

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2010.00301

# 钱学森与中国航天工程的开创

## ——以探空火箭工程和东方红一号卫星工程为例

李颐黎

(北京空间机电研究所, 北京 100076)

**摘要:** 钱学森对中国航天工程的涉及面很广, 本文的论述仅限于钱学森在中国探空火箭工程和东方红一号卫星工程方面, 重点论述了钱学森及其领导的航天队伍在研制 T-7M、T-7 探空火箭和长征一号运载火箭的过程中所取得的业绩。目的是揭示钱学森及其领导的航天队伍对我国航天工程开创的历史性贡献, 揭示这些研制工作对钱学森的系统工程学形成的影响, 同时为读者提供翔实的中国探空火箭和长征一号运载火箭工程的资料。最后, 本文给出了几点启示。

**关键词:** 钱学森; 航天工程; 探空火箭; 东方红一号卫星工程

中图分类号: V4

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2010)04-00301-13

### 1 引言

1955年10月, 钱学森回到祖国立即投入到新中国建设的热潮中。

从1955年11月起, 钱学森为筹建中国科学院力学研究所, 深入东北地区有关厂矿、大学和研究所考察调研, 召集国内科学院所的领导和专家座谈讨论, 统一建所思想, 明确建所方针, 在不到3个月的时间内, 领导组建了中国科学院力学研究所。1956年1月, 钱学森担任力学研究所所长。同年2月, 在周恩来总理的鼓励和支持下, 他起草了《建立我国国防航空工业的意见书》, 为我国火箭和导弹技术的创建与发展提供了极为重要的实施方案。同年3月, 党中央和国务院决定制定我国《1956年至1967年科学技术发展远景规划纲要》, 钱学森担任科学规划组组长, 主持起草了建立“喷气和火箭技术”项目的报告书, 为推动新中国的科学技术、工业、农业和国防事业的发展起到了重要作用。同时, 钱学森受命组建国防部第五研究院并担任首任院长, 后又兼任国防

部第五研究院一分院院长, 担负起新中国导弹航天事业技术领导的重任。

钱学森在《建立我国国防航空工业的意见书》中, 从领导、科研、设计和生产等方面对发展中国的导弹事业提出了建议。钱学森指出, 为了发展国防航空工业, 需要设置专门的科研机构、试验场以及制造工厂, 要培养大批年轻力量, 要制定长远的规划。

钱学森在《建立我国国防航空工业的意见书》中建议<sup>[1]</sup>:

(1) “领导机构应包括科学、工程、军事、政治方面的人员。这个机构设在国防部内。”

(2) 做长远及基本研究的单位, “重点放在完全了解一个问题的机理”、“探索新方向”。这种单位“组织上可以在中国科学院系统之内, 但同时也归上述机构领导”。如“现在科学院内的力学研究所, 其他研究所中的“高温材料研究、电子学研究、计算机研究等; 将来很可能再设空气动力研究所、自动控制研究所等”。

收稿日期: 2010-11-14; 修回日期: 2010-11-25

作者简介: 李颐黎(1935-), 男, 辽宁沈阳人, 研究员, 研究方向为航天技术, 曾从事中国探空火箭研制和长征一号运载火箭的设计工作。

(3)做设计研究的单位,其任务是“生产新型产品,包括试制及试飞阶段在内”。它应该包括“空气动力学研究所、结构研究所、火箭推进机研究所、冲压推进机研究所、透平式推进机研究所、控制系统研究所、材料研究所、燃料研究所、计算局……”共12个研究单位。

(4)生产工厂“是航空生产的一系列工厂”;“包括金属及非金属原料工厂,各种零件制造厂、电器制造厂、燃料工厂,最后才是飞机及飞弹制造厂”。

钱学森当时身兼国防部五院院长(后为副院长)及中国科学院力学研究所所长两个重要职务,对组织、协调国防科研力量和中国科学院力量共同投入中国导弹和航天事业的发展起了巨大的作用。

本文将以中国的探空火箭工程和第一颗人造卫星工程为例,重点论述钱学森与中国航天工程的开创之间的关系。

## 2 中国航天事业的缘起

1957年10月4日,苏联成功地发射了世界上第一颗人造地球卫星,标志着人类进入了航天时代。

1958年5月17日,毛泽东主席在党的八大二次会议上发出了“我们也要搞人造卫星”的号召,表达了我国人民发展航天技术、探索太空的强烈愿望和决心。8月,国务院科学规划委员会在《十二年科学规划执行情况的检查报告》中指出:“发射人造卫星,将使尖端科学技术加速前进,开辟新的科学技术研究工作的领域,为导弹技术动员后备力量。同时,大型的卫星上天是洲际弹道导弹成功的公开标志,是国家科学技术水平的集中表现,是科学技术研究工作向高层空间发展不可少的工具。”报告还说,围绕人造卫星的研究,高能燃料、耐高温合金、无线电电子学、电子计算机、应用数学等一系列工作将被带动起来。聂荣臻副总理召集专门会议,责成中国科学院和国防部五院的负责人张劲夫、钱学森、王铮,组织有关专家拟定人造卫星发展规划草案<sup>[2][27]</sup>。

考虑到发射人造卫星对未来科学发展的重大

影响,中国科学院把人造卫星列为1958年第一项重点任务,成立了以钱学森为组长,赵九章、卫一清为副组长的领导小组,负责筹建3个设计院。第一设计院(代号1001设计院)负责人造卫星及其运载火箭的总体设计等工作。

## 3 钱学森与中国探空火箭的开创

### 3.1 1001设计院建院初期的状况和研究方向

1001设计院是1958年8月21日在北京建立的,至1958年11月初迁至上海改名为上海机电设计院前,总共存在2个多月。

1001设计院的任务是负责卫星和运载火箭的研制工作。当时提出的1001设计院的中心任务是要在1959年国庆节前发射我国第一颗人造卫星,其运载火箭的第一级为采用高能推进剂的T-3火箭,第二级为采用常规推进剂的T-4火箭。当时这一中心任务是在“大跃进”的特定历史背景下提出的,明显脱离了实际。例如,只看到高能推进剂比冲高,就想选用液氟作为氧化剂而不去考虑液氟的剧毒和强腐蚀性。后来,钱学森在他的专著《星际航行概论》中说得好:“如果腐蚀性所带来的问题不能解决,哪怕是比冲再高的推进剂也无法使用。如液氟 $F_2$ 是一个氧化性强、燃烧比冲高的良好氧化剂,但是,因为它的腐蚀性很大,目前还没有完全解决抗氟的腐蚀性问题,所以还不能在实际上使用”<sup>[3]</sup>。

### 3.2 上海机电设计院与T-5、T-6火箭

由于1001设计院在北京缺乏生产、加工能力,经中国科学院领导和上海市领导研究,决定将该院迁到上海。1958年11月,1001设计院搬迁到上海,以此为基础,并由上海市委从上海市各院校、机关、工厂抽调大批人员,更名成立了上海机电设计院。

1958年11月初,设计院认识到T-3火箭发动机采用液氟为氧化剂将遇到不可克服的困难,考虑采用较易掌握的推进剂。为了锻炼队伍,先设计一种有控制系统的、使用常规推进剂的探空火箭,

其代号为 T-5。但因不具备发动机试车条件以及控制系统不配套等原因，T-5 火箭始终没有飞上天。

尽管当时以液氟为氧化剂的 T-3 火箭研制工作遇到了不可克服的困难，但是发射我国卫星是设计院一项重大政治任务，不能放松，所以又决定研制一枚常规推进剂火箭以代替 T-3 火箭作为卫星运载火箭的第一级，这一火箭叫 T-6 火箭。由于在 1959 年 5 月 1 日调整了设计院的任务，提出了下半年以 T-5 为中心，而且 T-6 火箭尺寸较大，没有加工条件，所以 T-6 火箭一直仅停留在图纸上。

### 3.3 走上以研制探空火箭起步的正确轨道

当时，我国刚刚完成发展国民经济的第一个五年(1953~1957 年)计划，尚不具备研制发射人造卫星的能力和条件。为此，1959 年 1 月，陈云(时任中共中央副主席、国务院副总理)和邓小平(时任中共中央书记处书记、国务院副总理)指示：“卫星还是要搞，但是要推后一点，因为国家经济困难。”

1959 年 1 月初，中国科学院副院长张劲夫到上海，了解了上海机电设计院的工作情况，1 月 6 日，全院同志在上海市科学会堂听取张劲夫同志的报告。报告中他提出了“边战、边练、边建”的“三边”方针，要求苦干三年，突破科学尖端关、实现上天任务。根据中央领导的指示和中国科学院关于调整研制任务的精神以及近一年来设计院的工作状况，1959 年 7 月 10 日钱学森在给艾丁(时任上海机电设计院党委书记)的关于“上海机电设计院发展建议(草案)”的信中，认为 1958 年建院初期要搞大型运载火箭及发射卫星的设想是不现实的。建议把设计院改组成一个设计试制小型火箭的单位，主要任务为研制气象火箭等。

上海机电设计院领导接受了钱学森的正确建议。1959 年 8 月，设计院领导研究决定，将研制 1~2 种小型的花钱少的气象火箭作为 1960 年设计院的任务，这就是 T-7 液体探空火箭和 T-7M 液体探空火箭。从此，上海机电设计院科研走上了正确的轨道。

### 3.4 中国第一代探空火箭的发展

中国第一代探空火箭是指主火箭为液体推进

剂的探空火箭，它包括 T-7M 火箭、T-7 火箭和 T-7A 火箭。

#### 3.4.1 探空 7 号模型火箭——迈出我国奔向太空的第一步

探空 7 号模型(代号 T-7M)火箭是探空 7 号(代号 T-7)气象火箭的模型火箭。除了创造技术保障条件和培养火箭技术队伍，研制的目的主要在于掌握火箭设计制造和试验技术，具体包括：研究和试验液体火箭发动机及其挤压式输送系统的技术(包括推力室、推进剂贮箱和各种阀门等部件的设计、制造和使用)；研究和试验空中点火和安全启动方案；研究和试验助推器与主火箭连接以及自动分离技术；研究和试验箭头与箭体自动分离后，分别用降落伞回收的技术；摸索火箭发射场建设经验等。

T-7M 火箭是由液体推进剂的主火箭和固体推进剂的助推器串联起来的两级无控制火箭。当助推器工作完毕后，主火箭能在空中自动点火，主火箭的箭头、箭体在弹道顶点附近可以自动分离，分离后的箭头、箭体分别用降落伞进行回收。贮箱采用悬挂式，主火箭箭体结构由蒙皮、桁条和加强框等组成，它把各个系统连成一个整体。在主火箭尾部装有 4 片尾翼，以确保火箭飞行稳定。

T-7M 火箭起飞总质量为 190 千克，总长度 5345 毫米，箭体直径 250 毫米。常温条件下助推器地面平均推力 17.5 千牛，主火箭地面稳态推力 2.2 千牛。T-7M 火箭的理论最大弹道顶点的海拔高度为 10 千米。

T-7M 火箭的研制负责单位和总体设计单位为上海机电设计院，加工单位主要是上海市有关工厂。

在 T-7M 火箭的研制过程中，研制人员解决了主火箭发动机安全启动、箭头和箭体回收等关键技术，还创建了江湾发动机热试车台和南汇火箭发射场。

T-7M 火箭于 1959 年 10 月 10 日开始研制。T-7M 火箭在钱学森指导设计下，在杨南生、王希季主持下，充分发动群众，组织关键技术攻关，设计人员下厂结合生产搞设计，仅用三个月就装出第一枚主

火箭。1960年2月19日T-7M液体探空火箭首次发射成功。T-7M火箭于1960年1月至1963年12月进行3批次飞行试验后,完成了研制任务。

T-7M火箭的成功受到了党和国家领导人的极大关注。

1960年5月28日晚7时30分左右,毛泽东主席在杨尚昆(时任中共中央办公厅主任)、柯庆施(时任中共上海市委第一书记)等同志陪同下,莅临上海新技术展览会,仔细观看了T-7M主火箭展品,询问了该火箭发射的高度,并鼓励研制人员应该把探空火箭一步步地搞上去(图1)。



图1 毛泽东主席视察T-7M探空火箭

### 3.4.2 T-7与T-7A气象火箭的研制

T-7气象火箭是我国第一代气象火箭的第二种型号。它是由一种采用固体推进剂的助推器和液体推进剂的主火箭串联起来的无控制火箭。起飞质量1138千克,最大飞行高度约60千米,携带气象探测仪器25千克。1959年11月研制,1960年4月发动机热试车成功。同年6月完成了3枚火箭的总装工作。9月,火箭首次发射成功。整个研制周期不到一年时间。

随着空间探测活动的发展,1962年1月,中国科学院对气象火箭提出了新的要求:有效载荷(即探测仪器)质量要增加到40千克;正常飞行高度要求在60千米以上,最好是80千米~100千米;测量60千米以下的高空大气压力、大气温度、风向风速;确保箭头、箭体安全回收等。

鉴于T-7火箭的性能不能满足上述新要求,上海机电设计院总工程师王希季提出并组织设计人员对T7火箭作了重要改进,改进后的产品命名为T-7A气象火箭。

### 3.4.3 用于技术试验的探空火箭的研制

人造卫星及其运载火箭的分系统的部件,在上天之前,需要进行充分的地面模拟试验,但有许多工作环境在地面上无法模拟,只能利用探空火箭进行飞行模拟试验。因此,探空火箭是发展空间技术的一种有效试验工具。

我国研制的以T-7A为基础的、用于技术试验的探空火箭,曾于1965年到1969年间对卫星姿态控制系统和高空摄像系统、运载火箭发动机的高空点火系统,以及电离层探测等做过多次富有成效的飞行试验<sup>[2][102]</sup>。

在探空火箭研制过程中,钱学森经常深入第一线,指导研制工作的开展。王希季院士(时任上海机电设计院总工程师)说:“钱老(钱学森)的头脑中考虑最多的是中国航天事业的发展,从导弹、人造卫星一直到载人航天。他不仅考虑到规划性、战略性,在细致的关键技术环节他都亲自把关。我记得1960年4月,钱老两次到上海机电设计院,一次是陪聂荣臻元帅看发动机试车,一次是到南汇指导T-7M火箭的发射,从准备到发射结束一直在现场”<sup>[4]</sup>(图2、图3)。



图2 1960年4月18日晚聂荣臻元帅(右四)、张劲夫(右五,时任中国科学院副院长)、钱学森(右六)等在江湾观看T-7M主火箭发动机热试车



图 3 张劲夫(左二)、钱学森(左一)在南汇发射场视察时小憩

#### 4 钱学森与东方红一号卫星工程

我国的东方红一号卫星工程由东方红一号卫星、长征一号运载火箭、酒泉卫星发射场、测控网、应用系统等组成,是一项复杂的国家尖端技术工程。

##### 4.1 培养航天技术人才为东方红一号卫星工程做准备

钱学森是一位具有前瞻性的科学家,在我国航天事业开创时期就积极培养我国航天技术人才。1963年他曾对李颐黎等人说:“我是星际航行的积极分子”。由钱学森等3位科学家主持的中国科学院星际航行座谈会,自1961年6月开办以来,在3年中举办了12次会议,钱学森在第一次座谈会上做了题为“今天苏联及美国星际航行火箭动力及其展望”的讲演,许多科学家和中青年科技人员参加了这些学术活动。1962年他在中国科技大学开设并亲自讲授了“火箭技术概论”专业课程。在此基础上,他于1963年编写出版了《星际航行概论》。该书和《导弹概论》是钱学森1955年回国后撰写的首批经典著作。

为了促进我国航天事业的发展,1963年2月至1964年7月,钱学森指导了上海机电设计院4名年轻科技人员(孔祥言、朱毅麟、李颐黎、褚桂柏)的工作和学习,并安排他们作为自己在航天技术方面的助手。百忙之中的他每周抽出一个上午

听取他们的汇报工作,指导和布置他们下周的任务。他教导这些年轻人必须要有广泛和深入的星际航行科技知识。为此,他将这些年轻人的办公室设在国防情报资料研究所,以便深入查阅各种国内外资料,掌握当时最新的国际星际航行的动态,如苏联和美国第一颗人造地球卫星及其运载火箭的设计、美国双子座号飞船的交会对接方案设计、美国阿波罗号飞船载人登月方案设计等。钱学森派这4位年轻人到中国科学院地球物理研究所,生物研究所等单位去了解情况,1963年底他们完成了《中国1964~1973年空间技术发展规划》的编制。他还派他们去国防部五院一分院的研究室了解我国中程、中远程火箭的研制状况和性能参数,为未来我国发射人造卫星的运载火箭可行性进行预先研究。1964年5月,在钱学森的推动下,上海机电设计院以“四人小组”为骨干,又从其他研究室调了一些技术人员成立了卫星总体室(七室),该研究室后来承担了长征一号运载火箭设计和返回式卫星设计的任务<sup>[5]</sup>。

##### 4.2 建议将人造卫星研制列入国家计划

受1964年中国“两弹”试验成功的鼓舞,加上中国经济从1965年起开始好转,曾经被“推后一点”的发射人造地球卫星的计划,又被提到日程上来了。

钱学森认为,有了“两弹”结合的成功经验,又有了探空火箭的成功经验,已经为发射人造卫星打下良好的基础。1965年1月8日,钱学森向中央提出报告,建议早日制定中国人造卫星研制计划并列入国家任务。

钱学森在报告中提出<sup>[6]290</sup>:

自从苏联在1957年10月4日发射第一颗人造地球卫星以来,中国科学院及原第五研究院对这项新技术就有些考虑,但未做研制任务。现在看来,人造卫星有以下几种已经明确用途:测地卫星、通讯及广播卫星、预警卫星、气象卫星、导航卫星、侦察卫星。重量更大的载人卫星在国际上的应用,现在虽然还不十分明确,但也得有

所准备。现在我国弹道式导弹已有一定的基础, 现有型号进一步发展即能发射 100 公斤左右重量的仪器卫星。这些工作是复杂艰巨的, 必须及早开展有关的研究、研制工作, 才能到时拿出东西。因此建议国家早日制订我国人造卫星的研究计划, 列入国家任务, 促进这项重大的国防科学技术的发展。

聂荣臻副总理非常重视钱学森的报告, 批示“只要力量有可能, 就要积极去搞”。

除了钱学森之外, 赵九章和吕强也分别就研制中国人造地球卫星向中央打了报告。

1965 年 1 月, 周恩来总理指示科学院提出方案。

张爱萍召集张劲夫、钱学森、孙俊人等对中国人造卫星研制方案进行讨论, 并于 1965 年 4 月 29 日以国防科委的名义向中央专门委员会(简称中央专委)打了报告——《关于研制人造卫星的方案报告》, 提出拟于 1970~1971 年发射中国的第一颗人造地球卫星。

1965 年 7 月 1 日, 中国科学院提出了《关于发展我国人造卫星工作的规划方案建议》并呈报中央专委。

1965 年 8 月, 周恩来主持中央专门委员会第十二次会议, 这次会议确定将人造卫星研制列为国家尖端技术发展的一项重大任务。中央专委批准《关于发展我国人造卫星工作的规划方案建议》。<sup>[6]291</sup>

#### 4.3 指导设计长征一号运载火箭

##### 4.3.1 大千一个月, 火箭选方案<sup>[7]52-53</sup>

1965 年 7 月中国科学院呈报中央专委的《关于发展我国人造卫星工作规划方案建议》所提出的对我国运载火箭发展意见是: “发射卫星的运载工具, 在初期以中远程火箭为基础, 进行适当修改或配以专门研制的末级火箭发动机而成, 下一步再发展大推力运载火箭。”

中国科学院于 1965 年 9 月 6 日提出了“待与七机部商讨的问题”, 提出了对运载火箭的要求,

其中包括卫星质量 100 千克, 建议轨道倾角约为 42 度, 要求卫星近地点高度为 350 千米, 远地点高度不超过 700 千米。

1965 年 9 月中旬, 七机部领导(钱学森时任七机部副部长)布置七机部八院(上海机电设计院于 1965 年 8 月迁京, 更名为七机部八院)负责我国第一颗人造卫星运载火箭总体方案的论证工作, 并向计划在 1965 年 10 月 20 日召开的“我国第一颗人造卫星方案论证和工作安排会议”提出报告。

在七机部八院总工程师王希季领导下, 我国第一颗人造卫星总体方案论证紧张地开展起来了。虽然八院具有研制探空火箭的经验和前期在钱学森指导下的一定技术储备, 但还是面临任务紧、技术储备不足的问题。为此, 他们首先去一院调研了我国中程和中远程火箭的总体情况, 向部机关了解了四院刚刚开始研制的“770 发动机”的性能情况, 在这方面得到了一院和部机关的大力支持。同时, 结合我国第一颗人造卫星质量不低于 100 千克和在 1970 年发射的要求提出了下面 3 个可供选择的方案:

方案 1: 以我国设计的中远程二级火箭作为运载火箭的第一、二级, 上面配置一个截短了的直径为 770 毫米的固体火箭发动机作为第三级(末级)的三级火箭。

方案 2: 以我国设计的中远程二级火箭作为运载火箭的第一、二级, 末级采用三个并联的较小的固体发动机, 组成三级火箭。

方案 3: 以我国研制的中程一级火箭作为第一级, 加上一枚新研制的液体火箭作为第二级, 组成二级火箭。

八院卫星研究室组织了方案讨论会, 经过讨论认为: 方案 2 虽然末级使用较小的固体火箭已是研制成功的型号, 但是三台固体发动机关联存在较大的技术风险, 所以建议八院着重讨论方案 1 和方案 3。1965 年 10 月 14 日, 八院召开了方案讨论会。与会同志认为方案 3 虽然有较大的发展前途, 但是需要新研制一种技术较为复杂的可

控制的液体推进剂火箭,对于保证 1970 年发射我国第一颗人造卫星的研制进度存在较大风险,因此,最终选择了方案 1 作为我国第一颗人造卫星的运载火箭(即长征一号运载火箭,见图 4)。八院将此方案上报七机部,得到了钱学森副部长等领导的支持。1970 年我国第一颗人造卫星东方红一号发射成功和 1971 年实践一号卫星发射成功表明长征一号运载火箭方案选择是正确的、合理的和可行的。

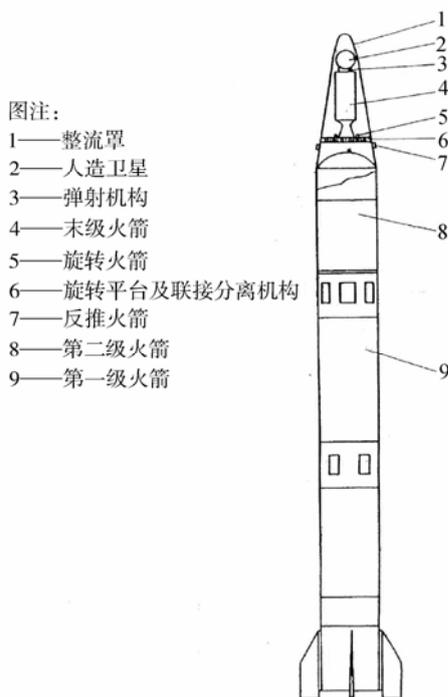


图 4 我国第一颗人造卫星运载火箭方案设计简图 (1965 年 10 月 16 日状态)

#### 4.3.2 会议“马拉松”，星箭地协同<sup>[7]53</sup>

1965 年 10 月 20 日至 11 月 30 日,国防科委委托中国科学院在北京友谊宾馆召开了“我国第一颗人造卫星方案论证和工作安排会议”(代号“651”会议),由于会议长达 42 天,有人戏称这次会议是最长的“马拉松”会议。

七机部八院由于志副院长率领朱毅麟、倪惠生、李颐黎、陈崇卿等同志参加了“651”会议。八院向会议提交了“我国第一个人造卫星的运载工具方案设想(草案)”的报告。在会上,赵九章就

卫星的总体设计问题做了总结发言。钱骥就卫星本体设计问题作了总结发言。在钱学森介绍了运载火箭研制的总体思路后,七机部八院的朱毅麟就运载火箭的具体方案作了发言<sup>[8]</sup>。会议期间七机部八院代表与各有关部门协调了卫星的尺寸、重量、轨道参数、入轨点、入轨精度、航区安全、卫星和火箭的连接方式、对整流罩的要求等问题。经过讨论,与会代表认为七机部八院提出的运载火箭的总体方案是可行的。会议一致同意第一颗人造卫星在我国甘肃省酒泉发射场发射。

10 月 25 日,七机部八院代表与中国科学院代表钱骥等就卫星重量和轨道参数进行了协商。钱骥建议将卫星重量增加到 120 千克,以便增加化学电池和运行寿命;希望在考虑入轨偏差后实际近地点高度在 250 千米至 350 千米之间。会议期间,八院代表李颐黎为了回答中国科学院提出的上述要求能否达到,对入轨点偏差对运行轨道影响的计算方法进行了紧张的研究,并结合实际情况进行了计算。同时,八院卫星室轨道组的同志就这一新要求对发射轨道进行了大量计算,经过会内会外人员的共同努力,在会议结束前,李颐黎代表七机部八院给出了我国第一颗人造卫星运载火箭所能实现的轨道:理论轨道是近地点高度为 350 千米,考虑到发射轨道的误差,卫星的近地点高度为 200 千米~350 千米,远地点高度为 1000 千米~1600 千米。中国科学院与会代表接受了七机部八院选择这一椭圆轨道的建议,并在“651”会议结束后,以《关于第一个人造卫星方案论证和工作安排会议报告》文件上报国防科委和中央专委,并按此报告中规定的各项参数开展后续工作。

这次会议开得很长,但收获也很大,是参加会议的卫星、运载火箭、发射场、地面测控各方面的一次大的方案论证和技术协调会,有力地推动了我国第一颗人造地球卫星工程的研制。

#### 4.3.3 夜聚中关村,谋划改倾角<sup>[7]53-54</sup>

“651”会议确定的我国第一颗人造卫星的轨道倾角为 42 度左右。但是限于当时的条件,对于这一

轨道倾角的合理性没有结合后一个系列卫星的要求论证。

1966年3月22日到29日,在北京召开了我国第一颗人造卫星地面系统会议(651地面会议),讨论和确定651任务地面系统方案以及分工和具体论证事宜。会议由中国科学院副院长裴丽生主持,七机部八院李颐黎和朱守己代表运载火箭系统参加了会议。会议确定了以雷达为主,结合比相干涉仪、多普勒频移测速仪、光学望远镜等几种手段跟踪和测量卫星的方案。会议遗留下一个问题:“入轨点问题”,需由七机部、卫星本体、地面今后共同确定。

其实,1966年初七机部八院已开始了我国返回式遥感卫星的方案论证工作。在论证中,八院同志发现返回式卫星不适合42度的轨道倾角而需要更大的轨道倾角。第一颗人造卫星能不能也选用较大的轨道倾角呢?八院卫星室轨道组在651地面会议前后做过研究,他们计算了我国第一颗卫星运载火箭沿不同方向发射所能达到的重量为:(1)向东发射:当入轨点航程为2000千米时,卫星质量为210千克;当入轨点航程为1600千米时,卫星质量为180千克。(2)向南发射:当入轨点航程为2150千米时,卫星质量为120千克。这说明,我国第一颗卫星可以采用和我国返回式卫星相同的轨道倾角。卫星室轨道组组长李颐黎将这一结果向总工程师王希季汇报后,得到了王希季的大力支持。

1966年4月1日晚,中国科学院和七机部有关领导和技术人员在北京中关村开了碰头会。出席会议的有裴丽生、杨刚毅、杨嘉德、王跃华、钱骥、陆绶官、耿青、王希季和李颐黎。王希季总工程师介绍了八院计算的我国第一颗人造卫星运载火箭向东、向南发射时的运载能力。王希季说:“一个发射方向选定了再变很困难,倾角42度有问题,它不符合我国返回式卫星的轨道倾角。”裴丽生副院长说:“第一个(卫星)必须与以后的(卫星)结合,不结合就不行,第一个还是搞极地

轨道,这是个方向”。这个会议经过讨论一致认为,地面站建设要花很多钱,第一颗人造卫星的轨道倾角要与以后系列的卫星结合起来考虑。这一碰头会开得好,取得了共识。

当时,解决上述“入轨点问题”,即轨道倾角选择问题成为第一颗人造卫星研制中的紧迫任务。1966年4月18日至28日在中国科学院力学研究所召开了“人造卫星轨道选择会议”,七机部由李颐黎和另外两位代表参加。会议提出了选择轨道倾角的五条原则,提出了轨道倾角42度、60度~70度及90度左右三个方案进行比较,经过比较大家一致认为60度~70度左右作为第一批卫星的轨道倾角是较符合选择轨道的五条原则的。

我国航天活动的实践证明,第一颗人造卫星及返回式卫星选用60度~70度轨道倾角是正确的。1970年~1983年间我国发射的三个系列的13颗卫星的轨道倾角均在59.5度~70度之间,这大大节约了地面台站建设的投资,加快了我国航天事业发展的进程。

#### 4.3.4 滑行段姿控,研制获成功

长征一号运载火箭从第二级发动机关机起火箭就按着无动力状态向上滑行,当滑行到一定高度后第二级与末级分离,末级火箭利用小火箭发动机起旋保持稳定,然后末级发动机点火,当末级发动机工作结束后,卫星与末级分离,卫星进入轨道。从第二级发动机关机到第二级与末级分离这一段叫自由滑行段。

1966年3月24日,八院召开的方案论证会决定,为确保第一颗人造卫星安全可靠地进入预定轨道,运载火箭在自由滑行段必须进行姿态控制(简称姿控)。3月31日八院领导在向钱学森、刘秉彦副部长汇报方案论证会的论证结果时,二位副部长同意滑行段要有姿态控制,并同意对末级火箭的技术要求(包括末级火箭要在起旋下正常工作的要求)。

滑行段姿态控制系统的研制工作开始由八院

承担。1966年底通过了方案论证，1967年9月完成了系统的初样设计。部件的设计、生产和仿真试验也相继展开。1968年开始进行系统综合试验。在钱学森的指导下，着重研究了二级发动机剩余推进剂在滑行段失重状态下的晃动对姿态控制系统稳定性的影响。1969年初，系统实物仿真试验和综合试验相继完成，进入正样阶段。后来，这项工作交运载火箭技术研究院完成。

1970年和1971年，我国第一颗和第二颗人造卫星成功发射，所设计的滑行段姿态控制系统经受了实际飞行的考验。

#### 4.3.5 受命危难时，全箭试车成

长征一号的研制工作进入关键阶段，正处于“文化大革命”时期，科研生产秩序受到严重破坏，研制工作时而被迫中断。周恩来总理亲自关心和过问长征一号与东方红一号的研制试验工作，多次亲自听取汇报，具体指导、协调和解决研制生产和试验中的问题。周总理为此召见有关人员进行耐心细致的工作，并委派钱学森、任新民全权处理有关试车事宜。接着又在1969年5月7日和5月10日连续做有关人员的工作，使全箭试车工作得以顺利进行，终于在5月19日和6月4日分别完成了一、二级的全箭试车<sup>[9]</sup>。

#### 4.4 组织队伍、指导设计东方红一号卫星工程

1967年正值“文化大革命”时期，为了保证人造卫星研制工作的顺利进行，中央决定组建中国空间技术研究院。钱学森承担了组建该院的工作。钱学森向聂荣臻副总理推荐了火箭技术研究院的孙家栋负责我国第一颗人造地球卫星的总体设计工作，得到了聂荣臻副总理的赞同。

为了尽快启动卫星总体工作，孙家栋向钱学森提出建议，由火箭技术研究院推荐一些搞总体方面的技术人员。钱学森经考虑后答复说，从火箭技术研究院抽人可以，但在当前“文化大革命”两派正在闹腾的局面下，推荐来的人能不能保证

质量？所以，在这种特殊情况下不能依靠研究院推荐，由孙家栋提个名单后再研究决定。<sup>[10]50</sup>

经过紧张的考察、挑选，从不同的专业角度和技术特长出发，孙家栋最后选定戚发轫等18人。当这18人名单提交给钱学森后，钱学森点头赞同，很快又得到聂荣臻副总理的批准。这批同志和从中国科学院及七机部八院调到中国空间技术研究院的同志团结在一起，又用了两年多的时间把第一颗人造地球卫星总体方案做了许多重大改进。

1968年2月，钱学森同志兼任新成立的中国空间技术研究院院长，在周恩来总理等中央领导的支持下，他努力排除“文化大革命”的干扰，狠抓研究院机构组建、工作规划、基础设施建设和卫星研制质量，指导地面发射和跟踪测量系统建设。

钱学森十分关心如何能够保证东方红一号卫星上天后，让人们能够“听得到”卫星的声音。为此，钱学森多次找相关同志研究和计算。据孙家栋回忆说：“……但是听什么呢？光是听嘀嘀嗒嗒的工程信号，老百姓听不懂是什么。大家你一句我一句就碰出个火花：放《东方红》乐曲，都说可以。向钱学森汇报，钱学森也支持。但这是个大事情，钱学森又叫人写了一个报告，呈给了聂荣臻元帅。聂帅也同意了，报给中央，中央最后批了。提出这个建议的时候，大家热情很高，但中央批了以后，就等于说是中央下达了这个任务，那就得把这个事办好。这一来就感觉压力大了。第一次搞这种仪器，如果上天以后又变调了，这在当时‘文革’期间是绝对不可以的，那压力可真大。后来做得很好，搞设备的同志可是立了功了。”<sup>[6]299</sup>这样，从东方红卫星上发射的卫星信号和《东方红》乐曲经过地面台站接收，再广播出去，在地球上的人就可以用收音机听得到。

“看得见”不太好办，因为当时设计的中国第一颗人造地球卫星，直径只有1米，只相当于

6等星、7等星的亮度,地面上的人无法用肉眼看到。1968年初,七机部八院(现为北京空间机电研究所)承担了研制卫星观测体的任务。经过设计人员研究确定,卫星观测体安装在末级火箭上。卫星观测体由球皮、铝环和伸展机构等组成,球皮直径为4米,表面镀铝具有良好的镜面反射功能。球皮两端都缝个大铝环,用以保持形状,一端可沿支撑杆向前滑行,另一端固定在球皮座上。发射状态时,球皮被包叠成圆环状,固定在火箭下部的承力裙处(见图5)。当卫星入轨,星箭分离距离达2米以上时,时控装置发出指令接通电源,电爆阀打开,利用高压气瓶向弹射杆内充气,使弹射杆内杆弹出;同时爆炸螺钉解锁,锁紧球皮的钢索分离,球皮从球皮包中拉出;内杆全部弹出,球皮被拉直到4米长度。在此过程中,由于末级火箭具有绕纵轴每秒3转的旋转角速度,旋转产生的离心力使球皮涨满成直径为4米的中国宫灯状的球台体,地面上的人黎明或黄昏时就可以用肉眼看到卫星观测体。



图5 长征一号火箭末级和东方红一号卫星

对地面系统的要求是:对运载火箭和卫星要“抓得住,跟得上”。根据前面所述我国第一颗人造卫星选择的轨道倾角是60度到70度,入轨点在湖南南部到广西北部一带。由于对入轨后的第

二圈的观测也很重要,所以在我国西部地区设立了观测站,在长春、胶东等地也设立了观测站。此外在西安建立了测控中心,1969年底地面跟踪测量站的联调基本完成。于是,整个地面跟踪测量系统在西安测控中心的指挥下进行了跟踪国外卫星的模拟演练,基本上满足了要求。<sup>[11]137</sup>

#### 4.5 中国第一颗卫星终于飞上太空

1970年1月30日,作为卫星运载火箭的长征一号火箭试飞取得成功,长征一号火箭的第一级、第二级的飞行工作状态,包括第二级滑行段的姿态控制系统,均属正常。

1970年3月21日,中国第一颗人造地球卫星——东方红一号完成总装。

1970年4月1日,两颗东方红一号卫星(其中一颗备用)和一枚长征一号运载火箭由火车专列运抵酒泉卫星发射场。

1970年4月2日下午,周恩来总理在北京人民大会堂听取卫星和运载火箭情况的汇报。他指出“这是我们第一次发射人造卫星,意义很大。不仅要把卫星送入轨道,还要对我国卫星飞经各国首都上空的时间,如乌干达、赞比亚、也门、坦桑尼亚、毛里塔尼亚等国家作好预报,鼓舞第三世界人民”。<sup>[6]300</sup>

1970年4月14日晚7时,周恩来总理等国家领导人在人民大会堂听取从酒泉发射基地专程赴京的钱学森等人的汇报。

第一颗人造地球卫星的发射进入准备状态。1970年4月20日,周恩来再次打电话给酒泉发射基地,强调“绝对不能带任何一个疑点上天”。

1970年4月24日20时整,东方红一号卫星的发射进入发射前的“1小时准备”。在对卫星和运载火箭检查时,发现严重问题:东方红一号应答机对地面触发信号没有反应!

酒泉发射基地当即向中央专委报告,建议推迟发射。

在 21 时，终于查明故障是地面触发信号源性下降，功率太低，造成触发不良。紧急排除了故障。

1970 年 4 月 24 日 21 时 35 分，长征一号运载火箭点火起飞，约 10 分钟后将东方红一号卫星送入了围绕地球运行的轨道。

东方红一号卫星发射入轨后的第一圈在我国大陆上空的飞行弧度对应的地心角只有十几度，时间也只有十几分钟，但是我国的观测台站始终紧紧抓住了它并获得了各种跟踪测量数据。

卫星经过我国上空的第二圈，当卫星一进入我国国土上空，设在我国西部的观测跟踪系统就立即抓住了它，又一次获得了各种跟踪测量数据。

有了这两次跟踪观测数据，西安测控中心就能计算出比较精确的轨道，才得以预报卫星未来 24 小时的飞行轨道和经过各地的时间。<sup>[11]138</sup>

1970 年 4 月 25 日 18 时，新华社授权向全世界宣布：1970 年 4 月 24 日，中国成功地发射了第一颗人造卫星，卫星运行轨道的近地点高度 439 公里，远地点高度 2384 公里，轨道平面与地球赤道平面夹角 68.5 度，绕地球一圈 114 分钟。卫星重 173 公斤，用 20.009 兆周的频率播送“东方红”乐曲。

东方红一号卫星工程圆满地实现了“上得去，转起来，抓得住，跟得上，听得到，看得见”的总要求。中国成为了世界上第 5 个可以独立自主发射人造卫星的国家。

东方红一号卫星工程实现了毛泽东主席“我们也要搞人造卫星”的号召。苏联第一颗人造地球卫星 83.6 千克，美国第一颗人造地球卫星 8.22 千克，法国为 38 千克，日本为 9.4 千克，而中国东方红一号卫星重达 173 千克，比苏、美、法、日第一颗卫星重量的总和还多。

东方红一号卫星在轨工作 28 天后，完成了预定的任务。

东方红一号的发射成功为中国的“两弹一星”事业添上那颗宝贵的“星”（见图 6 及图 7）。



图 6 长征一号运载火箭(第一级和第二级)



图 7 东方红一号卫星

## 5 几点启示

钱学森在中国航天工程的开创中发挥了巨大的作用，他是中国航天事业的奠基人。考察和分析钱学森与中国航天工程开创的历史，我们可以得到以下几点启示。

### 5.1 航天工程必须根据需求和可能确定科学合理的工程目标

从本文所述的我国航天工程开创的历史可以看出：为什么 1958 年中国科学院 1001 设计院要在 1959 年发射中国卫星的计划没有实现，而在 1965 年 4 月张爱萍召集张劲夫、钱学森、孙俊人等对中国人造卫星研制计划的方案进行讨论，提出拟于 1970~1971 年发射中国的第一颗人造地球卫星的目标就按时实现了呢？原因就在于卫星工

程是一项复杂的尖端技术工程,在1959年我国科技水平低、工业基础薄弱、国家实力有限,没有可能在这么短时间就完成卫星工程。到了1965年1月,正如钱学森所说:“……现在我国弹道式导弹已有一定基础,现有型号进一步发展即能发射100公斤左右重量的仪器卫星”<sup>[6]290</sup>,也就是说即将具备发射卫星最起码的条件:把卫星送入轨道的运载火箭,当然还有其他条件。因此,在1965年确定1970~1971年发射卫星的计划,在1970年得以实现。

过高的、不合理的工程目标必须更改才能促进航天事业的发展。在钱学森的建议下,上海机电设计院领导决定从研制T-7M、T-7探空火箭起步,开始走上了正确的发展道路,也是一个案例。

## 5.2 坚持系统工程的科学方法是取得成功的关键

钱学森指出:“‘系统工程’是组织管理‘系统’的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有‘系统’都具有普遍意义的科学方法。”<sup>[12]</sup>他常讲,这样一种复杂的工程系统所面临的基本问题是:怎样把比较笼统的初始研制要求逐步地变成成千上万个研制任务参加者的具体工作,以及怎样地把这些工作最终综合成一个技术上合理、经济上合算、研制周期短、能协调运转的实际系统,并使这个系统成为它所从属的更大系统的有效组成部分。

从20世纪五六十年代开始,钱学森就开始把系统工程的理论方法运用到航天型号研制中。在东方红一号卫星工程中,他实际上承担了现在我们所说的工程总设计师的职责,负责对卫星系统、运载火箭系统、地面观测测量系统和发射场系统的技术领导和协调工作,从指导制定卫星、运载火箭等方案,到发射现场的故障处理和技术指导,做了大量深入、细致的工作,保证了我国第一颗人造卫星首次发射就取得圆满成功。

第一批人造卫星都选用60度到70度的轨道

倾角,大大节约了地面建站经费,也是系统工程理论方法成功运用的案例。

## 5.3 坚持自主创新,正确处理继承和创新的辩证关系,实现技术跨越

我国的探空火箭工程坚持自主创新。在经济十分困难的条件下,研制人员在柴油机厂造出了火箭发动机,在上海江湾机场的废碉堡中完成了T7M火箭发动机的热试车,在上海南汇自主建造了T7M火箭的发射场,并完成了发射和回收箭头及箭体的任务。

在制定长征一号运载火箭方案中,研制人员把探空火箭技术与导弹技术结合起来,长征一号运载火箭的第一级、第二级选用了正在研制中的中远程火箭,第三级选用了正在研制中的固体发动机,从而很好地继承了原有型号的可靠性,为长征一号首次发射东方红一号卫星就取得成功打下坚实的基础。

长征一号末级火箭上安装观测体,卫星播放“东方红”乐曲都是实现自主创新的案例。

## 5.4 坚持质量第一的方针,力争一次成功

坚持质量第一,首先体现在设计方案上,如正确处理继承与创新的关系,尽量采用成熟技术和成熟技术的延伸,以及进行充分的地面试验和必要的飞行试验。例如,在长征一号发射东方红一号卫星前,除做了充分的地面试验外,还做了两次飞行试验:一次是用T-7A探空火箭改装成末级高空点火技术试验火箭,验证了在高空中长征一号末级火箭点火的可靠性;另一次是在1970年1月30日考验长征一号第一、二级和滑行段姿态控制的试飞取得成功。这也为长征一号发射东方红卫星首发成功奠定了基础。

其次,在发射基地,遵照周恩来总理的要求,“绝不带任何一个疑点上天”。

1970年4月15日,周恩来总理在听取执行东方红一号卫星工程人员的汇报时,当听到在测试

中发现火箭体内有松香等多余物时，总理严肃地说：“这个不行。这等于开刀把钳子丢到肚子里嘛！你们产品是死的，可以搬来搬去总比开刀容易、总可以搞干净的嘛！无非是出厂时间晚两天。不能把松香、钳子丢在里头。这个不能原谅。”<sup>[11]141</sup>

其后，发射前还出现一系列故障：4月21日出现的火箭第三级固体发动机发现异常；发射前8小时准备口令下达后地面的一个跟踪雷达出现了不稳定状态；下达1小时准备口令前，发现卫星上应答机对地面所发信号没有反应；发射前湖南卫星观测站一台单脉冲雷达的参数放大器的管子烧坏了。对于所有这些故障，根据“绝不带任何一个疑点上天”的要求，都予以排除或完成了紧急处理，从而保证了发射成功。<sup>[11]142-143</sup>

经过对我国东方红一号卫星工程中的经验和教训的总结，我国航天部门更牢固地树立起了质量第一意识，完善了质量管理体系，对保证后续航天飞行的高成功率起了重要作用。

## 参考文献

- [1] 涂元季. 人民科学家钱学森[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2002: 47.
- [2] 张钧. 当代中国的航天事业[M]. 北京:中国社会科学出版社, 1986.
- [3] 钱学森. 星际航行概论[M]. 北京:科学出版社, 1963: 51.
- [4] 王希季. 他留下了丰富的思想遗产[J]. 太空探索, 2009(12): 12.
- [5] 王春河, 石磊, 陈中青, 等. 耳提面命 受益终身: “四弟子”深情忆钱老[J]. 太空探索, 2009(12): 14-16.
- [6] 叶永烈. 走进钱学森[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2009.
- [7] 李頔黎. 上得去, 转起来: 回顾长征一号运载火箭研制的一些往事[J]. 太空探索, 2010(10).
- [8] 马轲. 杨嘉楨[M]. 石家庄:河北少年儿童出版社, 2001: 160.
- [9] 谭邦治. 中国当代著名科学家丛书: 任新民[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2005: 60.
- [10] 王建弘. 星系我心: 著名航天工程技术专家孙家栋[M]. 北京:中国宇航出版社, 2009.
- [11] 胡士弘. 陈芳允[M]. 石家庄:河北少年儿童出版社, 2001.
- [12] 钱学森. 智慧的钥匙[M].上海:上海交通大学出版社, 2005: 26.

## Qian Xuesen and the Initiation of China's Astronautic Engineering

— Case Studies of Sounding Rocket Engineering and Dongfanghong-1 Satellite Engineering

Li Yili

(Beijing Institute of Space Machine and Electricity, Beijing 100076)

**Abstract:** This paper investigates about the initiation of China's astronautic engineering. Qian Xuesen contributes greatly to Chinese astronautic engineering, but this paper only focuses on the development of sounding rocket engineering and Dongfanghong-1 satellite engineering, and attaches great importance to the development of T-7M and T-7 sounding rocket and Changzheng-1 launch vehicle. The purpose of this paper is to reveal the historic contribution and influence of Qian Xuesen and his astronautic teams to the initiation of China's astronautic engineering. It also provides the readers with the detail documents about Chinese sounding rocket and Changzheng-1 launch vehicle. Lastly, several enlightenments are given in this paper.

**Key words:** Qian Xuesen; astronautic engineering; sounding rocket; Dongfanghong-1 satellite engineering

责任编辑：王大洲