

何友金 吴凌华 任建存 谭伟 编著

靶场测控概论

BACHANG
CEKONG GAILUN

BACHANG
CEKONG
GAILUN

山东大学出版社

分类号(CIP) 目录表在书后

靶场测控概论

何友金 吴凌华 编著
任建存 谭 伟

山东大学出版社

封面黄色标签为书号，页码，页幅，页码，页幅，页码，页幅

图书在版编目(CIP)数据

靶场测控概论/何友金等编著. — 济南: 山东大学出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-5607-3917-5

I. 靶…

II. 何…

III. 靶场—测量系统: 控制系统—概论—高等学校—教材

IV. TJ06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 144741 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码: 250100)

山东省新华书店经销

莱芜市圣龙印务有限责任公司印刷

787×1092 毫米 1/16 10.5 印张 240 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定价: 22.00 元

版权所有, 盗印必究

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社营销部负责调换

内容简介

本书针对导弹和航天飞行器在靶场进行发射试验的测控需要,系统介绍了靶场试验测控的基本理论、测控原理、测控方法和测控系统,内容包括靶场基本知识、导弹试验测量原理、测控系统设计、测控设备、测控设备联试校飞以及测量设备精度鉴定,并对靶场试验测量技术的发展也作了简要介绍。本书强调靶场试验测控的系统性和总体性,由理论到系统,由总体到分系统及设备,便于学员从试验测控的全局来学习、理解测控系统。每章的最后还编写了思考作业题,供练习使用。

本书是为相关高等院校的导弹及航天飞行器试验测控类专业本科生、试验类任职教育、靶场试验干训班等编写的,也可作为导弹武器装备光电跟踪测量、无线电跟踪测量等专业本科生的教材,可供从事导弹及航天飞行器试验测控的技术干部和机关技术干部参考。

前 言

我国靶场测控系统的建设与发展是与我国导弹武器装备和航天事业的发展同步进行的,目前已走过了半个世纪的发展历程。测控系统及其设备的建设经历了引进、仿制、自行研制和发展提高的过程,建成了具有中国特色、技术先进、能够满足我国导弹武器装备试验和航天事业的测控系统。

靶场测控系统涉及试验测控要求论证和测控系统总体论证设计,试验测控原理,完成试验测控任务的光测设备、雷达设备、遥测设备、遥控设备、时统通信设备、指挥调度等。国内从事测控系统研究、测控设备研制、测控设备使用的单位很多,涉及军内外很多单位。为满足院校试验测控人才培养和试验测控相关工程技术人员参考学习,需要编写一本系统性和工程性强,涉及知识面宽,难易适中的书籍。

本书做教材使用其参考学时数为40学时。全书共6章。第一章,靶场基本知识,主要介绍靶场试验的作用、组成及发展概况,试验测控的基本概念,试验的测控环境,飞行器的弹(轨)道;第二章,导弹试验测控原理,主要讨论坐标系统、时间系统、飞行试验参数测量、飞行安全控制等;第三章,测控系统设计,主要介绍靶场试验测控总体设计的有关知识,试验测控要求的分析论证,为完成试验测控任务需要进行的测控系统总体设计;第四章,测控设备,主要介绍光学跟踪测量设备、无线电外测设备、遥测设备、遥控设备、通信设备;第五章,测控设备联试校飞,主要介绍靶场传统的测控设备联试与校飞的有关内容;第六章,测量设备精度鉴定,主要介绍靶场测量设备精度鉴定的途径方法,靶场常用的飞机校飞精度鉴定等。

本书由海军航空工程学院何友金担任主编,并统编全稿,海军驻成都地区军代表吴凌华和海军航空工程学院任建存、谭伟参加了有关章节的编写。海军航空工程学院胡云安、陆斌对全书进行了校审。参与该书编写的还有何奇。该书编写过程中,得到了海军航空工程学院训练部的大力支持,得到了总装备部测量通信总体研究所、海军试验基地的帮助,在此一并表示诚挚的感谢!由于编者水平有限,书中难免存在缺点和不足,殷切希望读者批评指正。

编著者

2009年6月

(89)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	
(89)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	1.1
(100)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	1.2
(114)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	1.3
(123)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	1.4
(129)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	1.5
(131)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	小 结
(131)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	作 业 题
(138)	·····	备 用 空 间 测 控 学 第 4 章	
第 1 章 靶场基本知识	·····		(1)
1.1	靶场试验和发展概况	·····	(1)
1.2	靶场的分类和组成	·····	(3)
1.3	靶场测控的基本概念	·····	(4)
1.4	靶场试验的测控环境	·····	(8)
1.5	导弹飞行试验弹道	·····	(12)
小 结	·····		(14)
作业题	·····		(14)
第 2 章 导弹试验测控原理	·····		(15)
2.1	坐标系统	·····	(15)
2.2	时间系统	·····	(29)
2.3	飞行试验外弹道参数测量	·····	(33)
2.4	遥测参数测量	·····	(48)
2.5	目标特性参数测量	·····	(53)
小 结	·····		(67)
作业题	·····		(67)
第 3 章 测控系统设计	·····		(69)
3.1	测控总体设计简介	·····	(69)
3.2	测控要求分析论证	·····	(71)
3.3	测控系统总体设计	·····	(73)
3.4	测量精度设计	·····	(85)
3.5	可靠性设计	·····	(89)
小 结	·····		(96)
作业题	·····		(97)

第 4 章 试验测控设备	(98)
4.1 光学跟踪测量设备	(98)
4.2 无线电跟踪测量设备	(106)
4.3 无线电遥测设备	(117)
4.4 无线电遥控设备	(123)
4.5 试验通信	(129)
小 结	(134)
作业题	(134)
第 5 章 测控设备联试与校飞	(136)
5.1 测控设备的联试	(136)
5.2 测控设备的校飞	(141)
小 结	(146)
作业题	(146)
第 6 章 测量设备精度鉴定	(147)
6.1 概述	(147)
6.2 精度鉴定的途径和方法	(148)
6.3 飞机校飞精度鉴定试验	(151)
小 结	(156)
作业题	(156)
参考文献	(157)

美国分类第一的靶场 S. I. J

本书所介绍的靶场是指军事武器装备的试验场所,它能够为武器装备进行实际发射试验,并能完成试验的测量、控制、数据处理和提供被试品的检验鉴定结果。在我国靶场又称为“试验训练基地”。在靶场进行试验的军事武器装备主要有火炮、火箭、导弹、航空与航天飞行器、水中兵器、电子战装备等。

第1章 靶场基本知识

本书主要介绍靶场试验的作用、组成及发展概况,试验测控的基本概念,试验的测控环境,飞行器的弹(轨)道等。

1.1 靶场试验和发展概况

1.1.1 靶场职能

在军事武器装备的研制过程中,必须进行一系列的试验,以考核其功能、性能、可靠性、环境适应性、电磁兼容性、接口关系等。在武器装备的不同研制阶段,试验的项目、内容、形式和要求不同。就导弹武器系统来说,其试验可分为内场性能测试、环境与可靠性试验、电磁兼容性试验、仿真试验和外场试验。

在国内外导弹试验靶场数量最多,最具有代表性。导弹飞行试验是导弹研制过程中的重要阶段。因为导弹的研制和定型,除了在研究单位和制作工厂做各零部件、发动机的单项测试和组装试验外,还必须做模型弹、遥测弹和战斗弹的外场试验。从大的方面来说,外场试验可分为地面试验和飞行试验,但地面试验都有一定的局限性,导弹的有些性能不可能得到验证,必须通过飞行试验才能得到考核。飞行试验的目的是利用地面测量系统获取导弹的飞行弹道和各部件工作状态等有关数据,分析检验导弹武器系统的总体方案和战术技术性能。尤其对远程弹道式导弹,在进行高弹道和低弹道试验时更加依赖地面测量系统,全靠测量系统所获取的数据来分析和检验高、低弹道模拟正常弹道主动段和再入段性能的逼真程度。

因此,导弹在靶场的飞行试验是导弹从研制、定型到批量生产整个过程中必不可少的重要环节。

1.1.2 试验的一般分类方法

武器装备试验按不同的原则,可以有不同的分类方法。

例如,按试验品规模的大小可以分为元器件试验、部件试验、单机试验、分系统试验和全系统试验。

按试验品的类型可以分为模型试验、模样试验、初样试验、正样试验和批生产产品验收试验。

按试验的条件可以分为实验室(内场)试验和外场试验。外场试验又可细分为地面试验、海上试验、飞行试验、单机试验、系统试验、精度试验、射击试验、抗干扰试验、电磁兼容试验、可靠性试验、维修性试验、装备对接试验、环境试验、储存试验、运输试验、寿命试验等等。其中海上试验还包括航行试验、系泊试验、适航性试验、浅海试验、深海试验、鱼雷实航试验等。

按军事装备的发展阶段可分为科研试验、研制试验、定型试验、使用试验和抽检。

按军事装备分为战略武器试验,常规武器试验,核试验,航天器试验,导弹、火炮、炸弹、鱼雷、水雷、枪械、装甲车辆、探测装置、通信装备、导航装备以及新概念武器试验等等。

按试验的性质可以分为研制性试验、作战性试验和生产性试验。

按使用的军兵种可以分为陆军试验、海军试验、空军试验、防空兵试验、海军陆战部队试验、空降部队试验和战略火箭军(第二炮兵)试验。

按试验的内容可以分为精度试验、实弹打靶试验、突防试验、威力试验、干扰与抗干扰试验等。

1.1.3 靶场发展概况

在以导弹试验为代表的靶场中,试验靶场除了应具有导弹或火箭的发射设施外,还必须要有对飞行目标进行跟踪测量和监控的设备,简称“测控设备”,若没有测控设备也就谈不上什么试验靶场了。所以,导弹试验靶场的试验能力及发展是随着测量、监控设备的发展而发展的,而测控设备又是为适应导弹武器装备的发展而发展的。在测控设备的发展过程中,测量设备出现得最早,而光测设备又是最早出现的。1791年,在英格兰伍尔威奇兵工厂的火炮试验场,这是火箭试验的第一个场区,威廉·康格里夫在这里试验了射程达4570米的“康格里夫”火箭,当时唯一可用的只有小小的光学望远镜。真正开创靶场光学测量的是美国的戈达德博士,在研制液体火箭的过程中,戈达德夫人使用了锡尼—柯达电影摄影机,开创了光学测量数据记录的先例。

第二次世界大战前,许多国家已开始了火箭的研究和研制。大战期间,德国法西斯企图霸占全世界,拨巨款加速研制远程打击武器。1936年8月,德国在波罗的海什切青湾的乌泽多姆岛北端佩内明德开始兴建火箭靶场,由陆军和空军共用。1938~1939年间,陆军集中力量研究V-2火箭、瀑布和台风雷达制导防空导弹;空军着重研究V-1有翼飞弹和亥因克尔HE176、密斯施米特ME263、ME163喷气式飞机、空对空导弹、助推器、带翼炸弹。1942年10月,陆军进行V-2火箭首次发射获得成功,然后投入大量生产,并用于实战。

佩内明德靶场从北端两个发射阵地向东北发射地—地导弹,落区位于波罗的海海面上,航区则紧靠波罗的海南岸,在海岸及附近小岛上布设测量站,整个靶场部署下列主要测量设备:

光测设备主要有 Askania 电影经纬仪,其焦距为 1m,透镜为 12cm,可跟踪高达 32km 的 V-2 火箭。三站交会测定火箭位置,精度达 4.5m。另外一种光测设备是 Zeiss 弹道相机。在雷达跟踪测量设备方面,有三个跟踪导弹的 Campania 多普勒跟踪系统,其中一个基线较长,另两个较短。前者有三个接收站和一个发射站。1942 年专门为 V-2 火箭研制了 Naples 1 多普勒跟踪系统,该系统有一个发射站,向火箭发射 36MHz 信号,经弹载转发器倍频转发,由多个地面站接收。实际上这就是战后各导弹靶场普遍采用的 DOVAP 系统的前身。

最早的遥测系统是三信道、调幅/调幅型 Messina 1 型系统,在发射阵地附近布有两个接收站,工作频率为 61.8MHz。1945 年研制的 2 型系统是 9 信道调频/调频系统。

为测定火箭海上落点,在波莫瑞海岸设置了两个声纳测距定位网,一个在离发射阵地 160km 的鲁根瓦尔德,另一个在 240km 处的韦巴。

1945 年 4 月,苏军攻克佩内明德,拆走了未被破坏的靶场设备,装备其卡普斯丁亚尔导弹靶场;另外部分导弹研制和靶场人员去了美国,参与美国的导弹研制。

第二次世界大战结束之后,美、苏等大国为争霸世界,纷纷投巨资加速研制地—地战略导弹,为此各大国都建立了自己的导弹试验靶场,例如美国的白沙靶场、大西洋导弹靶场、西靶场;前苏联的卡普斯丁亚尔、拜克努尔和普列谢茨克;英国设在澳大利亚的伍麦拉靶场;法国设在阿尔及利亚的贝沙靶场等。

随着洲际地—地导弹研制成功,借助其提供的强大推力,各大国又开始了空间争夺。前苏联于 1957 年 10 月 4 日成功地从拜克努尔发射了第一颗人造地球卫星,开创了人类航天的新纪元。此后各类卫星纷纷射入空间,很快从研究进入实用。1961 年,前苏联又将加加林送入近地空间,开创了人类进入宇宙的历史,接着苏、美在载人航天方面展开了激烈角逐。与此同时,还向月球和太阳系行星发射各种探测飞行器,向深空进军。随着航天事业的发展,原来的导弹发射设施不再适应这些巨大运载火箭发射的需要,必须另建新的发射设施。例如,拜克努尔的航天发射场,肯尼迪航天中心等。随着实用卫星数量的快速增长,商业发射市场的扩大,许多国家将导弹发射场改建、扩建成卫星发射场,有些国家和地区组织还专门建立航天发射中心,例如欧联空间局的圭亚那航天中心,日本的种子岛航天中心等。

1.2 靶场的分类和组成

1.2.1 靶场的类型

在国内外,人们根据靶场的具体使用、设备功能及隶属关系的不同,将靶场进行了分类。

根据隶属关系或服务对象的不同,一般可分为:陆军靶场、海军靶场及空军靶场。

根据武器装备性质的不同,可分为:战略武器靶场和常规武器靶场。

根据武器系统的不同,又可分为:地—地导弹靶场、地—空导弹靶场、空—空导弹靶场、舰—地导弹靶场、舰—空导弹靶场、舰—舰导弹靶场、飞航式导弹靶场、水中兵器靶场、火炮试验靶场、电子战装备试验靶场等。

有些靶场设备和设施齐全,适应能力强,承试容量大,称此为“综合性靶场”,如美国的空军东靶场,它的技术人员和精良的测控系统能够保障各种各样的武器装备系统试验,从由人发射的反坦克导弹直到最大的洲际弹道式导弹系统、载人登月飞船和星际探测器。美国的空军东靶场可以称为全球网内的一个“主靶场”。其他一些先进国家也有相对综合性强的靶场。

1.2.2 靶场的构成

不同的试验靶场其构成不同。就导弹试验靶场而言,它由技术发射阵地(或称首区)、空中飞行走廊(或称航区)和弹着区(或称末区)三个基本场域组成。

导弹武器装备试验靶场是一个多学科、多层次和高新技术密集的场所。从系统工程的角度来说,它由许多工程学科纵横交织构成了一个完整的大系统,这个大系统工程可以分成下面六个系统。

(1)测试发射系统。测试发射系统主要由射前检查测试设备和发射阵地(或发射塔或发射阱或发射架)构成。

(2)测控系统。靶场测控系统是指导弹武器装备试验时,设在靶场及其他有关位置上的全部跟踪测量、控制、监视、数据处理等设备构成的一整套复杂而又分散的系统。

(3)通信系统。通信系统包括数据传输、时间统一两部分,这是试验测控的技术勤务保障部分。

(4)指挥调度系统。

(5)大地测量及气象勤务保障系统。

(6)供电运输系统等。

根据试验任务的性质、承试能力和区域特点的不同,靶场的构成可有所不同,如常规导弹靶场尤其是海军、空军的常规导弹靶场,可能构成更复杂些,如靶标也是其靶场的重要组成部分。

1.3 靶场测控的基本概念

1.3.1 测量的基本概念

1.3.1.1 测量的实质和要素

所谓测量是把被测的量与具有计算单位的标准量进行比较,从而确定被测量对象的空间、时间、温度、速度、功能等有关量值的操作过程。

测量应包括四个要素:测量对象、标准器具、测量方法和测量结果。

我们在进行靶场试验的测量活动中,对每一个要素都要进行深入的研究,创立测量的条件,实现测量的目的。

1.3.1.2 测量过程

测量过程一般分为三个阶段:

(1)准备阶段。首先要明确“被测量”的性质及测量所要达到的目的,然后确定测量方式,选择适当的测量方法及相应的测量仪器设备。

(2)测量阶段。建立测量仪器设备所必须的测量条件,慎重地进行操作,认真记录测量数据。

(3)数据处理阶段。根据记录的数据,并考虑测量条件的实际情况,及时进行数据处理,以求得测量结果和测量误差。

在测量的全过程中,最主要的是研究测量对象、测量方式方法及测量设备三个主要矛盾。

1.3.1.3 测量方法的分类

靶场测量方法是在试验过程中,运用经基准标定出量值的设备规则和靶场试验法规定的方式总称。根据靶场被试品的特点、具体要求、测量环境条件及选用的测量设备的不同,其测量方法可能会多种多样。

从不同的角度出发,测量方法有不同的分类,这里不具体介绍了,在后面的内容中结合具体的测量问题进行相应的介绍。

1.3.1.4 常用的测量术语

(1)准确度。准确度是指测量结果与被测量真值间接近的程度,它是测量结果准确程度的量度。

(2)精密度。精密度是指在测量中所测数值重复一致的程度,它表明在同一条件下进行重复测量时,所得到的一组测量结果彼此之间相符合的程度,它是测量重复性的量度。

(3)灵敏度。灵敏度是指仪器仪表读数的变化量与相应的被测量变化的比值。

(4)分辨率。分辨率是指仪器仪表所能反映的被测量的最小变化值。

(5)误差。误差是指测量结果对被测量真实值的偏离程度。

(6)脱靶量。在本教材中,一般表示导弹在攻击目标过程中,导弹爆炸瞬间位置距目标靶的位置差别。除此之外,脱靶量一词还有其他的定义,如在光测设备的跟踪测量中,它表示光测设备在跟踪目标过程中目标偏离光轴的位置误差。

(7)测量系统。使用多种多台测量设备,并按照一定的规则将它们组合起来,从而构成一个整体,包括测量信息的采集、传输、综合、加工、分析处理等所有软硬件设备,称为“测量系统”。

(8)实时测量。凡是对测量的信息能实时地进行处理,并以一定的形式(如显示、输出、打印、绘图等)实时描述表征出来的测量,称为“实时测量”。

(9)准实时测量。准实时测量是指对于测量的信息,能实时地记录在某种介质(如磁盘、磁带)上,事后不再要求人工去判读整理,而立即进行数据处理,并可很快地得到所希望的测量结果的测量。

(10)外弹道测量。精确测量被测目标的飞行轨迹,称之为“外弹道测量”,经常简称为“外测”。

(11)内弹道测量。测量被测目标的内部工作状态参数、各种工程参数、物理参数等,称之为“内弹道测量”,经常简称为“内测”。

(12)事后处理。事后处理是指对测量时记录在某些介质(如胶片、磁带等)上的信息,事后需要人工(或设备自动)去判读处理,进行信息综合,最后给出测量结果的测量。

1.3.1.5 靶场测量的主要对象

(1)各种型号的战略、战术导弹。

(2)各种火炮及其控制系统。

(3)各种飞机及舰船。

(4)各种空间飞行器。

(5)电子信息战装备。

(6)各种类型的靶标。

(7)各种类别的水中兵器。

(8)各种导航、通信、定位设备。

(9)军事目标特性。

(10)大地、气象及水文测量等。

显然,由于被测量对象在结构性能、尺寸大小、质量大小、复杂程度、空中水下、精度高低等方面存在着各自的显著特点,故对具体的测量要求和实施方法步骤有相应的不同。

1.3.2 靶场控制的基本概念

控制这一术语的应用范围十分广泛,它在不同的场合或地方使用时有其不同的内涵。在当今各种应用领域如工业、国防科技方面的控制,一般都离不开计算机的帮助,利用计算机不但可以实现极为复杂的具有人类智能的控制,而且受控对象也可以从单一的流程扩展到全部过程的管理与控制,扩展到自然界生态平衡的控制,甚至涉及到人类社会生活进程的干预。

电子计算机的高速度、高精度、高集成化、大容量、智能化,特别是有日益完善的“软件系统”的支持,为它参与各类过程的控制开拓了广阔的前景。在靶场试验过程中,计算机无疑成为靶场试验控制的最为有效的得力手段。

1.3.2.1 靶场控制的功能

(1)试验操作控制。

(2)安全与保密控制。

(3)导航与位置控制。

(4)试验条件的模拟和控制等。

在导弹试验靶场的测控领域,主要是指安全控制,简称“安控”。在进行靶场飞行试验时,为了避免因故障造成试验失败可能带来的意外损失,常常从地面测控站发出控制指令,使故障弹“自炸”。除安控外还有对目标(如舰船、导弹、飞机、靶机等)姿态的控制,运载火箭的自主时间程序控制等。

1.3.2.2 控制的分类

(1)按计算机参与控制方式分类

①操作指示控制系统

如图 1.3-1 所示。

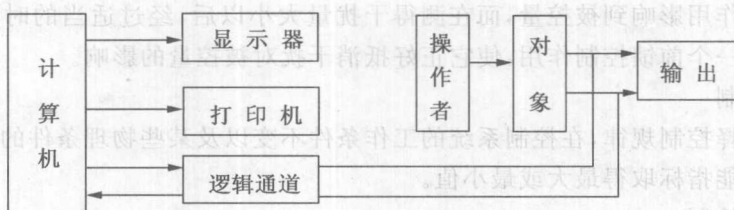


图 1.3-1 操作指示控制系统

计算机只是输出一些数据(打印或显示)供操作人员参考,然后由人工干预执行机构。其优点是控制灵活、安全,而缺点是人工操作,速度慢,不能同时控制多个回路。

②直接数字控制系统

计算机系统对多个被控物理量进行巡回检测,并根据规定的数字模型自动进行运算,然后发出控制信号,直接控制被控对象。显然这种控制是全自动化的,并同时可控制许多路,其操作简便、经济,但要求设备十分稳定可靠。

③监督控制系统

如图 1.3-2 所示。计算机对被控对象的多个物理量进行巡回检测,并按照一定的数学模型,计算出给定值并送给调节器。



图 1.3-2 监督控制系统

④分级控制系统

由于在试验全过程中即存在控制问题,也存在大量的指挥管理问题,因此,可采用执行不同功能的各类计算机协调工作,形成分级控制系统。

⑤分布控制系统

微机的出现给控制系统带来了革命性的变化。试验的全过程是极其复杂而分散的,各个战位、各种设备需要同时、并行工作,而且又有一定的独立性。若把它们集中联系起来,传输距离就要增加,还必然引入附加误差,使系统复杂化,稳定可靠性要降低。而采用微机进行分散控制,仅把必要的信息传到上一级或中央控制机,这就大为简化了。

(2)按调节规律分类

①程序控制

系统按预先给定的时间函数运行。

②顺序控制

系统每一时刻的给定值的确定,取决于对前—时刻控制结果的逻辑判断。

③前馈控制

不等干扰作用影响到被控量,而在测得干扰量大小以后,经过适当的时延,就在干扰点的前方加入一个前馈控制作用,使它正好抵消干扰对被控量的影响。

④最佳控制

恰当地选择控制规律,在控制系统的工作条件不变以及某些物理条件的限制下,使得系统的某种性能指标取得最大或最小值。

⑤自适应控制

最佳控制在工作条件或限制条件改变时,便不能实现最佳控制。如果能设计一个控制器,使其在条件变化的情况下仍能使其性能指标取得最佳,称此系统为“自适应控制”。

(3)按计算机与设备的关系分类

可分为离线、在线、实时控制等。

(4)按靶场习惯分类

可分为指令性控制(如安控、遥控)及自主的时间程序控制(如运载火箭的程序转弯)。

1.4 靶场试验的测控环境

随着国防科学技术和武器装备的发展,在靶场进行试验的武器装备类型不断增加,目前试验飞行目标有水下、水面、低空、高空、深空等类型,测控系统要在这样的环境内完成目标的跟踪测量和控制任务,显然环境对试验和测控造成影响甚至是严重制约。为正确、可靠地完成试验的测量、控制任务,也为了更好地完成新设备的研制,必须对试验和测控的周围环境有足够的熟悉,并把握其变化规律,找到消除其影响的方法。

通常称距地面高度为30~50km以下的范围为低空大气层,海军靶场的试验任务大多数在这样的环境中进行。30~50km以上至行星际的空间范围为近地空间。太阳系以外的恒星际范围为宇宙空间。由于各种人造卫星、远程弹道导弹、航天飞机(船)大多在近地空间飞行,因此,在研究空间飞行器飞行环境时将主要考虑近地空间的物理特性。低于30~50km以下的低空大气层的特性,一般来说是气象学研究的对象,但由于空间飞行器总是要穿过低空大气层才能飞行至近地空间,飞行器返回地面时也要在低空大气层中飞行,因此,低空大气层除是常规武器的试验环境外,它也对空间飞行器的飞行产生很大影响。

1.4.1 大气结构

大气层的气象和物理特性对空间飞行器的运行及对测控设备的性能产生很大的影响。大气的温度、密度、压力及成分是基本参数,其中温度起着主导作用,它对大气结构具有重大影响,甚至是决定着大气的结构。

1.4.1.1 对流层

从地面至 13km 高的大气层中的能量传递形式,主要是对流和辐射,一般称为“对流层”。其能量源来自于地面,而不是直接来自太阳,因为太阳能量向地球入射时将有 35% 被大气反射回空间,15% 被大气中的臭氧、水汽及二氧化碳所吸收,只有 50% 可能到达地面。到达地面的能量将地面加热到 235K,这样可将地面看作是一个向空间辐射能量、温度为 235K 的黑体,其能量谱以红外谱为主,在 $15\mu\text{m}$ 的远红外区有一个峰值,这样,地球的热辐射又将空气中的臭氧、水汽及二氧化碳加热,这些分子再向地面辐射能量(称为“花房温室”效应),使地面温度再增加 55K 左右,这样便使地面总温度达到 290K 左右。

由于地球各个区域吸收和辐射的不同,便会引起大气上下对流和环球流动,从而造成各种气候的差异,出现诸如雨、雪、雾、风、云、雹等各种气象现象。总之,在低空大气层中起主导作用的是红外辐射的交互作用。这种气象现象给我们的靶场测控带来极大的影响。

1.4.1.2 同温层

从对流层的上界起,到大约 50km 高处为止,称为“平流层”,又称“同温层”。在这一层内垂直方向的对流很少,几乎没有对流层中那些多变的气象现象,大气中水汽的含量少,尘埃也很少,故大气的透明度很高,且温度变化也不大。

1.4.1.3 中层

从平流层顶端到 85km 处为止,称为“中层”,在这一层中温度是随高度的增加而降低的。

1.4.1.4 热层

从中层顶端到 500km 处为止的大气层内,因温度随高度升高而增加,称为“热层”,在热层顶端温度可高达 1300K。

1.4.1.5 外层

从热层顶端以上称为“外层”。在外层中粒子稀薄,互相碰撞的机会很少。不带电气体分子、原子在重力场的作用下按抛射弹道运动规律运动。因其中有的粒子在经历最后一次碰撞之后获得很大能量,从而可克服地球的引力向行星际空间逃逸,故此层也称为“逃逸层”。当高度达到约 10000km 时,大气密度已与行星际空间的密度接近,可将它认为是外层的边界。

1.4.1.6 磁层

1958 年,范艾伦(Van Allen)发现高空大气层中还有一带电质点层,它一直延伸到 6 万~10 万 km 的高空,这些带电质点的能量很大,高者竟达数百万电子伏特,被地球磁场吸引到地球附近的那些带电质点,随着地球绕太阳一起运行,这一带电质点层应视为大气的最外层,称之为“磁层”。

1.4.2 大气层温度与高度的关系

由前面的介绍我们知道,在不同的高层大气温度的变化规律不同,具体变化见图 1.4-1。

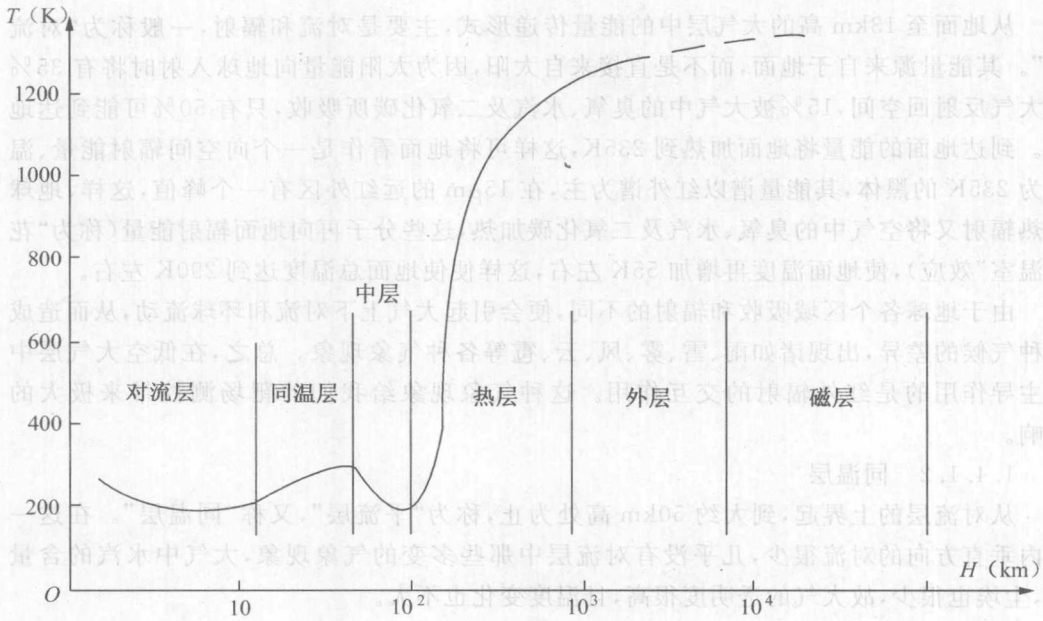


图 1.4-1 大气层温度与高度关系

1.4.3 电离层

电离层是地球高层大气的一部分。太阳的紫外、超紫外短波辐射会对高空大气产生电离效应，从而产生大量自由电子，使无线电波的传播方向、速度、相位、振幅及偏振状态等发生变化。一般认为电离层在离地面高度 60~2000km 之间，也有人认为其下边界在离地面约 60km 处，而上边界为等离子层顶。电离层的各种物理及化学变化与太阳电磁辐射、微粒辐射、磁层扰动、地磁场变化及高层大气运动等密切相关。

按照电离层中电子浓度极值区的高度，可把电离层分为几个层次，常规状态下各层次的主要状态参数如表 1.4-1 所列。表中 N_{em} 为最大电子浓度， h_{em} 为最大电子浓度所在的高度。

表 1.4-1 电离层中各层次的电子浓度

层	N_{em} (电子数 $\cdot \text{cm}^{-3}$)	h_{em} (km)	附注
D	$10^3 \sim 10^4$	60~90	此层夜间消失
E	2×10^5	100~120	
F ₁	3×10^5	160~180	此层多半在夏天白天存在
F ₂	10^6	300~450	夏季
	2×10^6	250~350	冬季

与电波传播紧密相关的电离层参数主要是电子浓度，即单位体积内所含自由电子个