DOI：10.13405/j.cnki.xdwz.2007.01.021



中国激光惯性约束奠基人——王淦昌

陈崇斌

激光惯性约束是实现核聚变的方式之一，产生于20世纪60年代。目前世界许多国家在此项研究上投入大量人力、物力，以期在受控核聚变方面取得突破，从而解决困扰人类的能源问题。我国是最早开展此项研究的少数几个国家之一，90年代初就把该项研究列入国家“863”计划，至2000年我国的激光惯性约束研究已取得重要进展，建立了“神光”系列装置和“天光”装置，在激烈的国际竞争中占有一席之地。而这一切成就都离不开激光惯性约束的创始人——物理学家王淦昌。王淦昌是国际上最早独立提出激光聚变约束思想的物理学家之一，并在60年代中期领导开展了我国的激光聚变研究，对“神光”“天光”的建成做出了重要贡献。

一、激光惯性约束思想的提出和预研工作

1960年美国科学家研制出世界上第一台红宝石激光器后，1961年在激光专家王之江的带领下，我国也独立研制出第一台红宝石激光器，其后几年激光技术在世界范围内得到飞速发展。1964年诺贝尔物理奖授予在激光发现过程中做出重要贡献的美国科学家汤斯、前苏联科学家巴索夫和普罗索罗夫等人，激光逐渐引起了王淦昌的兴趣。其时王淦昌正在参与我国原子弹和氢弹的研制工作，对激光的知识了解不多。随着对激光性能了解的加深，特别是知道了激光有单色性、相干性、方向性和高强度四个特点，王淦昌就想到可以把激光强度高、方向性好的特性和核物理结合起来，考虑用激光打击氘冰产生中子的可能性。于是在1964年10月4日王淦昌撰写了《利用大能量大功率的光激射器产生中子的建议》的开创性论文。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。”这是一个全新的思想，只有像他那样既懂核物理、又懂激光的学者才有可能产生这种思想。当时独立提出这种思想的还有前苏联学者巴索夫和道森，他们是世界上最早提出激光聚变思想的学者。在这篇开创性的文章中王淦昌提出用光激射*法产生中子的具体建议，估算了中子产生数目与入射能的关系，并就中子的产生和探测提出实验设想，指出靶用氘化铀代替重水，用慢法探头较为可靠等等。遗憾的是这篇文章没有公开发表，一份直接呈送给了上级领导，后来有一份送给了上海光机所的激光专家邓锡铭，意在指导上海光机所开展激光惯性约束的研究，不幸的是这一份在“文化大革命”中遗失。

1964年底，邓锡铭把王淦昌的这个倡议向张劲夫(当时任科学院副院长、党组书记)作了汇报，并立即得到他的赞赏和支持。于是在英、法、德、日等国还不怎么了解激光惯性约束聚变的时候，我国在该领域的预研工作就已经开始了。1965年冬，上海光机所研制的激光功率达到10^9瓦，并在实验中第一次观察到从靶面发出的X射线穿过铝箔，使照片底片感光，这是当时世界上该领域最先进的成果之一。为此，邓锡铭和余文炎等几个人专程到北京汇报实验进展。在北京的友谊宾馆，王淦昌认真听取了上海光机所的汇报，仔细询问了实验的每一个细节，并充分肯定了他们的实验。在王淦昌的带领下，他们在友谊宾馆召开了一次激光聚变小型座谈会，展望了激光惯性约束的前景，并提出了不少好的实验设想，如用几十路激光束沿4π立体角均匀照射靶丸的概念，并提出建造大型激光系统的设想。

由于“文化大革命”的影响，这项研究工作中断了七八年，因此国外研究远远超过了我们。不过，上海光机所在非常困难的情况下仍然取得了不少进展，如1973年他们用10^{10}瓦高功率激光加热钢冰靶在国内首次获得了中子实验记录；1975年建成了6路高功率激光器，达到输出功率2×10^{11}W的水平；1977年4月做了打靶实验，观察到了激光对靶的压缩现象。这些成就使我国在激光惯性约束的研究方面跟上了国外研究的步伐。

二、激光惯性约束的奠基工作

“文化大革命”一结束，王淦昌就回到北京原子能研究所，立即开始着手惯性约束聚变的指导和研

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

究工作。此时二机部九院和上海光机所都在做激光聚变的研究，九院从事等离子体物理理论研究和诊断、测试工作，光机所从事激光的实验研究，虽然两个单位都做了许多工作，取得了不少成绩。但由于激光约束聚变涉及等离子体和激光两个领域，九院的研究缺少实验支持，而光机所缺少理论指导，因此两个单位都很难取得重大突破。王淦昌看到这种状况心中很是着急，于是向有关领导建议，让两个单位联合起来搞激光惯性约束聚变，把九院的理论和光机所的实践结合起来。他借用拐子和瞎子的民间故事来说明其中的道理，说："一个瞎子，有腿，但看不见，走不了路，一个拐子，有眼睛，但腿不行，也是走不了路，这两个人一合作就可以取长补短，就能到处跑。故事中的道理同样可以用在上海光机所和九院这两个单位，他们联合起来，成立联合研究室就可以发挥很大的作用，……"他还反复强调："搞激光聚变，我们不应当搞杂牌，而应当搞一个牌子，那就是'中国牌'。"只有两个单位联合起来，才能做出像样的"中国牌"。

1977 年 10 月，王淦昌以二机部九院副院长的身份，带领一些搞等离子体物理理论和实验的科技人员来到上海光机所，商谈合作研究激光惯性约束聚变的问题。他们在光机所待了一个月，经过广泛讨论，同意联合起来进行研究工作，并确定以物理工作带动激光器的研究，以钕玻璃激光器的研制为工作突破点。就这样，在王淦昌的带领下，联合实验室建立起来了。

1980 年，上海光机所建成 10^{12} 瓦六路钕玻璃激光装置。利用 6 路高功率激光器装置，王淦昌带领等离子体和激光方面的队伍，年年做几百次实验，每年都有重要成果在国际活动中发表或交流，奠定了国内激光等离子体理论、激光等离子体诊断以及靶的设计、制造的理论、实验和技术基础。王淦昌在联合两个单位进行激光约束聚变研究中所起到的作用，可以用邓锡铭的话来总结："两位王老(另一位是光学专家王大珩)不仅是这个新科学技术领域的学术带头人、深受大家爱戴的导师，而且是几方面队伍汇合、团结的象征，推动整个工作发展的后盾。"

也是在 1980 年，王淦昌邀请光学专家王大珩参加激光惯性约束的研究工作。不久，两位科学泰斗就提出联合建造 10^{13} 瓦激光装置的设想，并很快付诸实施。在技术论证和预研阶段，他们从严、从难要求，强调预研工作的好坏，这对装置的建设起到了举足轻重的作用。这套装置只用了 3 年 6 个月就基本建成，经过两年多的运行考核和打靶实验，1987 年 6 月通过国家级鉴定，被正式命名为"神光"装置。该装置的研制负责人邓锡铭把"神光"在短时间内研制成功的主要功劳归功于两位王老，认为他们在研制过程中处处把关、从严要求是取得成功的关键。

三、推动激光惯性约束聚变加入"863"计划

1988 年，王淦昌到意大利参加战争和和平国际会议，会上美国宣布：通过地下核试验，使核爆炸产生的 X 光能量部分转换为惯性约束聚变所需要的辐射，并对惯性约束聚变间接驱动原理进行了验证，表明惯性约束聚变已经可以实现。

回国后，王淦昌经过深思熟虑，决定向中央领导建议把"激光惯性约束核聚变"列入"863"计划。11 月 13 日清早，王淦昌就给光学专家王大珩打电话，请他起草给中央领导的信。1988 年 12 月 22 日，他们把《建议将"激光核聚变"列入"863"高技术计划致邓小平等领导》的报告送到了中央领导的手中。在报告中，他们首先阐述了进行激光核聚变的意义，指出："由核裂变反应而导致的原子能和平利用，是核时代的第一个里程碑；由氢弹导致核聚变能的可控利用，则是核时代的第二个里程碑。"接着指出："我国在激光核聚变研究方面已经打下了坚实的基础，虽然国家经济基础不是非常雄厚，但仍很有必要在该项研究上加大投入，他们建议："我国也应加快步伐，积极跟踪，希望像我国拥有原子弹、氢弹技术那样，到 21 世纪在核技术方面仍保持已确立的国际地位，并造福于我国人民。"最后他们立足于我国的经济基础和激光约束聚变的研究现状，提出今后我国的研究方向和国家应在该项研究上增加的经费数目，建议在"863"计划中增补"激光核聚变"这一项目。

建议立即得到中央领导的重视。1989 年 1 月 26 日下午，王淦昌、王大珩、邓锡铭、于敏、贺贤土在中南海就激光惯性约束加入"863"计划问题向李鹏总理作了汇报。1993 年初，激光惯性约束聚变正式成为"863"计划的一个独立主题。随着国家对该项研究的重视，激光核聚变进入了一个新阶段。90 年代上海光机所开始"神光Ⅱ"装置的研制，经过几年的努力，"神光Ⅱ"于 2001 年通过了国家验收，激光能量输出指标在全球运行的同类装置中排名第三，激光驱动器主要质量性能水平也跨入国际前列。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

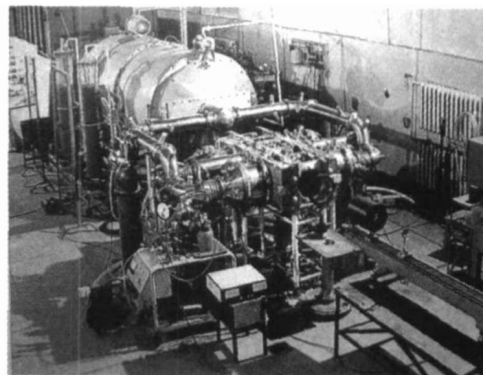
“神光Ⅱ”装置的物理实验实现了 $180eV$ 的辐射温度、上千万大气压，并获得超过 10^9 的中子产额。

四、“自留地”上的硕果——KrF 激光研究

王淦昌不仅关心、指导上海光机所的激光惯性约束研究，还在原子能研究所 17 室开辟了另外一个新领域——KrF（氟化氪）激光研究。他把该研究室形象地称为“自留地”，从这三个字我们可以想象到王淦昌对该研究室的感情和付出。

1978 年王淦昌回到北京，担任核工业部副部长兼原子能研究所所长，他研究了当时世界各国关于惯性约束的研究情况，决定在原子能所开展电子束惯性约束聚变的研究。9 月，他在所里做《粒子束惯性约束聚变》的报告，这篇报告后来整理成《带电粒子束惯性约束聚变研究现状》论文，以王京的名字发表，在内部交流。报告深刻分析了国际粒子束聚变发展的概况和存在的问题。他指出实现热核聚变需要高温和劳逊判据两个条件，激光聚变更接近劳逊条件。但固体激光的效率低、价格昂贵，研究工作的开展难度太大，而粒子束约束聚变的效率和造价都相对优越，在原子能所开展比较合适。报告重点介绍了带电粒子束惯性约束聚变研究工作的技术原理，如电子发生器、功率的传输和压缩、电子的发射和箍缩、电子束的传输、电子束在靶中的能量沉积、靶丸的设计和爆聚、强流脉冲轻离子束等有关原理。报告在最后对我国的惯性约束聚变的情况作了分析和展望，肯定了上海光机所在激光惯性约束方面取得的成就，指出“国外开展惯性约束聚变的研究只有 10 来年的历史，近年来它所取得的进展表明，这可能是一种很有希望的实现受控聚变的手段。我们应该积极从事这一课题的研究，现在动手为时还不算太晚。”

报告会结束后，原子能所的科研人员积极报名参加这项研究。到 1980 年底，他们就自力更生建成了质量令美国科学家赞叹的强流脉冲电子加速器。但经过几年的研究，他们发现电子束打靶的温度只有几个电子伏，国外一些大型强流电子束打靶的温度也没有较大提高，他们的研究走入了困境。经过认真考虑，王淦昌决定改造现有装置，开展强流电子束泵浦 KrF 激光的研究工作。王淦昌后来回忆：“下这样的决心不容易，那时我已经 80 岁，很清楚转变研究方向是要付出代价的。”担任该项研究工作的组长王乃彦在纪念王淦昌八十寿辰的文章中也写道：“正值决定我们研究工作方向的紧要关头，王淦昌教授提出要开展强流电子束泵浦氟化氪激光的研究工作。他的决心是那么大，科学上的洞察力是那么深刻，实在使我钦佩。”



氟化氪激光装置

于是在王淦昌的领导下，他们开始了 KrF 激光器的研究工作。1985 年初，他们的电子束泵浦 KrF 激光器研制成功，激光输出能量 13J，能量输出在国内领先。1989 年激光输出能量为 30J，1991 年实现激光输出能量 100J，使我国成为继美国、英国、日本、苏联之后具有百焦级 KrF 激光器的国家，标志着我国的准分子激光器的研究已步入国际先进行列。因为成果斐然，KrF 准分子激光聚变的研究也成为“863”计划的一个课题。

十几年中，王淦昌在激光惯性约束聚变领域内不停探索，自己发表或与合作者共同发表了《惯性约束核聚变研究的进展》《6JKrF 激光的产生》《强流电子束泵浦百焦耳级 KrF 激光》《“天光Ⅰ号”KrF 准分子激光装置研制进展》等十几篇学术论文，引领了国内激光聚变的研究方向。

1998 年王淦昌的“自留地”结出了硕果——“天光Ⅰ号”KrF 准分子激光装置建成。该装置达到国际中等规模装置的水平，在能量效率、双电子束泵浦技术和工作的稳定性方面处于国际先进水平。

王淦昌一生在物理学方面贡献颇多，除开创了我国激光惯性约束聚变的事业外，他还是我国实验原子核物理、宇宙射线及基本粒子物理的主要奠基人和卓越开拓者。在其辉煌的一生中，多项成果达到世界一流。如 40 年代他提出验证中微子存在的创造性实验设想；50 年代初他领导云南落雪山宇宙射线的研究，发现一大批奇异粒子；50 年代后期他在苏联杜布纳联合原子核研究所发现了世界上第一个荷电负超子——反西格马负超子；60（下转 16 页）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

数，λ_a 为空气的导热系数，ε 为材料的空隙率。又由于材料的空隙率同其密度有如下关系：

$$\varepsilon=(\rho_s-\rho)/\rho_s=1-\rho/\rho_s \qquad (14)$$

其中 ρ 为材料的表观密度，ρ_s 为材料中固相的理论密度。因此材料的表观导热系数同密度的关系为

$$\lambda=\lambda_s\lambda_a/[\lambda_s-(\lambda_s-\lambda_a)\rho/\rho_s] \qquad (15)$$

辐射换热系数 h_r 可按辐射换热量 ϕ_r 折算为对流换热量的方法求解，即

$$\phi_r=Ah_r\Delta t\ 。 \qquad (16)$$

另外，一般房屋处在大空间(温度为 t_1)之中，则

$$h_r=\frac{\varepsilon_1\sigma(t_0^4-t_1^4)}{(t_0-t_1)}=\varepsilon_1\sigma(t_0^2+t_1^2)(t_0+t_1)\ 。 \qquad (17)$$

三、材料隔热特性改进措施

建筑节能能否顺利推广，节能技术是关键。权威人士介绍，建筑节能包含建筑构造节能和使用过程节能两个方面。建筑构造节能主要是提高建筑物围护结构的保温隔热性能，常采用微孔低导热系数材料如微孔硅酸钙，由目的和手段的统一性原理，可采用多种途径增强隔热效果。总结如下：

(1)开发新型低导热材料。

(2)因空气导热系数远低于固相材料，采用双墙体夹空气结构，此方法在北方使用广泛。

(3)采用断桥式铝塑复合窗门，其原理是：利用塑料型材(隔热性高于铝型材)将室内外两层铝合金既隔开又紧密地连接成一个整体，构成一种新的隔热型铝型材，用这种型材做门窗，其隔热性与塑(钢)窗在同一个等级。而其气密性要好于铝、塑窗，能保证风沙大的地区室内窗台和地板无灰尘、高速公路两侧的居民不受噪音干扰。

(4)在外墙加活性保温涂料。今年，这种技术运用相当广泛，在建筑、汽车制造、航天等领域取得了良好效果。它能使建筑外墙像人体的皮肤一样，自动弥合裂缝，而且时间越长越坚固，不裂不脱，节能保温效果好，大大提高了室内居住环境的舒适性，如活性硅聚合物材料。

(5)外加隔热膜。隔热膜可分吸收型和反射型两种。吸收型隔热膜基于日光吸收控制原理，在膜的粘贴层内加入吸收热量的化学物质，形成二次辐射，在室内形成“热量陷阱”。而反射型隔热膜具有光谱选择性，隔热能力强、透明性好，可最大程度地透射可见光，充分反射红外线热量，主要用于玻璃隔热。建筑物内外墙面的温度和室内空气温度受材料反射系数 α 大小的影响，不容忽视。因此，对于建筑墙体在夏季的隔热，主要应该考虑墙面材料对太阳辐射的反射能力，而不是一味追求传热系数的减小。

(重庆大学热能与动力工程院　400044)

(上接 58 页)年代他提出激光聚变创新思想等。由于成果很多，所以在 1992 年 5 月 31 日钓鱼台国宾馆举行的“中国当代物理学家联谊会”上，李政道问王淦昌：“王老师，在您所从事的多项科研工作中，您认为哪项是您最为满意的?”他说：“我自己对我 1964 年提出的激光引发氘核出中子的想法比较满意。因为这在当时是一个全新的概念，而且这种想法引出了后来成为惯性约束核聚变的重要科研题目，一旦实现，这将使人类彻底解决能源问题。”王淦昌的这段回答体现了他一生对原始创新思想的孜孜追求，在建设创新型国家的今天，他的回答更具现实意义。尤其可贵的是，回答中包含着他对科学应服务于全人类的理解，体现了他着眼于人类进步的博大胸怀。

(安徽省合肥市中国科学技术大学科学技术史和科技考古系　230026)

* 早期“LASER”的意译，LASER 原是 light amplification by stimulated emission of radiation 取字头组合而成的专门名词，在我国最早被翻译成“莱塞”“镭射”“光激射器”“光受激辐射放大器”等。1964 年，钱学森院士提议取名为“激光”，其后“激光”成为“LASER”的正式译语。

科苑快讯

有助于观测遥远行星的恒星遮光罩

远方的行星看起来极为黯淡，再加上它所围绕的恒星比它亮 10^{10} 倍，所以对其进行光学观测总是困难重重。上述问题也困扰着空间轨道上的望远镜，尽管它们的观测已不再受地球大气层造成的“闪烁”影响。最近，美国博尔德市(Boulder)科罗拉多大学的韦伯斯特·卡什(Webster Cash)提出一个巧妙的解决方案。他设计了一种形状特殊的恒星遮光罩，缚在和望远镜一起运动的航天器上。遮光罩可有效地阻挡恒星光线进入望远镜，从而把星光衍射的影响降到最低，提高行星观测的清晰度。

(高凌云编译)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net