

# 核军备控制物理学研究简介

杜祥琬 张会 李彬

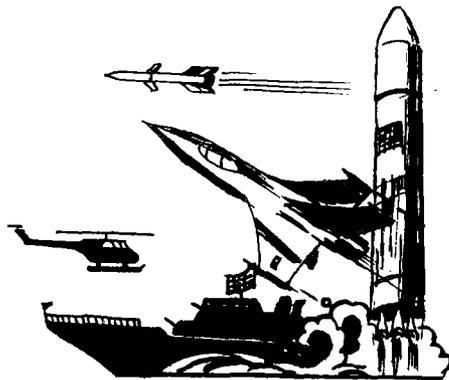
(北京应用物理与计算数学研究所)

90年代初以来,国际战略格局的新变化,使核军备控制开始进入实质性阶段.这一新的形势在社会学和自然科学领域都提出了一系列新的问题.核裁军需要相应的核查手段,同时,裁下来的核武器需要妥善地予以销毁,并对其中的核材料进行处理.另一方面,为了制止生产新的核武器,需对武器级核材料的生产进行监督和控制.此外,全面核禁试条约也需要有效的核查手段作保障.为了防止核武器技术向无核武器国家的扩散,也需相应的技术手段以加强国际核安全保障体制.在这些需求背景下,核军备控制物理学应运而生,并成为应用核物理学的一个新分支.核军备控制物理学研究的主要目的是限制核武器的部署、储存、生产或试验以及制订一些控制核军备竞赛和防止核战争的安全保障措施.核军备控制物理学的发展对促进整个核军备控制研究的发展,为推动裁军进程和争取世界和平将发挥重要的作用.

## 一、核查技术

为了确保军控条约的实施,需要采用一定的技术措施来了解缔约国是否守约,这样的过程称作条约的核查.核查并不仅仅是一个技术问题,而且还是一个政治问题.核查技术是核军备控制物理学研究的一个重要内容.对于不同的军控条约,所要求的核查技术、程序等是不同的.随着军控的深入发展,将不断提出新的科学技术问题.

**禁止核试验的核查.**核试验是核军备发展一个重要环节,同时核试验(尤其是大气层和 underwater 核试验)对环境污染严重.因此,限制和禁止核试验一直受到国际社会的普遍关注.美、原苏等国于1963年签署的《禁止在大气层、外层空间和水下进行核试验条约》就是这方面的一个反映.近年来要求全面禁止核试验已成为国际



军控中的重要问题.

核试验可在空中、水中或地下进行.目前,各有核国家实际上已停止在空中和水中进行核试验.同时,在这两种环境下对核试验的核查相对容易.其核查手段主要借助于在空中或地面上的视觉观察、卫星照相以及对放射性气体的样品分析等技术.因此,全面禁止核试验的核查问题主要是对地下核爆炸的核查.对此,人们发展和研究了多种核查技术.其中,地震方法作为地下核试验的主要核查手段已得到普遍发展,该方法主要利用核爆炸与天然地震产生的地震波信号的不同,来探测和鉴别核爆炸.目前人们利用现有的或将要安装的地震台网可鉴别出爆炸威力高于1千吨梯恩梯当量的地下核爆炸,不过,对于较低当量的核爆炸,人们很难将其与天然地震和化学爆炸区分开.此外,人们还提出了水声法,地球物理法和放射化学方法来核查地下核爆炸.不过现有的这些技术对于判定极低威力的核试验尚有困难,这方面的问题有必要进行进一步的研究.

**核弹头的核查.**在核裁军过程中(如美、俄的削减战略武器条约),越来越多的核弹头将从部署地点裁减下来,为了确保这些弹头确实得到裁减,需要对核弹头进行探测和识别.

核弹头的探测主要是应用物理技术进行探测诊断,判断是否有核弹头存在.区别核弹头与常规弹头的主要依据是判断是否有高浓铀和钚存在.这可以利用裂变材料的重要特性(放射性、良好的吸收性和可裂变性)来进行核探测,如利用中子激活弹头中的裂变材料,观察裂变

放出的中子和  $\gamma$  射线;探测弹头中裂变材料自发裂变产生的中子和  $\gamma$  射线.此外,在核查行动中还要考虑是否存在“欺骗”行为,比如用铅和钨等重金属屏蔽核弹头以减弱中子、 $\gamma$  射线的穿透率,这要求研究相应的反措施技术.

在核弹头裁减中,也应注意防止其他型号弹头冒充顶替待核查类型的核弹头,这要求对核弹头进行鉴别,以便进一步分辨出弹头的类型,由于核弹头的裂变同位素含量、构成及弹体结构因类型不同而有较大差异,因而它们的自发辐射中子场、 $\gamma$  场和射线透视结构有所区别.将这些量作为一种特征“指纹”,可作为弹头类型的判据.核弹头识别技术的关键是寻找既不过多透露设计信息,又能显示弹头类型特征的可测量.

**核不扩散的核查.**控制核武器的扩散是当今国际社会的一个重要问题.阻止核武器扩散的重要技术途径是控制裂变材料的生产,一个国家获得武器用裂变材料可以通过两种途径来实现:一种是从民用核动力系统中转移生产裂变材料;另一种是秘密建造核设施,以生产武器用裂变材料.

为了确保用于和平目的的核材料和设备不转用于军事目的,国际原子能机构(IAEA)已发展了一系列核安全保障措施.其主要技术目标是“及时探测”“有意义量”的裂变材料从已申报的核设施中转移到武器的利用或其他未指定的利用;并通过探测的威胁来遏制这种转移.现在用于探测核材料转移情况的安全保障方法主要以材料衡算作为基本方法,该措施根据物质守恒原理,来确定一个材料平衡区域处核材料存量的变化.IAEA 通过独立测量实物存量和检查帐面存量可确定“不能说明原因”的核材料损失,以评估材料转移情况.IAEA 为了进行材料衡算和核查,发展了多种测量技术,如化学分析方法以及非破坏性分析方法,来确定裂变材料的数量、性质和组分等.此外,安全保障方法还以封隔和监视措施作为辅助手段.如利用照相设备或闭路电视来监视储存在反应堆和后处理厂的乏燃料的运动情况;封记反应堆压力缸

以确信在没有视察员在场时未被开启.

现有的安全保障系统还存在一定的问题,如,对于处理大量分散状态核材料的设施(后处理厂、燃料加工厂等),衡算系统的测量精度并不能有效地探测材料的转移.更重要的是,安全保障系统不能有效探测到秘密发展核武器的情况.因此,对如何加强国际核安全保障措施的研究变得十分重要.对于秘密核活动的探测,人们提出多种探测途径.其中一个重要途径是通过环境监测.这主要是根据生产特殊核材料的核设施将向周围环境释放一定特征的流出物,这样通过对所采集的微量样品(如水、土壤、空气和生物样品)进行化学分析和同位素分析,由此可探测一个国家的秘密核活动.

**禁止裂变材料生产的核查.**禁止武器级裂变材料的生产是全面核裁军和核不扩散体制的一个重要措施.它对于限制核武器数量有着重要意义.

禁止生产的条约需要关闭生产武器级核材料的核设施(铀浓缩工厂、生产堆和后处理厂),这可由国家技术手段、现场视察和情报收集等措施进行核查.如对于被封存的设施,可由卫星照相机来探测核设施操作的迹象.对其它可能生产武器级裂变材料的活动也需要控制和核查.首先对从民用核设施中转移生产武器级核材料的情况,可由类似于 IAEA 安全保障的技术进行核查;其次,对从未申报的核设施中生产武器级核材料的情况,人们已提出几种措施来核查,如利用卫星探测核设施的建造活动;利用环境监测来探测核设施的操作.最后,对从允许操作的一些军用核设施中转移生产武器级核材料的情况,也应发展相应的技术进行监控.例如,利用生产氙的反应堆可生产钚材料;一些海军动力堆利用武器级铀,这些高浓铀可被用来制造武器,因此,对这些核设施也应置于安全保障之下.

为了进一步削减核武库,各国需要申报其过去生产裂变材料的情况.由此也需要发展相应的核查技术.这可以由在反应堆和浓缩设施的一些物证来核查钚和高浓铀的过去生产情况,例如,由测量反应堆芯部件中的长寿命放射

性核素的浓度来估计中子照射通量.以此来核实堆内钚的生产情况.

此外,外空军备控制的核查中也有一部分是物理学的工作.随着各种核军备控制条约的制定和实施,其相应的核查技术将不断地提出一些有关的物理问题,等待物理学工作者去研究.

## 二、核武器销毁技术

随着核裁军谈判的实质性进展,将有大量核弹头被裁减下来.为了保证这些核弹头不再重新用于核武器,必须将其彻底销毁.

核武器的销毁过程包含着各种复杂的技术,不仅要保证被裁减的核武器确实得到销毁,而且要保证被销毁武器的一方其军事秘密不被泄漏,还要保证拆卸和改性后的武器材料的妥善处理.

首先要保证经过核查被鉴定的核弹头在销毁过程中不被偷换,为此,可采用“指纹”技术和标签技术.“指纹”是指每个核弹头自身带有的可辨认而且不易改变的特征.标签技术是在核查后的武器上加上特有的、不能仿制的记号.核弹头被运到工厂后要重新确认上面的标签或“指纹”,然后进行拆卸.高能炸药可由专门车间烧掉;其它非核部件在粉碎车间粉碎.拆卸出的钚可由弹头所有国回收.裂变材料的处理则较为复杂.为了保密起见,可以把几种不同型号的裂变材料混合之后交付处理.

彻底销毁核武器,应对拆卸出的武器级裂变材料进一步处理,使之不能重新用于核武器,对于高浓铀,可用大量天然铀对其进行稀释,使其“失性”,不能用于武器,而用作反应堆的核燃料.武器级钚的处理则较为困难.因为它没有稀释“失性”的特征,即任何级别的钚均可作为武器用裂变材料.目前,科学家们已提出多种钚处置方案,例如,将钚作为核反应堆的燃料加以利用;将钚与高放射性废物混合,玻璃化后,作为核废物储存或深埋;在现有轻水堆或新设计的烧钚堆“一次通过式”烧掉钚;在特别设计的加速器中照射,使钚转变成较短寿命的放射性核素或不具有核扩散性的元素;在国际监督管制

下,长期储存钚.此外,还有地下深埋、空间处置等方案.对各种方案的评价不仅要考虑科学技术上的可行性,更重要的是还要受到环境,经济、核不扩散和资源利用等因素的影响.对于钚的最终合理的处置方案,仍有待于进一步的研究.

## 三、核军备控制物理为军备控制的科学决策提供基础

定量分析核武器的作用.核军备控制物理学研究的一个重要内容是对核武器作用进行定量分析.这主要包括:研究核武器的直接杀伤破坏作用,即研究核武器的效能;研究多个核武器在战争中组合使用产生的后果,即研究核武器的战争效应.

核武器效能的评估研究包括核武器的杀伤破坏机制、杀伤能力、生存能力和费用等.科学家们对核武器杀伤破坏效应的评估,揭示了这些核武器使用的严重后果和巨大危害,由此构成了核武器“相互确保摧毁”的核威慑战略,同时促使国际社会加快禁止使用这些武器的步伐,使各国人民强烈要求各有核国家承诺不首先使用核武器,直至禁止使用核武器.

对核战争效应的研究,使得科学家们认识到,一场大规模的核战争将对人类生存的环境产生灾难性的影响.理论研究指出,大规模的核战争将导致到达地面的阳光减少,地面温度下降,出现寒冷和饥荒.同时还使臭氧层变薄,穿过大气的紫外线大幅度增加,强烈的紫外线会灼伤人畜和庄稼.这将使得人类的生存环境变得极为恶劣.正是这些理论研究使交战双方进一步了解到,在一场大规模的核攻击之后,即便能够解除对手的核报复能力,由于核战争给全球造成的后果,发动攻击的一方也会面临核战争效应带来的巨大灾难,从而使得有核国家对发动核战争持十分谨慎的态度,也可以说使核武器产生了一种“自威慑”作用.同时,也使非交战国家认识到核战争将对他们造成的危害,从而促使国际社会强烈呼吁禁止发生核战争,彻底销毁核武器.

军备控制的系统分析方法.目前核军备控

制的主要目标是限制和裁减核武器。限制什么,如何裁减的最主要依据是:能否增加军事稳定性,降低核战争的危险,核军备控制谈判中遵循的主要原则就是增强稳定性。为此,在核军备控制的科学研究中,科学家们引入了两个重要的概念:危机稳定性和军备竞赛稳定性。这两个概念有比较明确的数学定义,广泛用于评价各种军备发展状况和裁军方案。根据这些定量的定义,科学家们时常运用系统分析方法研究什么样的裁军方案符合本国利益并有利于世界安全;引入一类新武器系统会如何影响军备竞赛升级,以及一个裁军方案是否能得到有效执行等问题。

科学家们通过建立交战模型,可计算了解不同种类、不同型号和不同数量的武器对战争进程和结局的影响。如果可能交战的双方,其武器配置使战争结局非常有利于首先发动进攻的一方,那么爆发战争的驱动力就非常强,这种情况被称作危机不稳定性;如果双方武器配置非常容易刺激对方大量发展军备,进行军备竞赛的驱动力就很强,这种情况被称作军备竞赛不稳定性。科学家们还尝试定量地给出战略稳定

性的概念,以描述上述情况的稳定程度。这样人们就可以通过计算了解武器配置中哪些因素不利于稳定性,因而需要在军控和裁军中重点加以限制。在美俄达成有关削减战略武器条约之前,很多科学家分析了各种裁减方案对战略稳定性的影响,这些研究成果在条约中均有所反映。这种通过建立模型定量分析战略稳定性的方法又称作系统分析方法,它对于综合考虑军备竞赛和军备控制中的各种复杂因素并对此作出准确评价有着重要的意义。

此外,通过科学分析可考察一些新提出来的军备发展方案是否违背已签订的军备控制条约。例如,最近美国政府正在支持发展战区导弹防御系统。然而,一些物理学家经过计算和分析,指出所发展的战区导弹防御系统将违背美苏《关于限制反弹道导弹系统条约》(ABM),而这一条约是美苏(美俄)进行核军备裁军的重要基石。由此,引起更多的科学家进一步研究战区导弹防御系统的兴趣。这些研究无疑将对国际社会深刻理解战区导弹防御系统、ABM 条约和核战略稳定性之间的关系,提供必要的科学基础。

○她用物理的情趣,引我们科苑揽胜;

○她用知识的力量,助我们奋起攀登...

### 欢迎订阅《现代物理知识》

双月刊,国内邮发代号 2-824,国外代号 BM609,每期定价 1.50 元,全年 9.00 元

《现代物理知识》创刊于 1989 年元月,是一份中、高级科普杂志,侧重于介绍现代物理知识、物理学前沿的最新成果与发展动态,以及有关物理学的新技术及其应用。

《现代物理知识》由中国科学院主管,中国科学院高能物理研究所主办,科学出版社出版,国内外发行,各地邮局均可订阅。

本刊编辑部办理邮购:每期:2.00 元,全年 11.00 元,尚有 1992—1994 年各年合订本,每本 15 元;1995 年合订本,每本 20 元。均含邮费、

包装费。

“现代物理知识与教学现代化”,增刊(1994),16 开,200 页,定价 6.50 元;增刊(1996),16 开,296 页,定价 20.00 元(均含邮资),由本刊编辑部办理邮购,欲购者请汇款至:100039 北京 918 信箱“现编部”收(电话:8213344—2782)。

热烈欢迎各界朋友随时向本刊编辑部邮购《现代物理知识》...