

# 我国航天器发射场工程设计回顾与展望

张泽明

(北京特种工程设计研究院, 北京 100028)

[摘要] 简要介绍了我国航天器发射场工程建设发展历史和设计中采用的几种主要形式, 指出航天器发射不应该存在一种固定不变的模式, 要根据我国的国情, 设计和建造与航天器和运载火箭技术发展相适应的发射工程设施和设备。

[关键词] 发射场; 工程设计; 发展历史; 组合模式

[中图分类号] V55 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)04-0001-05

我国航天器发射场自20世纪60年代末问世至今, 始终坚持独立自主、自力更生的方针, 走过创建、发展和逐步成熟的道路, 完成了上百次各种型号的卫星、飞船和远程导弹的发射任务, 取得了举世瞩目的成就。

我国早期的发射场都是采用在技术阵地(区)的水平总装准备厂房进行运载火箭的水平测试, 然后分级运往发射阵地(区)进行垂直组装、射前检查和加注发射。由于在发射区垂直吊装对接, 一般组装后要进行重复检查测试。因此, 技术区和发射区有明显的功能分区。在我国载人飞船发射场的设计中, 把原先在发射区进行箭、船(星)的垂直组装和检查测试挪到条件较好的技术区垂直总装测试厂房(以下简称VAB)中进行, 发射区和技术区的功能逐步被模糊, 船(星)箭组合体在发射区停留时间不超过3天, 甚至可以缩短到十几个小时。测试发射工艺流程的改进, 简化了工艺流程, 改善了操作环境, 提高了载人飞船发射的可靠性, 发射场的主要勤务设施和物流过程也发生了相应变化。

回顾40年来我国航天发射场的发展历程, 根据发射区主要设施结构形式的组合模式的不同, 可以分为几个相关的发展阶段, 每个阶段都具有明显的时代特征, 值得认真回顾和总结。

## 1 创建时期的一塔两位组合模式

1965年初, 为适应我国人造地球卫星发射需要, 国家确定在西北综合导弹试验基地建设卫星发射工位。根据我国的国情和航天技术发展规划, 采用在技术区水平测试、分级运输, 在发射区垂直组装、检测和加注的工艺流程, 发射区采用“一塔两位”的组合模式: “一塔”是指一台龙门式活动勤务塔, 塔高55 m、长30.5 m、宽21 m、总质量1350 t, 主要用于完成火箭的吊装对接和星箭结合, 垂直检查测试; “两位”就是两个发射工位, 每个工位有两个高度分别为35 m和45 m的脐带塔, 位于勤务塔的两侧, 可以完成不同型号运载火箭的加注和发射任务。两个发射工位相距400 m(见图1)。这种组合模式的特点是: **a.** 两个工位可以发射不同型号的运载火箭和航天器; **b.** 当其中一个工位发生事故时, 勤务塔可以与另一个工位组合, 不会中断发射任务; **c.** 可以在短时间内连续发射两枚火箭(导弹)。1号工位适应CZ-1运载火箭发射低轨道小型卫星。1970年4月24日, 我国第一颗“东方红”卫星就是从这里发射升空的; 2号工位是为了满足发射质量较大的卫星的需要建设的。1975年11月16日, 首次用CZ-2运载火箭

将返回式卫星送入预定轨道。1980年5月18日,两枚洲际导弹分别矗立在1号和2号工位的发射台上,执行连续两次对南太平洋海域的全程飞行试验。酒泉卫星发射中心以其我国建设最早、功能较全且发射次数最多的发射场而载入中国航天史册。

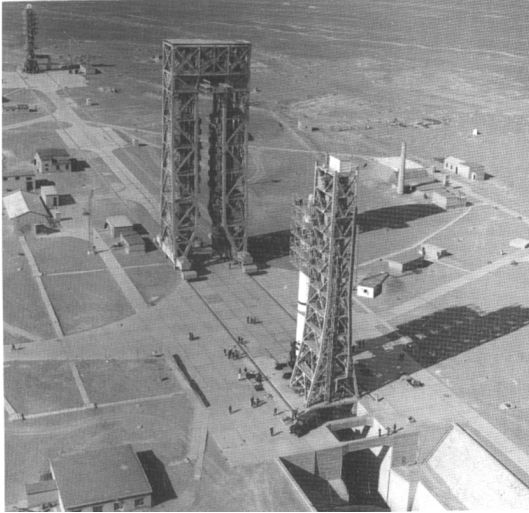


图1 “一塔两位”组合模式

Fig.1 Combination model of one tower & two complexes

## 2 独具特色的两塔结合固定塔模式

1977年9月,通信卫星列为国家重点工程,确定在纬度较低的西昌建设3号发射工位。同年11月,原国防科工委又决定在华北导弹试验场建设7号工位发射太阳同步轨道卫星。当时国家正处于“文革”后的经济困难时期,同时建设两项工程需要投入较多资金,为此,国防科工委及时中止了西昌卫星发射中心3号发射工位II型活动勤务塔的设计,两个发射工位统一采用较为经济的“两塔结合”固定塔方案,塔高76.81 m,11层封闭式回转平台绕固定(脐带)塔前柱旋转,平台合拢时形成总高57 m、长12 m、宽11 m的封闭区,内设13层尺寸为6.7 m×6.7 m的包围火箭和卫星的工作平台,卫星工作区洁净度达10万级。气、电、液管线(脐带)通过固定塔引到星、箭上,充分发挥勤务塔作用。在发射状态时,回转平台打开,让出火箭起飞漂移空间。固定塔顶部安装一台旋转吊车,完成箭星的吊装对接,将勤务塔和脐带塔巧妙地结合成一个整体(见图2)。“两塔结合”模式的优点是:**a.** 一个塔完成勤务塔和脐带塔的全部工

作,使发射区的设施充分简化,建设周期短,投入资金少;**b.** 回转平台合拢后,为星、箭形成一个遮风挡雨的封闭区,可完全满足测试、检查的要求;**c.** 星、箭发射前如出现故障,只需合拢处理发生故障的那层平台,不必将笨重的勤务塔移动过来,操作简便。太原卫星发射中心7号发射工位建设周期仅两年,总投资不到2000万元。1979年11月,首次发射东五遥测弹成功,有力地促进了“三抓”任务的完成。当时参加首次发射和工程验收的国家计委同志曾十分感慨地说,“工程建设又快又省,这个钱花得值……”1987年9月7日,在太原卫星发射中心用CZ-4火箭,又成功将“风云”1号卫星送入太阳同步轨道。1984年1月29日,西昌卫星发射中心3号发射工位用CZ-3运载火箭发射了首颗通信卫星,以后又相继发射了13颗国内和国外的卫星。实践证明,“两塔结合”是最经济适用的发射模式,在我国的通信卫星和气象、资源卫星发射中,发挥了非常重要的作用。

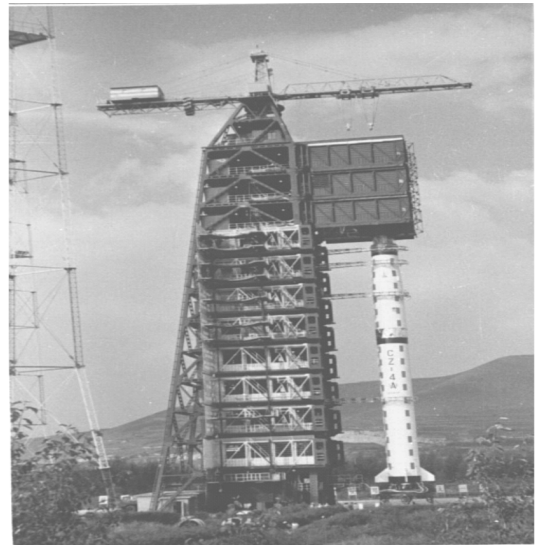


图2 太原卫星发射中心7号发射工位

Fig.2 7<sup>th</sup> launch complex, Taiyuan Satellite Launch Centre

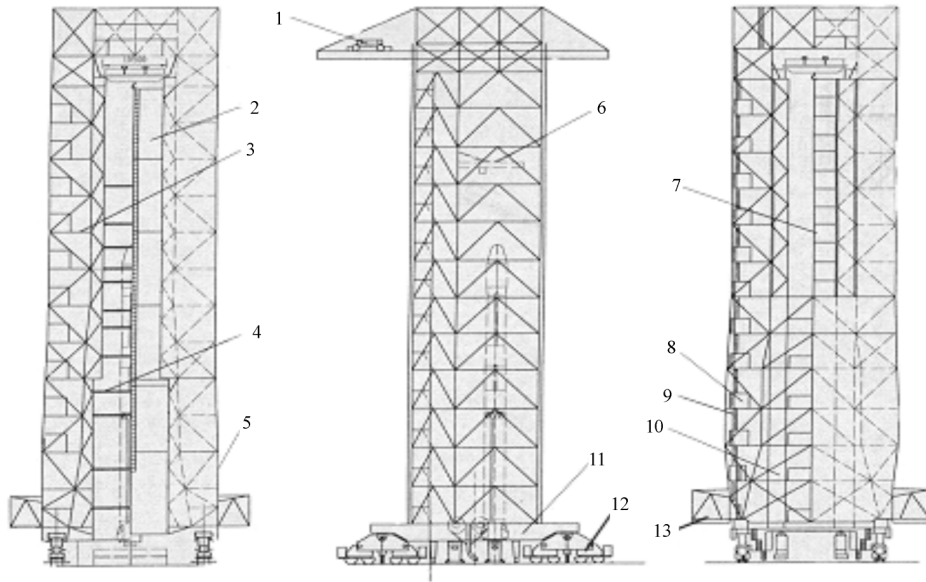
## 3 II型活动勤务塔与脐带塔组合模式

为了适应国外卫星发射服务的需要,经国务院批准,1986年7月在西昌卫星发射中心建设了捆绑式运载火箭发射工位。技术区新建了当时国内最大的高洁净卫星总装测试厂房、卫星加注和整流罩装配厂房、固体发动机探伤厂房……发射区采用由

II 型封闭式活动勤务塔与脐带塔组合模式。勤务塔总高 97.7 m，塔体 21 m×27.6 m (l×b)，塔内净空 89.2 m×15 m×16 m (h×l×b)，质量 5 000 t，运行速度 10 m/min，是目前世界上规模最大的活动勤务塔（见图 3、图 4）。为了提高勤务塔运行平稳性，增加塔体的整体刚度，在门腿之间增加一排相连结构，形成 II 字型断面，对塔体起加强作用，塔体三面外封闭后改善了塔内箭、星的操作环境，实现全天候发射任务。这种组合方式的主要特点是：**a.** 勤务塔外封闭后，塔内形成一个较好的操作环境，如同一个活动的 VAB，可以进行一些较为复杂的操作；**b.** 火箭加注和发射时，勤务塔撤离一段距离，安全性相对较好；**c.** II 型塔体结构较龙门式结构整体刚度好；塔体较高大，可用于发射较大型运载火箭。1990 年 7 月，首次用 CZ-2E 运载火箭将巴基斯坦科学试验卫星（BARSAT）发射升空，随后相继又用 CZ-3A，CZ-3B 等发射了 20 多颗国内外卫星。



图 3 西昌卫星发射中心第二发射工位  
Fig.3 2<sup>#</sup> launch complex, Xichang Satellite Launch Centre



a. 正视图  
b. 侧视图  
c. 后视图  
1—桥式吊车；2—对开大门；3—固定工作平台；4—升降工作平台；5—塔体；6—回转小吊车；7—升降大门，  
8—测试间；9—爬梯；10—电梯；11—台车；12—运行机构；13—空调设备室

图 4 II 型勤务塔结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of II type service tower structure

#### 4 垂直整体运输和远距离测试模式

1992 年 1 月，我国载人飞船工程正式启动，经过概念性研究和可行性研究充分论证，确定在酒

泉卫星发射中心新建载人飞船发射场（参见本期封面图），并在国内首次采用了垂直整体运输和远距离测试发射方式。原发射区勤务塔的功能由位于技术区的 VAB 代替。运载火箭、飞船、逃逸塔在

VAB 组装、测试，完全具备发射条件后才将箭一船一塔组合体垂直整体运往发射区加注发射。VAB 高 93.56 m，是世界上规模最大的钢筋混凝土单层厂房。两个高度 81.6 m，宽度 26.3 m，深度 38 m

的装配测试大厅，设有温、湿度调节和局部净化空气调节系统，使箭一船一塔组合体始终处在十分良好的环境下操作准备或待机发射，提高载人飞船发射的可靠性（见图 5、图 6）。



图 5 箭一船一塔组合体垂直整体运输

Fig.5 Vertical integral transportation for combination of rocket-spaceship-tower

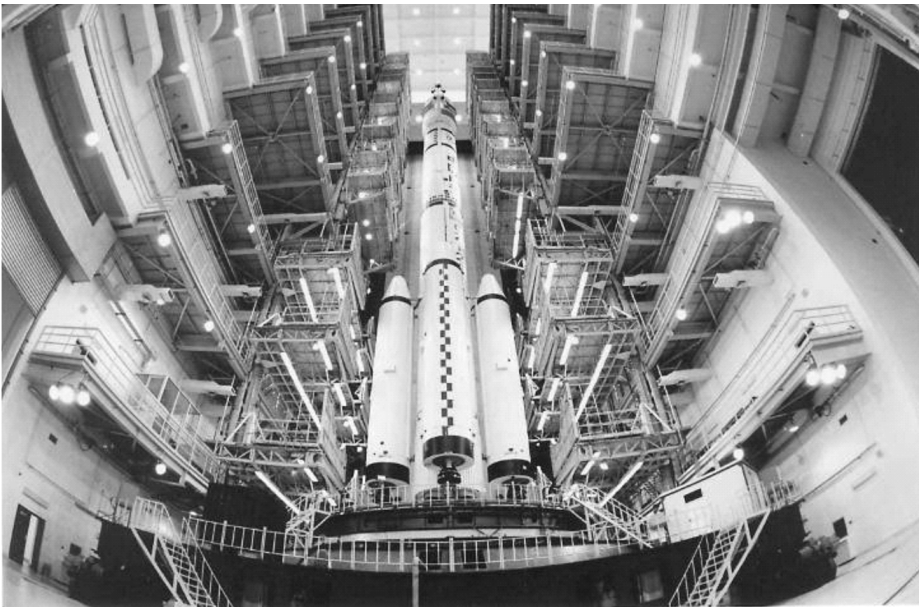


图 6 垂直总装测试大厅

Fig.6 Vertical assembly and testing hall

总装测试大厅采用双工位并行操作，可同时准备两枚箭一船组合体，短时间内能连续进行两次发

射，以适应未来飞船交会对接的要求。1999 年 11 月 20 日首次无人飞船发射成功。2003 年 10 月 15

日，“神舟”5号载人飞船第一次成功发射，标志着我国航天器发射技术跨入了世界先进行列。

## 5 中国特色发展之路

我国航天器发射场工程的光辉成长历程，巨大的工程设施，铺就了航天器的通天之路，走过了一条完全属于中国的发展道路：

1) 坚持自强自立。根据我国国情选择发射区工程设施的组合模式。“一塔两位”和“两塔结合”模式虽然诞生于不同的年代，但都带有明显的中国印记。1987年5月考察肯尼迪航天中心时，一位美国朋友曾对我们说：“你们不要学NASA（美国国家航空航天局），他们太有钱了，西昌的发射设施已经相当好了，很有你们自己的特点……”我国的“两塔结合”模式至今仍具有很强的生命力。

2) 始终把发射安全和可靠性放在首位，注重改善运载火箭和航天器的操作环境，提高发射可靠性。在勤务塔设计中，星箭操作区基本上都采用全封闭结构。最后发展为采用垂直整体运输和远距离测试发射方式，确保发射人员的安全。历次发射中从未因为发射场故障造成发射失败或延误。

3) 在继承的基础上不断创新。科学地总结经验与合理吸收国外先进技术，不断推进发射技术向前发展，根据国内火箭的特点、操作习惯和场区的自然条件灵活运用。如载人航天发射场VAB采用钢筋混凝土结构，代替国外普遍采用的全钢结构，取得很好的效果，在世界航天史上独树一帜。

4) 留有发展余地，兼顾后续任务。早期技术区和发射区的主要设施，既能完成导弹的测试发射，又能完成运载火箭和航天器的测试发射。勤务塔等设施能兼顾多个型号使用，II型勤务塔可兼顾CZ-2E，CZ-3A，CZ-3B，CZ-3C等型号火箭使用。载人航天发射场的主要设施也兼顾了后续任务，考虑了新型运载火箭和20t空间站的发射要求。

5) 加强科学研究，从特种工程基础技术研究入手，提高发射场工程设计的总体水平。如勤务塔体结构的优化设计，VAB巨型框架与多筒体结构体系研究，不对称双面导流槽研究，发射塔防雷安全评估，高大空间分层洁净处理技术，推进剂废气废液处理技术，远距离控制自动加注技术……都是针对运载火箭推力增大、航天器测试环境要求高而开展的，取得了极好的经济效益。

6) 营造健康的人居工作环境。发射场区常常要受到辐射、噪声、有毒推进剂、废气和废液等污染。以往工程设计中通常采用隔离、高空排放等办法。近年来，研究成功煤油燃烧法和二氧化氯氧化法处理推进剂废气（液），使有害气体（液）的排放浓度达到国家规定的卫生标准，从根本上消除了大气污染和保持水源的清静；所有危险工作场所，都建立了监测和报警系统。

7) 改变传统的设计理念。航天器发射场是在导弹试验基地的基础上发展起来的，过去由于地域偏僻和保密要求，建筑物布局分散、结构简陋、缺乏科学的总体规划。为了适应对外开放，通过设计优化组合、保证功能合理的同时，力求赋予建筑物清新、简洁、自然和富有个性化的风格，改变了过去粗陋无序的状态，以其完美的造型、和谐的环境，使来自各地的旅游观光者耳目一新，留连忘返。

## 6 展望

航天器发射场工程设计和建设成就是在我国特定的政治和经济环境下形成的，随着国家经济实力的增强，航天技术的深入发展和广泛应用，将会对发射工程技术提出更高、更新的要求。可以预见，随着未来的发射方式的多样化，发射服务的国际化，围绕优质高效、安全可靠、低运营成本的发射系统的崛起，我国航天发射场的设计必将迈入新的、更高的水平：

1) 强化箭一地一体化设计。航天发射服务市场的竞争，归根结底是运载技术和发射技术的竞争。国外普遍采用运载火箭和发射地面设备融为一体进行总体优化设计，以提高发射可靠性，简化测试发射工艺流程，提高发射频率，缩短发射周期，降低运营成本。

2) 提高自动化水平。实现运载火箭和航天器发射前检查自动化，保证检测的快速性、检测结果的准确性和可靠性；提高发射指挥、控制、监视和专家决策的智能化，实现准确定位和快速决策；加强发射地面设施的自动化，对供电、供气、消防、安全、勤务保障实施有效监控，确保推进剂快速加注，精确定量和安全操作。

3) 实现测试发射地面设备的通用化、系列化和组合化。实现快速适应新型号和新任务的更新换代，扩容升级，增加系统的适应性和可维修性，以适应日益增长的市场需要。（下转第54页）