

第1章

绪论

对物体的运动变化过程进行测量和控制的技术手段和方法总称为测控系统。测控对象和任务不同,系统的组成与功能也不同。导弹是高技术、高价值装备,其设计、研制、改进与定型需要经过一系列试验,而飞行试验作为综合性系统试验,其主要目的就是在尽可能真实的环境下考核和评估试验对象,具有全面性和接近实战的特点,是导弹考核的主要手段和研制定型的关键环节,也是导弹作战能力产生和发展的源泉。本书所述导弹测控系统是指在导弹飞行试验中对试验过程进行观测和控制的整套手段和方法,建立在导弹试验靶场,是导弹试验靶场的一个重要组成部分。

导弹测控系统监控导弹飞行试验进程,获取飞行试验数据,为导弹性能的分析、评估与改进提供科学依据,它在飞行试验中的作用极其重要。导弹测控系统涉及天、地、海、空等诸多环节,是一类典型的复杂大系统,其设计和使用涉及导弹研制与试验、靶场规划与建设、自身的规划与实现等。总体设计必须着眼全局,正确理解和理清这些关系是做好设计的基础,为此,先就有关问题进行概要论述。

1.1 导弹的分类及飞行试验任务

1. 导弹组成及主要类型

导弹是一类依靠自身动力推进、能进行飞行控制、将弹头导向并毁伤目标的武器,在导弹与航天工程上简称为“型号”或“产品”。导弹通常由弹头、弹体、制导系统和推进系统等部分组成。

导弹按弹道特征或飞行轨迹,可分为弹道式导弹和飞航式导弹;按作战任务,可分为战略导弹、战役导弹和战术导弹;按发射点和目标点的不同,又可分为地对地导弹(简称为地地导弹,余同)、地对空与空对地导弹、空对空导弹、舰对舰导弹、地对舰与舰对地导弹等,如图 1.1 所示。

2. 导弹飞行试验任务

导弹研制是个复杂的系统工程过程,从研制任务下达到产品问世一般需要经过反复的设计改进和试验验证。就其试验而言,需从局部到整体、从室内到室外、从地面到靶场,从数学仿真到实弹发射等多种场合和多种方式进行检验。其中飞行试验是最高形式,也是对被试导弹最逼真、最全面的考核,包括研制性飞行试验、鉴定性飞行试验和产品批抽检飞行试验等。

研制飞行试验贯穿于导弹研制全过程,主要是验证在真实飞行条件下各分系统方案的科学性与合理性、各分系统之间的兼容性与工作的协调性,

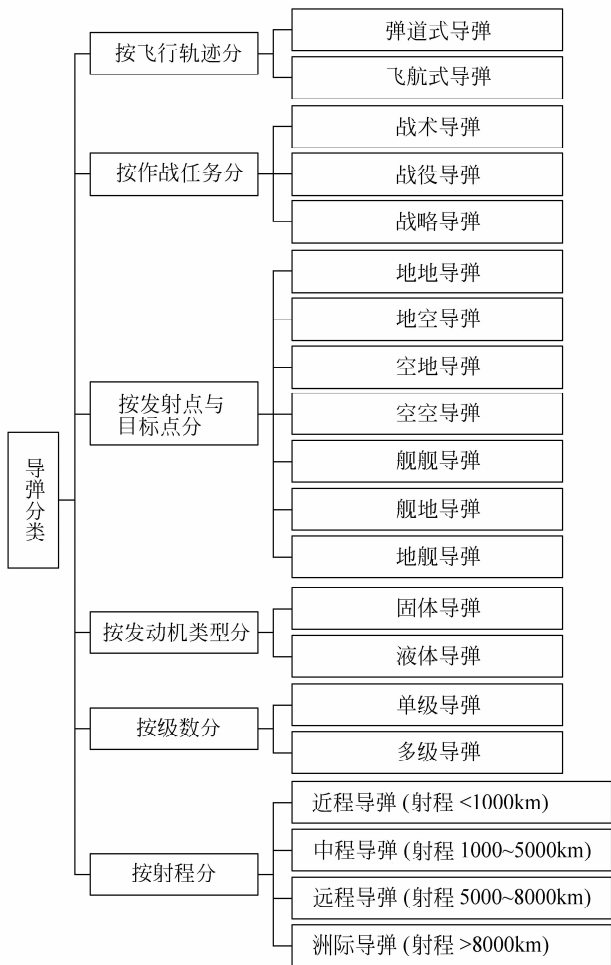


图 1.1 导弹的分类

以及武器系统的主要战术技术指标。

鉴定飞行试验是在导弹武器系统的研制工作已经完成,为对其进行全面考核而安排的试验,通常称为“定型”飞行试验。定型试验着重于对武器系统的战术技术指标及使用维护性能等进行全面检查,包括整个武器系统配置的完整性及工作的协调性、制导控制精度、杀伤概率、毁伤效能、突防性能,以及武器系统的可靠性与可维修性等。

批抽检飞行试验是在导弹武器系统已经定型投入批量生产以后,从每个批次中抽取少量导弹作为样品进行的飞行试验检查,根据试验结果评定

相应批次产品是否合格。导弹类型不同,试验的组织安排和方法也有所不同,因篇幅所限,本书旨在选择最有代表性的地地导弹试验作重点说明。

1.2 试验靶场的组成与功能

导弹的上述飞行试验必须在特定的室外试验条件下进行,整个试验场所称为靶场。但传统意义的枪炮射击靶场和导弹飞行试验靶场是无法相比的。由导弹各种飞行试验的目的知道,导弹试验靶场不仅需要较大的地面和空间范围,同时需要配备相应的技术设施,以完成对导弹各系统的测试检查、试验指挥调度、发射、测量与控制。必备的技术设施一般有测试设备和厂房、导弹发射阵地设施、试验指挥调度设备与通信设备、飞行过程的监测与控制设备,以及气象及技术勤务保障设施等。在某种意义上导弹试验靶场就是一个建在广阔地域的庞大实验室。其中地对地导弹试验靶场的范围最大,常按飞行阶段划分为三个区域,即首区、航区和落区。

首区主要指发射场及其周围区域。场区内一般有技术阵地、发射阵地、指挥控制中心、测控站、通信站、数据处理站、试验勤务保障和行政管理机构等。

航区是导弹的基本飞行区域,包括飞行空域及弹下点附近地区,航区内配置各种测控和通信台站。

落区是导弹的再入飞行区域。工程上一般定义导弹落地前高度 80km 以下的弹道为再入段,落区也就是该飞行段对应的空域及弹下点附近地区。其中的落点散布范围称为弹着区或危险区。一般在弹着区内外布设相应的测量设备,用以观测末段弹道、落点位置、触地时间及毁伤效应等。在落区的其他位置布设相应的外测与遥测设备及光学与无线电目标特性测量设备,用以获取再入段的外测与遥测数据及目标特性数据。如果落区在海上,则需将上述观测设备装船,在测量船上进行观测。

1.3 测控系统的地位和作用

测控系统(Tracking Telecommunications and Control System)和导弹及试验靶场有不可分割的联系,它既是试验靶场的组成部分,也是导弹试验体系的组成部分。对靶场而言,因测控是试验靶场必备的功能,故必须配备一定的测控设备,并且一般是作为靶场的基础设施,需列入靶场建设规划,制订测控系统建设规划方案,统一设计,统筹安排。对导弹试验而言,为达

到试验的目的和保证试验的组织实施,除导弹以外还必须配置相应的支持保障手段,一般由测试、发射、指挥调度、测控、通信、气象等系统和导弹一起组成特定的试验体系。

众所周知,按方法论试验与其测试环境是不可分的,不管是科学验证或是产品测试检查,其后都需进行分析评定,主要的依据就是观测资料。为此,必须有一定的手段进行观测记录,试验的成败多半取决于观测条件。导弹飞行试验是一类大型综合性科学实验活动,试验资料尤为重要,自然更需配备相应的观测手段和方法,因此,产生了测控系统。导弹测控系统主要由外测、遥测、目标特性测量、遥控(安控)、信息交换与传输、数据处理、监控显示与指挥调度等分系统组成,如图 1.2 所示。从飞行试验任务的大局考虑,测控系统必须提供下述几方面的支持保证,这也就是测控系统的主要作用。

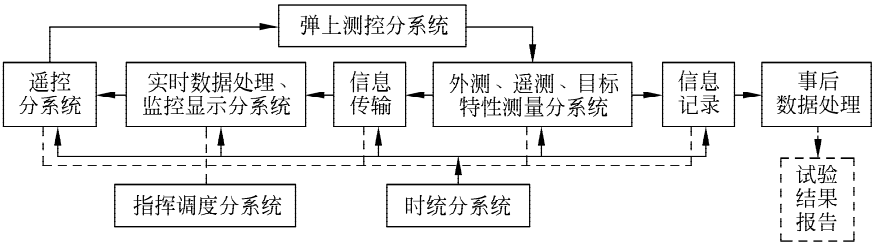


图 1.2 导弹测控系统组成结构示意图

1. 为试验分析评定提供依据

首先是为检查验证导弹系统的设计,为此必须了解飞行中弹上设备的工作情况和弹上环境情况,因而需采用遥测手段获取相应信息,为分析评估提供依据;其次是为鉴定导弹的射击精度,为此必须知道实际飞行弹道,因而需采用外测手段获取实际弹道参数,重建飞行弹道,为精度鉴定提供依据;还有是检验导弹突防方案,这是导弹发展到一定阶段,为对抗反导系统的拦截、提高自身生存能力而采取的保护措施,包括施放诱饵、采用隐身技术等,为检验方案的可行性,需采用光学和雷达等测量手段获取真假目标特性参数,以进行分析评估。需要测控系统提供试验评估资料和数据的项目很多,如导弹毁伤效应评估、多目标分离与空域分布方案的评估等,这些项目也离不开外测和遥测保证,此处不一一列举。

2. 对试验过程进行监视与控制

导弹飞行试验风险高、影响大,对其过程必须全面监视。其中一项重要任务是进行安全控制,就是当导弹发生飞行故障时,为保证航区内人员和重

要设施的安全,以及防止残骸落入国外引起纠纷,需选择适当时间将故障弹炸毁。故障的判断、炸毁时间的选择和炸毁指令的传送等都需测控系统完成,这是导弹测控系统的一项特殊作用。

3. 提供相关信息

除了上述主要作用外,在某些场合还需测控系统提供其他相关的信息。例如,反导拦截试验需提供遭遇段的弹道参数和拦截脱靶量参数;在海上进行飞行试验时需提供弹头溅落位置参数;为进行火箭残骸的搜索需提供残骸落点位置;为了解弹头落地或入水情况,需提供触地或入水时间和姿态;为进行再入现象的研究,需提供有关通信“黑障”、表面发光现象、粒子“尾流”等方面的资料,等等。

由于导弹研制一般都要花费很多人力、物力和较长周期,价格昂贵,因此飞行试验,特别是大型导弹的飞行试验的次数必须尽量减少,主要方法是提高试验的效率和可靠性。提供效率的措施在于优化试验方案,使每次试验尽量多安排一些考核项目,做到一弹多用。提高可靠性则主要靠测控保证,因导弹是试验对象,其飞行可能正常,也可能出现故障,但只要获取了整个试验过程的资料和数据,从试验的角度就是成功的,因为即使导弹飞行失败,可通过试验资料的分析查出失败原因,就可找到解决问题的方案。显然,对测控系统的要求是很高的,不仅要正常工作,而且获取的资料和数据要能满足“质”的要求。外测、遥测、目标特性参数测量等的“质”主要是其精度。以影响试验消耗(试验导弹发数)为例,设提供鉴定的测量参数的相对精度为 A :

$$A = \frac{\sigma_i}{\sigma_0} \quad (1.1)$$

式中, σ_i ——提供鉴定的测量参数的均方根误差;

σ_0 ——被鉴定参数的均方根误差。

A 值对试验发数的影响关系基本如下:

$$\frac{\Delta n}{n} = 2A^2 + A^4 \quad (1.2)$$

式中, n ——没有测量误差时为完成被测参数的鉴定所需试验发数;

Δn ——有测量误差时为完成被测参数的鉴定需增加的试验发数。

由式(1.2)知,只有达到比较高的相对精度,测量误差才不会对试验发数造成大的影响。经综合平衡,对一般试验子样(5~10发) A 应小于 0.2~0.3,即测量精度比被测参数精度高 3~5 倍,在可能条件下最好优于 10 倍,这样,鉴定参数测量误差的影响才可基本忽略不计。

1.4 测控系统的规划与建设

测控系统是完成测控任务的物质基础,它的建设既需纳入靶场的长远发展规划,如导弹测控网的筹建,同时又需针对具体型号试验制定型号测控方案,两者既有联系,又有区别。相同的是两者都是基于型号试验对测控的需求,不同的是规划需综合一段时间内的各型号试验的测控需求,进行全面设计,内容具有综合性、前瞻性,以引领测控技术的发展。型号测控方案是针对具体试验任务的需求,涉及面相对较小,如果在已建靶场试验,可综合利用既有的测控设施来完成任务。两者的制定过程和工作内容是相似的,如不需特别说明下面不再区分,总称“方案”。

测控系统的建设是个复杂的系统工程过程,一般要进行需求分析(或称前期准备)、初步设计、详细设计、研制集成及试验鉴定等。

1. 需求分析

测控系统需求分析主要是了解试验任务的测控需求,全面调查分析国内外测控技术发展状况及国内导弹试验靶场的设备与人员条件,如果要建新的试验航区还需了解航区内的自然条件,包括地理、气候及生活环境等,最后综合各项调研资料为测控方案的设计提供依据。

2. 初步设计

测控系统初步设计要做的工作主要是根据前期准备的调研资料,拟订测控系统的初步方案,并据此进行技术和经济可行性的分析,通过测控要求承接方(靶场)与测控要求提出方(导弹试验方)的协调,共同确定测控要求,经评审后作为系统研发的依据。

3. 详细设计

详细设计是在初步设计的基础上,确定系统的具体组成、台站布局及系统集成方案等,最后形成系统建设总体技术方案,通过多方案的比较评估,选择其中的最佳方案实施。

4. 研制集成

测控系统软硬件的研制生产与集成是落实系统总体技术方案的关键环节。研制生产在这里是广义的,除建造新设备,也包括既有(不能满足要求)设备的利用改造,最终完成系统总体技术方案所需设备的齐全配备。导弹测控系统的组成复杂,设备问题往往需通过多渠道、多方面协作解决。

5. 试验鉴定

测控系统试验鉴定是测控系统研发的收官环节,主要是在靶场的真实环境条件下检查验证系统整体的战术技术性能,鉴定各项总体技术指标。试验内容包括系统联调和相关指标测试、计算机模拟发射试验、飞机校飞试验等。最后综合各项试验结果对系统性能进行评估。

按系统工程原理,上述建设过程中总体设计是必不可少的,它主要解决系统顶层的问题,包括系统和其测控对象及环境的关联、系统的组成与结构及主要指标的分析与鉴定等。总体设计直接影响系统建设费用和技术性能,对研发效果起着决定性作用。

1.5 导弹测控技术的发展

任何科学实验和测试都离不开观测与记录手段,两者相互依存。导弹测控技术正是随着导弹试验而发展起来的,从 20 世纪 40 年代国外开始研制中短程导弹起,为试验观测用的光学设备便着手研制,自此导弹测控作为一个专门技术领域逐步发展起来,主要体现在下述几个方面。

1. 测控手段由少到多

测控手段是实现测控功能的物质基础,按靶场测控设备的品种和数量,可清楚看到其由少到多的发展过程。导弹试验初期,靶场设备很少,只有简单的光学设备对导弹发射过程进行摄影记录。为满足靶场测控的需求,随着技术的发展,靶场测控手段不管是量或质逐步得到改善,包括光学设备和无线电设备都渐渐形成设备系列,按型号品种区分其种类不胜枚举。例如,光学设备,按用途可分为光学外测设备、光学实况记录设备、光学目标特性测量设备等,其中各自又按功能和性能分为若干品种,如远程高精度光电经纬仪、中程普通光电经纬仪、近程小型光电经纬仪等。无线电设备也一样,按用途区分有无线电外测设备、无线电遥测设备及目标特性测量设备等,同样每一类又可分若干品种,如无线电外测设备包括单脉冲精密测量雷达、连续波雷达、短基线与中长基线干涉仪、相控阵雷达、目标特性测量雷达等。而 GNSS(GPS/GLONASS/BDS 等)卫星导航系统和数据中继卫星构成的天基测控系统是测控系统的最新发展,其应用正在不断推广。

2. 测控功能由弱到强

从导弹测控功能看,可明显看出由弱到强的发展过程。最初只能进行

简单的观测记录,后来逐步发展到能保证全弹道的外测和遥测、主动段或全程安控、再入段目标特性测量、海上溅落位置测量、落点参数测量、反导拦截试验测量、毁伤效应测量、电磁环境测量、目标特性测量、突防性能测量等,从关键点和局部段落测控,向试验全程的可测、可视和可控发展,测控的信息量、可靠性和实时性也不断提高。

3. 测量精度由低到高

测量精度这里主要指外测。在导弹试验早期,对于近程和中程导弹,因为其射击精度用落点位置参数可基本确定,如在陆上试验用大地测量方法即可获取精确落点位置参数,对外测精度无须很高的要求,同时因当时采用的测量设备精度较低,也无法获取较高测量精度的数据,定位精度一般在几米的量级,由于没有测速设备,速度参数靠微分平滑求得,其精度相当低,一般为 $50\sim 100\text{cm/s}$ 的量级。自酝酿研制远程导弹开始,高精度外测任务提上日程,为进行精度鉴定和设计改进,不管是三大段(主动段、自由段、再入段)的误差分离,或是制导系统的工具误差和方法误差分离,都需高精度的外测数据。为此,必须研制高精度测量设备和研究相应的处理方法,从而于 20 世纪 60—70 年代先后研制出了高精度的远程光电经纬仪、高精度测速的连续波干涉仪系统,使弹道参数的测量精度大大提高,特别是测速精度提高到几厘米每秒。现在有 GNSS 等天基系统的参与,使测量精度又多了一重保证手段。

4. 测控范围由小到大

测控最早的对象是短程地对地导弹,主要在发射台两侧布置一些光学设备,进行导弹发射起飞情况的观测记录。其后为中程导弹的测控,其范围扩展为整个主动段,其中为进行制导误差鉴定特别需要获取关机点参数,为此采用光学与无线电设备等多种手段保证。进行远程导弹试验时,由于飞行距离的延伸,而且再入段有一定的试验项目,因而主动段、自由段和再入段都有测控要求,主动段主要是外测、遥测和安控,自由段是遥测与外测监视,再入段的重点在外测、遥测和目标特性测量。同时试验靶场规模也相应扩大,并进行分工,例如美国以内陆的白沙靶场进行常规兵器与小型战术导弹试验,东靶场与西靶场进行中、远导弹的发射与试验观测,利用太平洋上的夸贾林环礁建成再入反导试验靶场,专门用作反导试验。为适应大范围测控的需要,测控手段和方法也相应加强,例如建造测量船以保证海上试验

测控,建造测控飞机以保证对远程低飞目标(如巡航导弹)的跟飞测控,以及采用天基测控方法等。

5. 逐步形成导弹测控网

导弹试验早期,测控系统的建设基本是跟随型号跑,即试验一种型号相应研制一套测控系统。由于型号试验方案是多变的,而测控系统的建设需一定周期,“跟随跑”的方法不仅投入多,而且可能赶不上导弹试验进度。为摆脱测控系统建设的被动局面,在总结经验的基础上确定创建测控网,即统一规划、统筹布局,建设适应多个发射地点、多种射向、多种弹道及多个落区的网状系统,通过测控中心将网中各台站连接起来。其中台站的配置有虚有实,“虚”的台站平时不配设备和人员,只在执行任务时才安置可搬运的机动测控设备;“实”是指网中的一些基干台站,安装固定测控设备,人员长年值守。因为设备的使用是固定和机动相结合,机动设备灵活调用,只要设备体制合理,用较少量设备即可保证各台站执行任务的需要,所以测控网看似庞大,但只要合理规划,并不需增加大量设备。另外,因为卫星、飞船等航天器的发射场很多和导弹发射场处在同一地点,有的测控台站,特别是主动段台站,导弹试验和航天器发射均可利用,即导弹和航天器的测控网有的部分是共用的,所以常将测控网总称为导弹与航天器测控网。测控系统逐步由陆基向海、空、天基发展,形成了以地基为主,海基、空基、天基为辅,固定与机动相结合,功能完备、布局合理、实时性强的飞行试验体系,系统的标准化、自动化、智能化和网络化水平不断提高,极大地提升了试验的信息获取、信息传输、信息处理与指挥控制等方面能力,为各型导弹的研制定型与改进奠定了坚实的基础。

我国导弹测控技术也基本经历了上述发展过程,始于20世纪50年代后期,当时组建了西北综合导弹试验靶场,但测量设备几乎是空白,只有从苏联引进的少数光学设备和无线电设备,如KΦT-10/20光学电影经纬仪、KT-50光学电影经纬仪、黑龙江雷达和CTK-1遥测等。后经我国科技工作者与工人一起自力更生、艰苦奋斗,突破种种技术难关,陆续成功研制出了优良的测控设备产品,包括光学设备序列、雷达设备序列、遥测遥控设备序列及各种测控专用计算机,建造了先进的海上测量船与综合性的测控飞机、开发了以美国的GPS和我国自主研发的北斗导航(BDS)系统为代表的GNSS应用系统,等等,使我国的导弹测控技术逐渐达到世界先进水平。