而诊断之人，为之而备。数米之巨型靶室，360度范围，经纬分之，凿以大小之孔，以备诊断之用。诊断之人，集思广益，出谋划策，遂成方案。联袂靶场，化为行动，此端安放相机，彼端架设谱仪^④，中间悬挂 CCD，即便飞檐走壁、上天入地，以当在所不辞。测试之法，更为缜密，远离现场，保护身体，穿沟走线，屏蔽间里。虽射线无影，借助材料之利，加以转换，化无为有，捕其影迹。图像传递，波形跃起，数据在线，决胜千里。借设备之力，得射线之形、粒子之迹，输入程序，以校核之，方知装置之性能也。

数据之佳，以显研究之先；而原型之成^⑤，以彰国力之强！吾等之辈，虽历尽道路之艰，然见辉煌之绩，亦当无尽之喜。

（四川省绵阳市中国工程物理研究院激光聚变研究中心 621900）

①目前我国惯性约束聚变领域（ICF）最大的激光器装置，位于四川绵阳科学城激光聚变研究中心。

②四川省绵阳市科学城。

③所指的是激光惯性约束聚变。

④用于物理量测量的诊断设备，透射光栅谱仪等。

⑤神光 原型装置与 11 月中旬通过国家验收，激光器各项指标达到预期目标。

联调，实现了三倍频光穿孔率 95% 以上，约 1.2kJ/1ns/3ω 单路达标任务和八路出光目标，八路激光中最高能量达 2.4kJ/3ns/3ω，验证了八束激光到靶的输出能力。

2007 年 8 月 20 日，中心在神光 原型靶场(图 5)开展了首轮物理实验，实验结果表明，神光 原型装置激光发射能量和靶场瞄准与激光注入基本稳定，已具备充分的物理实验能力，对“十一五”物理研究起着十分重要的作用。

2007 年 11 月 22 日~23 日，神光 原型装置圆满通过国家验收，各项指标达到标的要求。

原型装置的验收达标，实现了我国高功率激光驱动器总体建设水平由“望洋兴叹”到“望其项背”的跨越；实现了我国高功率激光驱动器科学技术与工程研究由“跟踪模仿”到“局部创新”的转变！中国人第一次在国际 ICF 研究领域展示了自己的宏伟蓝图。

（中国工程物理研究院激光聚变研究中心 621900）