

从理论物理到工程物理

——于敏先生的学术生涯与杰出贡献

应阳君[†] 蓝可 李华

(北京应用物理与计算数学研究所 北京 100094)



图1 上世纪五十年代的于敏

核武器的成功研制是新中国成立以来取得的最重大的成就之一，它深刻地影响着当今世界的政治格局，对巩固我国的大国地位和提升中国在国际上的影响力起着至关重要的作用。核武器过

去是、现在是、将来仍然是我国国家安全的重要基石。中国核武器发展的辉煌历程是成千上万科技工作者无私奉献的集体成就，然而谁也无法否认杰出科学家在武器物理关键技术突破中所发挥的重要引领作用。于敏先生就是我国从事核武器事业的璀璨科学家群体中最为突出的代表之一，是我国核武器研究与国防高科技发展中的主要组织者、领导者和技术核心，他为我国核武器事业作出了不可磨灭的历史性贡献，当之无愧是中国最杰出的物理大师之一。

1 我国原子核理论与核武器物理的重要奠基人

“于敏的工作完全靠自己，没有名师，因为当时国内没有人会原子核理论，他是开创性的，

2014-11-25收到

[†] email: yyj@iapcm.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20150203

是出类拔萃的人，是国际一流科学家。”我国著名理论物理学家彭桓武院士曾这样高度评价于敏先生。

解放初期，我国在核物理理论研究上几乎是一片空白。上世纪50年代，作为早期进入该领域的先行者，于敏发表了《关于重原子核的壳理论》、《关于原子核独立粒子结构的力学基础》、《一个具有等间隔能谱的费米系统》和《原子核在短程力下的相干效应》等具有国际领先水平的核物理文章。1959年暑假，他与北京大学杨立铭教授合作，在成都主办了我国第一个原子核物理培训班，出版了我国第一部原子核理论专著《原子核理论讲义》，为国家培养了亟需的原子核理论科研人才。

上世纪60年代以后，于敏将其深厚的理论功底成功应用于我国核武器的研制与发展以及国防高新技术的开拓性研究中，为推动核武器与国防高技术相关基础理论的发展作出了卓越贡献：他深刻地揭示了武器核反应内爆动力学过程的运动规律；对辐射与物质的相互作用及其弛豫过程、辐射波与冲击波的传播规律等问题进行了深入而系统的研究。这些核武器理论科学研究从多个角度揭示了核武器动作过程的内在规律，为我国氢弹原理突破、第一代核武器的设计定型以及第二代核武器的研制奠定了重要的理论基础。

2 我国氢弹原理突破的主要功臣

我国在突破原子弹之后，面临着尽早突破氢弹的迫切需求，亟需尽快生产出可装在中远程导弹上的热核弹头。然而，氢弹的理论与技术远比原子弹复杂，它具有高度的综合性，涉及理论物

理、原子物理、核物理、辐射流体力学、等离子体物理、凝聚态物理、应用数学等众多学科。当时美、苏两大国对所有与氢弹相关的技术信息都绝对保密。1961年1月，时任第二机械工业部(简称二机部)副部长的钱三强找于敏谈话，向他传达了上级任命他为“轻核理论组”副组长、领导开展氢弹理论预先研究的决定。于敏先生毫不犹豫地接受了组织的安排，立即停下手中有关原子核理论的基础研究，全力以赴地投入到氢弹原理的探索之中。在他的科研生涯中，这已是第二次根据国家需要调整自己的专业方向。从1961年到1964年，他和黄祖洽、何祚庥一起，领导“轻核理论组”做了大量研究工作，包括氢弹中多种物理过程的探讨和研究、氢弹作用原理和可能结构方面的探索等等。

1965年1月，黄祖洽、于敏等原子能研究所“轻核理论组”的三十余位科研人员携带着预先探索研究的所有成果和资料，来到二机部九院(现在的中国工程物理研究院)理论部，与我国核武器研究的主战场汇合。于敏被任命为理论部副主任。为了突破氢弹原理，邓稼先、周光召、于敏、黄祖洽等部主任分别带领一支研究队伍从不同途径进行探索。

1965年9月底，于敏作为理论部业务领导率领部分队伍去上海华东计算技术研究所开展加强型原子弹优化设计。在随后的三个多月时间里，于敏以其深厚的理论功底和严谨踏实的工作作风，带领科研队伍实现了氢弹原理的伟大突破——此为核武器研究史上著名的“百日会战”。工作刚开始时，大家都想尽快完成从加强型原子弹到氢弹的设计任务，但无论如何优化，计算结果总不理想。为了找到问题所在，也为了帮助年轻人了解必要的基本知识和提高科研工作水平，于敏给大家做了系列学术报告，对三个典型模型进行了深入细致的系统分析。他从炸药起爆开始，将氢弹物理全过程分为若干个阶段，并对每一阶段进行分析，从复杂现象里提取物理本质，从热核聚变所必需的基本条件中梳理背后的主要物理过程与物理机制。

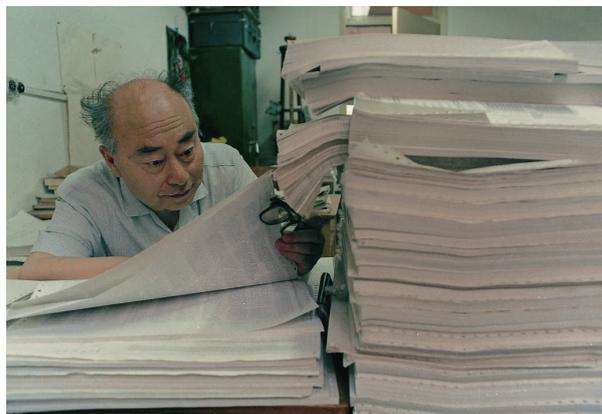


图2 于敏在九院九所研究室查阅计算数据(侯艺兵 摄)

通过对堆积如山的纸带上的物理数据仔细地分析和推敲，并经过缜密分析与苦苦思索，于敏以其敏锐的理论洞察力透过现象抓住了事物的本质，不仅很快找到了加强型原子弹无法进一步优化的症结所在，更进一步发现了实现氢弹自持热核燃烧的关键所在。10月下旬，于敏为一起出差的同志们做了“氢弹原理设想”的学术报告。在这个具有里程碑意义的报告中，他从基本方程出发，通过严密的推导、量纲分析与粗估，指出了实现热核材料自持燃烧的几种可能途径，结合以前的理论探索和最新计算结果，比较了这些途径的优劣利弊，分析了实现热核自持燃烧的内因和必要条件，最终论证了氢弹的原理构型设想。经过这次学术报告，大家热情高涨，又抓紧完成了一系列系统的工作，发现了一批重要的物理现象和规律，终于形成了从原理、材料到结构完整的氢弹物理方案。

1966年12月28日，中国进行了氢弹原理试验，这是一次完美的试验。试验结果证明，我国已在原子弹研制成功后仅两年零两个月的时间内独立掌握了氢弹原理。五个多月后的1967年6月17日，沉寂的戈壁大漠上空，刹那间升起了一颗极为神奇壮观的“太阳”，中国第一颗氢弹试验圆满成功！从第一颗原子弹到氢弹，我国只用了26个月，速度是世界上最快的，而于敏在其中发挥了关键作用。氢弹爆炸成功后，于敏与邓稼先、周光召、黄祖洽等理论部领导一起，带领科研队伍完成了核装置的理论设计，在提



图3 1967年6月17日我国第一颗氢弹爆炸产生的蘑菇云

高比威力和核武器生存能力等方面进行了优化设计。经过冷、热试验证实，该理论设计是成功的。从此，中国拥有了第一代核武器，并开始装备部队。

3 我国第二代核武器理论研发与设计的领导者与决策者

为了与运载装置导弹适配，核装置还得提高比威力并小型化，因此发展第二代核武器势在必行。上世纪80年代初，于敏被任命为核武器研究院副院长兼核武器理论研究所所长，全面负责领导突破第二代核武器原理。面对这样重大的国防任务，于敏以其强大的理论功底、缜密的思维能力、勇于担当的精神和强烈的责任心，在领导与科研人员的信任下，承担起决策与把关之重任。

核武器初级引爆弹的小型化是核武器小型化的关键，而小型化的引爆弹具有高形状比、高收缩比等特点，设计难度很大。于敏作为气体引爆弹理论设计的主要技术负责人，主持研究并解决了从裂变材料压紧、中子注入及其增殖，到氘氚聚变燃烧过程的规律等问题，还提出了加大两个

关键环节设计裕量的具体措施，确保了试验的成功。气态引爆弹的研制成功，为我国第二代核武器的研制奠定了可靠的基础。

在第二代核武器研制过程中，于敏高度重视加强核武器理论研究与冷、热试验的结合。他经常深入核试验基地，亲自抓核试验的测试工作并根据核武器物理过程的特点提出测试意见，这对推动一些测试技术的发展起到了很大的作用。

为了完成第二代核武器的研制任务，于敏确定了三条准则，并据此进行把关和决策：第一，力求采用先进的设计思想和技术，从战略需要出发，突出重点，逐步缩短与核大国的差距，不追求核武器的多样化；第二，必须谨慎地选择技术途径，力求做到不走弯路或少走弯路；第三，在技术途径选定以后，必须将复杂的物理和技术问题进行分解，狠抓物理和技术关键。正是这三条概括了具有中国特色的核武器发展创新道路的主要科研经验，也正是因为坚持了这三条才使我国以如此之少的核试验次数和经费投入，便使我国核武器设计达到了国际先进水平。中国在20世纪80年代成功研制出了第二代核武器。

4 我国中子弹理论研究与设计的领导者与决策者

从1977年8月开始，于敏领导核武器理论研



图4 1984年于敏和邓稼先在一起(曲荣坤 摄)

研究所开始了对中子弹的探索。中子弹，又称增强辐射武器，属于特殊性能氢弹，是一种以中子杀伤效应为主的战术核武器。在没有任何资料的情况下，于敏根据报纸中披露的“中子的杀伤比冲击波的热辐射要厉害得多”以及800 m距离等零星的信息，提炼出两个至关重要的问题，并循着这个思路提出了中子弹设计的两个指标：一个是剂量指标，一个是当量指标。据此，他敲定了中子弹的研究思路，即威力尽量小，以减少冲击波的破坏半径，而单位威力具有高穿透力的中子数必须要尽量大。进一步地，于敏明确提出了中子弹设计指标。经国防科工委批准，于敏所提出的中子弹设计指标被正式下达并启动研究。

1978年秋天，于敏在第一次中子弹技术讨论会上，做了全面系统的总结，明确了中子弹探索的主攻方向和初步设计目标，指出了某些关键技术问题和难点；确定了中子弹设计的基本技术途径；提出了解决某一关键难点的可能途径等等。基于对设计关键点的认识，为确保中子弹试验的成功，于敏提出了“三锤定音计划”。在他的亲自指挥下，中子弹试验于1988年获得圆满成功。这标志着中国成功突破了技术先进的中子弹。

5 我国核武器大跨步发展的重要引领者与设计师

到20世纪80年代中期，我国的核武器不仅在初级小型化原理试验和中子弹原理试验中取得了圆满成功，小型初级的武器化研制也取得了重大的决定性的进展，而且次级小型化的技术途径也已明确。邓稼先和于敏审时度势，对世界核武器科学技术发展趋势做了深刻分析，认为美国核战斗部的设计水平已接近理论极限，他们为了保持自己的核优势、限制别国的发展，



图5 1989年在中国科学院上海光学精密机械研究所于敏(右二)和实验人员讨论工作(侯艺兵 摄)

很可能会加快禁止核试验的谈判进程，遏制我国核武器的发展，而那个时候中国正处于突破第二代核武器优化设计的关键时刻，如果必须做的热试验还没有做完，该拿的数据还没拿到，核武器事业很可能“功亏一篑”。1986年，邓稼先和于敏向中央递交建议书，要求加快核试验步伐，尽早完成必须要做的核试验。中央很快批准了他们的建议。

1992年，美国在完成了最后6次核试验后，果然开始积极进行全面禁止核试验的谈判。1996年，《全面禁核试条约》(CTBT)签署。

正是邓稼先和于敏的建议书提前规划了我国核试验的部署，促使党中央作出果断决策，为我国争取了宝贵的10年热核试验时间，做完了必须做的热试验。该建议为提升我国核武器的水平，保障中国大国地位的确立，推动核武器装备部队并形成战斗力发挥了非常重要的前瞻性作用。

中国只做了45次核试验，仅为美国的4%，经费投入也少得多，但在核武器物理设计方面，经过原子弹、氢弹、小型化、中子弹、安全型初级五个台阶，已经达到了国际先进水平。这是由于我国采用了正确的核武器发展方针，在目标的选择和技术途径的抉择中采取了积极而又慎重的



图6 1999年9月18日，江泽民代表党和国家授予于敏“两弹一星”功勋奖章

态度，使得在实际发展中几乎没有走什么弯路。在这条具有中国特色的核武器成功发展道路上，于敏是当之无愧的重要引领者与设计师。

6 我国惯性约束聚变与X光激光的开拓者与引领者

在肩负核武器研制重担的同时，于敏总是在思考着全面核禁试后如何确保我国库存核武器的安全、可靠和有效性，关注着国外高科技发展对未来军事态势的影响，特别是对我国核武器的影响。上世纪70年代初期，于敏看到国际杂志上刊登了一篇有关惯性约束聚变的文章，立刻意识到惯性约束聚变的重要性，认为它将来不仅有可能用来解决能源问题，还有可能用来研究核武器物理。然而，当时国际上有关惯性约束聚变研究的文献资料极少，在我国更是一片空白。为了使从事核武器物理研究的科研人员尽快进入一个新的高技术领域，于敏在率先开展惯性约束聚变研究的同时，在核武器理论研究所开办了有关等离子体动力学、惯性约束聚变、激光等离子体物理、X光激光等一系列的讲座，为科研人员普及有关惯性约束聚变的基本知识，并且陆续编写了不少讲义，如《等离子体动力学理论讲义》、《等离子

体粒子云方法讲义》、《激光聚变物理研究现状讲义》、《激光与等离子体相互作用和孤立子问题讲义》、《冕区物理》等等。在深入开展惯性约束聚变研究并开办讲座的过程中，他提炼出大量的研究课题并亲自组织和指导科研人员进行攻关。在他呕心沥血指导下，我国首批惯性约束聚变理论研究队伍茁壮成长，并取得了丰硕的科研成果。

1988年12月，王淦昌、王大珩和于敏给邓小平写了一封建议书，建议加速发展

我国惯性约束聚变研究并列入国家高技术研究发展计划(简称863计划)。1993年，国家正式成立了高技术863计划惯性约束聚变主题专家组，于敏担任第一届主题专家组顾问。结合我国国情，他提出了惯性约束聚变研究的20字方针，即：“目标明确、规模经济、技术先进、物理精密、道路创新”；他还力促惯性约束聚变研究与核武器物理“接轨”，提出了“质上相同、量上逼近”的技术思路。在于敏的积极推动与指导下，我国制定了惯性约束聚变的发展战略和“九五计划”，继神光-I激光装置之后，在上海建造了神光-II八路固体钕玻璃激光装置，并同时开展规模更大的神光-III激光装置的预研。自此，中国惯性约束聚变研究进入了一个崭新的历史发展阶段。

近年来，于敏主要在惯性约束聚变发展战略上指导和帮助着年轻一代的掌舵人与决策者。2011年11月，在美国点火攻关战役可能失败、时任美国能源部主管科学的副部长提交辞呈、国际上有关点火研究各种意见和想法纷起之际，于敏在中国人民解放军总装备部组织的座谈会上谈了他关于美国NIF激光装置与美国点火攻关战役的看法，指出美国在“发展战略、顶层设计、物理分解与综合集成”等四个主要环节上似乎都犯有

错误，导致当前思想混乱，而且美国人近几年专注点火，对核武器物理方面似乎无重大贡献。于敏的一系列意见与建议给我国惯性约束聚变研究的年轻一代领导人提供了重要的帮助，成为中国惯性约束聚变发展战略的指南针。

在我国X光激光研究方面，早在上世纪70年代，他便开办系列讲座并编写讲义，为科研人员普及与强激光相关的物理知识，并组织 and 亲自指导X光激光的科研队伍深入系统地开展X光激光各种产生机制的理论研究。在于敏的悉心指导与引领下，中国在X光激光理论研究上取得了突破性进展，理论与实验研究水平均进入了国际先进行列。曾担任国家863计划激光技术主题首席科学家的中国科学院院士杜祥琬认为：“于敏对强激光主题的发展起到了重要的把关和推动作用。”曾担任国家863计划激光技术主题X光激光组组长、中国科学院院士王世绩写道：“在我国近30年的激光聚变事业中，于先生作为学术上引领人的作用是无可替代的。”

7 敬业奉献、风高范远的学界楷模

“于敏是一位忠于祖国、无私奉献的科学家。他自幼立下了科学救国的远大志向，数十年如一日，将自己的全部身心和才华奉献给祖国的科学技术事业和国防建设。在科研生涯中，他根据国家需要两度调整自己的专业方向……”朱光亚在《于敏院士八十华诞文集》序中这样写道。于敏先生不仅是一位杰出的物理大师，还是品德高尚的学界楷模。他严于律己，淡泊名利，为人十分谦和与低调；对工作严肃认真，实事求是、坚持科学、不畏强暴；对国家、民族的事业总是满怀热忱，具有极高的责任感。自从开始研究核武器，于敏便隐姓埋名，极少发表文章，全身心地扑在国防重大任务上。

在科研工作中，于敏十分注重学术民主，并把工作根基牢牢扎实在科技群体之中。深入群众、深入一线是他一贯的学术作风。即便在担任所、院科技领导工作期间，于敏也经常来到教研室或课题组参加学术讨论，甚至找负责某个具体工作的同志讨论一个物理细节或者推敲一个具体数据。他常说：“核事业是成千上万人的事业。一个人的力量是有限的，你少不了我，我缺不了你。必须精诚团结，密切合作。”于敏先生还十分关心青年科技工作者的成长，不吝赐教、奖掖后学。对于许多工作，他往往做了最难的开头，然后让年轻同志去完成。在他工作过的单位，许多科研人员都自称是“于敏的学生”。

于敏先生在长期的科研工作中形成了独具特色且行之有效的治学思想与治学方法，如：“研究物理问题时需要先进行物理过程的分解，然后对每个环节中的物理现象进行从现象到物理实质分析”，“理论和实验相结合、任务与基础相结合、分解与综合相结合、微观与宏观相结合”等等。他的这些思想与方法为科研人员留下了丰厚而珍贵的治学财富。

共和国不会忘记这位以国家和民族利益为重，把毕生心血和全部才华都无私奉献给祖国国防事业、功勋卓著的科学家——于敏。

参考文献

- [1] 钱伟长、朱光亚、杨福家 主编，郑绍唐、曾先才 著.《中国当代著名科学家丛书——于敏》.贵州人民出版社,2005
- [2] 《于敏论文集》.北京应用物理与计算数学研究所内部资料,1996
- [3] 宋健 主编.《“两弹一星”元勋传》.清华大学出版社,2001
- [4] 《于敏院士八十华诞文集》.原子能出版社,2006