

引用格式: 姜玉平. 钱学森与中国导弹核武器的研制与试验. 中国科学院院刊, 2025, 40(Z2): 51-61, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240629003.

JIANG Yuping. Qian Xuesen and development and testing of Chinese missile nuclear weapons. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40 (Z2): 51-61, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240629003. (in Chinese)

钱学森与中国导弹核武器的研制与试验

姜玉平

上海交通大学 马克思主义学院科学史与科学文化研究院 上海 200240

摘要 钱学森是一位为中国导弹核武器研制作出杰出贡献的战略科学家。他主持制订中国导弹发展计划, 创建导弹科研与设计体系, 指导设计队伍掌握导弹设计技术, 建立型号研制系统工程管理方法, 带领研制队伍走上自主发展的道路。作为“两弹结合”试验的技术负责人, 他及时组织研制出“东风二号甲”导弹, 部署与解决了许多关键技术问题, 还协助聂荣臻指挥飞行试验并取得圆满成功。钱学森的科研理念与管理思想, 对当前高水平科技自立自强工作具有重要的借鉴价值。

关键词 钱学森, 导弹, 原子弹, “两弹结合”试验, 导弹核武器

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20240629003

CSTR 32128.14.CASbulletin.20240629003

原子弹与导弹是二战期间问世的两大新式武器, 它们是科学家与工程师合作把科学最新成就应用到工程技术领域的产物。原子弹是一种核武器, 可以使用多种运载工具投送, 采用火箭发动机驱动的地地导弹是最有效的运载工具。如果把原子弹比作一颗射向目标的子弹, 导弹就是把子弹发射出去的枪。20世纪50年代中后期, 苏联、美国等先后把原子弹与导弹结合起来, 形成人类有史以来最具破坏力的导弹核武器。

进攻是最好的防御, 拥有强大的进攻性武器是最有效的防御手段。为此, 中国在20世纪50年代中后期决定发展核工业和导弹工业, 以建立核反击能力, 保障国家安全。1966年10月27日, 中国在本土进行导弹与原子弹结合飞行试验并获得圆满成功, 标志着我国突破并掌握导弹核武器技术。这是中国在经济与物质、技术水平都十分落后的条件下, 充分发挥社会主义集中力量办大事的制度优势, 在国防尖端技术领域

修改稿收到日期: 2024年12月20日

取得的伟大成就。钱学森是在其中发挥至关重要作用的领军科学家。然而，现有的专业性文献很少谈及钱学森与导弹核武器研制问题^[1-3]，与此相关的纪实作品多为叙述性故事^[4,5]，以至于对钱学森与中国导弹核武器研制工作的关系仍缺乏学理性解释。本文从钱学森科研思想的角度梳理和分析他参与组织中国导弹核武器研制的理念与实践，总结成功经验，以为当前高水平科技自立自强工作之借鉴或激励。

1 中国核武器与导弹研制系统的形成

中华人民共和国成立后，就开始着手为发展国防尖端技术做准备。1950年5月，核物理学家钱三强在中国科学院创办中国第一个核科学研究机构——中国科学院近代物理研究所（1953年10月改名为“中国科学院物理研究所”）。1955年1月15日，毛泽东主席在中共中央书记处扩大会议上作出发展核工业的决策。1956年3月14日，中共中央作出发展导弹工业的决策。当月，国务院成立科学规划委员会，由其组织600多位科学家和工程师制订《1956—1967年科学技术发展远景规划》（以下简称《十二年科技规划》）。期间，钱学森主持制订“喷气和火箭技术”规划，王淦昌主持制订“原子能和平利用”规划，分别把研制导弹与原子弹作为重要任务。而且，分管国防科研的聂荣臻副总理在国防项目规划中提出：“鉴于原子弹的临界体积缩小，应研究应用于火炮的弹体和导弹弹体，以及水雷的原子弹头”^[6]。可见，导弹核武器成为科学规划确定的重大目标。另外，科学规划委员会特别提出无线电电子学、半导体、自动化和计算技术作为“四项紧急措施”。这四项新技术是当时世界科技发达国家在科学技术领域展开竞争的制高点，他们与原子弹和导弹的关系十分密切。对于“四项紧急措施”的确定，钱学森“起了举足轻重的作用”^[7]。

最初，国务院成立“三人小组”（陈云、聂荣臻和薄一波），负责指导核工业筹建工作。1956年11月，

国务院成立第三机械工业部（1958年2月改名为第二机械工业部，以下简称“二机部”），主管铀矿勘探、开采、冶炼和核工业建设与发展。同年12月，第三机械工业部与中国科学院决定对中国科学院物理研究所实行部、院双重领导，以部为主。此时，该所已发展成为一个具有相当规模的核科学技术研究与人才培养基地。1958年7月，该所改名为中国科学院原子能研究所。

中国筹建核工业和导弹工业之初，苏联给予了许多帮助。1957年10月15日，中苏两国在莫斯科签订“国防新技术协定”，苏联决定在原子弹、导弹等方面向中国提供技术援助。随后，中国开始大规模建设导弹与核工业研制、生产与试验基地。1958年1月，二机部成立九局，主管核武器研制、生产和基本建设，李觉担任局长。同年7月，九局设立九所，准备接收苏联即将提供的原子弹技术资料。然而，1959年6月20日，苏联政府照会中国政府：暂时不提供原子弹模型和技术资料，两年以后再说^[8]。面对外援突然中断的形势，二机部根据中共中央精神提出“三年突破，五年掌握，八年研制出原子弹”的目标，开始独立探索原子弹的设计。

在导弹方面，1956年3月14日，周恩来总理在中央军委会议上宣布成立国防部航空工业委员会，领导筹建导弹研制机构，由聂荣臻担任主任。同年10月8日，国防部第五研究院（以下简称“五院”）成立，钱学森担任院长。“国防新技术协定”签订后，聂荣臻决定由五院负责仿制苏联导弹的技术工作，生产任务由工业部门承担。到1960年8月苏联撤走全部专家时，五院基本上完成1059导弹（P-2导弹仿制代号）的仿制任务，并开始独立设计。

20世纪50年代初期，中国科学院开始布局国防尖端技术研究。《十二年科技规划》制订任务结束后，国务院批准中国科学院立即落实“四项紧急措施”。据此，中国科学院成立电子学研究所、计算技术研究

所和自动化及远距离操纵研究所筹备委员会，在中国科学院应用物理研究所设立半导体物理研究小组，培养人才，开展研究。1960年3月，中国科学院以核技术和火箭技术为重点提出《关于大力发展尖端科学研究三年规划和八年设想（草案）》。同年7月，又成立新技术局，归口管理承担国防尖端技术工作的研究所。

这样，中国围绕“两弹”研制任务形成了二机部、五院和中国科学院这三大系统。为了加强对这些系统工作的领导和协调，1958年10月中共中央决定扩大国防部航空工业委员会的工作范围，组建国防部国防科学技术委员会（以下简称“国防科委”），统一领导核武器、导弹和常规武器装备的科研工作，由聂荣臻担任主任。1962年11月16日，中共中央又批准成立15人专门委员会（以下简称“中央专委”），作为原子弹研制工作的最高协调与决策机构，周恩来担任主任委员。1965年2月3日，中央专委决定将导弹研制工作纳入管辖范围。此后，“两弹”研制工作在中央专委的直接领导下进行。

2 钱学森与导弹科研及设计体系的建立

五院成立之时，国内没有任何导弹技术的积累，但自主设计的导弹在1964年6月29日试飞成功，及时为开展“两弹结合”飞行试验提供了运载原子弹的工具。五院为何能够在不到8年的时间里研制出导弹？要揭开其中的奥秘，必须深入认识钱学森发展导弹工业特别是创建导弹科研与设计体系的理念与实践。

根据钱学森在1956年2月17日提交的《建立我国国防航空工业意见书》^[9]中提出的设想，导弹研制机构包括领导机构、科学研究机构、设计研究机构和生产工厂。这里，钱学森将科学研究机构分成2类：①“为设计而服务的研究及试验单位”，设在导弹研制机构；②“作长远及基本研究的单位”，可设在中国科学院。在筹建顺序上，他提出“研究、设计和生

产三面并进”、以研究和设计为中心。根据当时形势，他建议“在开始时，重点放在生产，然后兼及设计，然后兼及研究”，积极向苏联争取援助，最终目标是建立能够独立研制各类导弹的科研、设计与生产体系。

五院成立后，钱学森成为中国导弹事业的技术主帅。在他主持下，五院设立总设计师、空气动力、发动机、控制系统等10个研究室。这些研究室承担导弹研制，以及“为设计服务的研究及试验”工作。前者包括研究、设计、试制和试验等环节，是针对具体的工程研制任务或目标而开展的研究工作。后者即预先研究，是针对导弹未来实际应用的潜在可能性而开展的研究工作。为了加强电子技术力量，钱学森等于1957年11月9日向聂荣臻呈送《关于导弹研究院体制意见的报告》，提出以总参通信兵部电子科学研究院为基础，与五院后五室合并，成立五院二分院^[10]。同年11月16日，五院成立一分院和二分院。一分院负责弹体、结构与发动机的研究设计；二分院负责控制、制导的研究设计。此后，这种专业研究院成为五院的基本组织体制。

1956年1月6日，中国科学院在中国科学院数学研究所力学室的基础上成立中国科学院力学研究所（以下简称“力学所”），由钱学森担任所长。他以技术科学思想指导建所工作，要求力学所一方面“为国防建设事业中的喷气技术服务”，另一方面解决经济建设中的力学问题，引领新型工业技术发展^[11]。据此，他在力学所部署许多与导弹和火箭技术相关的“长远及基础研究”，重在探索新方向与新原理，为五院导弹和火箭研制探路，以加速型号研制进程，使国家有限的科研投入得到最合理的使用。此后，钱学森坚持这种定位与分工。例如，1961年5月18日，钱学森召开会议为力学所与五院一分院确定五大协作研究课题，目的是为五院型号研制工作提供理论指导和实验数据^[12]。

五院专业研究院体制的长处在于分工明确，有利于各个专业的建设与发展。但转入自行设计阶段后，专业研究院暴露出越来越多的缺点和矛盾，尤其是指挥协调关系过于复杂，导致效率低下，不能适应型号研制技术抓总的要求。根据钱学森的建议，1963年9月14日五院决定从专业研究院转变为型号研究院，即一分院集中力量研制地地导弹，二分院集中力量研制地空导弹，三分院集中力量研制海防导弹^[10]。每个分院主要负责一类型号的总体、分系统的研究设计、试验和试制，各成体系。1964年4月4日，五院又以固体火箭发动机研究所为主体组建四分院，作为固体导弹的总体院。

1965年1月，第七机械工业部（以下简称“七机部”）成立，钱学森担任副部长。他协助王秉璋部长，根据研制工作需要从型号研究院与系统工程管理角度提出调整研制机构的一整套想法，即型号研究院、总体设计部、系统专业研究所、试制工厂序列。同时，设立一系列独立于型号研究院的基础研究所，它们是服务于七机部系统的部管直属研究所，为各个型号服务，实行部和所在研究院双重领导。钱学森对型号研究院的职责定位非常清晰——以科研与设计为主导，科研生产相结合，构成七机部自主研制、技术创新的主体^[4]。特别是，型号研究院突出总体的思想使技术指挥线和行政指挥线运行畅通，技术协调更为顺畅。经过调整和建设，七机部形成以型号研究院为主体的科研、设计、试验与生产体系，并建立导弹核心技术体系，从而为自主研制各类导弹奠定了科学高效的研究体制与管理模式。

3 钱学森带领导弹研制队伍走上自主研制道路

根据“国防新技术协定”，苏联向中国提供P-2等4种导弹，并派专家帮助开展仿制。1960年11月5日，五院仿制的1059导弹发射成功。但它的性能比较落

后，不符合作战要求。况且，五院在仿制过程中只是学会了导弹制造与生产技术，还没有掌握设计技术。为此，五院自1960年5月开始在1059导弹的基础上改型设计“东风二号”导弹。1962年3月21日，首次飞行试验不幸失败。在钱学森组织下，设计人员迅速从技术上找到了失利的关键原因——总体设计考虑不周全与发动机结构强度不够。经过重新设计，1964年6月29日复飞取得成功。在重新设计过程中，钱学森着重在导弹研制的组织管理等方面进行深入探索。

3.1 采用系统工程管理方法与确立型号研制程序

（1）钱学森特别强调在总体思想指导下进行工程研制管理的重要性。当时，钱学森提出2个观点：①要有总体设计部，对一些扯皮的复杂问题，从总体优化的角度加以协调。②系统工程。他将总体设计部作为总设计师的办事机构，提升它的地位，加强它的协调功能。1962年，他对大家说：“系统工程是美国在研制北极星导弹系统中提炼出的一种工程管理办法，比较高效、科学，叫作‘计划协调管理技术’，注重从整体上考虑并解决问题，我们要把这种观念应用到我们的导弹研制管理中来。”^[13]为此，五院一分院总体设计部把有关计划协调管理技术（PERT）的资料翻译出来，发给大家学习、研究和借鉴。同时，要求设计人员深入研究“东风二号”改型设计过程中哪些地方是关键，哪些地方需要特别注意，并采用计划协调管理技术制订一个方框流程图，作为共同的行动计划。同时，五院总院和各分院都成立调度室，按照共同行动的计划进行调度和组织设计师进行协调，有条不紊地推进型号研制。后来，这个调度系统演变成为型号指挥调度系统，与已经建立、属于设计师系统的技术指挥系统一起，构成型号研制的两大指挥系统。七机部成立后，将这两大指挥系统贯彻到型号研究院，对导弹、火箭及航天器的研制起到了非常重要的作用。

（2）研究型号研制规律，确定型号研制程序。钱

学森组织设计人员在总结“东风二号”设计的经验与教训过程中，特别重视对导弹型号研制规律和程序的探索。经过反复分析、讨论和争辩，最后确定型号研制包括8个阶段（即确定任务、制订方案、初步设计、技术设计、试制、综合试验、定型、移交）和5个程序（即指标论证阶段、方案阶段、初样阶段、试样阶段和定型阶段）^[14]。并且，五院将此作为型号研制工作的必经程序，要求严格按照程序办事。

（3）研究并确定地面试验程序。当时，钱学森要求“东风二号”修改设计的重点放在解决可靠性上面，能在地面充分做的试验一定要在地面创造条件做透，不带问题上天。1962年11月，五院颁发《关于东风二号地面试验的初步意见》，规定对导弹进行5类19项地面试验，其中在发射试验之前需要进行4类17项地面试验^[14]。此后，这套试验程序成为五院型号研制工作遵循的共同准则。

五院通过对“东风二号”改型设计的磨炼，掌握了导弹设计技术，确定了型号研制程序和地面试验程序，实现了从仿制到研制的蜕变，为自主研制打下了坚实的基础。

3.2 主持制订地地导弹“八年四弹规划”

1961年6月初，聂荣臻就地地导弹研制提出“三步棋”的意见，即探索一种、研制一种、生产一种，这样安排可以加强工作的计划性和预见性^[15]。为了贯彻这个思想，1962年2月初，钱学森在五院发起成立由各个方面专家组成的科学技术委员会。五院科技委设置16个专业组，各个专业组根据型号研制需要制订本专业的科研规划，部署预先研究课题，为今后的型号研制提供技术储备。1963年4月2日—5月16日，五院科技委召开首届年会，讨论地地、地空和海防导弹的技术途径和发展步骤。其间，地地型号组组长屠守锷作了《地地导弹发展技术途径与步骤》的报告，提出地地导弹由近程、中程、远程向洲际发展的步骤。

1965年2月3—4日，中央专委第十次会议确定地地导弹研制分为两个阶段：1964—1968年为第一阶段；1969—1972年为第二阶段。第一阶段同时研制2种射程的中程导弹；第二阶段制造远程导弹，并争取在1975年以前研制和试制洲际导弹。第一次“两弹结合”试验，使用“东风二号”进行，并迅速提高射程^[10]。会后，周恩来委派中央专委办公室常务副主任赵尔陆到七机部，就地对地地导弹研制规划问题发动群众开展大讨论。钱学森是这项规划制订工作的主持人。期间，他殚精竭虑，经常夜不能寐。在确定导弹战术、技术指标时，他既要考虑采用比较先进的技术方方案，又要考虑有无预先研究的技术基础，以及可行性如何。他经常深入基层，与技术人员一起讨论问题，理清思路，亲自审查他们的计算结果。他告诉大家，中国发展导弹技术的思路是既要有先进性，也要有继承性，要力争在比较短的时间里，花比较少的经费，研制出性能指标优良的系列产品^[5]。在大讨论形成的共识，以及屠守锷的《地地导弹发展技术途径与步骤》的报告基础上，七机部形成《地地导弹发展规划（草案）》，即在1965—1972年研制“东风二号甲”中近程导弹、“东风三号”中程导弹、“东风四号”中远程导弹和“东风五号”洲际导弹，简称“八年四弹规划”。1965年3月20日，中央专委第十一次会议原则批准“八年四弹规划”和进度安排^[10]。此后，七机部按照这个规划自主研制地地导弹，走上了系列化发展道路。

4 “两弹结合”试验取得圆满成功

随着导弹与原子弹研制工作相继取得重要突破，“两弹结合”试验成为中央专委主抓任务中的重中之重。1963年12月5日，中央专委第七次会议决定核武器以发展导弹核弹头为主，要求加速这方面的研制^[16]。1964年12月4日，国防科委就导弹和原子弹进行“两弹结合”问题的实施方案向中央军委作专题报

告,提出需要开展的主要工作:①改进“东风二号”的战术技术性能,使射击精度、使用性能符合作战使用要求;②改进原子弹头的技术性能,使其在重量、尺寸、威力等方面满足运载工具所提出的要求;③解决“两弹结合”的协调与配套问题^①。其中,二机部负责研制适合导弹运载的原子弹头,七机部负责研制运载原子弹头的“东风二号甲”导弹。

4.1 七机部研制“东风二号甲”导弹

从实战角度看,“东风二号”有许多不足之处,射程也不到1 000公里,所以五院没有按此状态定型。当时,周恩来提出要提高“东风二号”的射程,使其成为一个具有实战价值的武器。1964年11月,五院一分院提出“东风二号”增程的初步方案,主要有2项改进:①发动机推力由40.5吨提高到45.5吨;②控制系统由无线电横偏校正系统改为全惯性制导方案。另外,射程增加至1 200公里。增程后的导弹被命名为“东风二号甲”,全长20.9米,最大直径1.652米,起飞质量29.8吨,推进剂为酒精和液氧,尾部有4个三角形尾翼。1965年3月20日,中央专委第十一次会议要求加快研制“东风二号甲”,为“两弹结合”试验做准备。

“东风二号甲”的研制是在钱学森直接指导下开展的。1965年1月3日,七机部一院完成总体方案设计。随后,对发动机、控制、弹头、遥测等分系统进行改进设计。发动机经过改进,推力能够稳定达到45.5吨的水平。控制系统全部采用全惯性制导方案。弹头采用玻璃增强塑料材料防热层,可使壳体工作温度降到100摄氏度左右。为了弄清再入时弹头各部分工作状况,并给原子弹头提供飞行环境数据,需要解决再入测量问题;研制人员创造性地提出利用穿甲弹回收磁带的硬回收方案,并成功解决高速撞击带来的难题。为了采取多种手段获取再入参数,研制人员在

研究硬回收的同时研制出弹射回收装置。另外,遥测系统增加了测量流量、液位、振动参数等。同年11月13日,“东风二号甲”举行首次飞行试验,一举成功。紧接着,在不到2个月的时间里接连进行了7次发射,6发成功,1发失败。这8发导弹飞行试验表明,全惯性制导方案是成功的,射程和精度也满足设计要求,还测量了被动段参数,为“两弹结合”试验提供了相关数据。随后,一院又开展提高可靠性和改善使用性能的修改设计工作。

4.2 导弹与原子弹结合试验的准备与实施

只有解决原子弹与导弹结合的问题,才能算真正拥有导弹核武器。因而,国防科委于1963年3月就着手部署原子弹与导弹结合试验的预先研究任务,代号为“140任务”。同年10月,为摸清“两弹结合”的技术关键,五院一分院开始进行140任务的试设计。随后,一分院总体设计部一室(总体室)与四室(弹头室)抽调专人组成“两弹结合”小组,代号为“140小组”,负责设计工作。1964年2月,聂荣臻提出要解决核弹头问题,应在不影响当前研制任务的前提下积极进行“两弹结合”的准备工作,并决定邀请钱学森、钱三强论证方案。同年5月4日,聂荣臻再次提出:“原子弹头的设计工作,钱学森、钱三强都要参加。二机部与五院在这项任务中是相互服务的关系,不是谁帮谁。五院和二机部应分别指定人共同组成总设计师室,要互通情况,大力协作。”^[15]随后,在钱学森协调和安排下,二机部第九研究设计院(以下简称“九院”)几位负责原子弹头总体方案设计的人员来到五院一分院了解情况,双方商定在导弹头部安装原子弹头的要求和基本参数。同年7月29日,五院一分院邀请九院邓稼先介绍原子弹的原理、结构及试验情况。随后,140任务由试设计转入正式研制阶段。同年9月17日,中央专委第九次会议就“两弹结合”

^① 航天工业部第一研究院院史编辑委员会. 航天工业部第一研究院大事记(1957—1987). 北京: 航天工业部, 1987: 149.

做出部署，决定二机部和五院共同组成方案论证小组，开展“两弹结合”的研究设计，由五院抓总^[4]。这样，钱学森就成为这项任务的技术负责人。同年12月14日，五院提出“两弹结合”的总体方案，以及外部外形尺寸、头部加温系统方案的报告。

采用导弹运载的原子弹头，不仅在体积和重量上要大幅减小，而且要适应复杂与严苛的导弹飞行环境与条件，研制工作难度很大。1964年4月，九院开始在第一个原子弹装置的基础上，结合导弹飞行环境与条件开展原子弹头的理论设计和结构设计，还进行了一系列试验验证。到1965年6月底，九院完成原子弹头的理论设计、结构设计和引爆控制系统设计，并与七机部一院商定原子弹头与“东风二号”头部壳体连接结构方案。然后，他们对核装置和引爆控制系统的一些部件和整件进行了振动、离心加速度、冲击和温湿度等试验。其间，他们突破运输模拟试验技术和设备的限制，专门进行了时速40公里、距离几百公里的原子弹头公路运输试验^[1]。后来，又经过一系列研究与试验，确定了原子弹头装入导弹头部的技术参数。在保证一定爆炸当量的前提下，原子弹头的体积与重量都已大为减小，符合装弹要求^[17]。

由于原子弹的保密级别比导弹高，五院可以把导弹的情况告诉九院，而九院不能把原子弹的情况告诉五院。这让五院设计人员不能接触原子弹实物，更不知晓原子弹的技术参数。在钱学森向上级部门汇报和协调之后，情况有了显著改善。经过上级部门批准，两家单位成立联合工作组，在一定范围内打破保密界限，特批140小组的部分设计人员进入九院总装车间。1965年6—8月，由九院朱光亚带队，七机部一院一部四室朱桂芳等14人到九院青海221基地开展技术协调。导弹设计人员不仅见到了原子弹实物，还了解了总装过程；原先担心弹头容积不够，见到实物后心里踏实了——只需调整一下电缆安装位置，不需要更改弹头外形就能装得下原子弹头，四周还留有10毫米的

空隙^[4]。

1965年3月20日，中央专委第十一次会议要求二、七机部抓紧进行“两弹结合”试验的准备工作。最初，二机部提出用于导弹运载的原子弹头试验只搞“冷”试验（不装核燃料），“热”试验（装核燃料引爆）放在地下进行。周恩来也同意这个方案^[15]。然而，二机部九院专家们在1965年12月中旬提出，原定的地下核试验方案考验不了原子弹头在实际飞行状态下的状态参数是否符合实战要求，希望采用把原子弹头装在“东风二号”导弹上进行全射程的实际飞行状态下的核爆炸试验，但是担心导弹不保险。对此，聂荣臻认为这个试验方案“要慎重考虑，不要轻易下此决心^[15]。”这些意见被提到中央专委会议上讨论。1965年12月底，中央专委第十四次会议研究和讨论“两弹结合”试验方案，周恩来指示国防科委、二机部等单位多做几个方案，相互进行比较。会后，国防科委立即组织二机部、七机部等单位负责同志进行研究，得出的结论是检验“两弹结合”试验效果最好的方案是实施导弹全程飞行“热”试验，这样既能达到试验目的，又符合实战要求^[18]。

1966年3月11日，中央专委第十五次会议讨论国防科委提出的“两弹结合”飞行试验方案。经过权衡利弊，会议决定进行“两弹结合”保险措施和安全自毁的2项“冷”试验，然后根据试验情况决定是否进行“热”试验^[17]。会上，周恩来强调：“中近程地地导弹弹头冷热试验要准备好，在8月底前完成‘两弹结合’的一切准备工作，七机部要千方百计防止导弹中途掉下来，万一掉下来，二机部要保证弹头不出现核爆炸，二、七机部互派工作组深入有关院、厂进行工作，工办检查落实。”^[19]遵照周恩来提出的“十六字”方针，为做好“两弹结合”试验的技术协调，钱学森要求明确“两弹结合”技术协调负责人。据此，国防科委决定成立“两弹结合”技术协调小组，七机部一院总体设计部主任谢光选担任组长，二机部九院

设计部主任龙文光担任副组长。他们的任务是在导弹头部密封舱内为原子弹头提供合适的温度、湿度环境，并让密封舱具备减振和缓冲功能，使原子弹头免受过大的冲击与振动。经过集中攻关，这些技术难题均被一一攻克。同时，还开展了原子弹头与导弹完全结合的多项综合性试验，如振动、冲击、静力、噪声、运输等，满足了飞行试验的强度要求^[5]。1966年8月31日，国防科委批准“两弹结合”试验方案。根据周恩来的安排，钱学森与二机部副部长李觉在1966年10月初飞往酒泉发射试验基地，组织1次导弹安全自毁系统的空爆试验，再组织2次“冷”试验。同年10月7日，“东风二号甲”成功地实施了安全自毁试验；10月13日、16日，在“东风二号甲”飞行试验弹上进行了2次“冷”试验，均获成功。这表明已完全具备进行“热”试验的条件。钱学森认为确有把握后，上报中央专委，等待下达试验命令^[9]。

1966年10月20日，周恩来召集中央专委专门会议，听取国防科委副主任张震寰关于飞行“热”试验准备工作情况的详细汇报，再次研究和讨论飞行“热”试验的安全性问题。关于核导弹在飞行过程中一旦发生意外情况安全自毁系统能不能保证不出问题，钱学森和李觉汇报说：“在这方面已经作了多次模拟试验，前些日子还真刀真枪地炸了一颗，证明非常可靠。现在这枚弹上的安全装置，也已经作了全面检测，各项参数都符合要求。”钱学森还告诉周总理：“导弹掉在柳园地区的概率为十万分之六，其安全程度，比总理您乘坐的荷兰皇家航空公司的飞机到非洲访问的安全性还高呢。”^[4]会上，周恩来委托聂荣臻去酒泉基地主持这次试验。1966年10月25日下午，聂荣臻乘机飞往酒泉基地，晚上听取张震寰、基地代司令李福泽，以及钱学森和李觉等的汇报。最后，批准用于正式试验的导弹、原子弹头分别在1966年10月26日晨运往测试阵地^[15]。

1966年10月27日上午9时10秒，核导弹在酒泉

基地点火后腾空而起，飞行894公里之后，核弹头于9时9分14秒在新疆核试验基地上空预定区域实施核爆炸。爆炸当量约为1.2万吨梯恩梯（TNT）炸药，与理论设计值完全吻合。次日上午，聂荣臻在酒泉基地召开的庆祝大会上讲话。他说：“这次试验，是在过去导弹和核弹头分别试验的基础上进行的一次综合性的更高级的试验，是带有战斗实用性质的试验。试验结果，证明我们的设计是成功的，水平是不低的，质量也很好。”^[15]1966年11月3日，聂荣臻到新疆核试验基地弹着区察看核弹头爆炸投影点地区被烧成玻璃体的地面。当获知这次核爆炸的实际爆炸高度，比预定高度仅偏高##余米，实际爆心投影点距预定投影点仅偏近##米、偏右##米时，十分高兴地对身边的张震寰、钱学森、李觉等人说：“我们的中近程地地导弹能达到这样准确，核弹头和引爆控制系统设计得这样可靠，是很不容易的，真了不起。这说明我们的技术水平已经有了很大的提高。”^[15]通过这次试验，中国获得了核导弹研制、试验与定型的完整经验。

5 结语

导弹核武器的研制成功，是中国20世纪50—60年代在国防科技领域取得的代表性成就，意味着中国在当时世界最新且最重要的科学技术领域占有一席之地。其中，钱学森作为导弹技术主帅，领导创建导弹科研与设计体系，指导研制队伍掌握导弹设计技术、建立型号研制程序与系统工程管理方法、研制出“东风二号甲”导弹，以及解决与原子弹结合的大量技术问题，还协助聂荣臻指挥“两弹结合”飞行试验并取得圆满成功。

回顾钱学森与导弹核武器研制与试验的历程，可以获得许多启示。

（1）中国在如此之短的时间里研制出导弹核武器，关键原因在于钱学森等战略科学家的科研思想通过举国体制得到贯彻和实施。换言之，集中型举国体制与

符合科学技术发展规律的科研思想结合起来,可以比较快地实现分散型体制无法达到的目标。需要指出的是,举国体制适合用于科学原理清楚、研制目标明确、技术上可行的重大工程研制领域,但在前景不明、不确定性因素较多的基础研究领域不能显现出优越性。

(2) 发展高科技事业必须走自主研制之路,建立科研与设计体系,按照型号研制规律与程序开展研制工作。五院、二机部负责型号研制任务,他们在组织体制与管理模式上虽有差异,但都建立起完善的科研、设计与生产体系,科研与设计是龙头和核心。各类机构根据各自的定位与职责各司其职,协同攻关,从而保证研制目标的如期实现。

(3) 必须加强有组织的科学研究工作。有组织的科学研究,指的是具有明确的应用目标或为国家现实需求服务的研究工作,它在研究目的、研究方法上与基础研究存在着显著差异。按照钱学森的科学理念,这部分研究工作属于技术科学工作,担负着为工程技术开辟新方向、新途径的重要角色,或为产品型号研制提供理论指导或实验数据,但不设计具体产品。在“两弹”研制过程中,中国科学院并非型号工程研制的抓总单位,但钱学森根据导弹和火箭研制需要在力学所安排了许多有组织的科学研究项目,为五院导弹和火箭型号研制突破了多项关键性技术,作出了不可或缺贡献。而且,带动了相关学科的知识积累与理论创新。

(4) 现代高技术产品型号研制是一项牵涉面十分广泛、结构与层次极其复杂的系统工程,必须建立科学高效的决策、协调与管理机制。建立国家层面的决策与协调机构,自不必说。在型号研制部门,也须建立符合型号研制规律的组织体制,采用系统工程管理方法。这样,才能正确处理总体与分系统的关系,使技术协调与管理渠道畅通无阻,从而保证研制质量与进度。

参考文献

- 1 李鹰翔,李觉,雷荣天,等.当代中国的核工业.北京:中国社会科学出版社,1987.
Li Y X, Li J, Lei R T, et al. Nuclear Industry in Contemporary China. Beijing: China Social Sciences Press, 1987. (in Chinese)
- 2 谢光.当代中国的国防科技事业.北京:当代中国出版社,1992.
Xie G. National Defense Science and Technology in Contemporary China. Beijing: Contemporary China Publishing House, 1992. (in Chinese)
- 3 约翰·W·刘易斯,薛理泰.中国原子弹的制造.李丁,陈旭舟,傅家祯,等译.北京:原子能出版社,1991.
Lewis J W, Xue L T. China Builds the Bomb. Translated by Li D, Chen X Z, Fu J Z, et al. Beijing: Atomic Energy Press, 1991. (in Chinese)
- 4 石磊,王春河,张宏显,等.钱学森的航天岁月.北京:中国宇航出版社,2011.
Shi L, Wang C H, Zhang H X, et al. Qian Xuesen's Aerospace Career. Beijing: China Aerospace Publishing House, 2011. (in Chinese)
- 5 孔祥言.钱学森的科技人生.北京:中国宇航出版社,2011.
Kong X Y. Qian Xuesen's Scientific Lifetime. Beijing: China Aerospace Publishing House, 2011. (in Chinese)
- 6 聂荣臻.对十二年科学规划国防研究项目的意见//聂荣臻军事文选.北京:解放军出版社,1992:390-394.
Nie R Z. Opinions on national defense research projects in the 12-year Scientific Plan// Selected Works of Nie Rongzhen on Military. Beijing: Chinese People's Liberation Army Publishing House, 1992: 390-394. (in Chinese)
- 7 何祚麻.钱学森教授与发展科学技术的十二年规划.院史资料与研究,1992,(3):23-31.
He Z X. Professor Qian Xuesen and the 12-Year Plan for the development of science and technology. Institute Historical Materials and Research, 1992, (3): 23-31. (in Chinese)
- 8 沈志华,李丹慧,牛军.中苏关系史纲.北京:社会科学文献出版社,2011:248.
Shen Z H, Li D H, Niu J. History of Sino-Soviet Relations. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2011: 248. (in

- Chinese)
- 9 陶家渠. 为中国航天奋斗. 北京: 中国宇航出版社, 2022: 453-456.
Tao J Q. Strive for China's Aerospace Industry. Beijing: China Aerospace Publishing House, 2022: 453-456. (in Chinese)
 - 10 《中国航天事业的60年》编委会. 中国航天事业的60年. 北京: 北京大学出版社, 2016.
Editorial Board of "60 Years of China's Aerospace Industry". 60 Years of China's Aerospace Industry. Beijing: Peking University Press, 2016. (in Chinese)
 - 11 姜玉平. 钱学森与技术科学. 上海: 上海人民出版社, 2015: 129-136.
Jiang Y P. Qian Xuesen and Engineering Sciences. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2015: 129-136. (in Chinese)
 - 12 樊洪业. 中国科学院编年史(1949~1999). 上海: 上海科技教育出版社, 1999: 127.
Fan H Y. Chronicle of the Chinese Academy of Sciences (1949 - 1999). Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Education Publishing House, 1999: 127. (in Chinese)
 - 13 史颜莉. 谢光选院士传记. 北京: 中国宇航出版社, 2015: 121.
Shi Y L. Biography of Academician Xie Guangxuan. Beijing: China Aerospace Publishing House, 2015: 121. (in Chinese)
 - 14 姜玉平. “国防新技术协定”与中国导弹科技工业的初创. 当代中国史研究, 2018, 25(3): 44-56.
Jiang Y P. "Defense New Technology Agreement" and the start-up of China's Missile Technology Industry. Contemporary China History Studies, 2018, 25 (3): 44-56. (in Chinese)
 - 15 周均伦. 聂荣臻年谱(下). 北京: 人民出版社, 1999: 780.
Zhou J L. Nie Rongzhen's Chronicles(Part 2). Beijing: People's Publishing House, 1999: 780. (in Chinese)
 - 16 刘西尧. 攀峰与穿雾: 刘西尧回忆录(修订版). 武汉: 武汉大学出版社, 2007: 134.
Liu X Y. Climbing the Peak and Penetrating the Fog: Liu Xiyao's Memoirs. Wuhan: Wuhan University Press, 2007: 134. (in Chinese)
 - 17 李鹰翔. 核导弹武器化成功的重要标志——纪念我国“两弹”结合试验成功50周年. 中国核工业, 2016, (10): 52-54.
Li Y X. An important symbol of the successful weaponization of nuclear missiles—Commemorating the 50th Anniversary of China's "Combination of Two Bombs" test. China Nuclear Industry, 2016, (10): 52-54. (in Chinese)
 - 18 李鹰翔, 林儒生. 两弹结合五十年. 兵器知识, 2017, (1): 79-82.
Li Y X, Lin R S. Commemoration of the 50th anniversary of the combination of two bombs. Weapon Knowledge, 2017, (1): 79-82. (in Chinese)
 - 19 刘柏罗. 从手榴弹到原子弹. 北京: 国防工业出版社, 1999: 35-36.
Liu B L. From Hand Grenades to Atomic Bombs. Beijing: National Defense Industry Press, 1999: 35-36. (in Chinese)

Qian Xuesen and development and testing of Chinese missile nuclear weapons

JIANG Yuping

(Institute of History and Culture of Science, School of Marxism, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract Qian Xuesen is a strategic scientist who has made outstanding contributions to the development of China's missile nuclear weapons. He presided over the formulation of China's missile development plan, established the missile research and design system, guided the design team to master the missile design technology, established the model development system engineering management method, and led the development team to embark on the road of independent development. As the technical leader of the "Combination of Two Bombs" test, he promptly organized the development of the "Dongfeng 2A" missile, deployed and solved many key technical problems, and also assisted Nie Rongzhen to command the flight test and achieved complete success. Qian Xuesen's scientific research ideas and management thoughts have important reference value for the current high-level scientific and technological self-reliance work.

Keywords Qian Xuesen, missile, atomic bomb, "Combination of Two Bombs" test, missile nuclear weapons

姜玉平 上海交通大学马克思主义学院科学史与科学文化研究院教授。主要研究领域：中国近现代科技史。
E-mail: yppjiang1005@sjtu.edu.cn

JIANG Yuping Professor of Institute of History and Culture of Science, School of Marxism, Shanghai Jiao Tong University. His main research field covers history of science and technology in modern China. E-mail: yppjiang1005@sjtu.edu.cn

■ 责任编辑：张勇