

我国激光惯性约束聚变实验 与诊断技术早期研究历史

王传珂^{1,2,†} 江少恩¹ 丁永坤¹

(1 中国工程物理研究院激光聚变研究中心 绵阳 621900)

(2 中国工程物理研究院惯约实施管理中心 绵阳 621900)

Early history of experimental inertial confinement fusion and diagnostics in China

WANG Chuan-Ke^{1,2,†} JIANG Shao-En¹ DING Yong-Kun¹

(1 Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

(2 Management Center of Inertial Confinement Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

2013-05-26收到

† email: wck1981@caep.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20140205

摘要 文章回顾了我国激光惯性约束聚变(ICF)领域实验与诊断技术的早期研究历史,介绍了ICF实验与诊断研究工作从学习调研、跟踪模仿到自主研制设备、综合实验等方面的艰苦历程。文章可以弥补我国ICF领域在实验与诊断方面科技史研究的空白。

关键词 历史, 惯性约束聚变, 实验, 诊断技术, 中国工程物理研究院

Abstract The early history of China's research on experimental laser inertial confinement fusion (ICF) and diagnostics technology is reviewed. The long and difficult path started from scratch, from learning the basics, looking up the literature and copying experiments, to independent research and development of comprehensive experimental facilities. This article fills a gap in the history of China's ICF experimental and diagnostics research.

Keywords history, inertial confinement fusion, experiment, diagnostic techniques, China Academy of Engineering Physics

1 引言

20世纪60年代激光器问世不久,前苏联科学家巴索夫(N. G. Basov, 1922—2001年)和我国科学家王淦昌分别独立提出了利用激光实现实验室核聚变出中子的设想,从而开创了激光惯性约束聚变(ICF)研究领域^[1-4]。20世纪70年代以

后,ICF在世界范围得到广泛重视,美、法、俄、英、日、德、印等国先后实施了具有国家目标的ICF研究计划。特别是美、法、俄、英等核大国对ICF研究投入了大量的研究经费,所确定的近中期目标是实验室模拟核武器物理研究,远期目标是聚变能源研究。美国于1997年4月启动了国家点火装置(以下简称NIF)的建造,并于

2009年完成了NIF全装置联机调试,实现了192束输出;法国在Phebus上进行了多年研究以后,与美国进行广泛合作,开展了兆焦耳激光装置(简称LMJ)的建造,原计划2012年建成,现尚未建成;俄罗斯也提出了建造高功率固体激光装置ISKRA-6计划。

我国ICF研究工作从上世纪60年代起步,主要在四川绵阳的中国

工程物理研究院(以下简称中物院,其前身又称九院)和上海嘉定中国科学院上海光学精密机械研究所(以下简称上海光机所)开展。四十余年来,我国相继在上海和四川建设了星光(星光-I、星光-II)和神光系列(神光-I、神光-II、神光-III原型)激光装置,并开展了大量物理实验,取得了一系列国际水平的研究成果,推动了中国激光科学技术和等离子体物理研究的快速发展。

陈崇斌等在文献[5]中对上海光机所激光惯性约束核聚变的探索历程进行了回顾,但文章主要集中在激光驱动器的研究历史方面,对中国激光聚变实验和诊断历史未作深入研究;范滇元等在文献[6]中回顾了国外激光聚变近50年来的发展历程,评述了聚变物理与高功率激光驱动器的研究进展;江少恩等在文献[7]中介绍了国内自2000年以来的ICF实验研究以及诊断技术研究的进展,但也未对ICF早期实验和诊断研究作回顾评述。本文介绍了1964年王淦昌提出激光聚变基本概念以来,国内在ICF实验与诊断方面的早期(1964—1984年)研究历史,回顾了ICF实验与诊断工作从概念提出、文献调研、设备研制到综合实验的相关历史,以期弥补中国ICF实验与诊断方面早期研究的历史空白。

2 ICF原理的提出

ICF是利用激光或激光(Z箍缩装置等)产生的X射线作驱动源,均匀地作用于装填氘氚燃料的微型球

状靶丸外壳表面,形成高温高密度等离子体,利用等离子体向外喷射产生的反冲压力,使靶壳向心快速运动,压缩氘氚主燃料层到极高密度,在氘氚芯部区域形成高温高密度热斑,达到点火条件,在高温高密度核燃料飞散之前,进行充分的燃烧,放出大量聚变能。

1964年,诺贝尔物理学奖授予三位对发现激光做出贡献的科学家。当时王淦昌¹⁾正在从事原子弹的研制,他注意到激光强度高、方向性强这些特点,便设想如果把激光和核物理两者结合起来,应该发生新的有趣的现象。经过深入思考,1964年10月4日,王淦昌撰写了《利用大能量大功率激光射器产生中子的建议》一文。文中写到:“我们认为,若能使这种光激射器与原子核物理结合起来,发展前途必相当大。其中比较简单易行的就是使光激射与含氘的物质发生作用,使之产生中子……至于利用这种核作用的方法,是否有进行一种新型的可控制热核反应的可能性,暂不在此讨论”。

1964年12月,王淦昌遇到上海光机所从事高功率激光研究的邓锡铭²⁾,就把自己的设想告诉了邓锡铭,并把这篇论文交给了他,以指导他们开展这项研究工作。邓锡铭非常高兴,认为“这是实现激光应用的一条重要路子”。王淦昌指出的研究方向,给上海光机所从事高功率激光器研制的科技人员很大的鼓舞,并很快得到中国科学院副院长、党组书记张劲夫的赞成和支持。这样,在王淦昌的倡导下,中

国激光惯性约束聚变领域的初期预研工作就起步了。

当时,由于保密原因,研究人员并不了解国外科学家在该领域做的一些工作,若干年后他们才知道,1964年,前苏联科学家巴索夫和美国科学家道森(J. M. Dawson, 1930—2001年)^[8]公开发表了激光加热等离子体的论文,提出了类似的设想。应该说,王淦昌是独立于美苏科学家提出用激光打靶实现核聚变的科学设想的,并亲自在我国组织力量开展这个领域的研究。他是世界激光惯性约束聚变研究的奠基人之一。

1965年,上海光机所的研究人员建立了第一台铍玻璃四级行波放大装置,功率输出达到 10^8 W,激光束在空气中传播时,形成了空气电离的电火花串。研究人员利用这台激光器进行了最早的ICF实验探索,第一次观察到从靶面发出的X射线穿过铝箔,使照相底片感光。这在国际上属最早的实验成果之一。

九院在核试验测试中,对核武器物理和武器动作过程获得了较全面的认识。1967年3月,九院实验部31室在一次讨论中,提出利用激光技术获得高功率密度能量在实验室进行核爆模拟的想法(由于保密和地理位置等原因,31室并不知道王淦昌已经提出了利用大能量大功率激光射器产生中子的设想)。经过多次讨论,31室逐步形成了用类似核爆产生的激光等离子体产生高压和高温辐射,并在实验室进行“核爆模拟”的设想。1967年11月,31室组建了“激光核爆模拟研究”课

1) 王淦昌(1907—1998),江苏常熟人,1907年生,核物理学家,中国科学院学部委员(院士),两弹一星功勋奖章获得者。

2) 邓锡铭(1930—1997),广东东莞人,1930年生,光学、激光专家,1993年当选中国科学院学部委员(院士)。

题组, 开始进行探索。1968年1月, 受31室主任唐孝威³⁾的委托, 王乃彦⁴⁾在春节回北京探亲期间, 将激光核爆模拟的初步设想写成简单的书面意见转给了九所于敏⁵⁾, 很快这一工作得到了于敏的积极支持。同时, 31室派人到上海光机所了解大功率激光器的研制情况。遗憾的是“文化大革命”和当时九院的搬迁工作延缓了九院惯性约束聚变研究工作的进度, 后继工作没有多大进展。

3 ICF 实验与诊断的前期探索

1972年, 美国里弗莫尔实验室(LLNL)科学家纳科尔斯(Nuckolls)第一次公开发表惯性约束内爆的论文。此后激光惯性约束聚变在世界上引起了广泛关注。各大国都投入了相当规模的财力和人力进行激光惯性约束聚变的研究。在此情况下, 31室的科技人员进行了激光惯性约束聚变及其潜在军事用途的调研, 并得到了九院领导王淦昌、邓稼先⁶⁾、陈能宽⁷⁾等人的支持。1972年11月, 九院副院长王淦昌致信国防科委副主任朱光亚⁸⁾, 强调激光聚变用于核聚变工作的重要性。1973年2月, 九院二所派人去九所学习, 调研辐射输运及开展激光核聚变的可能性。同年6月, 九院二所组织编写了“激光聚变用于核爆

模拟的初步调研和设想”上报九院。同年8月, 全国激光重点规划会把激光聚变列为国家重点规划。

与此同时, 1973年, 在王淦昌的指导下, 上海光机所邓锡铭带领研究团队研制成功我国第一台输出功率为40 J/4ns的单路兆瓦钨玻璃激光驱动器, 并首次利用该装置照射冰氘靶产生了中子, 实现了ICF研究的突破性进展。1974年, 采用多程放大构形的大口径片状放大器, 上海光机所研制出新型的大型单路激光系统, 使激光输出功率又提高了一个量级, 达到 2×10^{11} W, 激光打靶实验的中子产额也提高了一个数量级, 达到 2×10^4 个。

1974年8月, 在当时承担热试验物理测试任务的九院二所203室, 成立了激光核聚变课题组, 华欣生⁹⁾任组长。由于热试验任务繁重, 这个课题组长时间仅停留在文献调研、相关知识的学习和一些论证准备工作的会议上。直到1977年, 课题任务调整到204室, 才迅速发展起来。

1976年4月, 九院一、二、九所在北京交流对激光核聚变工作的认识, 讨论了激光核聚变工作的必要性和近3年开展理论和实验工作的规划设想, 对核聚变研究的必要性、方向与目标提出了较明确的看法, 最后形成了“激光聚变学术交流座谈会纪要”。1977年5月, 方正知¹⁰⁾、卢登贵、华欣生等去上海光

机所进行激光核聚变交流并讨论有关协作事宜。

经过多年酝酿与反复讨论, 在国防科工委的关怀与九院院所两级领导的直接推动下, 核聚变研究开始实施。1977年7月, 九院副院长邓稼先、高潮, 研究决定204室2组由原来的微观参数测量工作, 转向激光聚变物理实验与诊断研究工作。8月, 九院召开激光核聚变讨论会和工作会议, 李凤祥院长主持, 邓稼先、陈能宽、高潮、胡仁宇¹¹⁾等参加会议。会议决定九院开展激光核聚变工作, 并就理论、诊断和制靶等工作的分工进行了初步安排。会后, 一、二、九所分头予以组织落实, 九所承担理论研究, 二所承担筹建驱动源、制靶、物理实验和诊断。

就这样, 九院科技人员在王淦昌和于敏等人的推动下, 开始组织科研人员从理论和实验两方面, 探索利用激光惯性约束聚变产生高温高压条件开展极端条件下物理过程研究的可行性。经过一段时间的探索, 王淦昌一方面更清楚地认识到这领域研究的重要性; 同时也对国内的现状感到不甚满意。当时, 国内从事高功率激光研究的主要是上海光机所的科研人员, 上世纪70年代末, 上海光机所建成了六路钨玻璃激光系统。而从事等离子物理理论研究和诊断、实验工作的九院科技人员, 远在四川安县的二所。激

3) 唐孝威(1931—), 江苏无锡人, 原子核物理及高能物理学家, 1980年当选中国科学院学部委员(院士)。

4) 王乃彦(1935—), 福建福州人, 核物理学家, 1993年当选中国科学院学部委员(院士)。

5) 于敏(1926—), 河北宁河人, 理论物理学家, 中国科学院学部委员(院士), 两弹一星功勋奖章获得者。

6) 邓稼先(1924—1986), 安徽省怀宁县人, 核物理学家, 中国科学院学部委员(院士)。

7) 陈能宽(1923—), 湖南省慈利县人, 金属物理学家, 中国科学院学部委员(院士), 两弹一星功勋奖章获得者。

8) 朱光亚(1924—2011), 湖北省武汉市人, 核物理学家, 中国科学院院士, 中国工程院院士。

9) 华欣生(1936—), 核物理学家。

10) 方正知(1918—), 安徽桐城人, 实验物理学家。

11) 胡仁宇(1931—), 浙江江山人, 实验物理学家, 中国科学院学部委员(院士)。

光工程人员和物理实验人员过去几乎没有联系，对彼此的工作互相不了解。研究人员过于分散，研究目标过于发散，研究经费少得可怜，进展缓慢，收效甚微。如长此以往，这一领域的研究将遭受重大损失，组建一支精干、专业的研究队伍成为当务之急！

1977年12月，王淦昌以九院副院长的身份，带领九院从事高能量密度物理研究的一、二、九所的科研人员方正知、胡仁宇、王世绩¹²⁾、江文勉、于敏等到上海光机所参观学习，并商谈两个单位合作开展激光惯性约束聚变研究的有关事宜。在这次交流期间，九院的科技人员参观了上海光机所的高功率激光实验室、氙灯制备实验室和钨玻璃熔炼加工车间，并听取了有关高功率激光器的学术报告；于敏做了有关惯性约束聚变的学术报告。经过学习和讨论，大家认识到，激光惯性约束聚变是一项复杂、庞大和要求精密、投资高的大科学工程，它包括驱动器(激光器系统)研制、理论研究、物理实验、诊断技术和靶的制备等多方面工作，需要理论、实验、技术、工程的共同支持。而上海光机所与九院两个单位在这项研究中正好是各有所长、优势互补的。在这次讨论过程中，王淦昌一再强调两个单位合作的重要性，提出“合则成，分则败”。在近一个月的时间里，科技人员对今后如何开展我国激光惯性约束聚变工作进行了广泛而热烈的讨论。

ICF研究的基础是激光与等离子体的相互作用，以及这些物理过程的发生、发展和演变。要深刻认识激光与物质相互作用，以及激光

所产生的等离子体的特性及其变化规律，必须通过实验观察和测量其发射的各种粒子和辐射，对这些粒子和辐射的种类、强度、能谱、时间及空间特性进行诊断。因此，建立诊断设备、研究诊断技术就成为开展激光惯性约束聚变研究的前提和重要内容。当时，存在两大困难：第一是可供借鉴的资料匮乏，国内唯一能够借鉴的资料就是美国里弗莫尔实验室的年报，但由于保密的原因，年报描述极为简略，要想从中获取真正有用的信息，必须经过深入的思考和综合分析，甚至还要开展验证性的工作；第二是实验测量的设备几乎没有，ICF研究是一门新兴的学科，用于诊断激光聚变实验数据的设备、仪器，几乎都没有厂家生产。在这样的情况下，要进行惯性约束聚变研究，只有独立自主、自力更生地研制最急需的设备。

1977年8月，由微观参数研究转向激光等离子体诊断的204室，开始调研文献、确定题目，自己动手研制一批诊断设备。1978年初，根据能量平衡研究的需要，确定了建立差分热量计(亦称等离子体卡计)、法拉第电荷收集器、四通道静电离子谱仪、九十度聚焦电子能谱仪、中子闪烁探测器、硅光二极管、铝-铟半导体探测器等研究方向。1980年初，九院二所成功地研制出差分热量计、法拉第电荷收集器和中子闪烁探测器等多台(套)诊断设备。

从1978年年初到上世纪80年代中期，我国ICF研究人员成功地研制了十多种配套的诊断设备，可以

测量可见光、X射线、离子、电子、中子等的强度、能谱、时间谱和空间分布等特征物理量，并对这些诊断设备进行了精密标定，总体水平达到了当时国际同类诊断设备的先进水平。

4 ICF实验与诊断的早期研究

早期的物理实验是在上海光机所六路激光器上进行的。六路激光器输出波长为基频光(1065 nm)，脉宽100 ps，能量2—10 J。在这样小的激光器上进行ICF综合集成实验是困难的。但可以利用该装置调试诊断设备，掌握实验方法，掌握实验经验，为在大功率激光器上开展实验打下基础。

1978年，上海光机所完成了六路激光装置的研制，每路输出25 J，为初步开展ICF研究提供了必需的条件。并研制出十多种物理实验诊断装置，为我国激光等离子体物理实验奠定了物质基础。1977年，研究人员利用六路激光装置中的四路激光进行了薄壁玻壳微球靶的打靶实验，通过对玻壳球中心发光区的X射线针孔照相图像分析，体压缩达到了30—50倍，说明中国的激光等离子体研究已接近消融型压缩水平，标志着我国的ICF进入了逐级论证向心聚爆原理的重要发展阶段^[5, 6]。

1980年6月，九院二所204室新研制的差分热量计、法拉第电荷收集器和中子闪烁探测器等多台(套)诊断设备，在上海激光装置上进行了测试考核。这是九院二所惯

12) 王世绩(1932—)，上海嘉定人，核聚变与离子体物理学家，中国科学院学部委员(院士)。



图1 上世纪80年代，贺贤士向王淦昌汇报ICF物理实验结果

性约束聚变研究的首次实验。在此后的1981年6月至8月，二所204室在六路激光器上开展了第二轮实验，考核了静电多道离子谱仪、九十度聚焦电子能谱仪、离子电荷收集器、多道X射线谱仪、铝-镉半导体探测器、差分热量计等诊断设备，初步完成了激光等离子体能量平衡实验。

1982年6月，九院二所成立了从事激光等离子体诊断、激光靶研制、激光器和强流脉冲电子束加速器运行的新207室，王世绩任室主任，标志着我国ICF研究第一个专门化研究室成立。

1982年8月，207室在六路激光

器上进行了以能量平衡为中心的第四轮实验，完成了从日本进口的X射线条纹相机和光学条纹相机的验收和标定，对X射线辐射探测器(XRD)的时间相应特性进行了标定，测量了100 ps X射线的转换效率，完成了平面靶小孔注入与堵口实验，并对柱状腔靶进行了探索。图1为上世纪80年代贺贤士向王淦昌汇报ICF物理实验结果。

通过在六路激光器上进行的四轮实验，ICF实验与诊断人员对激光束现状及激光打靶对光束质量的要求有了较深的理解；对激光打靶技术，对如何提出今后实验的激光束指标要求，以及建立、发展哪些

器上进行了以能量平衡为中心的第四轮实验，完成了从日本进口的X射线条纹相机和光学条纹相机的验收和标定，对X射线辐射探测器(XRD)的时间相应特性进行了标定，测量了100 ps X射线的转换效率，完成了平面靶小孔注入与堵口实验，并对柱状腔靶进行了探索。图1为上世纪80年代贺贤士向王淦昌汇报ICF物理实验结果。

1984年9月，207

诊断设备和诊断技术有了比较明确的认识。通过这些实验，考核了自己的诊断设备，掌握了激光打靶所需要的条件，培养了队伍，积累了经验。通过以能量平衡为基础的实验，初步测量了激光的吸收效率、X射线转换效率、粒子及超快电子的特性，并对堵口效应和腔靶进行了探索，为以后的实验打下了良好的基础。1985年11月，召开了ICF实验与诊断汇报会，图2为参加汇报会的人员合影。

我国自行研制的多台(套)诊断设备，在激光等离子体实验中获得初步应用，获得了大量有用的和精密的实验数据，取得了丰富的研究成果。多道X射线谱仪、横向磁场九十度聚焦电子磁谱仪、静电分析离子飞行时间谱仪、用于激光等离子体相互作用的准绝热补偿型双差分热量计4个项目获得1981年国防科工委重大科技成果四等奖。激光平面靶相互作用实验研究获得1982年国防科工委重大科技成果三等奖，激光等离子体相互作用离子特性、激光X射线转换效率测量2个项目获得1982年国防科工委重大科技成果四等奖。激光—孔靶等离子体时空特性测量和平面孔靶激光



图2 1985年11月，ICF实验与诊断汇报会合影(前排左2：王世绩，左5：胡仁宇，左6：王淦昌，左7：王大珩，左8：傅依备，左12：范滇元)

能量注入率测量获得1984年国防科工委重大科技成果二等奖,亚千电子伏的X射线能谱测量及亚千电子伏的X射线源的研制获得1984年国防科工委重大科技成果三等奖。

5 ICF 实验与诊断的早期交流

我国在惯性约束聚变实验和诊断工作启动之初,即十分重视科技交流工作。1980年12月,王世绩、胡仁宇等人参加了在成都召开的等离子体物理和核聚变学会成立及学术研讨会,向大会作了离子谱仪、电子谱仪和量热计等诊断设备的学术报告。1982年10月,王世绩在北戴河召开的惯性约束聚变学术研讨会上,报告了激光与靶相互作用实验结果,1983年9月16日,郑志坚、杨建国、闫玲去广州参加国际激光会议。杨建国在会上宣读了题目为《激光与平面靶相互作用实验研究》的论文,闫玲张贴了题目为《激光等离子体相互作用离子特性研究》的论文。1984年6月20—26日,九院在北京召开了激光核爆模拟工作年会,王世绩做了题目为《黑洞靶分解实验》的报告。这些报告向国内物理学界展示了激光聚变和核爆模拟这一新兴学科的全景,在当时的物理学领域引起了很大反响,有力地宣传了惯性约束聚变和核爆研究工作。

通过国际学术交流,深入了解国际上的最新进展情况,并向国际上展示了我们的工作。1980年2月,王世绩参加在美国圣地亚哥举行的第三届国际惯性约束聚变会议。5月12日,在北京人民大会堂西厅,陈能宽、于敏、胡仁宇、王世绩等

一道参加了与美国里弗莫尔实验室同行专家座谈,就惯性约束聚变军事应用前景和用辐射驱动内爆实现激光聚变等问题进行了讨论。1986年10月18日至11月10日,王世绩、华欣生、杨成龙、彭翰生等人与上海光机所联合组团赴美考察高技术,并参加了第二届国际激光科学会议及美国1986年物理年会,访问了美国里弗莫尔国家实验室、洛斯阿拉莫斯国家实验室(LANL)、斯坦福大学,并与美国海军研究所(NRL)激光等离子体专家座谈。

6 王淦昌等老科学家对 ICF 早期工作的支持

中国的惯性约束聚变研究工作,从启动之初就得到了国家、部委有关领导和老一辈科学家的大力支持。

为了使ICF研究工作能得到长期稳定的经费支持,并得到有关上级机关的批准,1978年夏天,王淦昌推动中国科学院学部在北京组织了有关ICF研究的学术讨论会,严济慈、钱三强、彭桓武、王大珩等老一辈著名科学家参加了会议,会上请于敏同志作专题报告。这次会议上,于敏把十分复杂的ICF研究勾画出一幅非常清晰的图像。从研究的目的、可能的技术途径、有关的关键科学技术问题(包括激光与物质的相互作用、能量输运、内爆到聚心点火等),到国际上最新研究成果,目前已认识的规律,以及尚待进一步解决的问题,无不讲得清清楚楚,引人入胜,使老先生们很快就了解ICF这门当时国际上还开展不久的新的分支学科极为复杂的物理问题的概貌,对我国开展ICF研究的迅速决策起到决

定性的作用。通过讨论,大家一致认为ICF这个领域研究的意义重大,还有广阔的应用前景。我国当时也已有相当基础,国际上起步时间也不长,我们与当时的国际水平相差不远。应该抓住时机,加强领导,整合各方资源,规划好各方面的工作,很有可能较快地赶上世界先进水平。通过这次会议,这个领域的研究工作很快得到有关上级的批准,并在行动中开始组织实施。此后,在激光器设计方案的讨论和评审过程中,王淦昌和王大珩先生一起,每次都亲自到会组织讨论和指导工作。同时,王淦昌对九院的ICF有关计划的制订和实施也都亲自过问。

1983年1月,中央军委副秘书长兼国防部长张爱萍写信给上海市委主要领导,希望他们督促中国科学院上海分院和上海光机所加强对研制激光装置的领导,加快工作进展。同时指出,“激光核爆模拟工作是一项很有希望、很有意义的工作,它的研究成功将会大大加快核武器的研制工作。”并派朱光亚去上海检查督促此工作。

为了从组织上加强两单位的合作,1986年中国科学院与中国工程物理研究院共同组建了“高功率激光物理联合实验室”,依托于上海光机所,由邓锡铭同志任主任,王世绩同志任副主任,于敏同志任学术委员会主任。同时还成立了管理委员会,由双方行政领导及机关工作人员组成,张宏同志(时任中国科学院新技术局局长)任主任。王淦昌、王大珩担任联合实验室的科学技术指导。

神光I号激光器于1987年建成验收,并投入正式运行。与此同时,九院也筹建了物理实验、诊断技术和

靶的制备研究室，建成了相应配套的诊断设备(包括可见光、X射线的强度和能谱、中子等诊断设备)，制备出各种当时的实验用靶。神光 I 号从开始运行到 1994 年退役，先后开展了九轮物理实验，从测量入射和出射的能量平衡实验开始，进行了大量激光与等离子体相互作用的研究和内爆中子实验。

1988 年，王淦昌参加了在意大利召开的战争与和平国际会议。在这次会议上，美国宣布了 ICF 研究领域进展的最新情况：他们在 Nova 激光器上开展了大量实验，同时利用地下核试验做内爆充氘氚靶丸的实验结果，已经推断出利用 1 MJ 的激光能量有可能达到“得失相当”。根据这个推断，美国已开始对建立“点火装置”进行论证。回国以后，王淦昌即与王大珩、于敏商量，联合向中央写报告，请求国家增加对 ICF 研究的投入，以加快研究进度，争取在世界上占有一席之地。1989 年初，李鹏总理亲自听取了汇报，李总理十分关心 ICF 的前途，提出许多问题，王淦昌等一一作了回答。1991 年 7 月，王淦昌和于敏主持召开了 ICF 立项论证会，成功地通过了 ICF 立项论证。图 3 为参加 ICF 立项论证会议的人员合影。1992 年，ICF 作为一个独立主题列入国家高技术研究发展计划。由陶祖聪为首席专家，贺贤土为秘书长。主题专家组成立后，一直在王淦昌和王大珩的关心和指导下工作。从这时候开始，我国 ICF 研究获得了国家长期稳定的支持，制定了比较长远的规划。

7 结束语

ICF 创业早期的实验与诊断工



图3 1991年7月，参加ICF立项论证会人员合影(前排左2为于敏院士，左3为王淦昌院士；二排左1为王世绩院士)

作，是老一辈科学家艰苦奋斗、拼搏的历史。从1967年11月九院实验部31室组建的“激光核爆模拟研究”课题组，到1982年6月九院二所成立我国 ICF 研究第一个专门化研究室 207 室，再到 2000 年 4 月九院成立 ICF 研究领域的专门研究所——中国工程物理研究院激光聚变研究中心，40 年来，我国的 ICF 研究工作，在王淦昌、王大珩、于敏等老一辈科学家的倡导和指导下，在陶祖聪、邓锡铭、胡仁宇、贺贤土、王世绩、范滇元、林尊琪等人的直接带领下，从无到有，披荆斩棘，开拓创新，走出了一条有中国特色的 ICF 研究发展之路。在国家高技术研究发展计划的支持下，经过“十五”、“十一五”多年来的努力，ICF 各个子领域的工作都取得显著的进展。我国高功率固体激光驱动器的研制水平以及部分实验和诊断技术水平都达到了世界先进水平的新高度，中国激光聚变科技人员正不断地开创着我国 ICF

研究的新局面！

2012 年 9 月 28 日是我国 ICF 实验和诊断工作的拓荒者和引领者之一王世绩院士诞辰 80 周年，谨以此文献给王世绩先生。

致谢 本文撰写过程中得到了中国工程物理研究院激光聚变研究中心杨建国研究员、唐道源研究员、郑志坚研究员、丁耀南研究员、孙可煦研究员等老专家的大力支持和热心帮助，在此表示感谢。

参考文献

- [1] 范滇元, 贺贤土. 自然探索, 2001, 18: 31
- [2] 贺贤土. 核科学与工程, 2000, 20: 248
- [3] 张杰. 物理, 1999, 28: 142
- [4] 曾先才. 物理, 2001, 30: 426
- [5] 陈崇斌, 王乐天. 物理, 2010, 39: 495
- [6] 范滇元, 张小民. 物理, 2010, 39: 585
- [7] 江少恩, 丁永坤, 刘慎业等. 物理, 2010, 39: 531
- [8] Dawson J M. Phys. Fluids, 1964, 7: 981